

Estudo de Impacto Ambiental | **EIA**

Projeto **FERRO CARAJÁS S11D**

Canaã dos Carajás | PA | Junho de 2010 | RT-079-515-5020-0029-02-J

VOLUME II-A - TEXTO

- **DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO MEIO FÍSICO**

**PROJETO FERRO CARAJÁS S11D
ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL – EIA**

**VOLUME II-A
TEXTO**

Elaborado para:

*Vale
Belo Horizonte - MG*

Elaborado por:

*GOLDER ASSOCIATES BRASIL CONSULTORIA E PROJETOS LTDA.
Belo Horizonte - MG*

Distribuição:

- 02 Cópias – IBAMA/Brasília
- 01 Cópia – GEREX/IBAMA/Marabá
- 01 Cópia – ICMBio
- 01 Cópia – Flona de Carajás
- 01 Cópia – SEMA/PA
- 01 Cópia – Ministério Público
- 02 Cópias – Vale
- 01 Cópia – Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda.

Junho, 2010

RT-079-515-5020-0029-02-J

SUMÁRIO

VOLUMES DE TEXTO

VOLUME I-A

APRESENTAÇÃO

1. METODOLOGIA	1
1.1 Histórico do Processo de Desenvolvimento dos Estudos Ambientais	1
a) Definição das Áreas de Estudo	4
1.2 Definição das Áreas de Estudo.....	4
b) Definição dos Limites das Áreas de Estudo	8
c) Diagnóstico Ambiental	13
1.3 Metodologia Diagnóstico Ambiental	13
1.3.1 Diagnóstico do Meio Físico	13
1.3.1.1 Clima e Meteorologia	13
1.3.1.2 Qualidade do Ar	13
1.3.1.3 Ruídos e Vibrações.....	16
1.3.1.4 Geologia, Geomorfologia e Pedologia	19
1.3.1.5 Assoreamento dos Cursos de Água	22
1.3.1.6 Processos Morfodinâmicos Erosivos na AID - (Susceptibilidade à Processos Erosivos).....	23
1.3.1.7 Recursos Hídricos.....	26
1.3.1.8 Geoespeleologia	42
1.3.1.9 Área de Preservação Permanente – APP’s	44
1.3.1.10 Análise do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) na Área de Influência Direta (AID) do Projeto S11D	45
1.3.2 Metodologia Meio Biótico.....	47
1.3.2.1 Considerações Iniciais	47
1.3.2.2 Flora.....	51
1.3.2.3 Avifauna	72
1.3.2.4 Herpetofauna	81
1.3.2.5 Mastofauna Terrestre.....	87
1.3.2.6 Mastofauna Voadora	98
1.3.2.7 Entomofauna de Importância Sanitária	104
1.3.2.8 Melitofauna - Abelhas Nativas	109
1.3.2.9 Termitofauna	118
1.3.2.10 Bioespeleologia	123
1.3.2.11 Biota Aquática.....	126
1.3.2.12 Ictiofauna.....	129
1.3.3 Diagnóstico do Meio Socioeconômico	135
1.3.3.1 Área de Influência Indireta - AII	135
1.3.3.2 Área de Influência Direta - AID.....	138
1.3.3.3 Área de Entorno - AE.....	140
1.3.3.4 Área Diretamente Afetada - ADA.....	140
1.3.3.5 Diagnóstico Arqueológico da Área de Influência Indireta (AII).....	140
1.3.3.6 Metodologia do Diagnóstico Arqueológico da Área de Influência Direta (AID)	141
d) Sazonalidade dos dados referentes ao Diagnóstico Ambiental	145
e) Situação ambiental da área de influência, antes da Implantação do empreendimento.....	145

f) Caracterização Ambiental – Áreas de Abrangência Específicas	145
g./h) Levantamento do patrimônio arqueológico histórico e cultural.....	146
i) Cartografia.....	146
j./k) O Prognóstico Ambiental.....	146
1.4 Metodologia do Prognóstico Ambiental.....	146
1.4.1 Modelagem da Qualidade do Ar.....	147
1.4.2 Modelagem Hidrogeológica	148
1.4.3 Estudo de Autodepuração	150
1.5 Metodologia da Avaliação de Impactos Ambientais.....	157
l) Os programas ambientais	166
m) Plano de Monitoramento e de Gerenciamento de Risco	166
1.6 Estudo de Análise de Risco	166
n) Programas Ambientais - Conteúdo.....	169
o) Assinaturas e rubricas.....	169
p./q) Disponibilização de Cópias do Estudo.....	169
2. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR E DA EMPRESA DE CONSULTORIA RESPONSÁVEL PELOS ESTUDOS	169
2.1 Identificação do Empreendedor.....	169
2.2 Identificação da Empresa de Consultoria Responsável pelos Estudos.....	170
3. REGULAMENTAÇÃO APLICÁVEL.....	177
3.1 Legislação Mineral	177
3.2 Legislação Ambiental.....	180
3.2.1 Padrões de Emissão e de Qualidade Ambiental.....	180
3.2.2 Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos	183
3.2.3 Instrumentos de Gestão do Patrimônio Espeleológico	189
3.2.4 Instrumentos de Proteção da Biodiversidade e Gestão de Recursos da Flora	191
3.2.4.1 Espaços Territoriais especialmente Protegidos	191
3.2.4.2 Disciplina do Uso dos Recursos da Flora.....	210
3.2.5 Fauna.....	213
3.2.6 Arqueologia	216
3.2.7 Legislação Municipal de Canaã dos Carajás	218
4. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS E LOCACIONAIS	219
4.1 Alternativas Tecnológicas	219
4.2 Alternativas para Transporte do Minério para Beneficiamento	223
4.3 Alternativas Locacionais	223
5. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO	249
5.1 Histórico do Empreendimento.....	249
5.2 Informações Gerais.....	250
5.3 Objetivos e Justificativas	268
5.4 Descrição do Projeto.....	269
5.4.1 Operações Unitárias Principais.....	269
5.4.1.1 Operações Unitárias Principais da Etapa de Implantação	270
5.4.1.2 Operações Unitárias Principais da Etapa de Operação.....	271
5.4.1.3 Operações Unitárias Principais da Etapa de Fechamento	299
5.4.2 Operações Unitárias Auxiliares	301
5.4.2.1 Operações Unitárias Auxiliares da Etapa de Implantação	301

5.4.2.2 Operações Unitárias Auxiliares da Etapa de Operação.....	313
5.4.2.3 Operações Unitárias Auxiliares da Etapa de Fechamento.....	326
5.4.3 Operações Unitárias de Controle da Qualidade Ambiental.....	328
I) Insumos	328
II) Recursos Hídricos	345
III) Produtos	351
IV) Cronogramas do Empreendimento	351
V) Sistemas de Controle da Qualidade Ambiental	357
V.1) Efluentes	357
V.2) Resíduos.....	368
V.3) Emissões Atmosféricas	382
V.4) Ruído e Vibração	388
V.5) Drenagem e Geração de Sedimentos	391

VOLUME II-A

6. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL.....	1
a) Diagnóstico Ambiental	1
b) Metodologia.....	1
c) Análise Ambiental Integrada	1
d) Análise de Paisagem.....	1
e) Apresentação do Diagnóstico	1
f) Avaliação de Impactos	1
6.1 Meio Físico.....	2
6.1.1 Introdução	2
a) Base Cartográfica	2
b) Imagens de Satélite.....	2
c) Carta Topográfica - Cartografia	3
d) Caracterização da Cobertura Vegetal e dos Corpos de Água por Geoprocessamento	3
6.1.2 Clima e Meteorologia	4
a) Descrição do padrão climático local e regional.....	4
b) Séries históricas	28
6.1.3 Qualidade do Ar.....	28
a) Caracterização da qualidade do ar	28
6.1.3.1 Condições Meteorológicas Registradas Durante a Campanha de Monitoramento da Qualidade do Ar	28
6.1.3.2 Análise dos Dados de Qualidade do Ar.....	33
6.1.4 Ruído e Vibração	41
a/b) Caracterização da Área de Inserção do Projeto Ferro Carajás S11D	43
6.1.4.1 Considerações.....	55
6.1.5 Geologia.....	56
a) Descrição da Geologia (Descrição da estratigrafia, petrologia, geologia estrutural, da AII, AID e ADA)	56
6.1.5.1 Geologia da Área de Influência Indireta (AII)	56
6.1.5.2 Geologia da Área de Influência Direta (AID) e Diretamente Afetada (ADA).....	76
a) Descrição da Geologia.....	76
b) Mapeamento Geológico	87
c) Análise litoestrutural e geotécnica das áreas de cava/Delimitação das formações superficiais.....	122

d) Delimitação das Formações Superficiais e Processos Erosivos	126
6.1.5.3 Síntese Temática.....	129
6.1.6 Geomorfologia	130
6.1.6.1 Geomorfologia da Área de Influência Indireta (AII)	130
6.1.6.2 Geomorfologia da Área de Influência Direta (AID) e Diretamente Afetada (ADA).....	149
6.1.7 Pedologia	154
a) Descrição da pedologia e tipos de solo.....	154
6.1.7.1 Pedologia da Área de Influência Indireta (AII).....	154
6.1.7.2 Pedologia da Área de Influência Direta (AID) e Diretamente Afetada (ADA)	159
b) Descrição e mapeamento das áreas mais propensas ao desenvolvimento de processos erosivos	201
6.1.8 Recursos Hídricos	207
I. Hidrologia	207
6.1.8.1 Hidrologia da Área de Influência Indireta (AII).....	207
a) Descrição Fisiográfica das Bacias Hidrográficas – AII.....	207
b) Caracterização do Sistema Hidrográfico e do Regime Hidrológico da AII	208
c) Caracterização da Pluviosidade e Evapotranspiração da AII	220
d) Balanço Hídrico e Parâmetros Hidrológicos da AII.....	226
e) Caracterização do Regime Hidrológico da Bacia Hidrográfica	229
f) Caracterização dos Ecossistemas Aquáticos da AII	229
g) Características do Regime de Produção de Sedimentos da AII	230
6.1.8.2 Hidrologia da Área de Influência Direta (AID) e Diretamente Afetada (ADA)....	233
a) Descrição Fisiográfica das Bacias Hidrográficas Locais – AID e ADA.....	233
b) Caracterização do Sistema Hidrográfico e do Regime Hidrológico da AID e da ADA.....	237
c) Caracterização da Pluviosidade e Evapotranspiração na AID e na ADA	247
d) Balanço Hídrico e Parâmetros Hidrológicos da AID e da ADA.....	247
e) Caracterização do Regime Hidrológico da Bacia Hidrográfica	248
f) Caracterização dos Ecossistemas Aquáticos da AID e da ADA.....	248
II Qualidade dos Corpos de Água	249
6.1.8.3 Qualidade dos Corpos de Água da Área de Influência Indireta (AII).....	249
a) Identificação, classificação e mapeamento dos corpos de água presentes nas áreas de influência	249
b) Caracterização dos Corpos de Água quanto à Classe e Enquadramento	249
c) Classificação Hidroquímica das Águas Superficiais e Subterrâneas.....	271
d) Estudo de capacidade de suporte de carga dos corpos de água da AII receptores dos efluentes do empreendimento	271
e) Substâncias, entre aquelas previstas na Resolução CONAMA 357/05 para padrões de qualidade de água, que poderão estar contidas no efluente lançado.....	271
f) Substâncias presentes no efluente lançado, não contempladas na Resolução CONAMA 357/05, porém de conhecimento do empreendedor	272
g) Situação da área diretamente afetada pelo empreendimento em relação aos corpos receptores.....	272
h) Metodologias utilizadas e critérios de escolha dos pontos e datas de amostragem ..	272
i) Mapeamento das nascentes e vazão das mesmas situadas dentro da área de influência direta pelo empreendimento	272
j) Localização de fontes potenciais poluidoras	272
k) Mapa com a localização dos pontos de amostragem.....	272
l) Identificação de Pontos de Assoreamento na AII	272
6.1.8.4 Qualidade dos Corpos de Água da Área Indiretamente Afetada (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA)	273

a) Identificação e mapeamento dos corpos de água presentes nas AID e ADA.....	273
b) Caracterização dos corpos de água quanto à classe e enquadramento	273
c) Classificação hidroquímica das águas superficiais e subterrâneas	335
d) Estudo de capacidade de suporte de carga do corpo de água receptor dos efluentes	343
e) Substâncias, entre aquelas previstas na Resolução CONAMA 357/05 para padrões de qualidade de água, que poderão estar contidas no efluente lançado.....	385
f) Substâncias presentes no efluente lançado, não contempladas na Resolução CONAMA 357/05	386
g) Situação da área diretamente afetada pelo empreendimento em relação aos corpos receptores	388
h) Metodologias utilizadas e critérios de escolha dos pontos de amostragem	388
i) Mapeamento das nascentes e vazão das mesmas situadas dentro da área de influência direta pelo empreendimento	389
j) Localização de fontes potenciais poluidoras, com indicações de suas possíveis cargas contaminantes e identificação de áreas críticas	403
k) Mapa com a localização dos pontos de amostragem.....	404
l) Identificação de pontos de assoreamento nas áreas de influência.....	405
III. Usos das Águas Superficiais e Subterrâneas.....	409
IV. Hidrogeologia	420
a) Área de ocorrência, tipo, geometria, litologia, estruturas geológicas, propriedades físicas e hidrodinâmicas e outros aspectos do(s) aquífero(s) presente(s), estabelecendo a relação das águas subterrâneas com as superficiais.....	420
b) Caracterização da Piezometria dos Aquíferos e sua Rede de Monitoramento na Área de Influência Direta do Empreendimento.....	439
c) Poços de bombeamento	455
d) Determinação de permeabilidade média das camadas saturadas	455
e) Determinação, em cartas hidrogeológicas, das áreas de recarga, circulação e descarga dos aquíferos existentes	456
f) Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos subterrâneos nas Áreas de Influência Direta (AID) e Indireta (AII) do empreendimento	459
g) Levantamento de dados hidrodinâmicos dos aquíferos.....	469
h) Apresentação de mapa potenciométrico dos aquíferos, com indicação do fluxo subterrâneo.....	469
i) Análise da disponibilidade e demanda dos recursos hídricos subterrâneos	469
j) Cálculo das reservas permanentes, reguladoras, exploráveis e totais	473
k) Modelagem conceitual e matemática (com base em dados primários) dos recursos hídricos para análise da interconexão de aquíferos e cursos d'água	480
l) Proposta de uso pela empresa dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos	502
6.1.9 Patrimônio Espeleológico	523
6.1.9.1 Geoespeleologia da Área de Influência Indireta (AII)	523
6.1.9.2 Geoespeleologia Preliminar da Área de Influência Direta (AID) e Diretamente Afetada (ADA)	525
6.1.10 Áreas Protegidas – Áreas de Preservação Permanente – APP.....	545
6.1.10.1 Áreas de Preservação Permanente - APP de Nascentes, de Cursos de Água e de Lagoas	545
6.1.10.2 Área de Preservação Permanente - APP de Topos de Montanha e de Encostas ou Parte de Encostas com declividade superior a 100%	545
6.1.10.3 Conclusão	546
6.1.11 Análise do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) na Área de Influência Direta (AID) do Projeto Ferro Carajás S11D	547

VOLUME III-A

6.2 Meio Biótico.....	1
6.2.1 Ecossistemas Terrestres	1
6.2.1.1 Flora.....	1
I. Caracterização Fisionômica Regional	1
II. Análise da Paisagem.....	7
III. Unidades de Conservação	12
a) Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri – Flona de Tapirapé-Aquiri	16
b) Floresta Nacional de Carajás – Flona de Carajás	22
c) Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado – APA do Gelado.....	26
d) A Reserva Biológica do Tapirapé	28
e) Floresta Nacional de Itacaiúnas – Flona de Itacaiúnas.....	29
IV. Estudos de Vegetação na Área de Influência Indireta	30
a) Levantamentos Florísticos e Fitosociológicos na Área de Influência Indireta (AII)	34
b) Espécies de Ampla Distribuição na AII	37
c) Espécies Endêmicas.....	38
d) Espécies Novas para a Ciência.....	41
e) Espécies Raras	43
f) Espécies Ameaçadas	44
g) Espécies de Interesse Econômico.....	45
h) Espécies de Maior Interesse Científico	46
I. Caracterização Fitofisionômica Local	47
II. Análise da paisagem.....	48
a) Fragmentação dos Ambientes Florestais, Conectividade e Estágio Sucessional	48
b) Efeito de Borda Atual.....	55
III. Levantamentos Florísticos na Área Diretamente Afetada e Área de Influência Direta.....	63
a) Classificação da Flora do Projeto Ferro Carajás S11D por Estratos	64
b) Espécies de Interesse Extrativista e Comercial	87
c) Espécies endêmicas	93
d) Espécies novas para a ciência.....	94
e) Espécies raras	95
f) Espécies ameaçadas de Extinção	96
g) Espécies de Interesse Científico	97
h) Espécies exóticas	99
IV. Caracterização e Levantamentos Fitofisionômicos na ADA/AID.....	99
a) Ambientes Florestais	100
b) Formações savânico-estépicas.....	127
c) Ambientes Hidromórficos	137
d) Pastagens e lavouras	146
6.2.1.2 Avifauna	149
a) Caracterização da Área de Estudo	156
b) Curvas do Coletor.....	159
c) Caracterização por Fitofisionomia.....	162
d) Hábitos Peculiares, Estratos Preferenciais e Dieta.....	182
e) Áreas de Dessedentação	184
f) Biologia Reprodutiva e Locais de Reprodução.....	185
g) Migração.....	188
h) Espécies Endêmicas, Raras e Ameaçadas	212
i) Valor Científico.....	221

j) Espécies Cinegéticas	222
6.2.1.3 Herpetofauna	223
<u>Anfíbios</u>	226
a) Caracterização por Fitofisionomia.....	226
b) Riqueza de Espécies	226
c) Curva do Coletor	235
d) Habitats e Microhabitats Preferenciais.....	236
e) Hábitos Alimentares	236
f) Áreas de Dessedentação.....	238
g) Biologia Reprodutiva e Locais de Reprodução.....	238
h) Migração.....	240
i) Indicadores Ambientais.....	240
j) Espécies Endêmicas e de Distribuição Restrita.....	241
k) Espécies Ameaçadas.....	241
l) Espécies Cinegéticas	241
m) Espécies de Maior Interesse Científico	242
<u>Lagartos e Anfisbenas</u>	242
a) Caracterização por Fitofisionomia.....	242
b) Riqueza de Espécies	242
c) Curva do Coletor	245
d) Habitats e Microhabitats Preferenciais.....	246
e) Hábitos Alimentares	247
f) Áreas de Dessedentação.....	248
g) Biologia Reprodutiva e Locais de Reprodução.....	248
h) Migração.....	249
i) Indicadores Ambientais.....	249
j) Espécies Endêmicas e de Distribuição Restrita.....	249
k) Espécies Ameaçadas.....	249
l) Espécies Cinegéticas	250
m) Espécies de Maior Interesse Científico	250
<u>Serpentes</u>	250
a) Caracterização por Fitofisionomia.....	250
b) Curva do Coletor	252
c) Habitats e Microhabitats Preferenciais	253
d) Hábitos Alimentares	253
e) Áreas de Dessedentação	254
f) Biologia Reprodutiva e Locais de Reprodução.....	254
g) Migração.....	255
h) Indicadoras ambientais	255
i) Espécies Endêmicas e de Distribuição Restrita.....	255
j) Espécies Ameaçadas	255
k) Cinegéticas	256
l) Espécies de Maior Interesse Científico	256
<u>Quelônios e Crocodilianos</u>	256
a) Caracterização por Fitofisionomia.....	256
b) Curva do Coletor	257
c) Habitats e Microhabitats Preferenciais	257
d) Hábitos Alimentares	257
e) Áreas de Dessedentação	258
f) Biologia Reprodutiva e Locais de Reprodução.....	258

g) Migração.....	258
h) Indicadoras ambientais	258
i) Espécies Endêmicas e de Distribuição Restrita.....	258
j) Espécies Ameaçadas	258
k) Cinegéticas	259
l) Espécies de Maior Interesse Científico	259
6.2.1.4 Mastofauna Terrestre.....	260
a) Caracterização por Fitofisionomia.....	270
b) Curva do Coletor	271
c) Habitats Preferenciais	295
d) Hábitos Alimentares	295
e) Áreas de Dessedentação	300
f) Biologia Reprodutiva e Locais de Reprodução.....	300
g) Migração.....	301
h) Espécies Indicadoras	301
i) Espécies Endêmicas e Raras	302
j) Espécies Ameaçadas de Extinção	303
k) Espécies Cinegéticas	303
l) Espécies de Valor Científico	304
6.2.1.5 Mastofauna Voadora	305
a) Riqueza Total de Espécies	318
b) Curva do Coletor	322
c) Caracterização por Fitofisionomia.....	329
d) Habitats Preferenciais.....	335
e) Hábitos Alimentares	336
f) Áreas de Dessedentação.....	339
g) Biologia Reprodutiva e Locais de Reprodução.....	339
h) Migração.....	340
i) Indicadores Ambientais.....	341
j) Endêmicas e Raras	341
k) Espécies Ameaçadas.....	341
l) Cinegéticas	342
m) Valor Científico.....	342
6.2.1.6 Entomofauna de Importância Sanitária	344
a) Riqueza de Espécies	350
b) Curva do Coletor	366
c) Caracterização por fitofisionomia	368
d) Habitats preferenciais	380
e) Hábitos Alimentares	381
f) Áreas de dessedentação.....	381
g) Biologia Reprodutiva e Locais de Reprodução.....	381
h) Migração.....	382
i) Indicadores ambientais	382
j) Espécies Endêmicas e de Distribuição Restrita.....	382
k) Espécies Ameaçadas.....	382
l) Espécies Cinegéticas	382
m) Espécies de Maior Interesse Científico	382
6.2.1.7 Melitofauna	385
6.2.1.7.1 Diagnóstico da Área de Influência Indireta (AII).....	386
6.2.1.7.2 Caracterização da ADA/AID.....	394

a) Riqueza de Espécies	394
b) Caracterização por Fitofisionomia	412
c) Habitats Preferenciais	415
d) Hábitos Alimentares	416
e) Áreas de Dessedentação	416
f) Biologia Reprodutiva e Locais de Reprodução.....	416
g) Migração.....	418
h) Indicadoras Ambientais	418
i) Espécies Endêmicas e Raras	419
j) Espécies Ameaçadas	419
k) Cinegéticas	419
l) Valor Científico.....	419
m) Dados preliminares da Campanha 02.....	420
6.2.1.7.3 Síntese Conclusiva do Diagnóstico Ambiental.....	420
6.2.1.7.4 Biologia Floral e Polinização.....	421
a) Caracterização geral	422
b) Visitantes Florais e Possíveis Polinizadores	426
c) Caracterização das áreas	434
d) Caracterização dos ambientes	436
e) Indicadoras Ambientais	439
f) Dados preliminares da Segunda Campanha (02).....	440
g) Síntese Conclusiva da Polinização	440
6.2.1.8 Termitofauna	440
a) Riqueza de Espécies	449
b) Curvas do Coletor.....	451
c) Caracterização por fitofisionomia	457
d) Habitats preferenciais	460
e) Hábitos Alimentares	460
f) Áreas de Dessedentação.....	460
g) Biologia Reprodutiva e Locais de Reprodução.....	461
h) Migração.....	461
i) Indicadoras Ambientais.....	461
j) Endêmicas e Raras	461
k) Ameaçadas.....	461
l) Cinegéticas	462
m) Valor Científico.....	462
6.2.1.9 Bioespeleologia	463
a) Comunidade Cavernícola	463
a) Fauna Subterrânea Brasileira.....	463
a) Descrição das Cavidades Inventariadas.....	464
b) Fauna Inventariada	468
6.2.2 Ecossistemas Aquáticos	497
6.2.2.1 Biota Aquática	497
a) Parâmetros Físico-Químico	516
b) Caracterização por fitofisionomia	519
c) Indicadores ambientais	566
d) Espécies Endêmicas e Raras.....	566
e) Espécies Ameaçadas.....	566
f) Interesse para Saúde Pública.....	566
g) Valor Científico.....	566

6.2.2.2 Ictiofauna	567
a) Curva do Coletor	578
b) Caracterização por Ambientes Amostrados	581
c) Biologia Reprodutiva e Locais de Reprodução	586
d) Espécies Indicadoras Ambientais	588
e) Espécies Endêmicas, Raras e Ameaçadas	588
f) Espécies de Interesse	588
g) Espécies de Valor Científico	589
h) Espécies Migradoras	589
6.2.2.3 O Ambiente da Savana Estépica e Sua Conservação	591

VOLUME IV-A

6.3 Meio Socioeconômico	1
6.3.1 Diagnóstico da Área de Influência Indireta - AII	1
6.3.1.1 Dinâmica Sociocultural	4
I. Processo Histórico de Ocupação do Território	4
a) Histórico da ocupação rural e urbana e principais processos de transformação	4
b) O Sudeste do Pará e o Pioneirismo de Marabá	7
c) O Processo de Integração Nacional e a Ocupação do Território	11
d) O Desenvolvimento do Programa Grande Carajás - PGC e Outras Frentes de Ocupação	14
e) Estruturação Político-Administrativa da Área de Interesse	16
II. Dinâmica Populacional	23
a) Distribuição Espacial da População	23
b) Evolução da População	24
III. Condições de Vida	43
a) Qualidade de Vida	43
b) Educação	51
c) Saúde	55
IV. Infraestrutura Básica	65
a) Sistemas Viários	65
b) Serviços Básicos	69
6.3.1.2 Estrutura Produtiva e de Serviços	72
I. Economia Regional	72
a) Dinâmica Econômica	72
II. Estrutura Ocupacional	83
a) Composição e Evolução da População em Idade Ativa (PIA), da Economicamente Ativa (PEA) e da População Ocupada (POC)	83
b) POC por Setores de Atividade Econômica	85
c) Comportamento da Taxa de Desocupação (TD)	89
d) Distribuição da Ocupação e de Rendimentos no Mercado de Trabalho	91
e) Trabalho Clandestino / Trabalho Escravo	100
6.3.2 Diagnóstico da Área de Influência Direta - AID	101
6.3.2.1 Canaã dos Carajás	101
6.3.2.1.1 Dinâmica Sociocultural	101
I. Processo Histórico de Ocupação do Território	101
a) Histórico da ocupação rural e urbana e principais processos de transformação	101
II. Dinâmica Populacional	102

a) Distribuição espacial da população	102
b) Densidade Demográfica e Grau de Urbanização	105
c) Evolução da População.....	106
d) Composição da População.....	110
e) Movimentos Migratórios	114
f) Reservas de população indígena e/ou de populações tradicionais (quilombolas)	115
III. Condições de Vida	115
a) Qualidade de Vida	115
b) Assentamentos Humanos	118
c) Educação.....	120
d) Saúde	134
f) Segurança Pública.....	151
IV. Uso e Ocupação do Solo	153
a) Zoneamento e outros normativos legais de parcelamento e de uso e ocupação do solo.....	153
b) Áreas rurais, urbanas e de expansão urbana.....	156
c) Áreas de valor histórico e outras de possível interesse para pesquisa científica ou preservação	159
d) Áreas Ambientalmente Protegidas	159
e) Usos urbanos.....	159
f) Infraestrutura regional.....	162
g) Usos rurais.....	163
h) Regime de propriedade e padrão da estrutura fundiária.....	163
V. Infraestrutura Básica	164
a) Sistema Viário e Transportes.....	164
b) Energia Elétrica	168
c) Iluminação Pública	170
d) Redes de Comunicação	170
e) Saneamento Ambiental.....	170
6.3.2.1.2 Organização Social, Cultural e Político-institucional	178
I. Organização da sociedade civil.....	178
a) Existência de conselhos comunitários	178
b) Análise de situações de conflitos, expectativas e apreensões existentes.....	180
II. Ações Governamentais	186
a) Planos e Programas Governamentais	186
b) Gestão Participativa.....	190
c) Correlação do poder político local com as relações estaduais e federais	191
d) Capacidade de articulação do município.....	191
e) Gestão pública e articulação institucional	191
f) Gestão Tributária.....	192
g) Documentos subscritos pela Vale.....	193
III. Ações Empresariais (Vale) e de outras Empresas.....	193
IV. Patrimônio Natural e Cultural.....	196
a) Áreas e monumentos naturais, culturais e/ou de relevância espiritual/religiosa; cavernas, picos, cachoeiras, entre outros; sítios paleontológicos e/ou arqueológicos..	196
b) Áreas de edificações de valor histórico e arquitetônico	196
6.3.2.1.3 Estrutura Produtiva e de Serviços	196
I. Economia Regional.....	196
a) Formação da economia e suas tendências no período recente.....	196
b) Principais eixos e fatores determinantes do crescimento econômico.....	198

c) Atividade Econômica	199
d) Caracterização da Atividade Econômica.....	199
e) Capacidade do empreendedorismo local	204
f) Atividades de cooperativismo e associativismo.....	204
g) Trabalho Informal.....	204
II. Estrutura Ocupacional	205
a) População Economicamente Ativa (PEA).....	205
b) População Ocupada (POC).....	207
c) Condição de ocupação	208
d) Renda na ocupação principal e outras	209
e) Distribuição da população ocupada nos setores da economia.....	210
f) Taxa de desocupação/índices de desemprego.....	211
g) Trabalho infantil	212
h) Trabalho clandestino/escravo	212
III. Finanças Públicas Municipais.....	212
a) Receitas, despesas, níveis de endividamento e de investimento	212
b) Receitas Próprias	217
c) Transferências Correntes	218
d) Investimentos com recursos próprios e de terceiros.....	220
6.3.2.1.4 Relações de dependência da população com os recursos ambientais.....	220
6.3.2.1.5 Caracterização das Vilas do Município de Canaã dos Carajás.....	220
a) Vila Mozartópolis.....	221
b) Vila Ouro Verde – CEDERE III.....	233
c) Vila Feitosa.....	244
d) Vila Bom Jesus.....	255
e) Vila Planalto	266
6.3.2.2 Parauapebas	278
6.3.2.2.1 Dinâmica Sociocultural.....	278
I. Processo Histórico de Ocupação do Território.....	278
a) Histórico da ocupação rural e urbana e principais processos de transformação	278
II. Dinâmica Populacional.....	278
a) Distribuição espacial da população	278
b) Densidade Demográfica e Grau de Urbanização	281
c) Evolução da População.....	281
d) Composição da População.....	286
e) Movimentos Migratórios	289
f) Reservas de população indígena e/ou de populações tradicionais (quilombolas)	290
III. Condições de Vida	291
a) Qualidade de Vida	291
b) Assentamentos Humanos	294
c) Educação.....	298
d) Educação Básica.....	298
e) Saúde	312
f) Lazer, Turismo, Religião e Cultura.....	331
g) Segurança Pública	333
IV. Uso e Ocupação do Solo.....	334
a) Zoneamento e Outros Normativos Legais de Parcelamento e de Uso e Ocupação do Solo	334
b) Áreas rurais, urbanas e de expansão urbana.....	341

c) Áreas de valor histórico e outras de possível interesse para pesquisa científica ou preservação	341
d) Áreas Ambientalmente Protegidas	342
e) Usos urbanos.....	342
f) Infraestrutura regional.....	342
g) Usos rurais.....	342
h) Regime de propriedade e padrão da estrutura fundiária.....	347
V. Infraestrutura Básica	351
a) Sistema Viário e Transportes.....	351
b) Energia Elétrica	352
c) Iluminação Pública	353
d) Redes de Comunicação	354
e) Saneamento Ambiental.....	355
6.3.2.2.2 Organização Social, Cultural e Político-Institucional.....	367
I. Organização da Sociedade Civil.....	367
a) Existência de Conselhos Comunitários	367
b) Análise de situações de conflitos, expectativas e apreensões existentes.....	373
II. Ações Governamentais	374
a) Planos e Programas Governamentais	374
b) Gestão Participativa.....	380
c) Correlação do poder político local com as relações estaduais e federais	381
d) Capacidade de articulação do município.....	381
e) Gestão pública e articulação institucional	381
f) Gestão Tributária.....	382
g) Documentos subscritos pela Vale.....	384
III. Ações Empresariais (Vale) e de outras Empresas.....	384
IV. Patrimônio Natural e Cultural.....	387
a) Áreas e monumentos naturais, culturais e/ou de relevância espiritual/religiosa; cavernas, picos, cachoeiras, entre outros; sítios paleontológicos e/ou arqueológicos..	387
b) Áreas de edificações de valor histórico e arquitetônico	387
6.3.2.2.3 Estrutura Produtiva e de Serviços	387
I. Economia Regional.....	387
a) Formação da economia e suas tendências no período recente.....	387
b) Principais eixos e fatores determinantes do crescimento econômico.....	388
c) Atividade Econômica	390
d) Caracterização da Atividade Econômica.....	390
e) Capacidade de empreendedorismo local	396
f) Atividades de cooperativismo e associativismo.....	396
g) Trabalho informal.....	397
II. Estrutura Ocupacional	397
a) População economicamente ativa (PEA)	397
b) População Ocupada (POC).....	399
c) Condição de Ocupação	400
d) Renda na ocupação principal e outras	401
e) Distribuição da População Ocupada nos setores da economia.....	402
f) Taxa de desocupação/índices de desemprego	403
g) Trabalho infantil	403
h) Trabalho clandestino/escravo	403
III. Finanças Públicas Municipais.....	403
a) Receitas, despesa, níveis de endividamento e de investimento.....	403

b) Receitas Próprias	408
c) Transferências Correntes	409
d) Investimentos com recursos próprios e de terceiros.....	410
6.3.2.2.4 Relações de dependência da população com os recursos ambientais.....	410
6.3.2.2.5 Caracterização das Vilas do Município de Parauapebas	411
a) Vila CEDERE I	411
b) Vila Onalício Barros (Vila Goiás).....	423
c) Síntese das Vilas de Parauapebas	435
6.3.2.3 Patrimônio Natural	436
I. Objetivo Geral	436
II. Objetivos específicos.....	436
III. Ecoturismo e Atrativos Naturais	436
IV. Metodologia	437
a) Estratégia Utilizada para o Levantamento dos Atrativos Naturais.....	438
b) Trabalhos de campo.....	439
c) Método usado de avaliação dos atrativos naturais.....	439
d) Caracterização física dos atrativos naturais.....	439
e) Caracterização da visitação dos atrativos	440
f) Avaliação dos riscos potenciais de acidentes nos locais dos atrativos	440
g) Classificação dos atrativos naturais.....	440
V. Atrativos Naturais da Área de Estudo.....	441
a) Atrativos naturais de Mozartópolis (Racha Placa) e entorno	441
b) Área do Corpo S11 – FLONA Carajás.....	451
c) Cavidades.....	465
VI. Considerações Finais	465
6.3.2.4 Área de Entorno da ADA	466
6.3.2.5 Área Diretamente Afetada – ADA	480
6.3.3 Relações de Dependência da População com os Recursos Ambientais	494
I. Usos da Terra.....	495
II. Usos da Água.....	497
III. Extrativismo Vegetal, Animal e Mineral	501
IV. Considerações Finais	504
6.3.4 Comunidade Xikrin.....	506
I. Ocupação Indígena da Amazônia e da Região de Carajás.....	514
a) Situação nas Aldeias	518
6.3.5 Arqueologia	524
6.3.5.1 Etnografia Regional.....	524
I. Características culturais gerais das tribos de língua Tupi.....	526
II. Características culturais gerais das tribos de língua Jê.....	527
III. Considerações sobre a cultura material das tribos indígenas historicamente registradas na área de influência indireta	530
6.3.5.2 Diagnóstico Arqueológico da Área de Influência Indireta (AII).....	531
I. Arqueologia dos Caçadores-coletores	535
II. Arqueologia dos Horticultores	537
6.3.5.3 Diagnóstico Arqueológico da Área de Influência Direta.....	541
I. Platô do Bloco D.....	541
II. Cavidades Naturais.....	545
III. Área externa à Flona de Carajás e Igarapé Sossego.....	553
6.3.5.4 Conclusão	567

VOLUME V-A

7. ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA.....	1
a./b./c) Premissas Adotadas para Elaboração da Análise Ambiental Integrada	1
7.1. Arranjo Físico da Porção Central e Meridional da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas ...	9
7.2 As Unidades Ambientais da ADA e AID.....	19
7.2.1 Colinas e Patamares com Argissolos	19
7.2.2 O Corpo S11	21
7.3 Contexto Socioeconômico.....	37
7.3.1 Contexto Socioeconômico Regional.....	37
7.4 Considerações.....	39
8. PROGNÓSTICO COM AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS	41
8.1 A Abordagem Prognóstica	42
8.2 Prognóstico Sem o Empreendimento	42
8.3 Prognóstico com o Empreendimento	48
8.4 Identificação e Avaliação dos Impactos Ambientais.....	56
a) Metodologia de Identificação e Avaliação dos Impactos Ambientais	56
b) Descrição dos Impactos Ambientais	56
8.4.1 Meio Físico	56
8.4.2 Meio Biótico	86
8.4.3 Meio Socioeconômico	136
c) Síntese conclusiva dos impactos relevantes e suas interações	170
d) Valoração, magnitude e importância dos impactos.....	172
e) Análise e avaliação dos impactos ambientais.....	172
f) Identificação e avaliação dos efeitos decorrentes dos múltiplos usos dos recursos da Flona Carajás	172
g) Alternativas tecnológicas e locais para a realização do empreendimento, considerando-se os custos ambientais nas áreas críticas.	172
9 AÇÕES DE CONTROLE, MITIGAÇÃO E COMPENSAÇÃO AMBIENTAL – PROGRAMAS AMBIENTAIS	173
9.1 Programas Ambientais.....	173
9.1.1 Meio Físico	173
9.1.1.1 Plano de Gestão de Recursos Hídricos Superficiais- PGRHSUP	173
9.1.1.2 Plano de Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos - PGRHSUB	192
9.1.1.3 Plano de Gestão da Qualidade do Ar.....	211
9.1.1.4 Plano de Gerenciamento de Resíduos – PGRRe.....	220
9.1.1.5 Plano de Controle e Monitoramento de Ruídos e Vibrações	222
9.1.2 Meio Biótico	227
9.1.2.1 Plano de Conservação da Biodiversidade.....	227
9.1.2.1.1 Programa do Banco de Dados da Biodiversidade de Carajás (BDBio)	228
9.1.2.1.2 Programa de Conservação da Biodiversidade Florística do Projeto Ferro Carajás.....	232
9.1.2.1.3 Programa de Conservação e Biodiversidade Faunística de Carajás.....	262
9.1.2.1.4 Programa Estudo de Comunidades Aquáticas de Ambientes Úmidos no Corpo S11	325
9.1.2.1.5 Plano de Compensação Ambiental	330
9.1.2.1.6 Programa de Criação de Unidade de Conservação	333
9.1.3 Meio Socioeconômico	336
9.1.3.1 Programa de Acompanhamento da Migração	336

9.1.3.2 Programa de Monitoramento dos Indicadores Socioeconômicos	339
9.1.3.3 Programa de Fomento ao Desenvolvimento Socioeconômico Local.....	342
9.1.3.4 Programa de Apoio à Infraestrutura	345
9.1.3.5 Programa de Capacitação e Formação de Mão-de-Obra.....	347
9.1.3.6 Programa de Desenvolvimento de Fornecedores - PDF.....	350
9.1.3.7 Programa de Educação Ambiental	353
9.1.3.8 Programa de Saúde e Segurança.....	356
9.1.3.9 Programa de Comunicação Social.....	360
9.1.3.10 Programa de Arqueologia Preventiva.....	364
9.1.3.11 Programa de Educação Patrimonial.....	373
9.3.1.12 Outras Ações Corporativas.....	379
9.1.4 Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD	379
9.1.4.1 Introdução.....	379
9.1.4.2 Justificativa.....	379
9.1.4.3 Aspectos Conceituais da Recuperação e Revegetação.....	383
9.1.4.4 Objetivos	385
9.1.4.5 Caracterização das estruturas do Projeto.....	385
9.1.4.6 Plano de Trabalho.....	388
9.1.4.7 Monitoramento e manutenção das áreas recuperadas – Etapa de Implantação, Operação, Fechamento e Pós-Fechamento.....	417
9.1.4.8 Uso Futuro	424
9.1.4.9 Responsabilidade da Execução.....	424
9.1.4.10 Instituições Envolvidas.....	424
9.1.4.11 Fase de Execução/Cronograma	427
9.1.4.12 Desempenho Esperado	427
9.1.4.13 Abrangência.....	427
9.1.4.14 Responsabilidade pela Execução do Programa	427
9.1.5 Plano de Fechamento	431
9.1.5.1 Introdução.....	431
9.1.5.2 Objetivo	432
9.1.5.3 Metodologia.....	432
9.1.5.4 Uso Futuro	433
9.1.5.5 Plano Conceitual de Fechamento	433
10. ESTUDO DE ANÁLISE DE RISCO	441
10.1 Análise Histórica de Acidentes	441
10.2 Identificação dos Perigos.....	446
10.2.1 Descrição das Instalações	446
10.2.2 Descrição dos Produtos (Insumos)	447
10.2.3 Identificação e Avaliação Qualitativa dos Eventos Perigosos.....	447
10.3 Estimativa das Frequências	463
10.3.1 Árvore de Eventos	463
10.3.2 Cálculos das Frequências	464
10.4 Cálculos das Conseqüências e Vulnerabilidade	465
10.4.1 Caracterização dos Cenários Acidentais	466
10.4.2 Resultados	467
10.5 Estimativa e Avaliação dos Riscos Ambientais	469
10.6 Medidas para Redução e Reavaliação dos Riscos.....	469
10.7 Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR)	476

10.7.1	Informações de Segurança de Processo.....	477
10.7.2	Revisão dos Riscos de Processo.....	477
10.7.3	Gerenciamento de Modificações.....	477
10.7.4	Manutenção e garantia da integridade de Sistemas Críticos.....	478
10.7.5	Procedimentos Operacionais.....	478
10.7.6	Procedimentos para Realização de Serviços Não Rotineiros.....	478
10.7.7	Capacitação de Recursos Humanos.....	478
10.7.8	Investigação de Incidentes.....	479
10.7.9	Auditorias.....	479
10.8	Plano de Ação de Emergência (PAE).....	480
10.8.1	Objetivo.....	480
10.8.2	Cenários Acidentais.....	480
10.8.3	Organização de Emergência.....	480
10.8.4	Comunicação de Emergência e Acionamento do PAE.....	485
10.8.5	Procedimentos Emergenciais.....	487
10.8.6	Treinamentos e Exercícios.....	498
11.	CONCLUSÃO.....	499
12.	GLOSSÁRIO.....	505
12.1	Meio Físico.....	505
12.2	Meio Biótico.....	514
12.3	Meio Socioeconômico.....	525
13.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	529
13.1	Meio Físico.....	529
13.2	Meio Biótico.....	542
13.3	Meio Socioeconômico.....	581
13.4	Análise de Risco.....	589

VOLUMES DE ANEXOS**VOLUME I-B**

ANEXO I – TERMO DE REFERÊNCIA PARA ELABORAÇÃO DE ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) E RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL (RIMA) DO PROJETO FERRO – MINA/USINA S11D (JULHO/2009)

OFÍCIO DE FORMALIZAÇÃO DAS ALTERAÇÕES DO REFERIDO DOCUMENTO, DEFINIDAS NAS REUNIÕES REALIZADAS NO IBAMA JUNTO COM AS EQUIPES DA GOLDBERG E VALE, NO PERÍODO DE 18 A 19 DE AGOSTO DE 2009

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ABORDAGEM DOS TEMAS HIDROGEOLOGIA E ANÁLISE DE RISCO PERTINENTE AO PROJETO FERRO CARAJÁS S11D, EM CONFORMIDADE COM O QUE FOI ACORDADO NA REUNIÃO TÉCNICA REALIZADA NOS DIAS 18 E 19 DO MÊS DE AGOSTO DE 2009

ANEXO II - MAPAS DAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA

- Anexo II – A – Figura 1.2.1.1 - ADA dos Meios Físico e Biótico e do Meio Socioeconômico e Cultural
- Anexo II – B – Figura 1.2.2.1 - AID dos Meios Físico e Biótico
- Anexo II – C – Figura 1.2.2.3 - Pontos de Medições Acústicas (ruídos) e Velocidade de Partículas (vibrações)
- Anexo II – D – Figura 1.2.2.4 - AID do Meio Socioeconômico e Cultural
- Anexo II – E – figura 1.2.2.5 - Propriedades da ADA do Meio Socioeconômico E Cultural e do Entorno Imediato
- Anexo II – F – Figura 1.2.3.1 – Área de Influência Indireta (AII) dos Meios Físico e Biótico
- Anexo II – G – Figura 1.2.3.2 - Área de Influência Indireta (AII) do Meio Socioeconômico e Cultural

VOLUME I-C**ANEXO III - METODOLOGIA DO DIAGNÓSTICO AMBIENTAL**

- Anexo III-A - 1.3.2.1 - Mapa de Amostragem - Pontos de Levantamento por Fitofisionomia e Áreas Amostradas (ADA, Adjacente e Controle)
- Figura 1.3.2.2 - Pontos de Amostragem – Flora
- Figura 1.3.2.5 - Pontos de Amostragem – Avifauna
- Figura 1.3.2.6 - Pontos de Amostragem – Herpetofauna
- Figura 1.3.2.7 - Pontos de Amostragem – Mastofauna Não Voadora
- Figura 1.3.2.9 - Pontos de Amostragem – Mastofauna Voadora
- Figura 1.3.2.10 - Pontos de Amostragem da Entomofauna de Importância Sanitária
- Figura 1.3.2.12 - Pontos de Amostragem da Melitofauna – Abelhas Nativas
- Figura 1.3.2.14 - Pontos de Amostragem – Termitofauna
- Figura 1.3.2.15 – Pontos de Amostragem – Biota Aquática
- Figura 1.3.2.16 - Pontos de Amostragem - Ictiofauna

- Anexo III-B - Cópia das Autorizações de Captura, Coleta e Transporte de Fauna e Flora
Autorização IBAMA 050/2007 – Coleta e Transporte de Recursos Pesqueiros e Invertebrados Aquáticos – Ictiofauna Algas Perifíticas e Macro Invertebrados Bentônicos - EIA/RIMA do Ramal Serra Sul
Autorização IBAMA 054/2007 – Captura / Coleta / Transporte / Exposição – Levantamentos de Fauna Silvestre na Área da Serra Sul – Flona de Carajás
Autorização IBAMA 085/2007 – Captura / Coleta / Transporte / Exposição – Levantamentos da Mastofauna, Herpetofauna, Avifauna e Invertebrados na Área de Influência do Ramal Serra Sul
Autorização IBAMA 122/2008 – Captura / Coleta / Transporte / Exposição – Levantamentos da Avifauna Silvestre na Área de Influência da Flona de Carajás
Autorização ICMBio 064/2008 – Coleta de Material Botânico na Flona Carajás – Estudo Similaridade
Autorização ICMBio 064/2009 – Prorrogação da Autorização para Coleta de Material Botânico na Flona Carajás – Estudo Similaridade
Autorização IBAMA 229/2009 – Autorização para Transporte de Material Biológico – Pequenos Mamíferos
Autorização IBAMA 230/2009 – Autorização para Transporte de Material Biológico – Pequenos Mamíferos
Autorização ICMBio 004/2010 – Autorização para Captura / Coleta / Transporte de Material Biológico – Pequenos Mamíferos Não Voadores (substitui a autorização IBAMA 229/2009)
Autorização ICMBio 09/2010 – Levantamentos para o EIA S11D e Estudos de Similaridade de Savana da Flona de Carajás – Pesquisas Científicas com Coleta e Transporte de Material Biológico e Sedimentos de Rocha
- Anexo III-C - Cartas de Aceite
- Anexo III-D - Inventários Florestais
Inventário Florestal em 8.868 Hectares da Floresta Ombrófila no Entorno de Serra Sul Da Floresta Nacional de Carajás (Instituto AMBIENTAL Vale, Fevereiro/2008)
Inventário Florestal em 1037 Hectares de Floresta Degradada Localizada ao Sul da Floresta Nacional De Carajás (Nstituto Ambiental Vale do Rio Doce, Dezembro/2007)
- Anexo III-E - Avifauna - Tabela 1.3.2.9 - Pontos do Levantamento por Fitofisionomia e Áreas Amostradas (ADA, Adjacente e Controle)
- Anexo III-F - Quiropterofauna - Tabela 1.3.2.19 - Pontos de Amostragem por Fitofisionomia e Áreas Amostradas (ADA, Adjacente e Controle)
- Anexo III-G - Quiropterofauna - Lista dos Indivíduos Anilhados Registrados por Ponto de Coleta, Tipo de Registro, Dia de Coleta e Fitofisionomia
- Anexo III-H - Planos de Trabalho
Plano de trabalho da qualidade do ar
Plano de trabalho da espeleologia
Plano de trabalho da hidrogeologia
Plano de trabalho da flora

VOLUME I-D

ANEXO IV - ANOTAÇÕES DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA – ARTs

ANEXO V - DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

- Anexo V-A - Desenho FG-079-515-5020-0011-00-J – Plano Diretor
- Anexo V B - Figura 5.4.1.5 - Localização das Cavidades
- Anexo V C - Fichas de informações dos Insumos

VOLUME II-B

ANEXO VI - CARTA TOPOGRÁFICA EM ESCALA 1:10.000

VOLUME II-C

ANEXO VII- FIGURA 6.1.11.3 - CÁLCULO DO NDVI - ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

ANEXO VIII - ANÁLISE DA SAZONALIDADE DA DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO

ANEXO IX - GEOLOGIA

- Anexo IX -A - Figura 6.1.5.2 - Geologia da AII
- Anexo IX -B - Figura 6.1.5.5 - Geologia da ADA e AID
- Anexo IX-C - Figura 6.1.5.19 – Seções Geológicas do Bloco D

ANEXO X - GEOMORFOLOGIA

- Anexo X-A - Figura 6.1.6.1 - Geomorfologia da AII - Compartimentos Geomorfológicos
- Anexo X-B - Figura 6.1.6.2 - Geomorfologia da AII - Níveis de Dissecação
- Anexo X-C - Figura 6.1.6.3 - Geomorfologia da AII - Mapa de Declividades
- Anexo X-D - Figura 6.1.6.4 - Geomorfologia da AII - Modelo Digital do Terreno em Perspectiva
- Anexo X-E - Figura 6.1.6.6 - Nova Compartimentação da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas
- Anexo X-F - Figura 6.1.6.8 - Uso do Solo e Cobertura Vegetal da AII - Bacia do Rio Itacaiúnas
- Anexo X-G - Figura 6.1.6.9 - Geomorfologia da AID e ADA - Altimetria
- Anexo X-H - Figura 6.1.6.10 - Geomorfologia da AID e ADA - Unidades Geomorfológicas
- Anexo X-I - FIGURA 6.1.6.11 - Geomorfologia da AID e ADA – Declividades

VOLUME II-D

ANEXO XI - PEDOLOGIA

- Anexo XI-A - Figura 6.1.7.1 - Pedologia da AII - Distribuição Espacial da Classe de Solos
- Anexo XI-B - Figura 6.1.7.2 - Pedologia da AID e ADA - Pontos de Amostragem dos Perfis de Solo e Unidades Pedológicas Mapeadas

Anexo XI-C - Figura 6.1.7.7 - Pedologia da AID e ADA - Classes de Susceptibilidade e Unidades Geotécnica Mapeadas na AID

ANEXO XII- RECURSOS HÍDRICOS - HIDROLOGIA

Anexo XII-A - Figura 6.1.8.2 - Hidrologia da AII

Anexo XII-B - Figura 6.1.8.18 - Hidrologia da AID e ADA

ANEXO XIII - RECURSOS HÍDRICOS - QUALIDADE DAS ÁGUAS

Anexo XIII-A - AII - Tabelas dos Resultados Analíticos Comparados aos Limites Legais

Anexo XIII-B - AID e ADA – Fichas de Campo das Amostragens das Águas Superficiais

Anexo XIII-C - AID e ADA – Laudos dos Resultados das Análises das Amostras de Água (TASQA, 2007 e 2008)

VOLUME II-E

Anexo XIII-D - AID e ADA – Tabelas dos Resultados Analíticos Comparados aos Limites Legais

Anexo XIII-E - Mapas dos Pontos de Amostragem da Qualidade das Águas

Figura 6.1.8.25 - Pontos de monitoramento da qualidade das águas superficiais existentes na AII

Figura 6.1.8.53 – (1:45.000) - Pontos de amostragem das águas superficiais da AID e ADA

Figura 6.1.8.53 – A e B (1:30.000) - Pontos de amostragem das águas superficiais da AID e ADA

Anexo XIII-F - Figura 6.1.8.111 - Mapa com a Localização das Nascentes Cadastradas E dos Pontos de Amostragem de Água para Caracterização Hidroquímica (AID e ADA)

Anexo XIII-G - Mapas do Estudo de Autodepuração

Figura 6.1.8.118 - Cenário atual

FIGURA 6.1.8.121 - Cenário implantação

FIGURA 6.1.8.124 – Cenário operação

FIGURA 6.1.8.127 – Cenário fechamento

Anexo XIII-H - Figura 6.1.8.192 - Mapeamento das Drenagens Temporárias da AID e ADA e dos Pontos de Assoreamento Levantados em Campo

VOLUME II-F

ANEXO XIV - USO DAS ÁGUAS

Anexo XIV-A - Questionário Aplicados Durante as Entrevistas de Uso das Águas

Anexo XIV-B - Figura 6.1.8.193 - Mapa Hidrográfico Contendo a Localização das Propriedades Identificadas e Entrevistadas na ADA

ANEXO XV - HIDROGEOLOGIA

Anexo XV-A - Figura 6.1.8.195 - Área de Ocorrência dos Aquíferos a Serem Caracterizados no Âmbito do Projeto Ferro Carajás S11D

Anexo XV-B - Figura 6.1.8.196 - Mapa de Sistemas Hidrogeológicos da AII

Anexo XV-C - Figura 6.1.8.197 - Mapa de Sistemas Hidrogeológicos da AID e ADA

Anexo XV-D - Figura 6.1.8.204 - Determinação, em Carta Hidrogeológica, das Áreas de Recarga, Circulação e Descarga dos Aquíferos Existentes

Anexo XV-E - Figura 6.1.8.208 - Pontos de Medição de Descargas em Nascentes e Drenagens Associadas ao Corpo S11 Bloco D de Serra Sul

Anexo XV-F - Figura 6.1.8.209 – Distribuição das Unidades Hidrogeológicas no Domínio de Interesse do Domínio Hidrogeológico Conceitual do Bloco D

ANEXO XVI - ESPELEOLOGIA

Figura 6.1.9.2 - Mapa de Localização das Cavidades

ANEXO XVII - ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE - APP

Figura 6.1.10.1 - Áreas de Preservação Permanente - APP de Nascentes, Cursos de Água e Lagoas

Figura 6.1.10.2 - Áreas de Preservação Permanente - APP de Topo de Montanha

Figura 6.1.10.3 - Áreas de Preservação Permanente – APP de Encostas ou Parte de Encosta com Declividade Superior a 100%

Figura 6.1.10.4 - Áreas de Preservação Permanente – APP a serem Interferidas pelas Estruturas do Projeto

VOLUME III-B

ANEXO XVIII - FLORA

Anexo XVIII-A - Tabela 6.2.1.6 - Lista de Espécies da Flora de Ocorrência na Área de Influência Indireta do Projeto Ferro Carajás S11D

Anexo XVIII-B - Figura 6.2.1.13 - Uso do Solo e Cobertura Vegetal - Figuras 6.2.1.14 - Uso do Solo e Cobertura Vegetal/Imagens

Anexo XVIII-C - Figura 6.2.1.15 – Carta Imagem

Anexo XVIII-D - Tabela 6.2.1.14 - Lista de Espécies da Flora de Ocorrência na AID do Projeto Ferro Carajás S11D

Anexo XVIII-E - Tabela 6.2.1.16 - Espécies da Flora Amostradas na Florística Anotada Realizada na ADA e AID do Projeto Ferro Carajás S11D no Mês de Outubro de 2009

Anexo XVIII-F - Tabela 6.2.1.21 - Lista de Espécies Arbóreas Ocorrentes na AID/ADA do Projeto Ferro Carajás S11D

ANEXO XIX - FAUNA

Anexo XIX-A - Tabela das Aves Registradas na Região de Carajás (PA)

Anexo XIX-B - Tabela das Aves Identificadas na AID e ADA do Projeto Ferro Carajás S11D (PA) – Compilação do Número de Registros por Forma de Registro

Anexo XIX-C - Tabela das Aves Identificadas na AID e ADA do Projeto Ferro Carajás S11D (PA) – Compilação dos Registros por Data e Local de Coleta

Anexo XIX-D - Tabela das Aves Registradas nos Capões de Mata dos Blocos A, B, C, D do Corpo S11D

Anexo XIX-E - Tabela das Aves Registradas nas Matas de Transição dos Blocos A, B, C, D do Corpo S11D

Anexo XIX-F - Tabela das Aves Registradas nas Florestas das Baixadas dos Blocos A, B, C, D do Corpo S11D

Anexo XIX-G - Tabela das Aves Registradas nas Savanas-Estépicas dos Blocos A, B, C, D do Corpo S11D

Anexo XIX-H - Tabela das Espécies de Anfíbios Registradas por Área de Influência (AII, AID e ADA), Respectivos Ambientes de Ocorrência e Região Geográfica Principal Onde São Encontradas

Anexo XIX-I - Tabela das Espécies de Lagartos Registradas por Área de Influência (AII, AID e ADA), Respectivos Ambientes de Ocorrência e Região Geográfica Principal Onde São Encontradas

Anexo XIX-J - Tabela das Espécies de Serpentes Registradas por Área de Influência (AII, AID e ADA), Respectivos Ambientes de Ocorrência e Região Geográfica Principal Onde São Encontradas

Anexo XIX-K - Tabela das Espécies de Jacarés e Quelônios Registradas por Área de Influência (AII, AID e ADA), Respectivos Ambientes de Ocorrência e Região Geográfica Principal Onde São Encontradas

Anexo XIX-L - Tabela dos Indivíduos da Quiropteroфаuna Registrados na ADA/AID, Constando o Número de Campo, Gênero, Espécie, Nome Comum, Data, Tipo de Registro, Localidade Específica, Fitofisionomia e Coordenada

Anexo XIX-M - Fichas Informativas das Plantas Floridas Registradas em S11 no Período de Coleta

Anexo XIX-N – Tabela 6.2.1.9.2 - Táxons Invertebrados Registrados NAS Cavidades do Bloco D

Anexo XIX-O - Mapeamento dos Ecossistemas Lóticos e Lênticos da Área de Influência do Empreendimento

ANEXO XX- DADOS BRUTOS DO MEIO BIÓTICO - MEIO DIGITAL

VOLUME IV - B

ANEXO XXI - MEIO SOCIOECONÔMICO E CULTURAL

Anexo XXI-A - Organizações Política e Social da AID

Anexo XXI-B - Patrimônio Natural - Mapa de Acesso à Mozartinópolis (AMPLO, 2008)

Anexo XXI-C - Trilha Mozartinópolis, Peladão (Corpo S11D) e Localização dos Atrativos (AMPLO, 2008)

VOLUME V - B

ANEXO XXII - FIGURA 7.2.5 – MAPA DOS GEOAMBIENTES DO CORPO S11

ANEXO XXIII - PROGNÓSTICO E AVALIAÇÃO DE IMPACTOS

Anexo XXIII-A - Qualidade do Ar

Anexo XXIII-B - Estoques Médios de Carbono

Anexo XXIII-C - Modelagem Hidrogeológica Conceitual e Matemática

ANEXO XXIV - ANÁLISE RISCO

Anexo XXIV-A - FG-079-515-50-0027-01-J - Áreas Relacionadas aos Cenários Acidentais de Severidade Séria ou Crítica

Anexo XXIV-B - Relatórios da Modelagem Matemática do Cálculo do Alcance dos Efeitos Físicos com o Emprego do Programa PHAST

Anexo XXIV-C - FG-079-515-5020-0040-00-J - Alcance dos Efeitos Físicos Relativos aos Cenários Acidentais Modelados (alcance dos níveis de radiação térmica – incêndio em poça, alcance do limite inferior de inflamabilidade – incêndio em nuvem, alcance dos níveis de sobrepressão – explosão não confinada)

CHECK LIST DO TERMO DE REFERÊNCIA DO IBAMA
VOLUME II-A

Termo de Referência para a elaboração do EIA e RIMA do Projeto Ferro Carajás – S11D	Item correspondente no EIA	Localização no EIA - Volume II-A
6. Diagnóstico Ambiental	Capítulo 6. Diagnóstico Ambiental	Página 1
a. Elaboração do diagnóstico ambiental dos meios físico, biótico e socioeconômico da área de influência do projeto, contemplando suas inter-relações. O diagnóstico deverá seguir metodologia compatível e consagrada cientificamente, a partir do levantamento, organização, consolidação e análise dos dados preexistentes, bem como através de procedimentos que propiciem o levantamento, consolidação e análise de dados primários.	6. Diagnóstico Ambiental	Página 1
b. Deverá ser apresentada a descrição da metodologia de coleta, preservação e análise dos dados primários a serem coletados (quando aplicável). Dados geográficos devem ser apresentados em mapas e cartas em escala adequada à finalidade específica.	6. Diagnóstico Ambiental	Página 1
c. O diagnóstico ambiental deverá caracterizar a situação ambiental atual das áreas de influência direta e indireta do empreendimento sob os aspectos físico, biótico e socioeconômico de forma a permitir o entendimento da dinâmica e das interações existentes nas áreas antes da implantação da Mina e Usina do Corpo S11D . O Diagnóstico Ambiental servirá como referência para a avaliação dos impactos advindos das fases de implantação, operação e fechamento.	6. Diagnóstico Ambiental	Página 1
d. Realização da análise de paisagem, através da inserção do empreendimento na região.	6. Diagnóstico Ambiental	Página 1
e. Os resultados dos levantamentos e dos estudos deverão ser apresentados com o apoio de mapas, gráficos, tabelas, fotografias e demais recursos necessários que auxiliem o entendimento das informações.	6. Diagnóstico Ambiental	Página 1
f. Para possibilitar uma visão sistêmica da área de interesse, os diagnósticos dos diversos meios deverão ser apresentados primeiramente em separado e, em seguida, de forma multi e interdisciplinar em uma Análise Integrada.	6. Diagnóstico Ambiental	Página 1

Termo de Referência para a elaboração do EIA e RIMA do Projeto Ferro Carajás – S11D	Item correspondente no EIA	Localização no EIA – Volume II-A
6.1 Meio Físico	6.1 Meio Físico	Página 2
a. A caracterização do ambiente físico será realizada em uma base geral de informação geográfica constituída por um mosaico ortorretificado, carta topográfica e mapa de caracterização dos corpos de água. Todas as informações que possam ser associadas geograficamente utilizarão esta base como referência em toda a área da floresta nacional;	a) Base Cartográfica	Página 2
b. O mosaico será constituído de imagens digitais atualizadas com resolução igual ou inferior a 4x4 metros, em composição colorida natural com as faixas especiais do visível. As imagens digitais podem ser obtidas por sensores orbitais de alta resolução ou por aerolevantamento, mas em ambos os casos devem ser recentes e ortorretificadas. O produto gerado deverá ser acompanhado dos devidos erros e imprecisões geradas no processo, bem como de todo o material bruto em formato digital (para posterior validação dos dados pelo IBAMA e ICMBio);	b) Imagem de Satélite	Página 2
c. Carta topográfica em escala 1:10.000 incluindo os acidentes naturais e artificiais em que os elementos planimétricos (sistema viário, obras, vias de acesso, delimitação de todos os platôs, hidrografia linear e poligonal etc.) e altimétricos (relevo elaborado por meio de interpolação de curvas de nível e pontos cotados, comprimento de rampa etc.). O levantamento altimétrico, de toda a área de influência do empreendimento, deverá apresentar uma equidistância entre as curvas de nível de 5 em 5 metros;	c) Carta Topográfica – Cartografia Anexo VI	Página 3
d A caracterização da vegetação será efetuada a partir das imagens digitais nas faixas espectrais do visível e do infravermelho próximo, que constituirá um mosaico de imagens Índice de vegetação (ex. NDVI, EVI entre outros). Este mosaico devera identificar todas as fitofisionomias e retratar a densidade de vegetação de toda a Área de Influência do empreendimento e a caracterização dos Corpos de Água deverá ser produzida utilizando as informações das imagens digitais na faixa do visível com resolução igual ou inferior a 4 x 4 metros, evidenciando os sedimentos em suspensão. Este mosaico deverá retratar a qualidade dos corpos de água em toda a Área de Influência do empreendimento. Todo este material deverá ser repassado ao IBAMA e ICMBio em formato impresso e digital.	d) Caracterização da Cobertura Vegetal e dos Corpos de Água por Geoprocessamento	Página 3 Página 547

Termo de Referência para a elaboração do EIA e RIMA do Projeto Ferro Carajás – S11D	Item correspondente no EIA	Localização no EIA Volume II - A
<p>6.1.2 Clima e Meteorologia</p> <p>a. Descrição do padrão climático local e regional com classificação climática da região observados os parâmetros meteorológicos, tais como temperatura, evaporação, insolação, direção predominante e velocidade média dos ventos, regimes de chuvas, levando-se em consideração a sua sazonalidade;</p> <p>b. O estudo deverá ser baseado em séries históricas, obtidas em estações climatológicas presentes na área de influência do empreendimento e em bibliografia especializada.</p>	<p>6.1.2 Clima e Meteorologia</p> <p>a. Descrição do padrão climático local e regional</p> <p>b. Séries históricas</p>	<p>Página 4</p> <p>Página 4</p> <p>Página 28</p>
<p>6.1.3 Qualidade do ar</p> <p>a. Caracterização da qualidade do ar nas áreas de influência, apresentando as concentrações da referência (“background”) de poluentes atmosféricos.</p>	<p>6.1.3 Qualidade do Ar</p> <p>a) Caracterização da Qualidade do Ar</p> <p>6.1.3.1 Condições Meteorológicas Registradas Durante a Campanha de Monitoramento da Qualidade do Ar</p>	<p>Página 28</p> <p>Página 28</p> <p>Página 28</p>
<p>6.1.4 Ruído e Vibração</p> <p>a. Caracterização dos níveis de ruído de fundo na área de influência do empreendimento (“background”) e descrição dos métodos adotados para a sua determinação.</p> <p>b. Caracterização dos níveis de vibração na área de influência do empreendimento (“background”) e descrição dos métodos adotados para a sua determinação.</p>	<p>6.1.4 Ruído e Vibração</p> <p>a/b. Caracterização da Área de Inserção do Projeto Ferro Carajás S11D</p>	<p>Página 41</p> <p>Página 43</p>

Termo de Referência para a elaboração do EIA e RIMA do Projeto Ferro Carajás – S11D	Item correspondente no EIA	Localização no EIA Volume II - A
6.1.5 Geologia	6.1.5 Geologia	Página 56
a. Descrição da Geologia da área de influência direta do empreendimento, abordando a Geologia Estrutural, Petrologia, Estratigrafia.	a) Descrição da Geologia (Descrição da estratigrafia, petrologia, geologia estrutural da AII, AID e ADA) 6.1.5.1 Geologia da Área de Influência Indireta (AII) 6.1.5.1 Geologia da Área de Influência Direta (AID) e Diretamente Afetada (ADA)	Página 56 Página 56 Página 76
b. Elaboração de mapas e perfis geológicos da área de influência direta do empreendimento tendo por base a interpretação de imagens de satélite, fotografias aéreas e observações de campo em escala 1:25000 mínima.	b) Mapeamento Geológico	Página 87
c. Análise litoestrutural e geotécnica das áreas de cava, com escala compatível, enfatizando as zonas de falhas, fraturas e atitudes dos demais elementos estruturais	c). Análise litoestrutural e geotécnica das áreas de cava/Delimitação das formações superficiais	Página 122
d. Delimitação das formações superficiais, incluindo estimativas de espessura e caracterização macroscópica. A carta geológica deverá apontar possíveis áreas de instabilidade geológica, identificando áreas de risco para deslizamento e/ou desmoronamento, propensão à erosão, quedas de blocos etc.	d). Delimitação das Formações Superficiais e Processos Erosivos	Página 126

Termo de Referência para a elaboração do EIA e RIMA do Projeto Ferro Carajás – S11D	Item correspondente no EIA	Localização no EIA Volume II - A
<p>6.1.6 Geomorfologia</p> <p>Elaboração de mapas geomorfológicos da área de influência, em escala compatível, com base em mapas existentes, na interpretação de imagens de satélite, fotografias aéreas e observações de campo, levando em consideração a compartimentação da topografia geral, formas de relevo dominantes (cristas, platôs, planícies), a caracterização e classificação das formas de relevo quanto à sua gênese (formas cársticas, formas fluviais, formas de aplainamento etc.), características dinâmicas do relevo (presença ou propensão à erosão, assoreamento e inundações, instabilidade etc.), caracterização de declividade.</p>	<p>6.1.6 Geomorfologia</p> <p>6.1.6.1 Geomorfologia da Área de Influência Indireta (AII)</p> <p>6.1.6.2 Geomorfologia da Área de Influência Direta (AID) e Diretamente Afetada (ADA)</p>	<p>Página 130</p> <p>Página 130</p> <p>Página 149</p>
<p>6.1.7 Pedologia</p> <p>a. Descrição da pedologia local - formação e tipos de solo - com apresentação de mapa de classificação dos solos, segundo EMBRAPA, 2006, com escala adequada, baseada nas observações de campo e comparada com as cartas existentes e com ajuda das interpretações de imagens de satélite, radar, fotografias aéreas;</p>	<p>6.1.7 Pedologia</p> <p>a) Descrição da pedologia e tipos de solo</p> <p>6.1.7.1 Pedologia da Área de Influência Indireta (AII)</p> <p>6.1.7.2 Pedologia da Área de Influência Direta (AID) e Diretamente Afetada (ADA)</p>	<p>Página 154</p> <p>Página 154</p> <p>Página 154</p> <p>Página 159</p>
<p>b. Descrição e mapeamento das áreas mais propensas ao desenvolvimento de processos erosivos.</p>	<p>b) Descrição e mapeamento das áreas mais propensas ao desenvolvimento de processos erosivos</p>	<p>Página 201</p>

Termo de Referência para a elaboração do EIA e RIMA do Projeto Ferro Carajás – S11D	Item correspondente no EIA	Localização no EIA Volume II - A
6.1.8 Recursos Hídricos	6.1.8 Recursos Hídricos	Página 207
I. Hidrologia	6.1.8.1 Hidrologia da Área de Influência Indireta (AII)	Página 207
<ul style="list-style-type: none"> a. Descrição da fisiografia da(s) bacia(s) hidrográfica(s) local(is); b. Caracterização do sistema hidrográfico e regime hidrológico das áreas de influência, calculados através de séries históricas de dados, influência direta, incluindo a localização dos postos pluviométricos e fluviométricos; c. Caracterização da pluviosidade e a evapotranspiração da área de influência; d. Apresentação do balanço hídrico, bem como parâmetros hidrológicos da área de influência; e. Caracterização o regime hidrológico da bacia hidrográfica; f. Caracterização dos ecossistemas aquáticos. 	<ul style="list-style-type: none"> a) Descrição Fisiográfica das Bacias Hidrográficas da AII b) Caracterização do Sistema Hidrográfico e do Regime Hidrológico da AII c) Caracterização da Pluviosidade e Evapotranspiração da AII d) Balanço Hídrico e Parâmetros Hidrológicos da AII e) Caracterização do Regime Hidrológico da Bacia Hidrográfica f) Caracterização dos Ecossistemas Aquáticos da AII g) Características do Regime de Produção de Sedimentos da AII 	<ul style="list-style-type: none"> Página 207 Página 208 Página 220 Página 226 Página 229 Página 229 Página 230
	6.1.8.2 Hidrologia da Área de Influência Direta (AID) e Diretamente Afetada (ADA)	Página 233
	<ul style="list-style-type: none"> a) Descrição Fisiográfica das Bacias Hidrográficas da AID e ADA b) Caracterização do Sistema Hidrográfico e do Regime Hidrológico da AID e ADA c) Caracterização da Pluviosidade e Evapotranspiração da AID e ADA d) Balanço Hídrico e Parâmetros Hidrológicos da AID e ADA e) Caracterização do Regime Hidrológico da Bacia Hidrográfica f) Caracterização dos Ecossistemas Aquáticos da AID e ADA 	<ul style="list-style-type: none"> Página 233 Página 237 Página 247 Página 247 Página 248 Página 248

Termo de Referência para a elaboração do EIA e RIMA do Projeto Ferro Carajás – S11D	Item correspondente no EIA	Localização no EIA Volume II -A
II. Qualidade dos Corpos D'água	6.1.8.3 Qualidade dos Corpos de Água da AII	Página 249
a. Identificação e mapeamento dos corpos d'água presentes nas áreas de influência, classificando-os segundo parâmetros físicos, químicos e biológicos, nos termos da Resolução CONAMA 357/05, ouvido preferencialmente o comitê de bacia hidrográfica (caso instituído) e ou a Agência de Águas Estadual;	a) Identificação, classificação e mapeamento dos corpos de água presentes nas áreas de influência	Página 249
b. Caracterização dos corpos d'água quanto à classe e enquadramento;	b) Caracterização dos Corpos de Água quanto à Classe e Enquadramento	Página 249
c. Classificação hidroquímica das águas superficiais e subterrâneas;	c) Classificação Hidroquímica das Águas Superficiais e Subterrâneas	Página 271
d. Apresentar, conforme preconizado pela Resolução CONAMA 357/05, estudo de capacidade de suporte de carga do corpo de água receptor dos efluentes considerando, no mínimo, a diferença entre os padrões estabelecidos para a classe e as concentrações existentes no trecho desde a montante, estimando a concentração após a zona de mistura;	d) Estudo de capacidade de suporte de carga dos corpos de água da AII receptores dos efluentes do empreendimento	Página 271
e. Informar as substâncias, entre aquelas previstas na Resolução CONAMA 357/05 para padrões de qualidade de água, que poderão estar contidas no efluente lançado.	e).Substâncias, entre aquelas previstas na Resolução CONAMA 357/05 para padrões de qualidade de água, que poderão estar contidas no efluente lançado	Página 271
f. Informar também as substâncias presentes no efluente lançado, não contempladas na Resolução CONAMA 357/05, porém de conhecimento do empreendedor;	f). Substâncias presentes no efluente lançado, não contempladas na Resolução CONAMA 357/05, porém de conhecimento do empreendedor	Página 272
g. Situação da área diretamente afetada pelo empreendimento em relação aos corpos receptores, com identificação de eventuais pontos de lançamento de efluentes industriais e domésticos e águas residuárias após tratamento;	g). Situação da área diretamente afetada pelo empreendimento em relação aos corpos receptores	Página 272
h. Indicar as metodologias utilizadas e justificar os critérios de escolha dos pontos e datas de amostragem, que deverão estar de acordo com a norma ABNT 12649;	h). Metodologias utilizadas e critérios de escolha dos pontos e datas de amostragem	Página 272
i. Mapeamento das nascentes e vazão das mesmas situadas dentro da área de influência direta pelo empreendimento;	i) Mapeamento das nascentes e vazão das mesmas situadas dentro da área de influência direta pelo empreendimento	Página 272
j. Localização de fontes potenciais poluidoras, com indicações de suas possíveis cargas contaminantes e identificação de áreas críticas;	j) Localização de fontes potenciais poluidoras	Página 272
k. Mapa com a localização dos pontos de amostragem.	k). Mapa com a localização dos pontos de amostragem	Página 272
l. Identificação de pontos de assoreamento nas áreas de influência	l) Identificação de Pontos de Assoreamento nas Áreas de Influência	Página 272

Termo de Referência para a elaboração do EIA e RIMA do Projeto Ferro Carajás – S11D	Item correspondente no EIA	Localização no EIA Volume II -A
II. Qualidade dos Corpos D'água	6.1.8.4 Qualidade dos Corpos de Água da AID e ADA	Página 273
a. Identificação e mapeamento dos corpos d'água presentes nas áreas de influência, classificando-os segundo parâmetros físicos, químicos e biológicos, nos termos da Resolução CONAMA 357/05, ouvido preferencialmente o comitê de bacia hidrográfica (caso instituído) e ou a Agência de Águas Estadual;	a) Identificação, classificação e mapeamento dos corpos de água presentes nas áreas de influência	Página 273
b. Caracterização dos corpos d'água quanto à classe e enquadramento;	b) Caracterização dos Corpos de Água quanto à Classe e Enquadramento	Página 273
c. Classificação hidroquímica das águas superficiais e subterrâneas;	c) Classificação Hidroquímica das Águas Superficiais e Subterrâneas	Página 335
d. Apresentar, conforme preconizado pela Resolução CONAMA 357/05, estudo de capacidade de suporte de carga do corpo de água receptor dos efluentes considerando, no mínimo, a diferença entre os padrões estabelecidos para a classe e as concentrações existentes no trecho desde a montante, estimando a concentração após a zona de mistura;	d) Estudo de capacidade de suporte de carga dos corpos de água da AII receptores dos efluentes do empreendimento	Página 343
e. Informar as substâncias, entre aquelas previstas na Resolução CONAMA 357/05 para padrões de qualidade de água, que poderão estar contidas no efluente lançado.	e).Substâncias, entre aquelas previstas na Resolução CONAMA 357/05 para padrões de qualidade de água, que poderão estar contidas no efluente lançado	Página 385
f. Informar também as substâncias presentes no efluente lançado, não contempladas na Resolução CONAMA 357/05, porém de conhecimento do empreendedor;	f). Substâncias presentes no efluente lançado, não contempladas na Resolução CONAMA 357/05, porém de conhecimento do empreendedor	Página 386
g. Situação da área diretamente afetada pelo empreendimento em relação aos corpos receptores, com identificação de eventuais pontos de lançamento de efluentes industriais e domésticos e águas residuárias após tratamento;	g) Situação da área diretamente afetada pelo empreendimento em relação aos corpos receptores	Página 388
h. Indicar as metodologias utilizadas e justificar os critérios de escolha dos pontos e datas de amostragem, que deverão estar de acordo com a norma ABNT 12649;	h) Metodologias utilizadas e critérios de escolha dos pontos e datas de amostragem	Página 388
i. Mapeamento das nascentes e vazão das mesmas situadas dentro da área de influência direta pelo empreendimento;	i) Mapeamento das nascentes e vazão das mesmas situadas dentro da área de influência direta pelo empreendimento	Página 389
j. Localização de fontes potenciais poluidoras, com indicações de suas possíveis cargas contaminantes e identificação de áreas críticas;	j) Localização de fontes potenciais poluidoras, com indicações de suas possíveis cargas contaminantes e identificação de áreas críticas	Página 403
k. Mapa com a localização dos pontos de amostragem.	k) Mapa com a localização dos pontos de amostragem	Página 404
l. Identificação de pontos de assoreamento nas áreas de influência	l) Identificação de Pontos de Assoreamento nas Áreas de Influência	Página 405

Termo de Referência para a elaboração do EIA e RIMA do Projeto Ferro Carajás – S11D	Item correspondente no EIA	Localização no EIA Volume II -A
III. Usos das águas superficiais e/ou subterrâneas a. Caracterização dos principais usos na área de influência direta do projeto, suas demandas atuais e futuras em termos quantitativos e qualitativos, bem como a análise das disponibilidades frente às utilizações atuais e projetadas	III. Usos das Águas a) Caracterização dos principais usos na área de influência direta e na área diretamente afetada do projeto	Página 409 Página 411
IV. Hidrogeologia a. Área de ocorrência, tipo, geometria, litologia, estruturas geológicas, propriedades físicas e hidrodinâmicas e outros aspectos do(s) aquífero(s) presente(s), estabelecendo a relação das águas subterrâneas com as superficiais; b. Caracterização da piezometria dos aquíferos e sua rede de monitoramento na área de influencia direta do empreendimento;	IV. Hidrogeologia a) Área de ocorrência, tipo, geometria, litologia, estruturas geológicas, propriedades físicas e hidrodinâmicas e outros aspectos do(s) aquífero(s) presente(s), estabelecendo a relação das águas subterrâneas com as superficiais b) Caracterização da Piezometria dos Aquíferos e sua Rede de Monitoramento na Área de Influência Direta do Empreendimento	Página 420 Página 420 Página 439
c. Levantamento de poços de bombeamento registrados, caracterizando-os quanto à localização, profundidade, características construtivas, data de instalação de bombas, controle de produção, controle de nível dinâmico e qualidade da água, observadas as diretrizes constantes da Resolução CONAMA nº 396, de 2008, ouvido preferencialmente órgão competente;	c) Poços de bombeamento	Página 455
d. Determinação de permeabilidade média das camadas saturadas;	d) Determinação de permeabilidade média das camadas saturadas	Página 455
e. Determinação, em cartas hidrogeológicas, das áreas de recarga, circulação e descarga dos aquíferos existentes;	e) Determinação, em cartas hidrogeológicas, das áreas de recarga, circulação e descarga dos aquíferos existentes	Página 456
f. Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos subterrâneos nas áreas de influência direta (AID) e indireta (AII) do empreendimento;	f) Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos subterrâneos nas Áreas de Influência Direta (AID) e indireta (AII) do empreendimento	Página 459
g. Levantamento de dados hidrodinâmicos dos aquíferos, possivelmente com base em dados primários dos aquíferos locais, com realização de teste de aquífero.	g) Levantamento de dados hidrodinâmicos dos aquíferos	Página 469

Termo de Referência para a elaboração do EIA e RIMA do Projeto Ferro Carajás – S11D	Item correspondente no EIA	Localização no EIA Volume II-A
h. Apresentação de mapa potenciométrico dos aquíferos, com indicação do fluxo subterrâneo;	h) Apresentação de mapa potenciométrico dos aquíferos, com indicação do fluxo subterrâneo	Página 469
i. Análise da disponibilidade e demanda dos recursos hídricos subterrâneos;	i) Análise da disponibilidade e demanda dos recursos hídricos subterrâneos	Página 469
j. Cálculo das reservas permanentes, reguladoras, exploráveis e totais;	j). Cálculo das reservas permanentes, reguladoras, exploráveis e totais	Página 473
k. Modelagem conceitual e matemática (com base em dados primários) dos recursos hídricos para análise da interconexão de aquíferos e cursos d'água;	k) Modelagem conceitual e matemática (com base em dados primários) dos recursos hídricos para análise da interconexão de aquíferos e cursos d'água	Página 480
l. Proposta de uso pela empresa dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos que podem ser afetados pelo empreendimento, em qualquer etapa, onde serão concebidos cenários de exploração, de forma que sejam indicadas as vazões, regime de exploração e os níveis otimizados em relação aos poços tubulares, conforme as potencialidades conhecidas nos estudos, a fim de garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos locais.	l) Proposta de uso pela empresa dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos	Página 502

Termo de Referência para a elaboração do EIA e RIMA do Projeto Ferro Carajás – S11D	Item correspondente no EIA	Localização no EIA Volume II-A
<p>6.1.9 Patrimônio Espeleológico</p> <p>Como já foi detectada a ocorrência de diversos sítios espeleológicos na área de estudo do projeto, deverão ser efetuadas campanhas de campo na AID. O tema do patrimônio espeleológico observará ainda as diretrizes e o Termo de Referência desenvolvidos pelo Centro Nacional de Estudos, Proteção e Manejo de Cavernas – CECAV (Instituto Chico Mendes). Para tanto deverá ser observado o Termo de Referência encaminhado a Vale por meio do Ofício N° 26/2006 – COLIC/CGLIC/DILIQ/IBAMA de 23 de fevereiro de 2006. Porém a área de estudo deverá se restringir à área de influência do corpo S11D. O TR deverá ser integralmente atendido em todos os seus itens e os dados já levantados anteriormente do item 1 até o item 4.6 (incluso) poderão ser utilizados neste diagnóstico.</p> <p>Poderão ser exigidos novos estudos espeleológicos para subsidiar a classificação do grau de relevância das cavidades naturais. Tais estudos devem estar conforme dispor a metodologia a ser publicada pelo Ministro de Estado do Meio Ambiente, em obediência ao estabelecido no Decreto N° 6640/2008, de 07 de novembro de 2008.</p>	<p>6.1.9 Patrimônio Espeleológico</p> <p>6.1.9.1 Espeleologia da Área de Influência Indireta (AII)</p>	<p>Página 523</p> <p>Página 523</p>
	<p>6.1.9.2 Espeleologia da Área de Influência Direta (AID) e Diretamente Afetada (ADA)</p>	<p>Página 525</p>
<p>6.1.10 Áreas Protegidas - Áreas de Preservação Permanente – APP</p> <p>Avaliação das alterações das funções ambientais decorrentes da intervenção ou supressão de vegetação em Áreas de Preservação Permanente (APP), considerando o diagnóstico dessas áreas, prognóstico e avaliação de impactos ambientais decorrentes da sua utilização pelo projeto.</p> <p>Essa avaliação constará da identificação e mapeamento das diferentes tipologias de APP, em mapa temático em escala compatível, sua distribuição espacial, suas características ambientais e sua relação com as estruturas associadas ao empreendimento proposto. Deverão ser otimizadas a interferência e supressão em APP visando a menor utilização destas áreas pelo empreendimento.</p>	<p>6.1.10 Áreas Protegidas – Áreas de Preservação Permanente</p>	<p>Página 545</p>
	<p>6.1.10.1 Áreas de Preservação Permanente - APP de Nascentes, de Cursos de Água e de Lagoas</p>	<p>Página 545</p>
	<p>6.1.10.2 Área de Preservação Permanente - APP de Topos de Montanha e de Encostas ou Parte de Encostas com declividade superior a 100%</p>	<p>Página 545</p>
<p>6.1.10.3 Conclusão</p>	<p>Página 546</p>	

6. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

a) Diagnóstico Ambiental

A elaboração do diagnóstico ambiental teve como finalidade a caracterização do cenário físico, biótico e socioeconômico mediante seus fatores ambientais constituintes, e sobretudo, as relações e os ciclos que conformam, de modo a evidenciar o comportamento e as funcionalidades dos ecossistemas que realizam. O diagnóstico buscou, sobre esta ótica, identificar e caracterizar as potencialidades e vulnerabilidades da área de influência do empreendimento.

b) Metodologia

Para composição do diagnóstico foi realizada a compilação e análise de dados secundários, bem como o levantamento de dados primários nas áreas de influência do empreendimento. A metodologia utilizada para elaboração deste EIA, incluindo as técnicas de coleta, preservação e análise de dados primários, encontra-se descrita detalhadamente no capítulo 1 - Metodologia apresentado no **Volume I-A** deste documento.

c) Análise Ambiental Integrada

Para possibilitar uma visão sistêmica os diagnósticos encontram-se apresentados primeiramente em separado, e em seguida, de forma multi e interdisciplinar em uma análise Integrada. A análise integrada da área de influencia do Projeto Ferro Carajás S11D será apresentada a seguir, no **capítulo 7, no Volume V-A** deste documento.

d) Análise de Paisagem

Para o desenvolvimento da Análise Integrada, realizou-se ainda uma análise de paisagem que pudesse demonstrar a realidade ambiental dos três domínios espaciais distintos que encontrar-se-ão interferidos pelo Projeto Ferro Carajás S11D.

e) Apresentação do Diagnóstico

As informações e dados levantados no Diagnóstico Ambiental, encontram-se apresentados, também, em mapas, gráficos, tabelas e fotografias ao longo do texto no intuito de auxiliar a o entendimento dos mesmos.

f) Avaliação de Impactos

Este diagnóstico serviu como referência para a avaliação dos impactos advindos das fases de implantação, operação a fechamento do empreendimento, apresentada no **capítulo 8.7 - Identificação e Avaliação dos Impactos Ambientais**.

6.1 Meio Físico

6.1.1 Introdução

Apresenta-se, na seqüência, o diagnóstico ambiental relacionado ao meio físico do Projeto Ferro Carajás S11D.

Os resultados dos levantamentos apresentados para o meio físico possuem, na maioria das vezes, uma abordagem que considera a ADA e a AID com o mesmo detalhe de informações. Para alguns temas, a abordagem para a ADA foi apresentada especificamente.

A apresentação no mesmo nível de detalhe para as duas áreas de influência se deve à disponibilidade de uma base cartográfica, incluindo imagens de satélite e restituições topográficas adequadas para desenvolvimento de uma análise equivalente para os dois domínios especificados.

Conforme salientado anteriormente, temas como o clima e a qualidade do ar envolvem uma análise focada numa AID e ADA diferenciada, dada às especificidades do tema, enquanto que padrões de ruídos e vibrações possuem condições de dispersão menos abrangente. Neste sentido, o segundo tema tem seu foco muito mais orientado para a ADA e seu entorno imediato, conforme se observa na distribuição espacial dos pontos de medições especificados no capítulo que trata do mesmo (**item 6.1.3**).

Para a temática relacionada aos recursos hídricos, envolvendo águas superficiais e subterrâneas, bem como para os temas geologia, geomorfologia e solos, abordagens específicas para a ADA foram adotadas quando pertinentes.

a) Base Cartográfica

As informações geográficas da área de influência do Projeto Ferro Carajás S11D foram digitalizadas e organizadas em uma base de dados. Essas informações foram tratadas e processadas mediante utilização de ferramentas de geoprocessamento para as análises ambientais, bem como para produção cartográfica do EIA/RIMA.

b) Imagens de Satélite

As imagens utilizadas no mapeamento do Projeto Ferro Carajás S11D são do satélite IKONOS, com data de aquisição pelo sensor de 10 de abril de 2007, resolução espacial de 1 metro, resolução radiométrica de 11 bits. O produto adquirido e utilizado durante os Estudos de Avaliação de Impacto Ambiental no âmbito do Projeto Ferro Carajás S11D é do pacote Carterra/IKONOS - Geo. As imagens passaram por um tratamento de correção radiométrica, ortorretificação, mosaicagem, equalização e reprojeção resultando, assim, em imagens com precisão compatível ao PEC classe A (precisão de 0,5mm).

c) Carta Topográfica - Cartografia

De acordo com os esclarecimentos do IBAMA nas reuniões dos dias 18 e 19 de agosto de 2009 (**Anexo I**), frente às dúvidas do TR expostas pela Vale, foi consenso de que a Vale poderá apresentar, em meio físico, o mapa topográfico na escala 1:10.000, os outros mapas temáticos em escala 1:30.000. Em meio digital, deverão ser apresentados em escala 1:10.000.

Assim os mapas temáticos da AID foram elaborados nessas escalas e são apresentados nos respectivos volumes de anexos do meio físico deste EIA. Ressalta-se que a elaboração dos mapas nas escalas supracitadas levou em consideração, também, a orientação técnica do Termo de Referência do IBAMA (**item 6.b**) os “dados geográficos devem ser apresentados em mapas em escala adequada à finalidade específica”. Desta forma tais escalas não se aplicam aos mapas da AII, uma vez que a representação cartográfica da Bacia Hidrográfica do rio Itacaiúnas, que possui área de 41.464,602 km², demandaria o fracionamento dos mapas em 476 folhas no formato A0 para escala 1:10.000 e em 67 folhas no formato A0 para escala de 1:30.000.

A carta topográfica, em escala 1:10.000, com curvas de nível de 5 em 5 metros, conforme especificado no Termo de Referência do IBAMA, é apresentada no **Anexo VI**. As informações altimétricas da região foram utilizadas, também, para a composição de um conjunto expressivo de mapas, especialmente os modelos digitais de terreno que permitem análises específicas para determinados temas. Além destes, foram também elaborados mapas temáticos hipsométricos, geomorfológicos e hidrográficos que levam em conta as informações que podem ser obtidas a partir do mapa topográfico.

d) Caracterização da Cobertura Vegetal e dos Corpos de Água por Geoprocessamento

Para caracterização da vegetação foi calculado o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada, (NDVI) que é um índice de vegetação gerado pela combinação de bandas em sensoriamento remoto que podem estar relacionadas com a quantidade e o tipo de vegetação e uso do solo existente na área de estudo.

O NDVI da área de influência do Projeto Ferro Carajás S11D, representado na **Figura 6.1.11.3 (Anexo VII)** foi elaborado conforme os procedimentos descritos no Capítulo Metodologia, **item 1.3.1.j** apresentado no **Volume I-A** deste documento. A discussão dos resultados encontra-se descrita no **item 6.11**.

As imagens de satélite não foram utilizadas para caracterização dos corpos de água, uma vez que parte dos cursos de água da área de influência direta encontra-se encoberto pelo dossel da floresta. Cabe ressaltar que a análise de qualidade de água e de sólidos em suspensão por imagens digitais se aplica a grandes rios e reservatórios, desta forma essa técnica não foi aplicada nesse estudo. Não obstante a caracterização dos corpos de água encontra-se descrita no **capítulo 6.1.8 – Recursos Hídricos**.

6.1.2 Clima e Meteorologia

Os empreendimentos da Vale, localizados na Província Mineral de Carajás estão relacionados, na sua grande maioria, com a exploração mineral a céu aberto, o que os torna altamente relacionados ao clima e às condições meteorológicas de superfície das regiões onde cada projeto de pesquisa ou mineração se desenvolve, pois essas variáveis interferem diretamente na atividade produtiva, no dimensionamento dos projetos e nas programações de produção.

O clima e o tempo também são fatores determinantes para os aspectos e impactos ambientais de cada empreendimento, estando relacionados às mais diversas temáticas, tais como os recursos atmosféricos, os recursos hídricos, a fauna, a flora, a socioeconomia, dentre outros.

A caracterização do clima e meteorologia da região de estudo contém informações fundamentais para a descrição dos padrões de comportamento da atmosfera da região.

a) Descrição do padrão climático local e regional

Sistemas de Circulação Atmosférica

O clima e as condições meteorológicas da AID e ADA são fortemente condicionados pela localização geográfica (latitude) e pelo relevo, que, em ação conjunta com os grandes sistemas atmosféricos (massas de ar), controlam a distribuição pluviométrica, evaporação, temperatura, umidade do ar e regime de ventos da AID e ADA.

Segundo Nimer (1989), a compreensão do clima da Região Norte do Brasil depende do conhecimento da influência dos fatores estáticos ou geográficos, como relevo, latitude, continentalidade e maritimidade, em conjunto com os sistemas regionais de circulação atmosférica.

Por meio do setor oriental da Região Norte, periodicamente, sopram ventos de leste (E) a nordeste (NE) do anticiclone subtropical semifixo do Atlântico Sul e do anticiclone subtropical semifixo dos Açores. Por possuírem uma subsidência superior e conseqüente inversão de temperatura, tais ventos são acompanhados de tempo estável.

No setor ocidental predomina a massa de ar equatorial continental (mEc), formada pela convenção termodinâmica dos ventos de NE do anticiclone dos Açores e da convergência intertropical (CIT).

Esta massa de ar, pela forte umidade específica e ausência de subsidência superior, está freqüentemente sujeita a instabilidades causadoras de chuvas abundantes. No interior desta massa de ar, as chuvas são provocadas por depressões dinâmicas denominadas linhas de instabilidade tropicais (IT).

Na Amazônia, estas correntes de perturbação atmosférica são comuns durante todo o ano ao sul do equador, porém bem mais constantes no verão. Sua origem parece estar ligada ao movimento ondulatório que se verifica na frente polar (FP) ao contato com o ar quente da zona tropical.

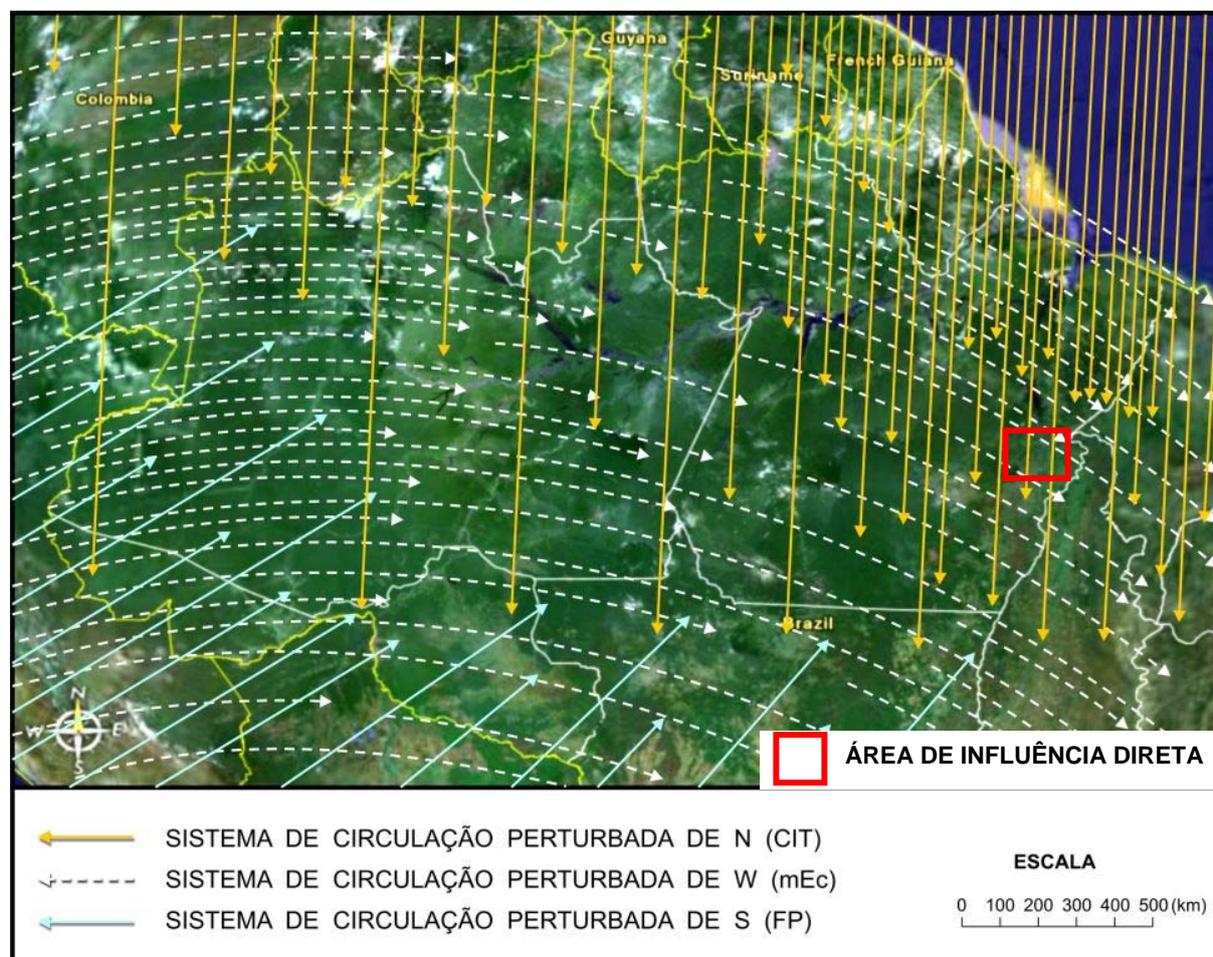
As chuvas tipicamente tropicais que se formam à medida que as frentes polares avançam para o equador, ocorrem em geral no fim da tarde ou início da noite. Já as chuvas provocadas pelas linhas de instabilidade tropicais, duram poucos minutos, raramente ultrapassando uma hora.

Vindas do norte, as invasões da CIT, zona de convergência dos ventos do anticiclone dos Açores e do anticiclone do Atlântico Sul, são responsáveis por chuvas fortes. Têm sua posição média sobre o hemisfério Norte, porém no inverno, outono e verão, especialmente no outono, descem com frequência para o hemisfério Sul. A grande intensidade de sua frequência é limitada ao Amapá e norte do Pará. As chuvas provocadas pela CIT são de notável concentração no tempo e no espaço, sendo, geralmente, mais intensas e pesadas do que as chuvas de IT.

Em resumo, os sistemas de circulação atmosférica predominantes na AID e ADA são:

- Sistema de ventos de NE a E dos anticiclones subtropicais do Atlântico Sul e dos Açores – tempo estável.
- Sistema de ventos de W da mEc ou linha de IT – tempo instável.
- Sistema de ventos de N da CIT – tempo instável.
- Sistema de ventos de S do anticiclone ou frente polar (FP) – tempo instável.

Os três últimos sistemas constituem correntes perturbadas, sendo, portanto, responsáveis por instabilidades e chuvas, conforme é ilustrado na **Figura 6.1.2.1**.



Fonte: Adaptado de Nimer, 1989

FIGURA 6.1.2.1 - Sistemas de circulação atmosférica perturbada na Região Norte.

Classificação Climática

Os dados utilizados para a caracterização climática que ora se apresenta foram obtidos junto ao Plano de Manejo da Floresta Nacional de Carajás, elaborado pela STCP em 2003 e ao documento Estudos Ambientais do Complexo Minerador de Carajás, elaborado por Golder Associates em 2003. Os dados expressam as informações produzidas por Nimer (1989), além da classificação climática de Köppen.

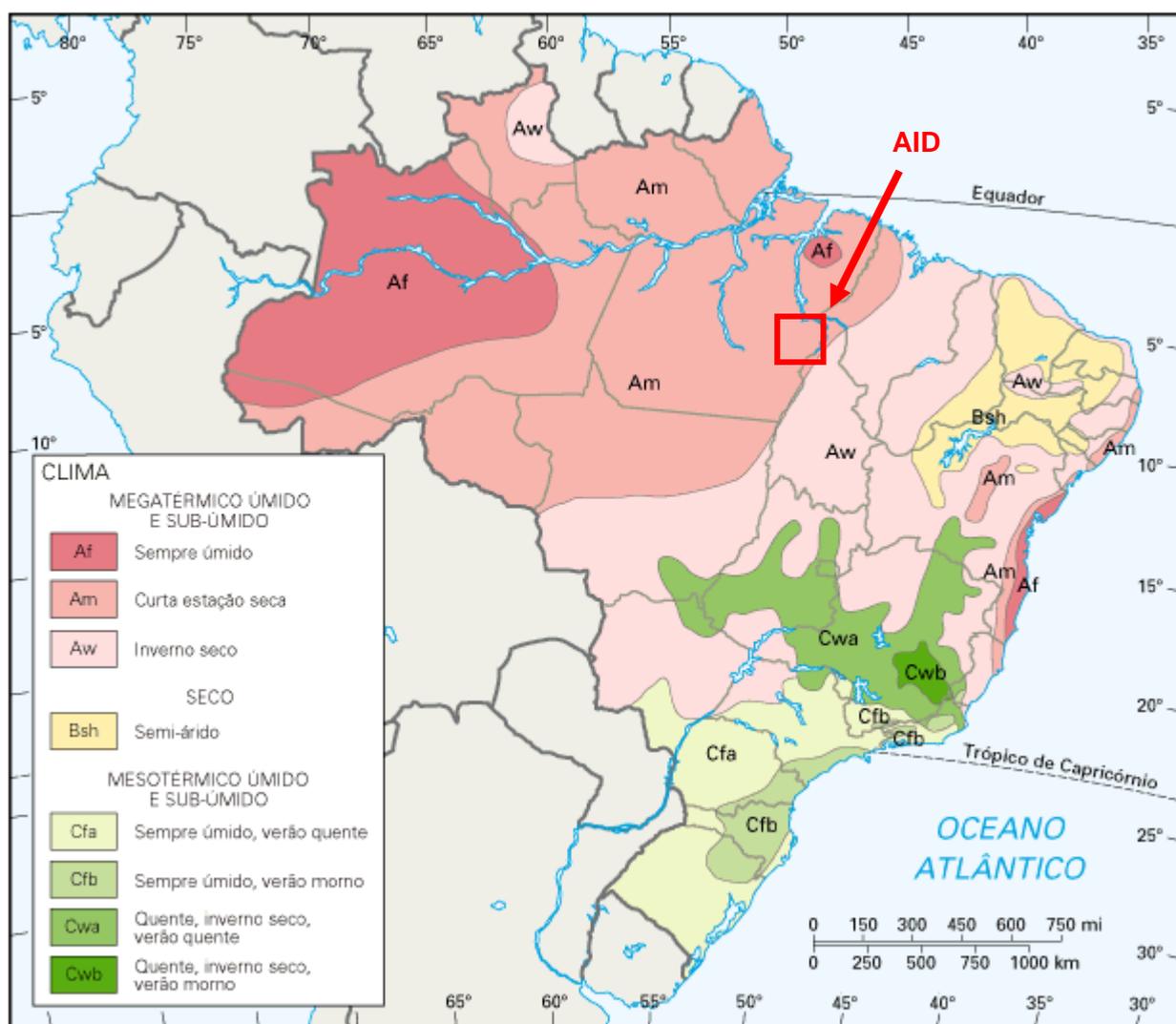
A classificação climática expressa as condições médias da atmosfera terrestre. Estas condições, apesar de experimentarem variações diárias, mensais e sazonais, são representadas por faixas climáticas que se mantêm razoavelmente uniformes, dentro de um padrão médio de oscilação. O mapa climático do Brasil, **Figura 6.1.2.2**, apresenta de forma genérica os climas das diversas regiões do Brasil, onde observa-se a AID e ADA.

Pela classificação de Köppen, o clima da região Amazônia é do tipo A, ou seja, tropical úmido com a temperatura média do mês mais frio superior a 18 °C. A classificação de Köppen apresenta ainda as seguintes subclassificações para o clima da região amazônica:

- Af – clima tropical úmido, com precipitação média maior ou igual a 60 mm para o mês mais seco;
- Am – clima tropical úmido de monção, com precipitação excessiva durante alguns meses;
- Aw – clima tropical úmido, com inverno seco e precipitação média menor que 60 mm para o mês mais seco.

A área de influência direta do Projeto Ferro Carajás S11D está incluída na subclassificação Am.

Na estação chuvosa, os volumes mais expressivos concentram-se no período de janeiro a março e a precipitação média mensal desse intervalo é da ordem de 240 mm. O período seco inclui os meses de junho, julho e agosto, cuja média mensal de precipitação é da ordem de 30 mm.



Fonte: GuiaNet, 2005

FIGURA 6.1.2.2 – Mapa climático do Brasil.

Caracterização das Variáveis Climáticas

Nesta seção são apresentadas as curvas que representam o comportamento típico das variáveis precipitação pluviométrica, evaporação, temperatura, umidade relativa do ar, insolação e radiação solar, direção e velocidade do vento.

A definição dos sistemas de circulação atmosférica influentes no clima da área de influência direta do empreendimento em questão foi realizada por meio de dados obtidos em literatura especializada, tendo como referência principal o texto produzido por Nimer (1989). A classificação climática da área de influência direta do Projeto Ferro Carajás S11D foi realizada com base em séries históricas consistidas, obtidas em estações climatológicas e postos pluviométricos localizados próximos da ADA e AID.

Foram utilizadas para caracterizar as variáveis, estações operadas pela própria Vale, pela ANA e pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE. A **Tabela 6.1.2.1** apresenta as estações utilizadas nessa abordagem e suas posições geográficas (projeção UTM, SAD 69). A **Figura 6.1.2.3** apresenta a macro-localização das estações meteorológicas utilizadas na análise climatológica.

Para a caracterização da variável evaporação, utilizaram-se também os dados registrados na estação climatológica da Mina do Sossego, instalada e operada pela Vale.

TABELA 6.1.2.1

**LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS
UTILIZADAS NO DIAGNÓSTICO**

Estação	Coordenadas UTM		Fonte
Núcleo Urbano	603.106	9.329.228	Vale
Igarapé Bahia	546.295	9.333.490	
N4-E (Mina de Ferro)	592.215	9.328.430	
Paiol de Explosivos (Mina de Ferro)	593.559	9.327.112	
km 60 / PA 150	701.154	9.358.241	ANA
Fazenda Surubim	674.769	9.289.235	
Fazenda Santa Elisa	660.939	9.248.700	
Fazenda Rio Branco	632.864	9.360.607	
Eldorado	679.550	9.324.885	
Fazenda Caiçara	550.950	9.246.644	
Serra dos Carajás – N5	603.031	9.343.922	
Serra Pelada	647.222	9.344.354	
Xinguara	519.880	9.222.928	
Canaã dos Carajás	605.053	9.288.056	
			INPE/CPTEC

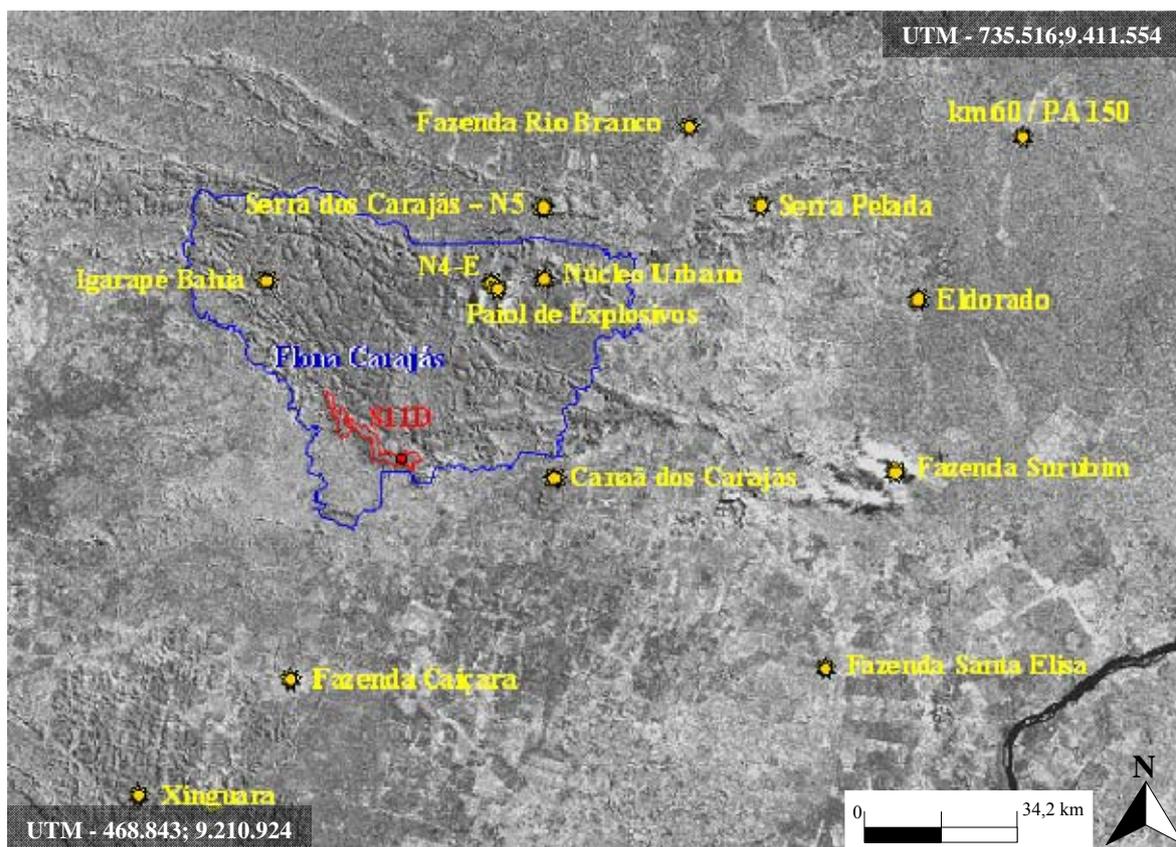


FIGURA 6.1.2.3 – Estações Meteorológicas utilizadas na análise do Clima e Meteorologia.

Dentre as estações meteorológicas relacionadas na **Tabela 6.1.2.1**, destaca-se a estação Canaã dos Carajás, pela regularidade e intensidade de coleta de informações necessárias à caracterização da meteorologia. Essa estação situa-se dentro da AII do Projeto Ferro Carajás S11D e está instalada em um sítio de medição representativo para as variáveis direção e velocidade dos ventos.

– Precipitação Pluviométrica

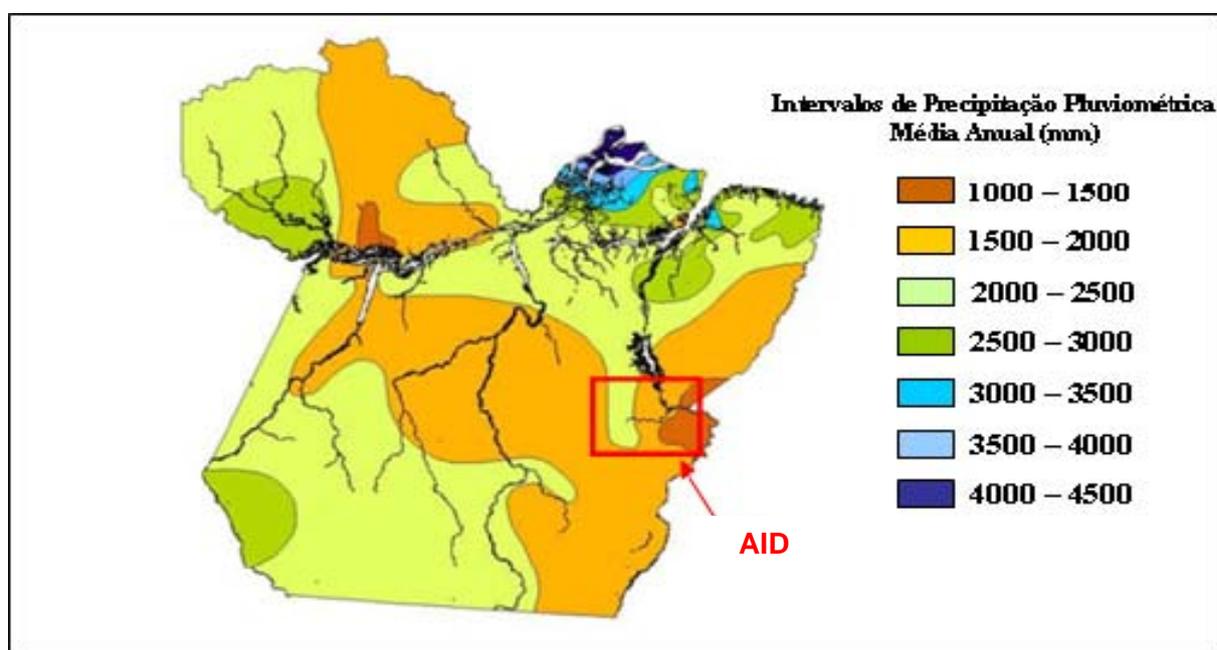
A síntese sobre a variável precipitação pluviométrica ora apresentada, é uma compilação acerca das quantidades de chuva ocorridas nas estações e sua variação sazonal.

O regime pluviométrico foi caracterizado com base nas séries históricas medidas em estações operadas pela ANA e seus respectivos períodos de dados, conforme resumido na **Tabela 6.1.2.2**

TABELA 6.1.2.2**ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS OPERADAS PELA ANA E PERÍODOS DE DADOS ANALISADOS**

Estação	Período de Dados
km 60 / PA 150	Jan/1988 a Nov/2006
Fazenda Surubim	Jan/1984 a Dez/2006
Fazenda Santa Elisa	Jan/1984 a Dez/2006
Fazenda Rio Branco	Abr/1985 a Dez/1994
Eldorado	Abr/1985 a Nov/2006
Fazenda Caiçara	Jan/1984 a Nov/2006
Serra dos Carajás – N5	Abr/1985 a Nov/2006
Serra Pelada	Dez/1982 a Nov/2006
Xinguara	Jan/1984 a Nov/2006

Os dados obtidos para todas as estações mostram um comportamento sazonal da distribuição das chuvas, corroborando com a classificação climática de Köppen apresentada, conforme mostram as **Figuras 6.1.2.5 e 6.1.2.6**. A **Figura 6.1.2.4** apresenta a média anual de precipitação pluviométrica variando entre 1.500 a 2.000 mm para AID e ADA do empreendimento, segundo a Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA) do estado do Pará.



Fonte: SEMA, 2004

FIGURA 6.1.2.4 – Mapa da precipitação pluviométrica média anual.

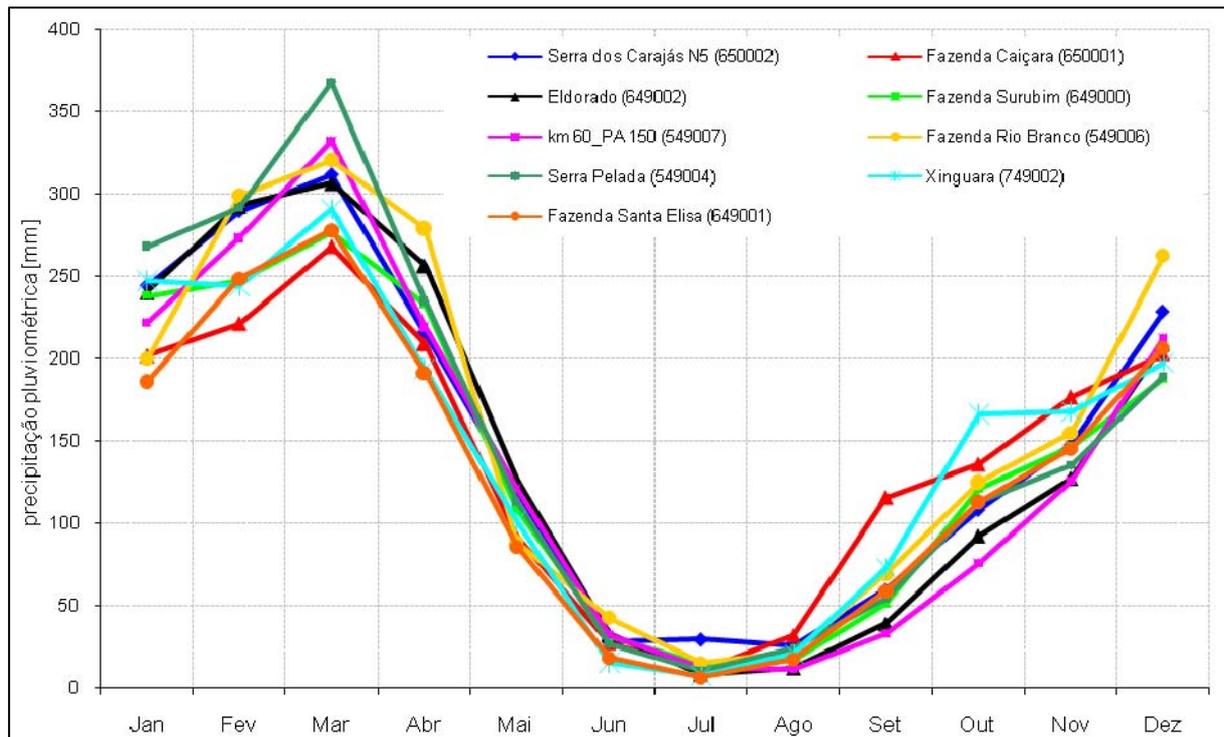


FIGURA 6.1.2.5 – Média da precipitação pluviométrica mensal.

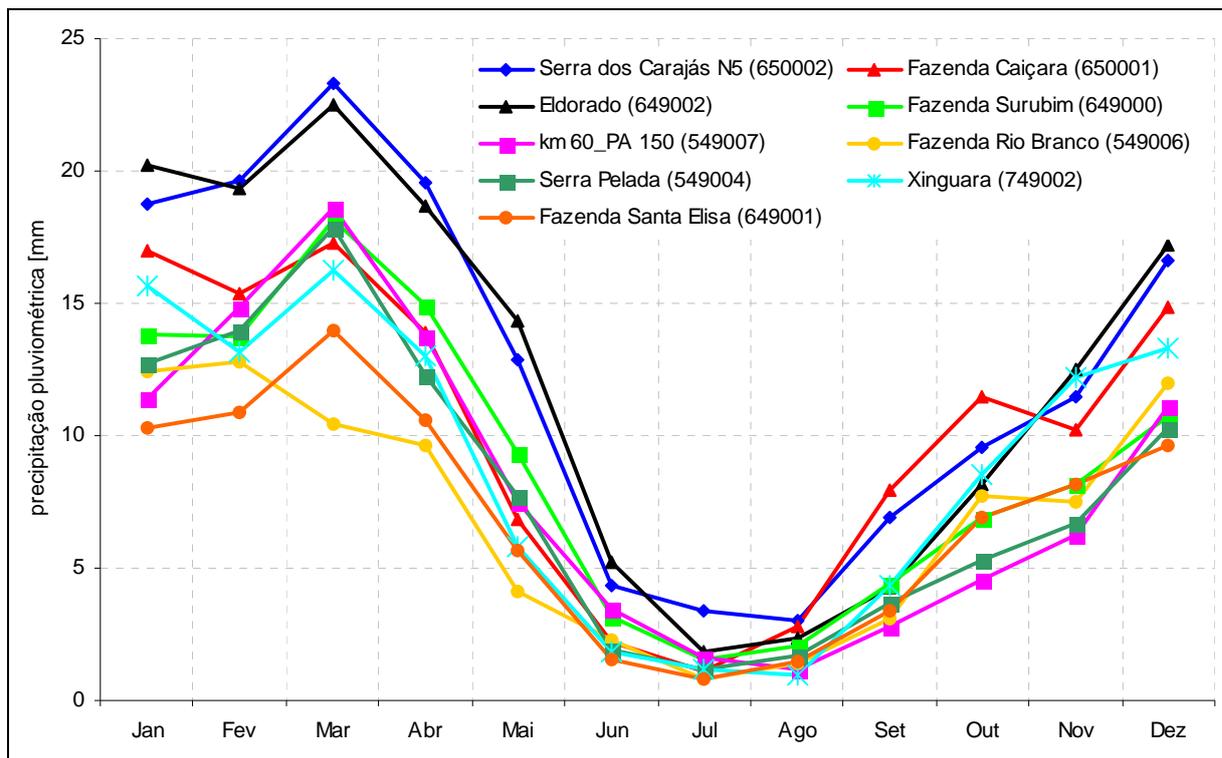


FIGURA 6.1.2.6 – Média mensal de dias de chuva.

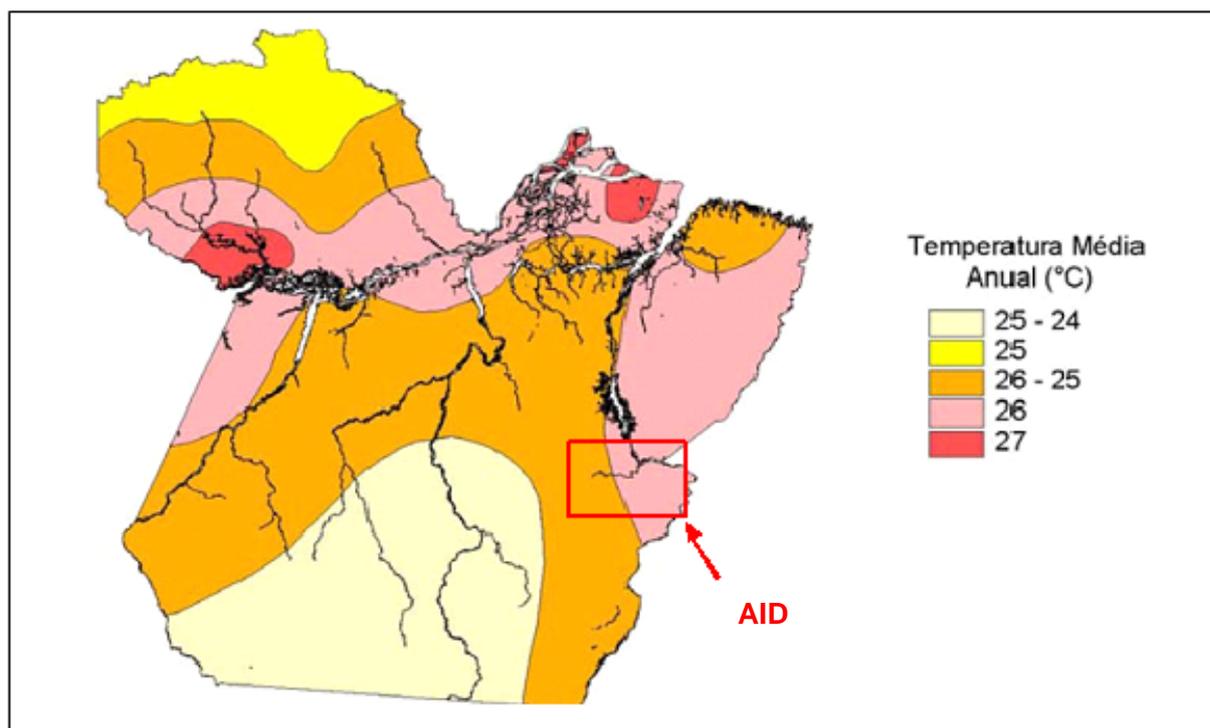
O volume de precipitação anual na AID e ADA é da ordem de 1.700 mm, sendo que 80% desta precipitação ocorrem de novembro a abril. Observa-se que as médias mensais de chuva registradas nas estações apresentam um comportamento muito semelhante, sendo identificado um período chuvoso durante o trimestre de janeiro a março, que concentra cerca de 46% da precipitação do ano, com valores médios mensais da ordem de 267 mm. Os meses mais secos (junho a agosto) concentram juntos menos de 5% da chuva anual.

Durante os meses mais chuvosos, entre dezembro e abril, a existência de maior nebulosidade resulta em diminuição da insolação. Desse modo, no verão, as temperaturas são mais amenas. Analogamente, no período seco, que corresponde ao inverno, a baixa nebulosidade possibilita maior incidência de radiação solar e as temperaturas são mais elevadas.

– Temperatura

Os dados disponíveis para análise do comportamento da temperatura na AID e ADA referem-se às estações do Núcleo Urbano de Carajás, Igarapé Bahia, Mina de N4 e Canaã dos Carajás, além de mapas climáticos divulgados pela SEMA.

Na **Figura 6.1.2.7** pode ser observado que na AID do empreendimento a temperatura média anual varia entre 25 e 26°C, conforme disponibilizado pela SEMA.



Fonte: SEMA, 2004

FIGURA 6.1.2.7 – Mapa da temperatura média anual.

Realizando uma análise mais detalhada da temperatura da AID, observa-se a partir dos dados coletados nas estações meteorológicas citadas, uma ligeira variação térmica ao longo da região de estudo, correlacionada às diferenças de altitude das estações e também às variações do albedo decorrentes da ocorrência de diferentes tipos de superfícies (canga ferruginosa, vegetação, áreas pavimentadas, etc.) nos sítios de cada estação considerada.

Na estação do Núcleo Urbano de Carajás, por exemplo, as médias anuais de temperatura são inferiores às da estação Canaã dos Carajás, devido principalmente à diferença de altitude entre elas. Dessa forma, considerando as características do relevo da AID, é esperado que os valores das médias de temperaturas verificadas nas estações localizadas nas partes mais elevadas da Floresta Nacional de Carajás sejam inferiores àquelas médias apresentadas na **Figura 6.1.2.7**, que se aplicam melhor às partes baixas da AID, conforme verificado na estação Canaã dos Carajás.

Considerando as estações localizadas dentro da Floresta Nacional de Carajás, os meses de temperaturas mais amenas correspondem ao período de janeiro a março, coincidindo com os maiores índices pluviométricos e a presença de maior nebulosidade. A temperatura média mensal nesse período é de 24,1°C na Mina de N4 e 23,5°C no Núcleo Urbano. As maiores temperaturas são registradas nos meses de junho a agosto, coincidindo com os menores volumes de precipitação, com média mensal de 25,3°C na Mina de N4 e 25,6°C no Igarapé Bahia.

Na estação Canaã dos Carajás, os meses de agosto, setembro e outubro apresentaram as maiores médias mensais de temperatura, cerca de 26,9°C, enquanto que nos demais meses do ano a média mensal apresentou valores em torno de 25,7°C.

Ressalta-se que as análises realizadas na estação Canaã dos Carajás foram obtidas para um período de 4 anos de dados, enquanto que nas demais estações o período de dados disponíveis foi de no mínimo 7 anos. A **Tabela 6.1.2.3** apresenta as temperaturas médias mensais para as estações analisadas e os respectivos períodos de dados utilizados na análise.

TABELA 6.1.2.3

TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DAS ESTAÇÕES ANALISADAS

Estação	Período de Dados	Médias	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Núcleo Urbano	1983 a 1990	Máxima	29,4	29,5	29,4	29,4	29,6	29,5	30,6	29,4	29,6	29,5	29,7	30,1
		Média	23,5	23,5	23,6	23,7	23,9	23,8	24,3	23,7	23,9	23,7	23,8	23,9
		Mínima	17,5	17,4	17,8	17,9	18,2	18,0	18,0	17,9	18,1	17,9	17,8	17,7
Igarapé Bahia	1982 a 1998	Máxima	30,1	30,4	30,5	30,5	30,5	31,0	31,8	32,3	32,2	32,0	32,2	30,8
		Média	24,4	24,7	24,8	25,0	24,7	25,1	25,7	26,1	25,7	25,6	25,2	24,9
		Mínima	18,8	19,0	19,2	19,5	19,0	19,0	19,6	19,8	19,3	19,2	19,2	19,1
Mina de N4	1984 a 1993	Máxima	30,3	30,0	30,0	30,6	30,8	31,3	32,0	32,5	32,1	32,1	31,7	30,5
		Média	24,1	24,1	24,2	24,4	24,8	25,2	25,6	25,1	25,4	25,4	25,0	24,4
		Mínima	18,0	18,0	18,0	18,1	18,9	19,1	19,2	18,8	18,1	18,7	18,3	18,2
Canaã dos Carajás	2004 a 2007	Máxima	34,8	33,9	33,4	34,2	33,9	36,0	36,1	37,3	37,5	35,9	34,3	34,1
		Média	25,8	25,4	25,5	25,6	25,5	25,1	24,9	25,8	26,1	26,0	25,5	25,5
		Mínima	20,4	20,0	20,7	19,1	17,8	15,3	11,2	13,2	15,7	18,5	19,1	20,3

As **Figuras 6.1.2.8 a 6.1.2.11** apresentam o comportamento das temperaturas médias, máximas e mínimas mensais para as estações analisadas.

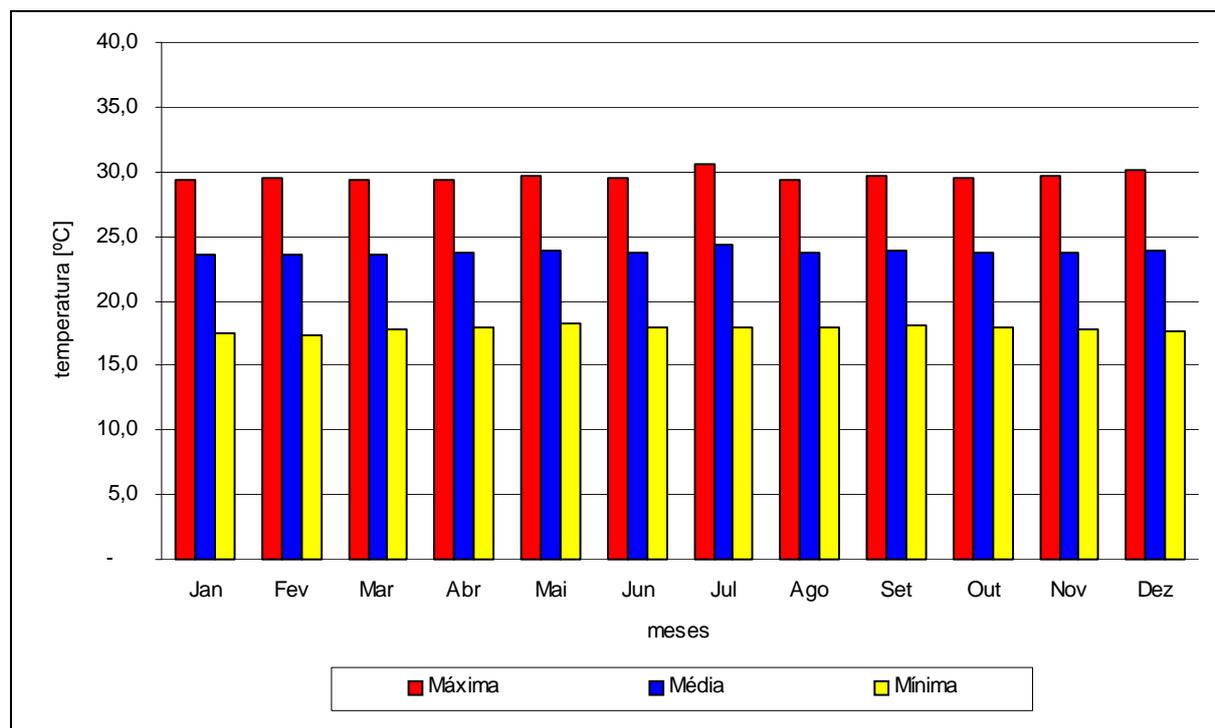


FIGURA 6.1.2.8 – Temperaturas médias mensais – Estação Núcleo Urbano de Carajás.

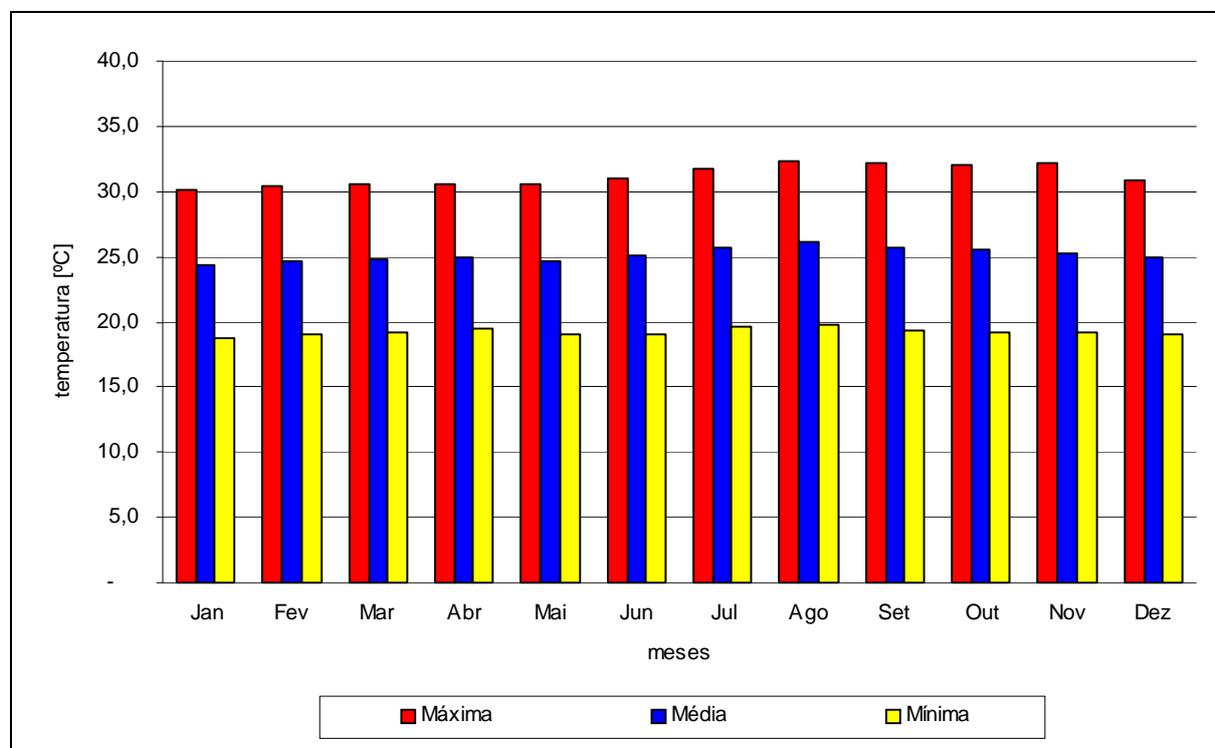


FIGURA 6.1.2.9 - Temperaturas médias mensais – Estação Igarapé Bahia.

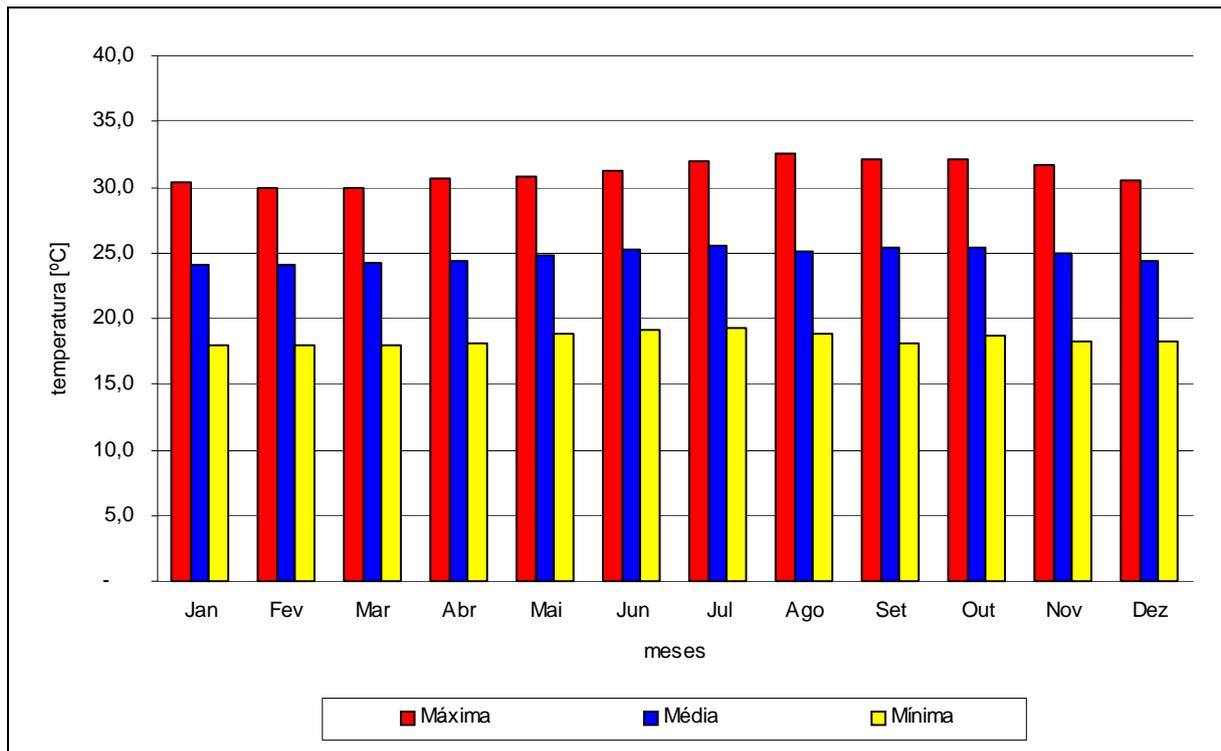


FIGURA 6.1.2.10 - Temperaturas médias mensais – Estação Mina de N4.

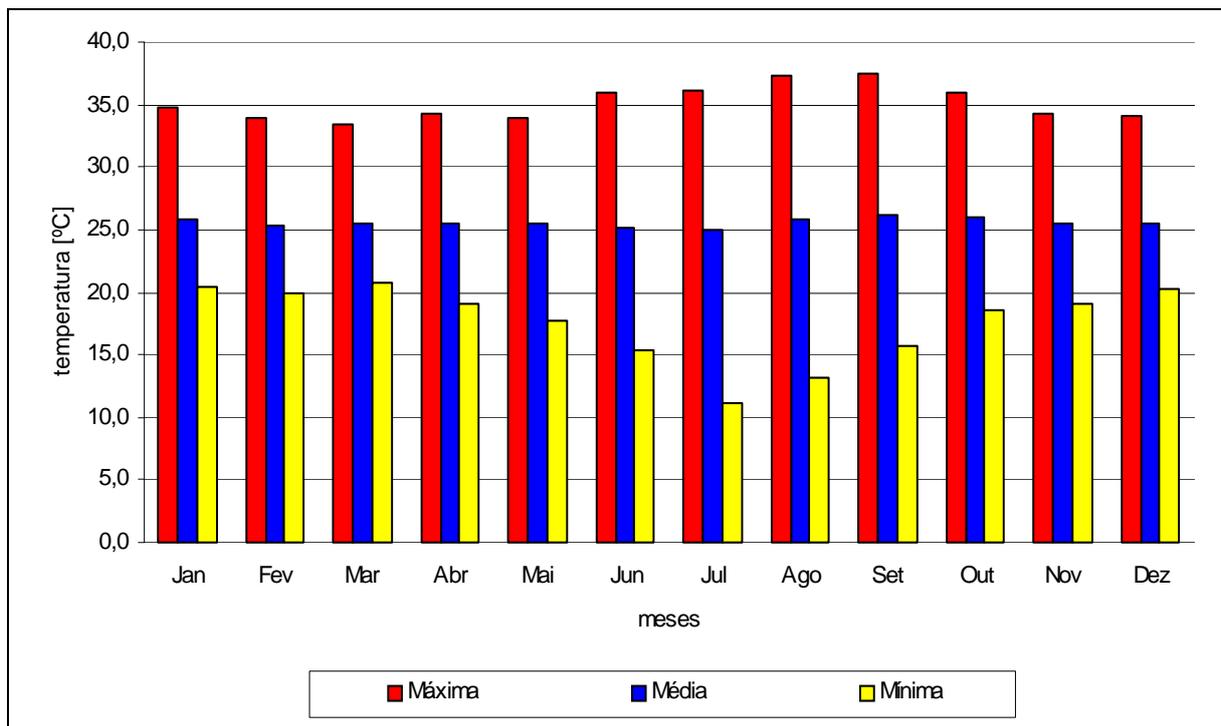
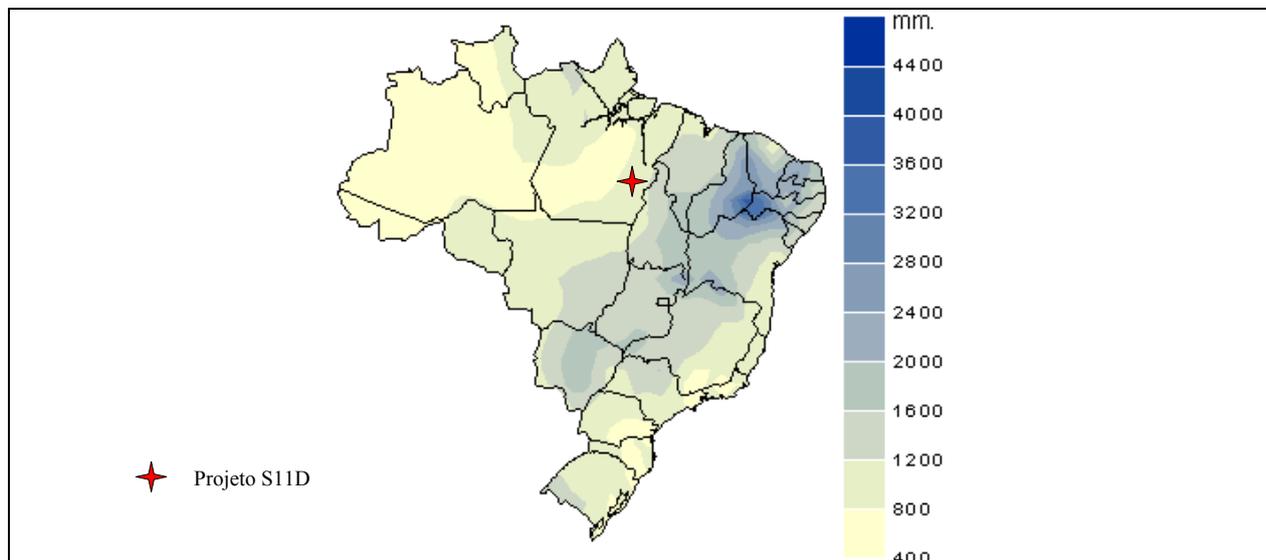


FIGURA 6.1.2.11 - Temperaturas médias mensais – Estação Canaã dos Carajás.

– Evaporação

Na área de influência direta, a taxa de evaporação média mensal varia entre 40 e 200 mm. O período com as maiores taxas de evaporação tem início no mês de junho e se estende até outubro. O período com menores taxas de evaporação vai de dezembro a março. A evaporação acumulada anual situa-se entre 800 e 1200 mm, conforme Mapa Climático de Evaporação Acumulada Anual do INMET apresentado na **Figura 6.1.2.12**.



Fonte: INMET, 2009

FIGURA 6.1.2.12 – Mapa Climático de Evaporação Acumulada Anual – 1931-1990.

De acordo com os estudos desenvolvidos pela Eletronorte – “UHE – Tucuruí – Relatório Condensado dos Estudos Hidrológicos de Tucuruí”, de julho/1984 e com a referência apresentada em “Water Management of The Amazonian Basin”, e ainda, analisando-se os dados das estações climatológicas de Marabá e São Félix do Xingu, a evaporação anual na região amazônica varia entre 750mm e 1500mm.

Analisando-se os dados da AID, de acordo com o estudo da Eletronorte citado e com base nos dados da estação climatológica de Marabá, a evaporação potencial anual pode variar entre 1000mm e 1450 mm.

A **Tabela 6.1.2.4** apresenta os registros de evaporação média mensal das estações climatológicas das Minas N4E e Sossego, fornecidos pela Vale. Os registros apresentados indicam um valor médio anual de 1077 mm e 1657 mm, respectivamente.

TABELA 6.1.2.4**EVAPORAÇÃO MÉDIA MENSAL NA ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA DAS MINAS N4E E SOSSEGO**

Estação	Evaporação (mm)												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Mina N4E 1989-2001	53,8	44,4	50,5	52,0	84,0	138,9	172,8	162,7	109,5	83,7	72,9	51,2	1077
Mina Sossego 2005-2009	132,6	119,1	123,8	161,8	118,9	136,9	163,4	194,4	174,6	165,8	115,1	167,1	1657

Considerou-se como representativa para a descrição do regime de evaporação na AID a estação climatológica instalada na Mina do Sossego, cujos dados mensais estão sintetizados na **Tabela 6.1.2.4** e na **Figura 6.1.2.13**.

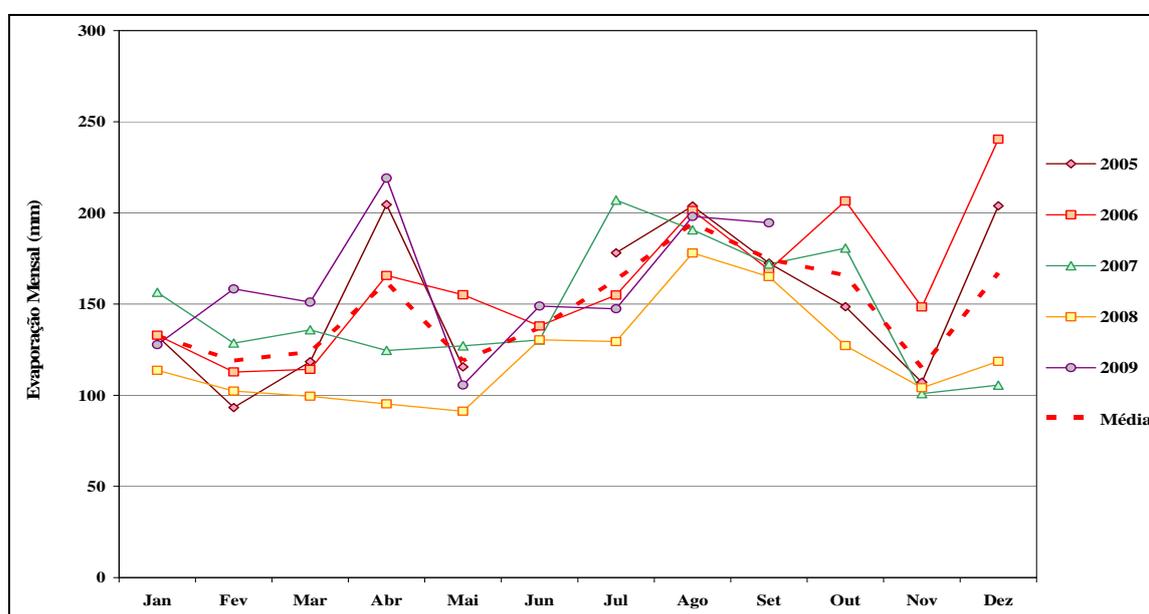
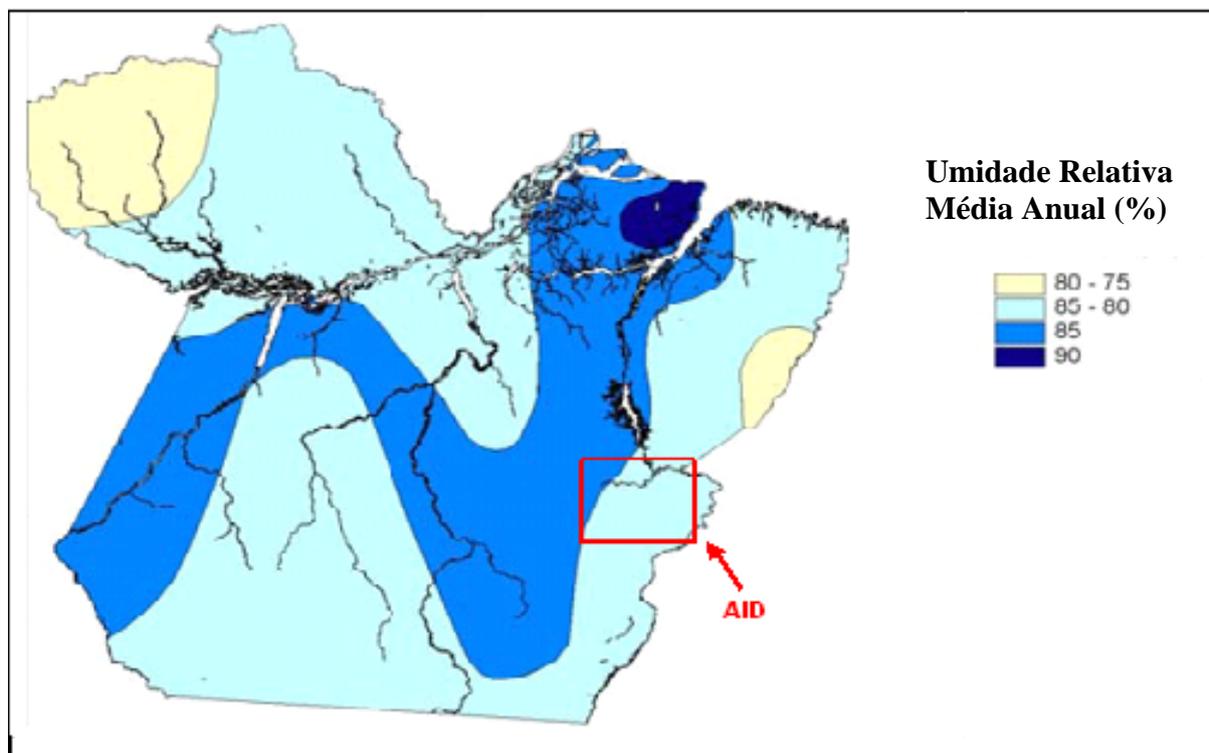


FIGURA 6.1.2.13 – Variação da Evaporação Mensal - Estação Mina do Sossego, 2005 a 2009.

– Umidade Relativa do Ar

Para análise desta variável climática, foram utilizados os dados produzidos pelas estações do Núcleo Urbano de Carajás, Mina de N4, Canaã dos Carajás e de mapas climáticos da SEMA. Os dados disponíveis para as estações correspondem ao período de 1983 a 1998 para a estação da Mina de N4, de 1985 a 1994 para a estação do Núcleo e de 2004 a 2007 para a estação de Canaã dos Carajás.

A **Figura 6.1.2.14** apresenta o mapa de média anual de umidade relativa do ar da SEMA para o estado do Pará. Pelo mapa pode ser observado que na AID do empreendimento a umidade média é da ordem de 85%.



Fonte: SEMA, 2004

FIGURA 6.1.2.14 – Mapa da umidade relativa do ar - Média Anual.

Numa análise mais detalhada, baseada nos dados obtidos nas estações citadas, observa-se que a umidade relativa do ar na AID mantém-se em média entre 63 e 87%. Nos meses mais secos, ou seja, de junho a agosto, a umidade relativa do ar sofre uma redução, chegando a alcançar níveis mínimos da ordem 42% e médias em torno de 68% na estação da Mina de N4. Durante os meses de outubro a maio as máximas podem superar 85% nas quatro estações meteorológicas citadas.

Os comportamentos da umidade relativa do ar na estação do Núcleo Urbano de Carajás, estação da Mina de N4 e estação Canaã dos Carajás, estão representados nas **Figuras 6.1.2.15, 6.1.2.16 e 6.1.2.17**, respectivamente.

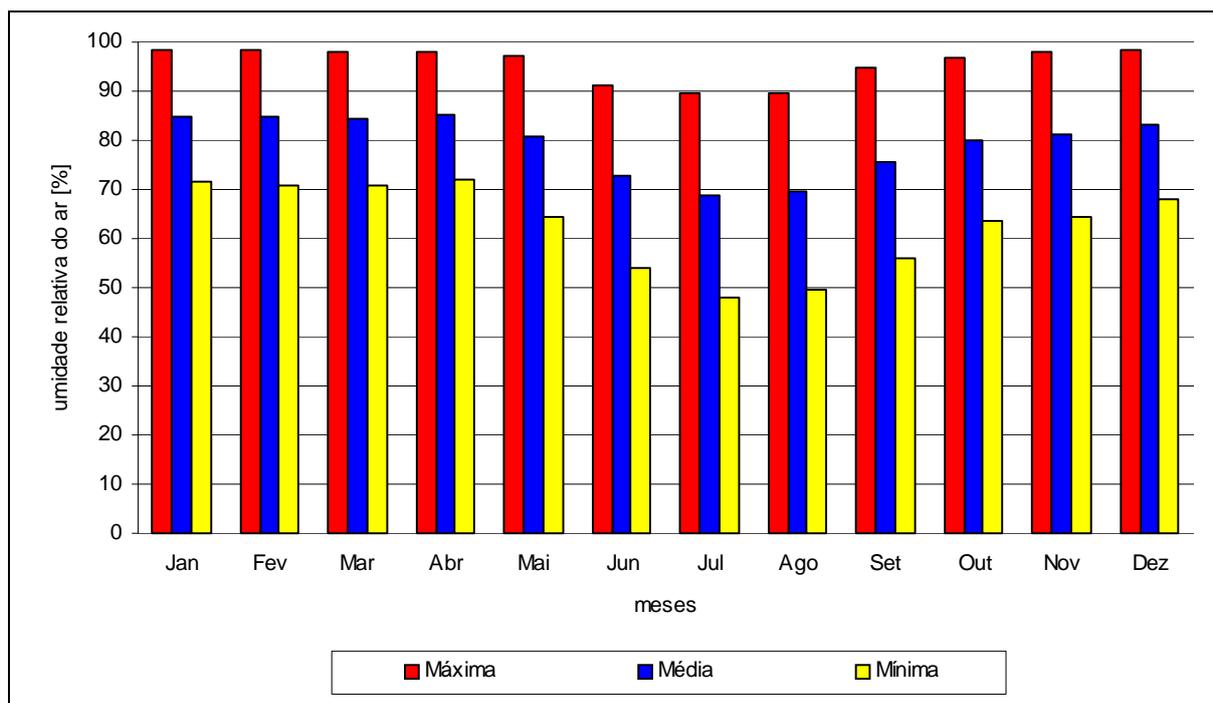


FIGURA 6.1.2.15 – Médias mensais de umidade relativa do ar – Estação do Núcleo Urbano de Carajás.

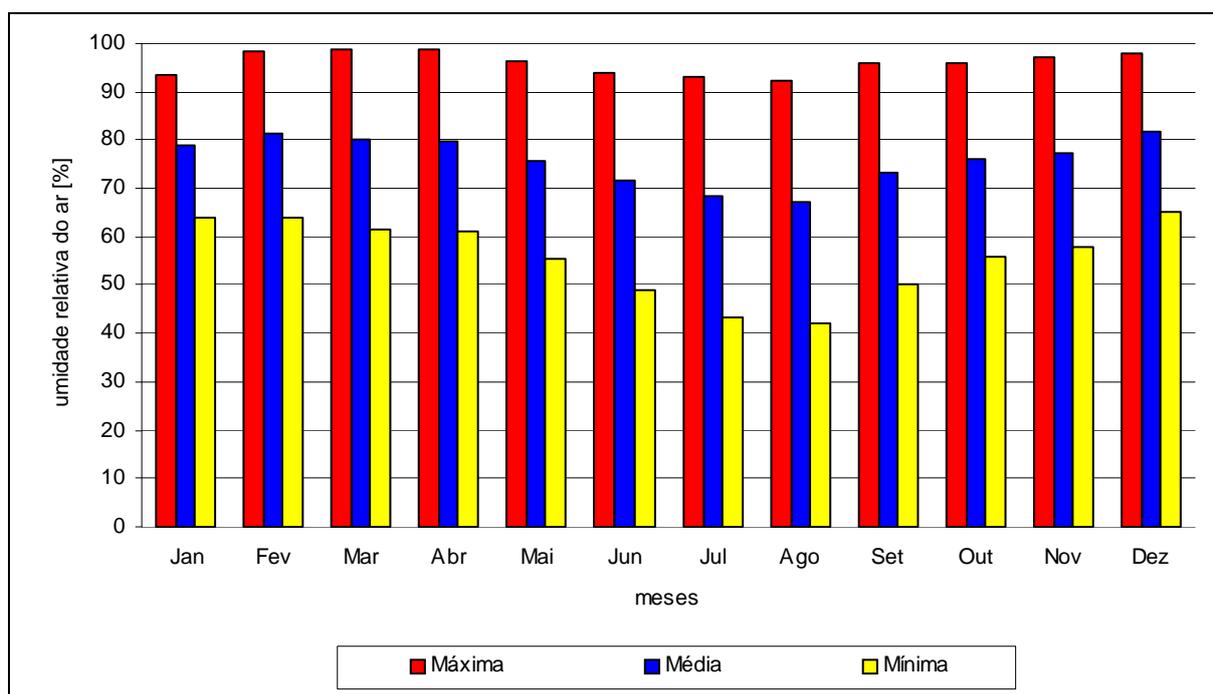


FIGURA 6.1.2.16 – Médias mensais de umidade relativa do ar – Estação Mina de N4.

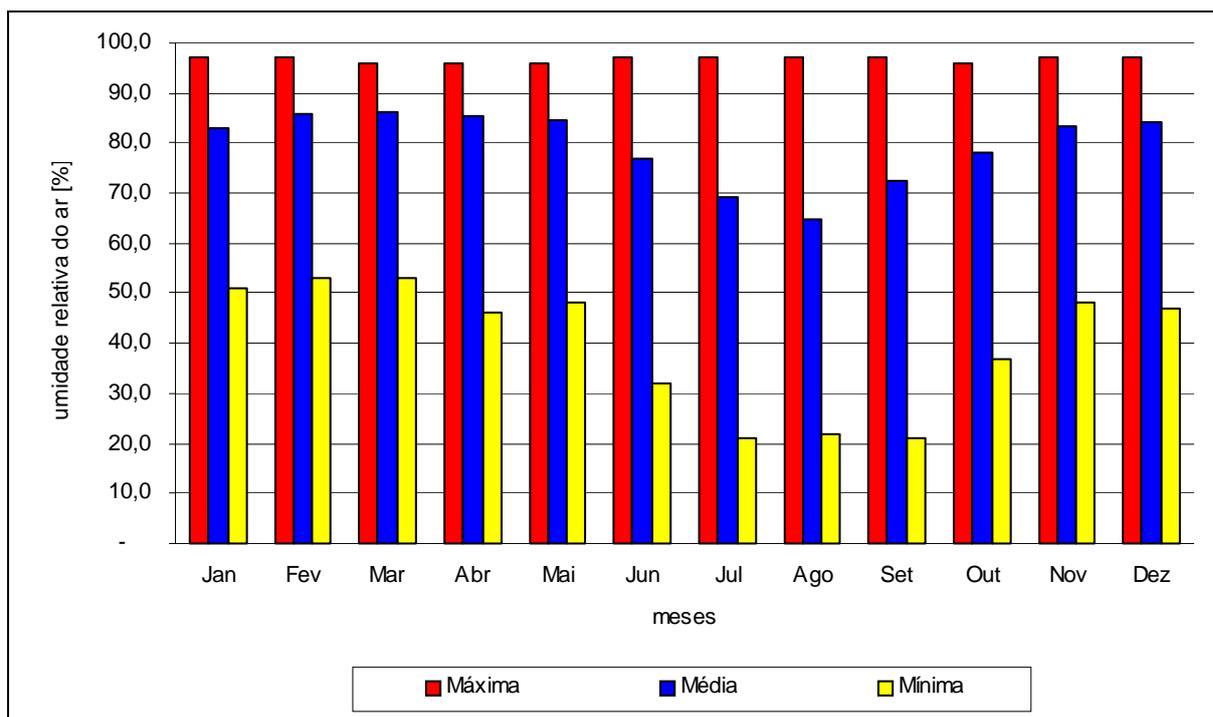


FIGURA 6.1.2.17 – Médias mensais de umidade relativa do ar – Estação Canaã dos Carajás.

– Insolação (Radiação Solar Global)

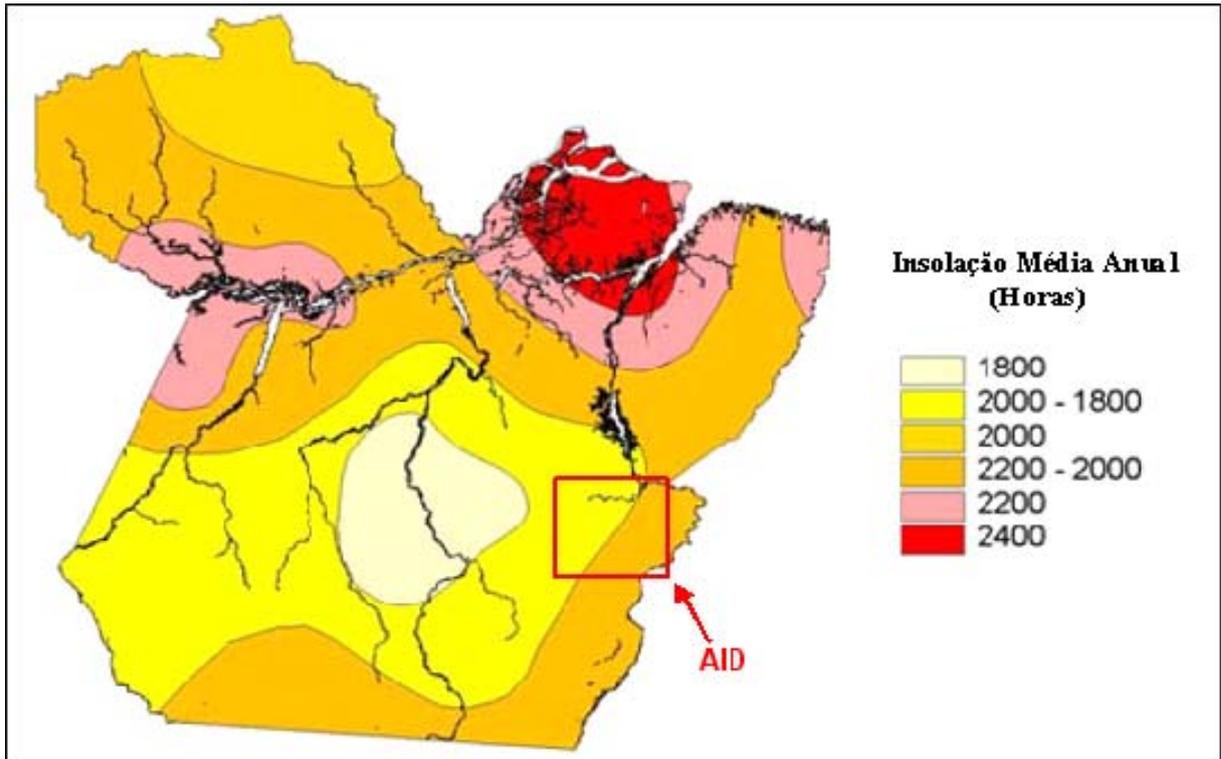
Para análise da radiação solar global, foram utilizados os dados monitorados pela estação Canaã dos Carajás no período de 16/02/2004 até 16/02/2007 e pela estação Igarapé Bahia (Alemão) no período de 02/02/2002 a 18/02/2004.

A proximidade da AID com o Equador garante a ocorrência de elevados níveis de radiação solar durante todo o ano. No entanto, ao invés das máximas ocorrerem nos meses de verão, quando a distância entre o sol e a superfície da AID é menor, as maiores médias de radiação solar são observadas nos meses de junho, julho e agosto. Esse fato é devido à intensa nebulosidade que ocorre nos meses chuvosos (dezembro a março), que bloqueia boa parte da radiação que incidiria sobre solo. Nos meses secos, a menor nebulosidade proporciona maiores índices de radiação solar global na AID.

Ressalta-se que a insolação vem a ser a quantidade de horas de incidência de luz solar, enquanto a radiação solar global representa a quantidade de energia na forma de radiação advinda diretamente do Sol, expressa em W/m^2 .

A **Figura 6.1.2.18** apresenta o mapa da insolação média anual, onde observa-se uma insolação entre 1.800 e 2.000 horas no ano, segundo dados da SEMA.

As médias mensais de radiação solar global medidas nas estações Canaã dos Carajás e Igarapé Bahia (Alemão) são apresentados nas **Figuras 6.1.2.19 e 6.1.2.20**, respectivamente.



Fonte: SEMA, 2004

FIGURA 6.1.2.18 – Mapa de insolação - Média Anual.

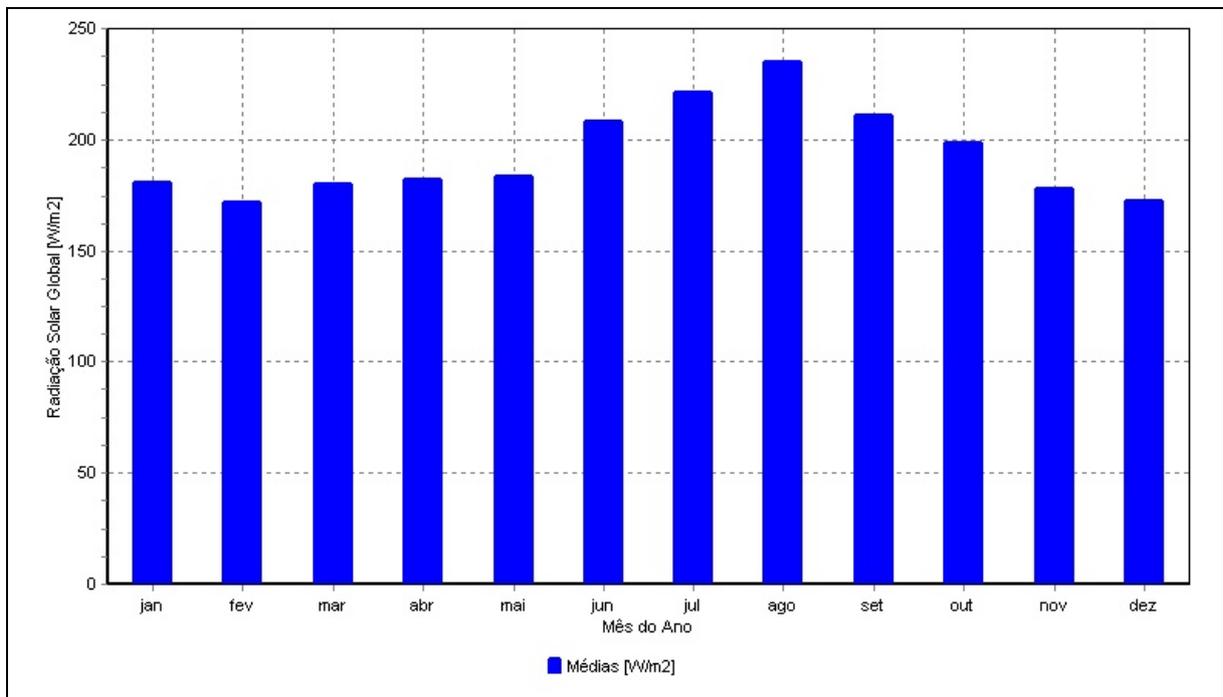


FIGURA 6.1.2.19 – Médias mensais de radiação solar global – Estação Canaã dos Carajás.

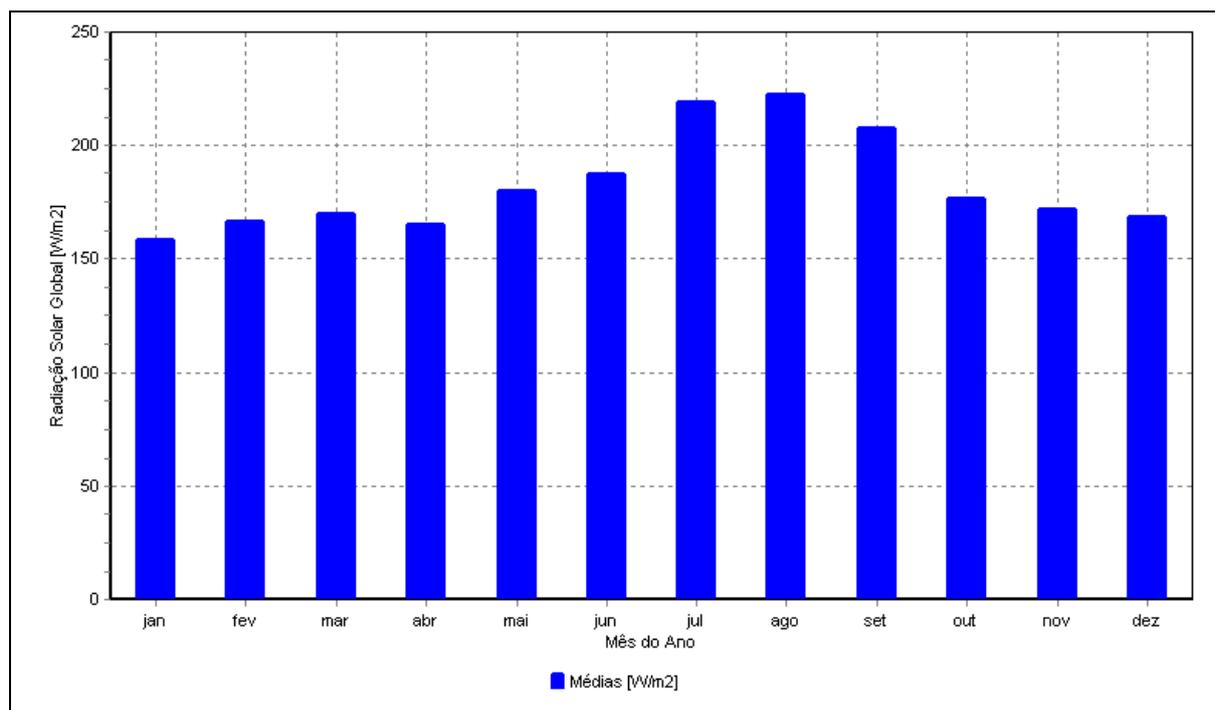


FIGURA 6.1.2.20 – Médias mensais de radiação solar global – Estação Igarapé Bahia (Alemão).

– Direção e Velocidade do Vento

De uma forma geral, a região em estudo é carente de séries históricas consistentes de velocidade e direção do vento, que propiciem a caracterização detalhada do regime de ventos na AID.

Todavia, para a realização do presente estudo, foi possível identificar 3 estações meteorológicas localizadas dentro da AID, em diferentes condições de altitude, rugosidade e cobertura superficial, dotadas de séries históricas suficientes para uma análise preliminar do comportamento do vento na AID. Tais estações e respectivos períodos de medição disponíveis são:

- Estação Canaã dos Carajás – 16/02/2004 a 16/02/2007;
- Estação Paiol de Explosivos (Mina de Ferro) – 03/07/2006 a 28/12/2007;
- Estação Núcleo Urbano de Carajás – 14/01/2006 a 28/12/2007.

As informações históricas obtidas pelas estações citadas foram consistidas e resumidas graficamente, utilizando rosas dos ventos e análise descritiva para 16 direções do vento padronizadas pela Organização Mundial de Meteorologia. No **Anexo VIII** são apresentadas as rosas dos ventos para cada mês analisado. São apresentadas, também, tabelas que caracterizam o cenário meteorológico de direção e velocidade do vento a partir da série histórica de dados registrados nas estações citadas.

As **Figuras 6.1.2.21 e 6.1.2.22** apresentam, respectivamente, a rosa dos ventos e a estatística descritiva por direção do vento da estação Canaã dos Carajás. As **Figuras 6.1.2.23 e 6.2.2.24** apresentam as mesmas análises para a estação Paiol de Explosivos (Mina de Ferro), e as **Figuras 6.1.2.25 e 6.1.2.26** apresentam as análises para a estação do Núcleo Urbano de Carajás.

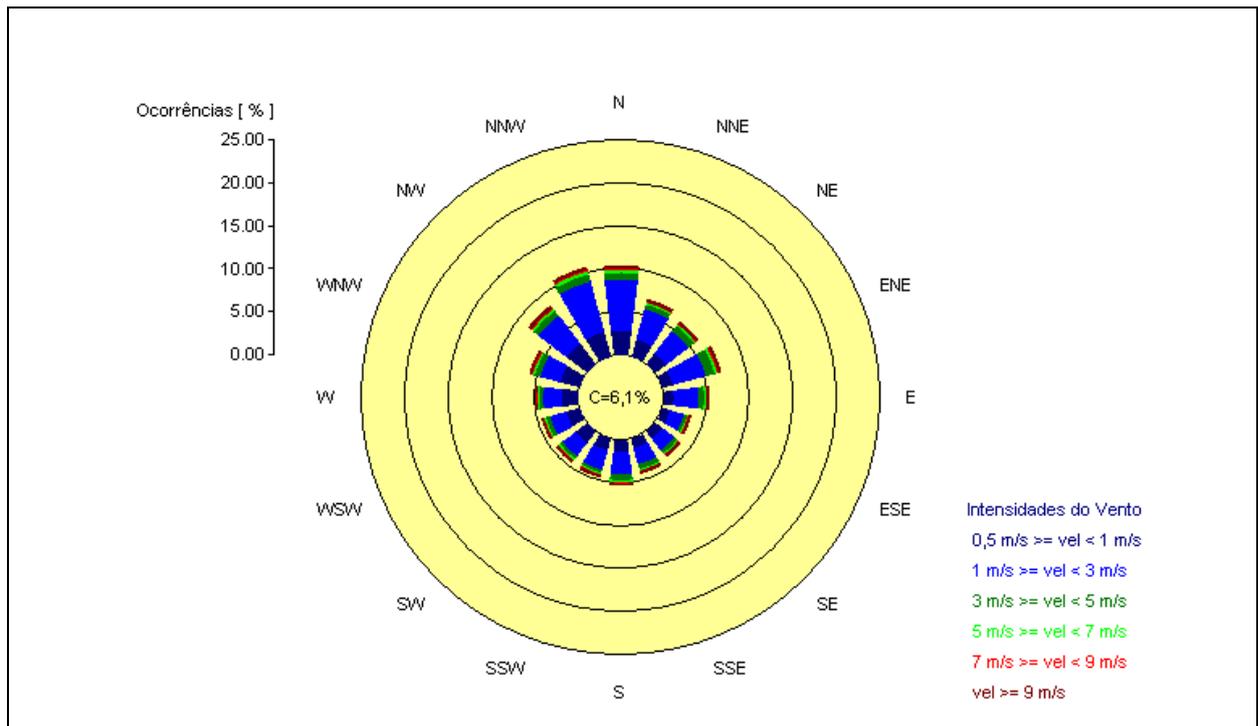


FIGURA 6.1.2.21 – Rosa dos ventos – Estação Canaã dos Carajás.

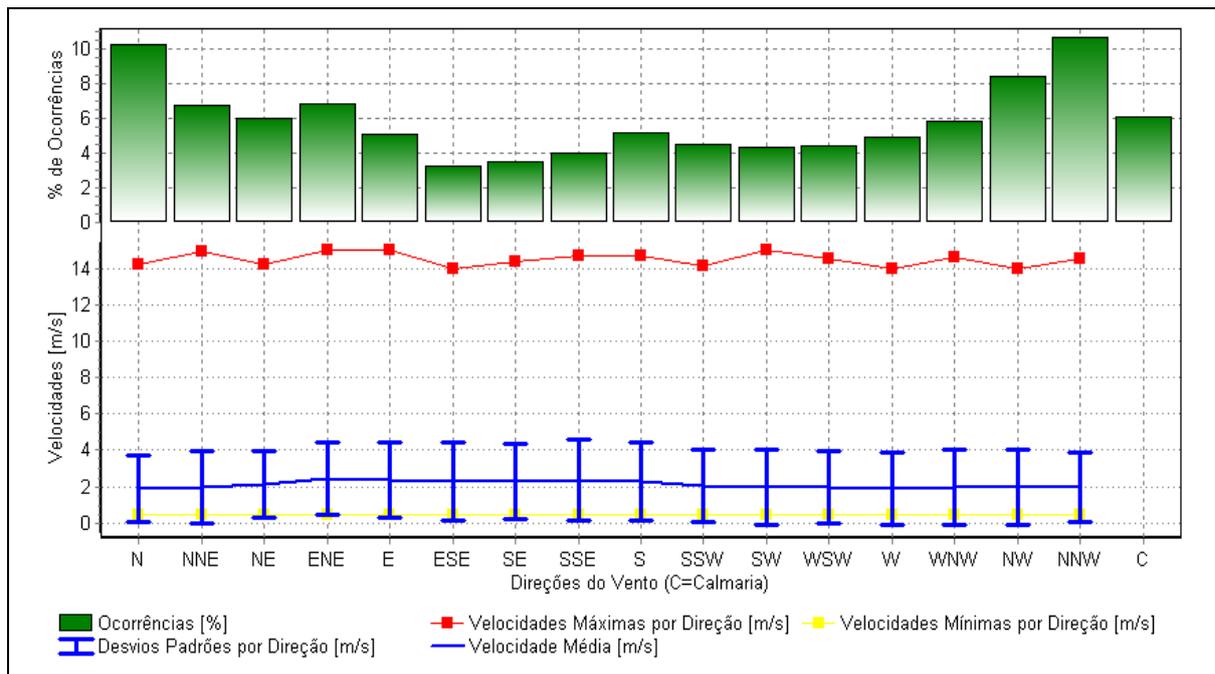


FIGURA 6.1.2.22 – Resumo estatístico da direção e velocidade do vento – Estação Canaã dos Carajás.

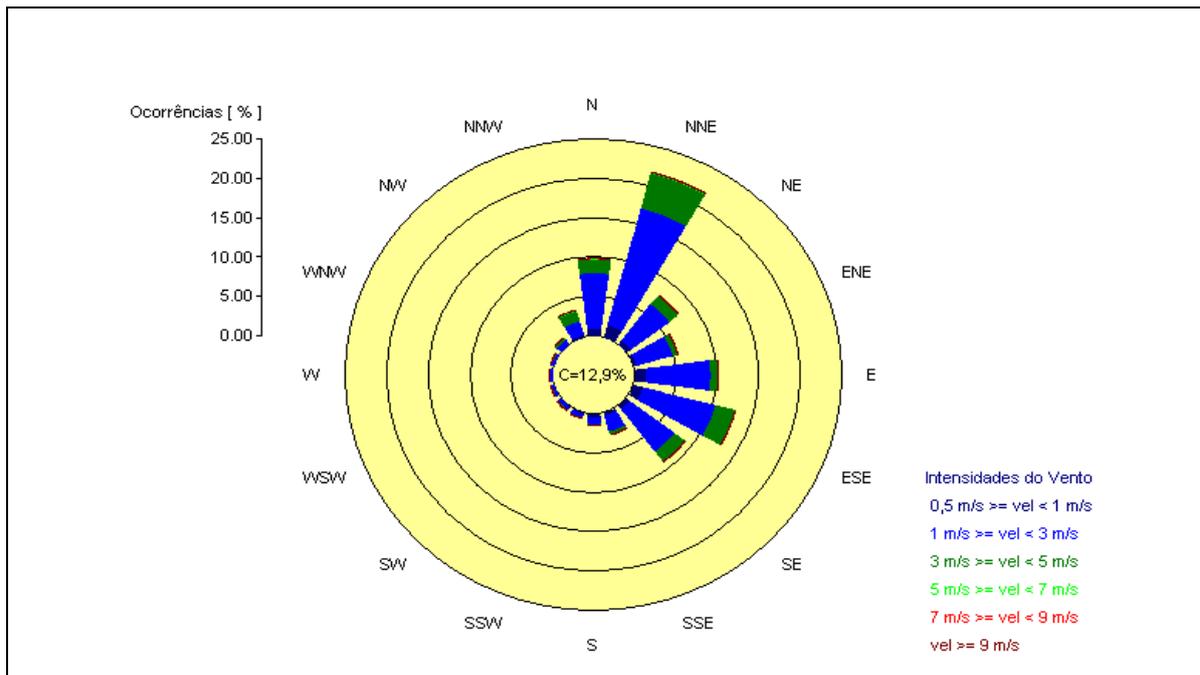


FIGURA 6.1.2.23 – Rosa dos ventos – Estação Paiol de Explosivos (Mina de Ferro).

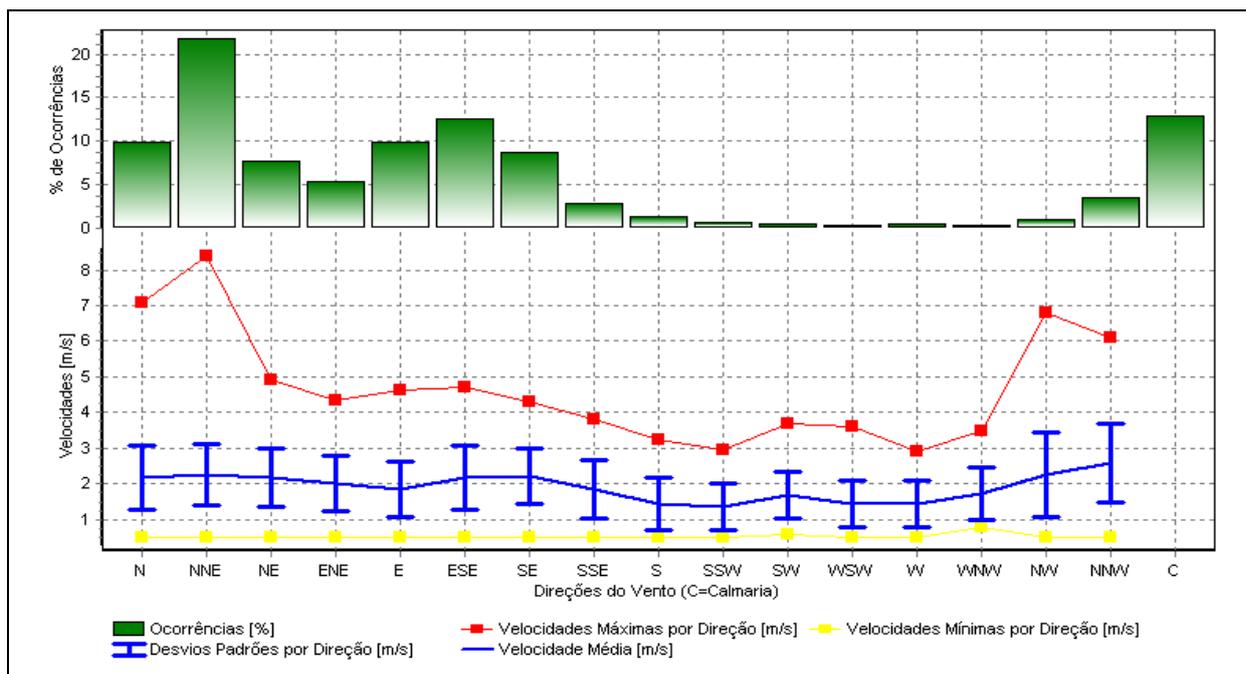


FIGURA 6.1.2.24 – Resumo estatístico da direção e velocidade do vento – Estação Paiol de Explosivos (Mina de Ferro).

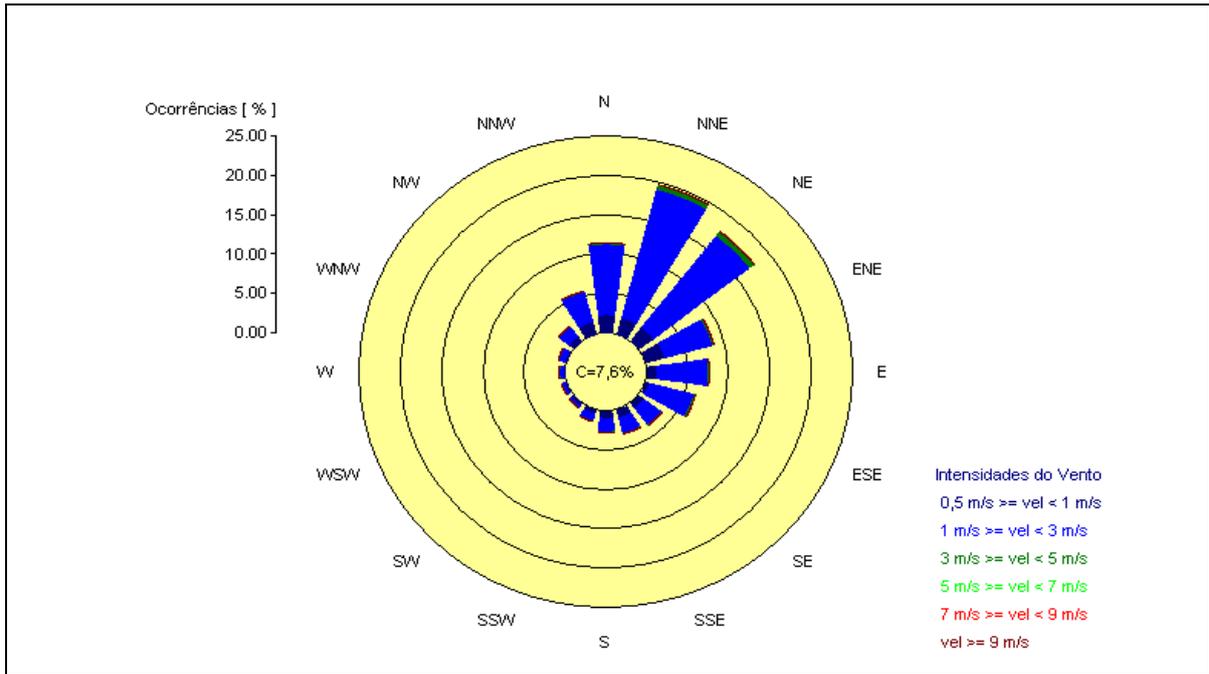


FIGURA 6.1.2.25 – Rosa dos ventos – Estação Núcleo Urbano de Carajás.

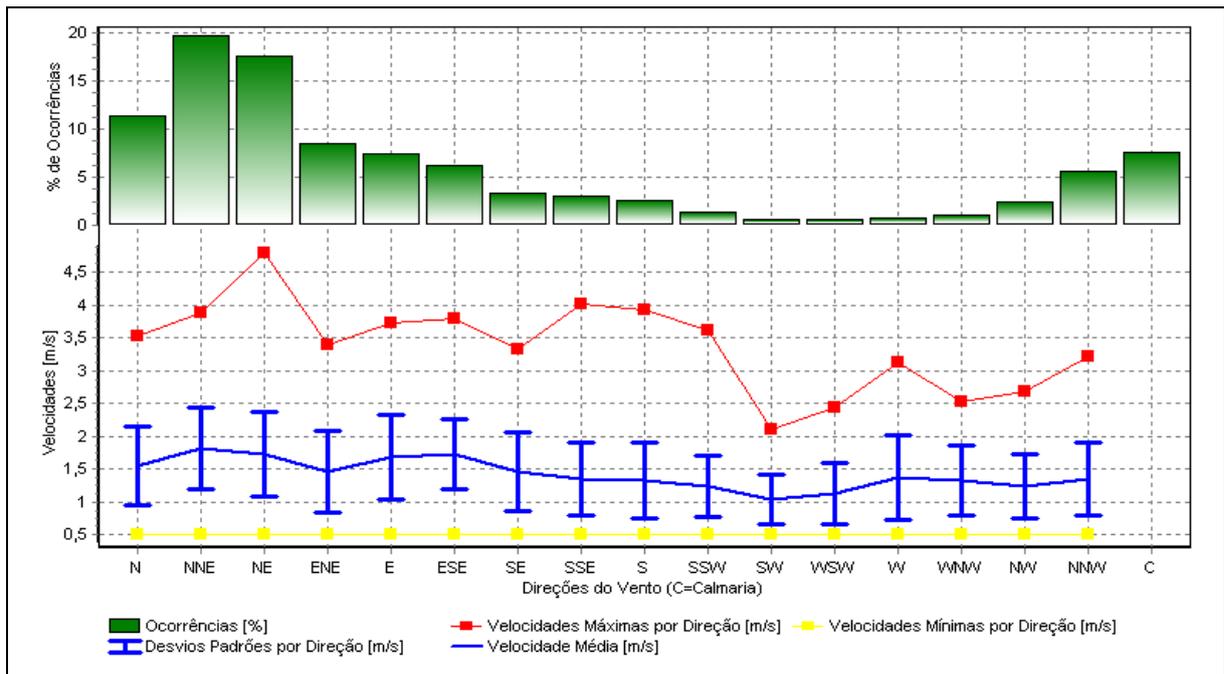


FIGURA 6.1.2.26 – Resumo estatístico da direção e velocidade do vento – Estação Núcleo Urbano de Carajás.

Conforme esperado, observa-se na análise conjunta dos gráficos apresentados que o regime de ventos na AID é bastante complexo. Essa complexidade é atribuída ao relevo e às acentuadas diferenças de rugosidade e albedo das superfícies existentes (proximidade com a floresta densa, espelhos d'água, áreas planas desmatadas, serras, etc.), proporcionando ao campo de ventos de mesoescala significativas variações de intensidade e direção.

Na estação Canaã dos Carajás, os ventos são mais heterogêneos quanto à direção. A predominância é de ventos oriundos de norte-noroeste (NNW), norte (N) e noroeste (NW), com intensidade média de 2 m/s. As máximas médias horárias são da ordem de 14 m/s. Nesta estação verifica-se calmaria em aproximadamente 6,1 % do tempo monitorado (**Figuras 6.1.2.21 e 6.1.2.22**).

Na estação Paiol de Explosivos (Mina de Ferro) os ventos apresentam direção predominante de norte-nordeste (NNE) com forte presença também de ventos provenientes de leste-sudeste (ESE). A velocidade média é de 1,9 m/s e a máxima média horária registrada é de 8,4 m/s. As calmarias ocorrem em aproximadamente 12,9 % do período monitorado (**Figuras 6.1.2.23 e 6.1.2.24**).

Na estação do Núcleo Urbano os ventos são predominantes de nordeste (NE) e norte-nordeste (NNE). A velocidade média para o período analisado é da ordem de 1,5 m/s e a máxima média horária registrada é de 4,8 m/s. As calmarias ocorrem em aproximadamente 7,6 % do período monitorado (**Figuras 6.1.2.25 e 6.1.2.26**).

Analisando então a AID de uma forma mais global, a partir das informações disponíveis, verifica-se a ocorrência de ventos fracos a moderados, com direções predominantes entre leste-sudeste (ESE) e noroeste (NW), conforme pode ser verificado na **Figura 6.1.2.27**.

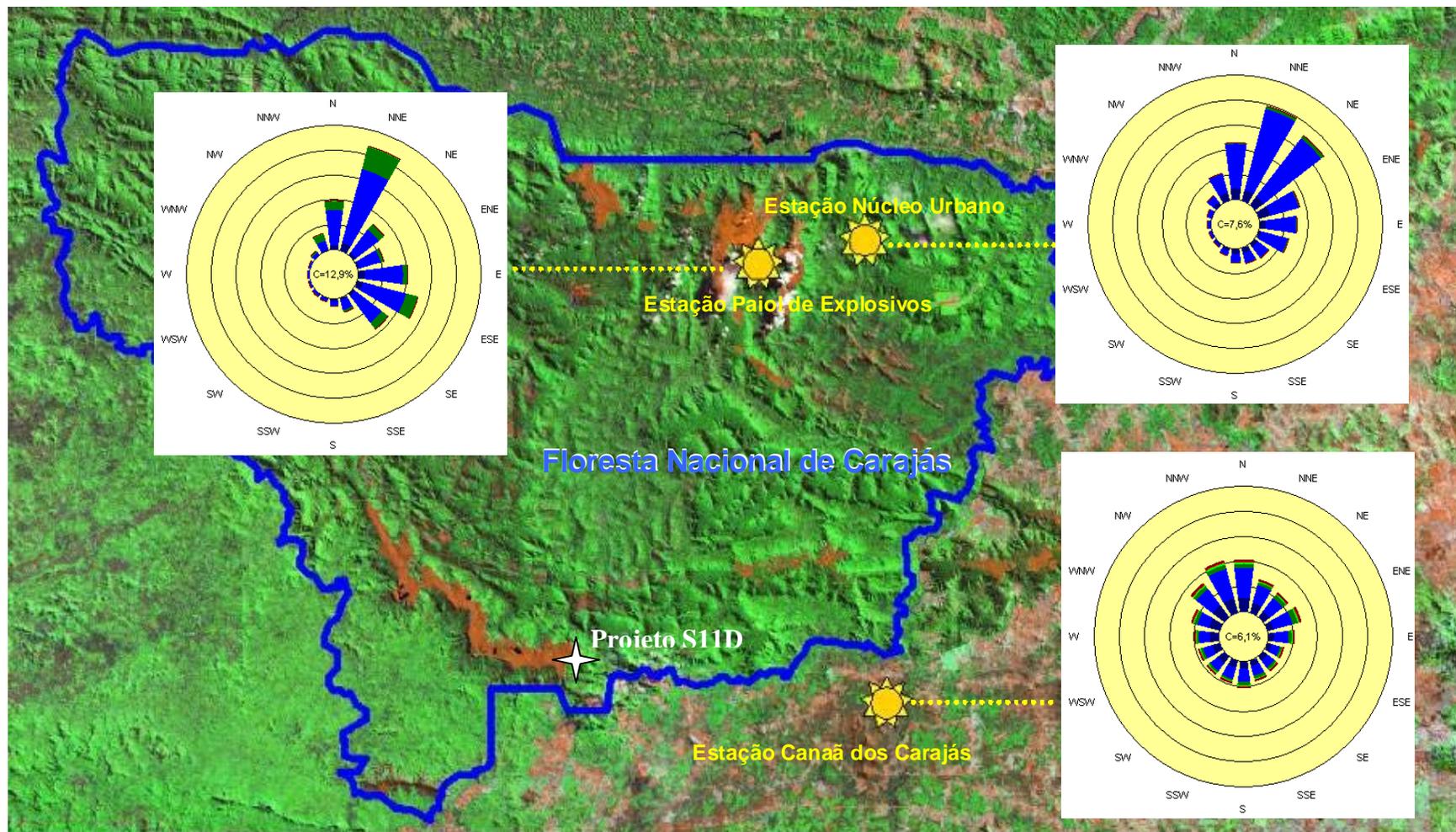


FIGURA 6.1.2.27 – Comportamento da direção e velocidade do vento nas estações meteorológicas utilizadas no diagnóstico.

b) Séries históricas

Foram utilizadas para caracterizar as variáveis, estações operadas pela própria Vale, pela ANA e pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE. A **Tabela 6.1.2.1** apresentada anteriormente, lista as estações utilizadas nessa abordagem e suas posições geográficas (projeção UTM, SAD 69). Já a **Figura 6.1.2.3** apresentou a macro-localização das estações meteorológicas utilizadas nas análises climatológica.

6.1.3 Qualidade do Ar

a) Caracterização da qualidade do ar

A qualidade do ar de uma região é o resultado de um sistema complexo, que envolve tanto a emissão de contaminantes atmosféricos por fontes fixas e móveis, locais e distantes, quanto as condições físicas e meteorológicas incidentes nessa região, determinando assim a concentração dos poluentes na atmosfera.

6.1.3.1 Condições Meteorológicas Registradas Durante a Campanha de Monitoramento da Qualidade do Ar

Nesta seção são apresentadas as análises referentes aos dados meteorológicos monitorados pela estação instalada do Projeto Ferro Carajás S11D, objetivando apenas a caracterização das condições meteorológicas nas quais os dados primários de qualidade do ar foram obtidos.

A estação instalada, durante a campanha de monitoramento da qualidade do ar, também registrou as condições meteorológicas que permitem caracterizar a AID sobre alguns aspectos. Foram medidos os seguintes parâmetros meteorológicos:

- direção e velocidade do vento;
- precipitação pluviométrica;
- radiação solar;
- pressão atmosférica;
- temperatura do ar;
- umidade relativa do ar;
- desvio padrão da direção do vento.

A **Figura 6.1.3.1** apresenta a rosa dos ventos ocorrida na estação para o período de 02/08/2007 a 23/10/2007. Observa-se a ocorrência de ventos provenientes das direções nordeste (NE), leste-nordeste (ENE) e leste (E). A direção com maior ocorrência de ventos foi a nordeste com 18,5% de frequência, seguido pelas direções leste-nordeste, com 15,8% e leste com 14,5% de frequência. Os ventos se apresentaram na faixa entre fraco a moderado, com velocidade média de 2,7 m/s e ocorrência de calmaria em 3,2% do período. Destaca-se que o sensor de vento da estação foi localizado a 10 m acima do solo, de acordo com o padrão recomendado pela **Organização Mundial de Meteorologia - O.M.M.**

Observa-se que, durante a campanha de monitoramento da qualidade do ar, ocorreram ventos típicos da porção de maior altitude da AID. No entanto, é importante ressaltar também que a AID apresenta configuração de relevo bastante complexa, característica regional que indica a possibilidade de grande variabilidade do vento que ocorre próximo ao nível do solo, devido aos obstáculos naturais existentes, significativas diferenças de rugosidade e albedo, presença de porções de água, dentre outros fatores.

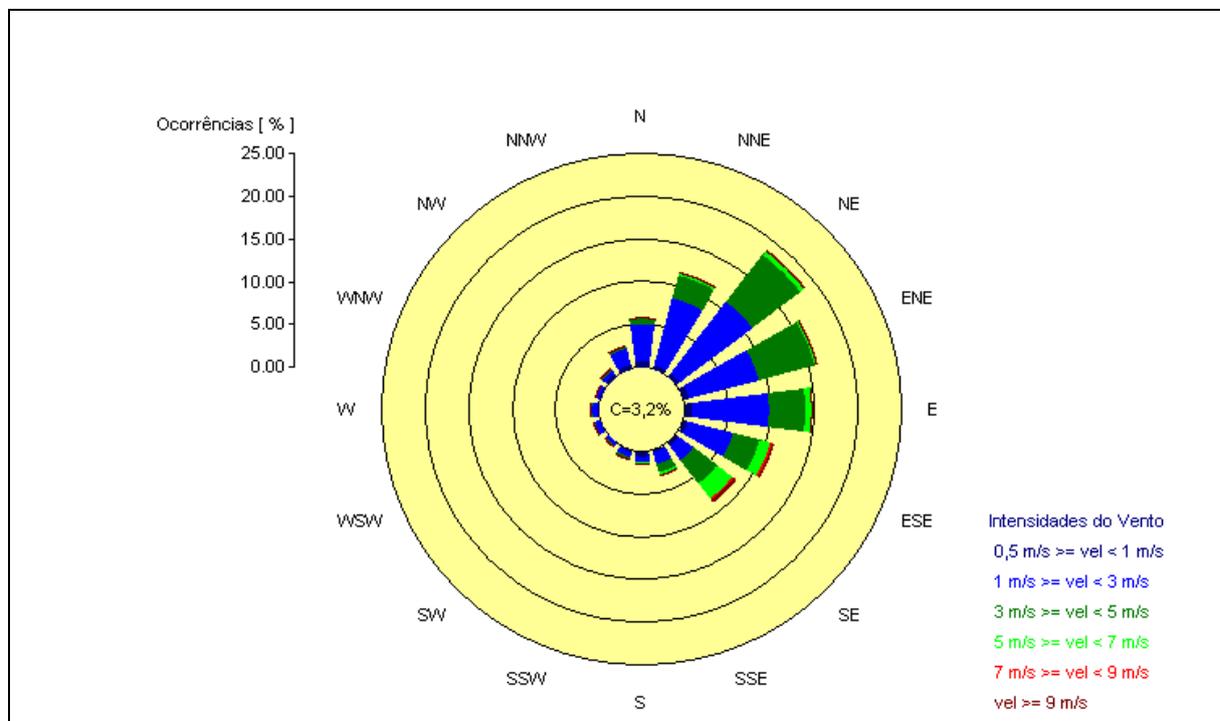


FIGURA 6.1.3.1 – Rosa dos ventos em Serra Sul – Período de 02/08/2007 a 23/10/2007.

O gráfico apresentado na **Figura 6.1.3.2** indica a ocorrência no Corpo S11 de um total de 190,4 mm de chuva durante a campanha de monitoramento realizada, situação característica do trimestre em que ocorreu a medição.

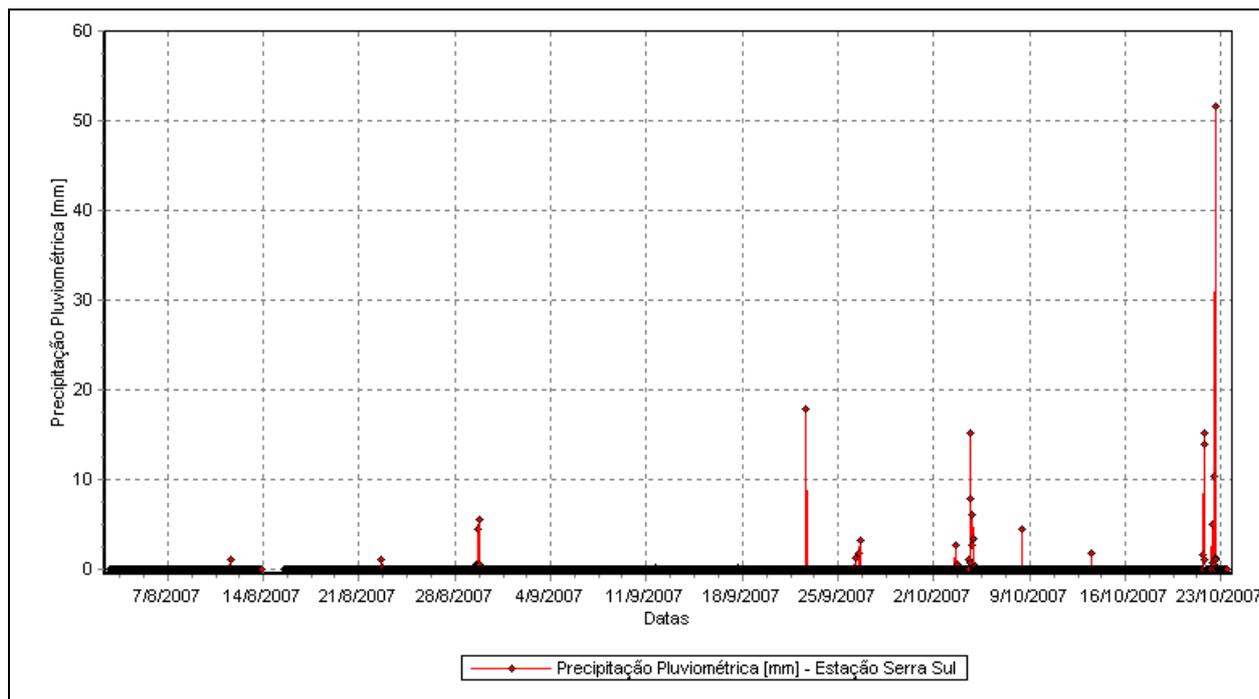


FIGURA 6.1.3.2 – Ocorrência de chuva durante a campanha de monitoramento - Período de 02/08/2007 a 23/10/2007.

A radiação solar ocorrida durante a campanha de medição da qualidade do ar também se apresentou de forma típica para a região. A **Figura 6.1.3.3** apresenta as médias horárias de radiação solar registradas durante a campanha de monitoramento.

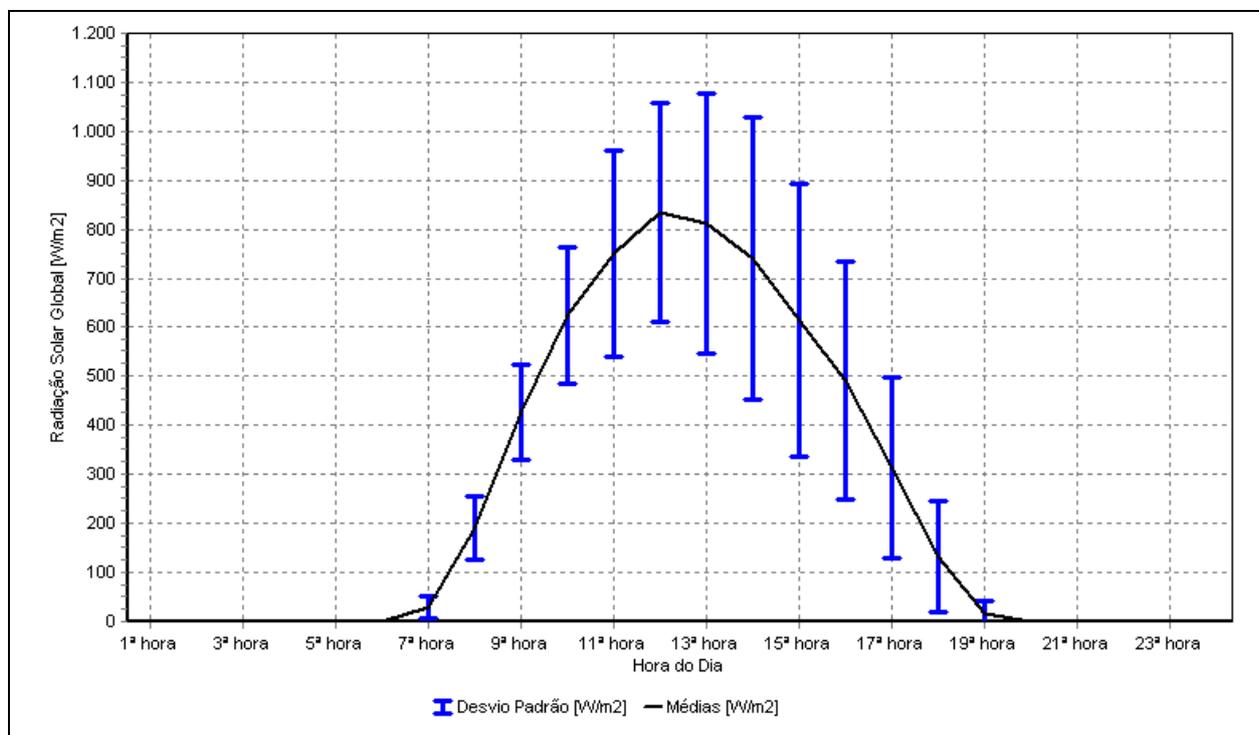


FIGURA 6.1.3.3 – Médias horárias de radiação solar - Período de 02/08/2007 a 23/10/2007.

As **Figuras 6.1.3.4, 6.1.3.5 e 6.1.3.6** apresentam, respectivamente, as médias horárias de temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica, medidas na campanha de monitoramento da qualidade do ar realizada no Corpo S11, onde também é possível constatar que tais variáveis se comportaram conforme os respectivos padrões esperados para a localidade e o período monitorado.

O desvio padrão da direção do vento é um indicador da turbulência atmosférica, que pode ser traduzido pelas classes de estabilidade de Pasquill. O valor médio do desvio padrão da direção do vento ($\sigma\theta$) durante a campanha de monitoramento foi igual a 25° . A **Figura 6.1.3.7** apresenta as médias horárias típicas para a variável $\sigma\theta$ registradas durante a campanha de monitoramento.

Analisando de uma forma geral todas as variáveis meteorológicas medidas durante a campanha de monitoramento da qualidade do ar realizada no período de 02/08/2007 a 23/10/2007, conclui-se que as medidas das concentrações de poluentes presentes na atmosfera foram obtidas em condições meteorológicas típicas do local de medição e época do ano, corroborando a representatividade das informações que serão apresentadas no item a seguir.

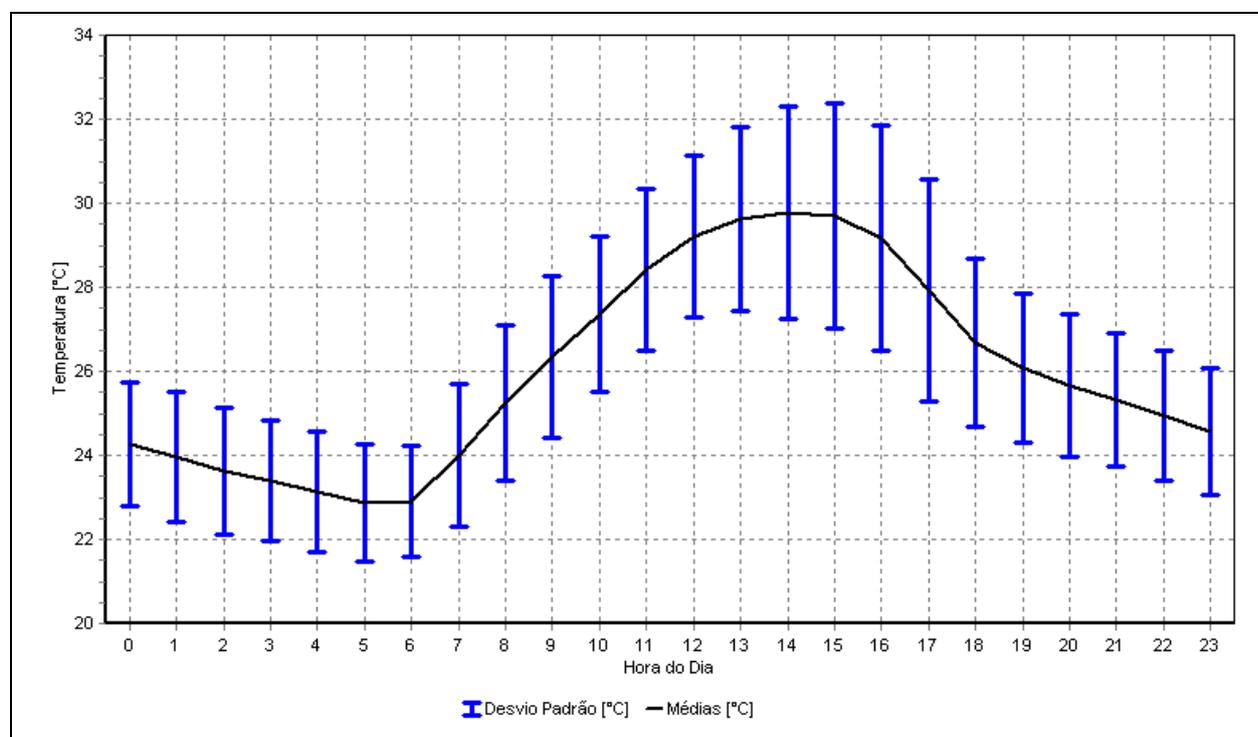


FIGURA 6.1.3.4 – Médias horárias de temperatura do ar - Período de 02/08/2007 a 23/10/2007.

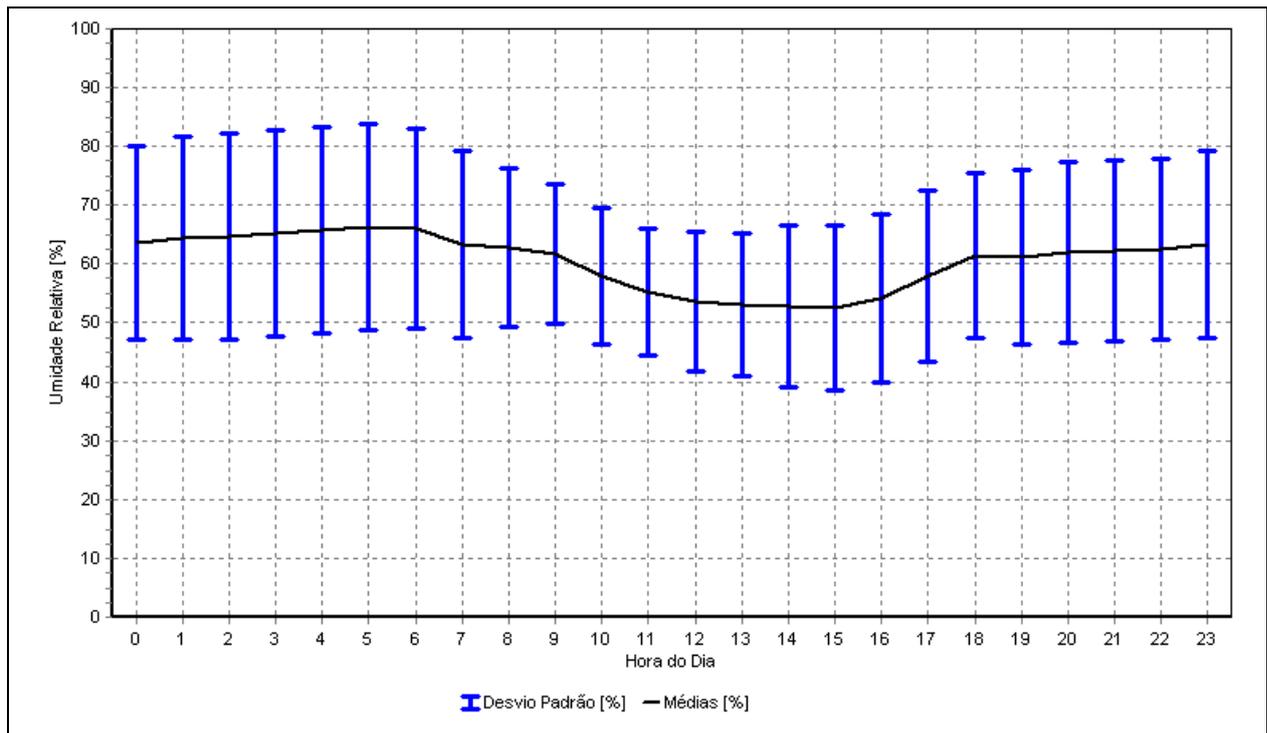


FIGURA 6.1.3.5 – Médias horárias de umidade relativa do ar - Período de 02/08/2007 a 23/10/2007.

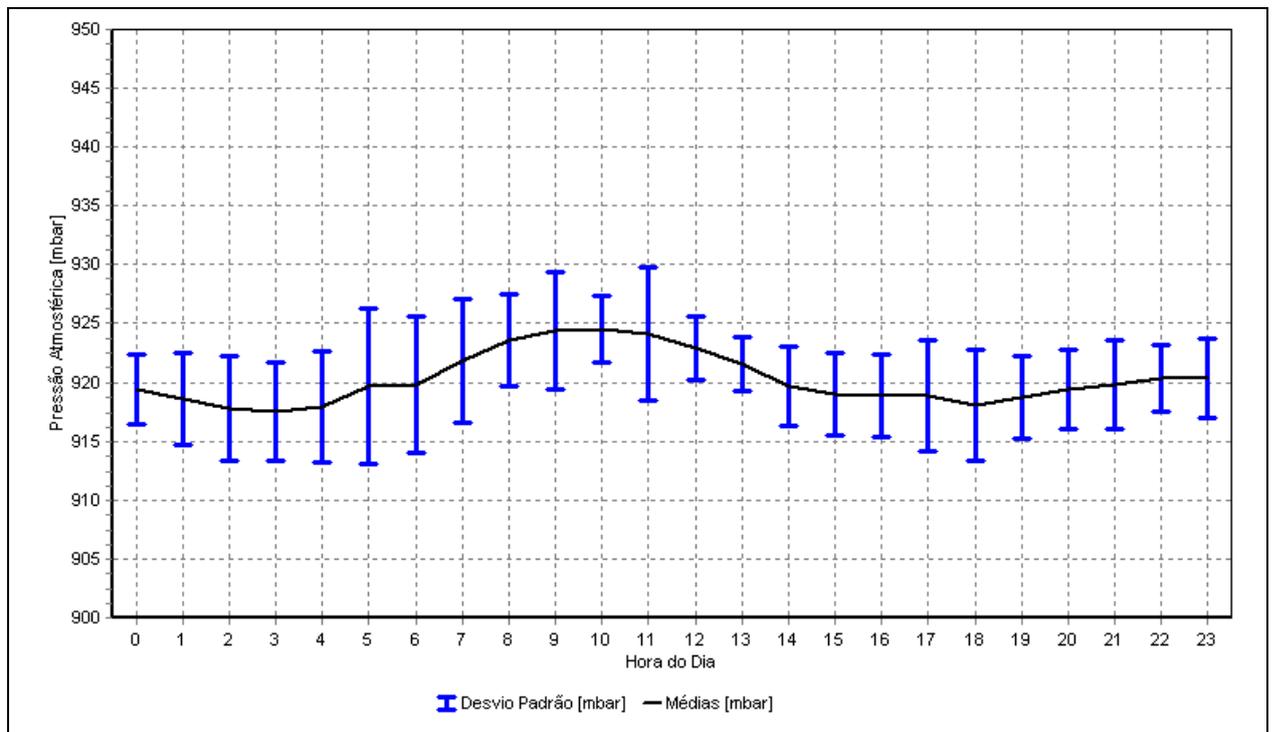


FIGURA 6.1.3.6 – Médias horárias de pressão atmosférica - Período de 02/08/2007 a 23/10/2007.

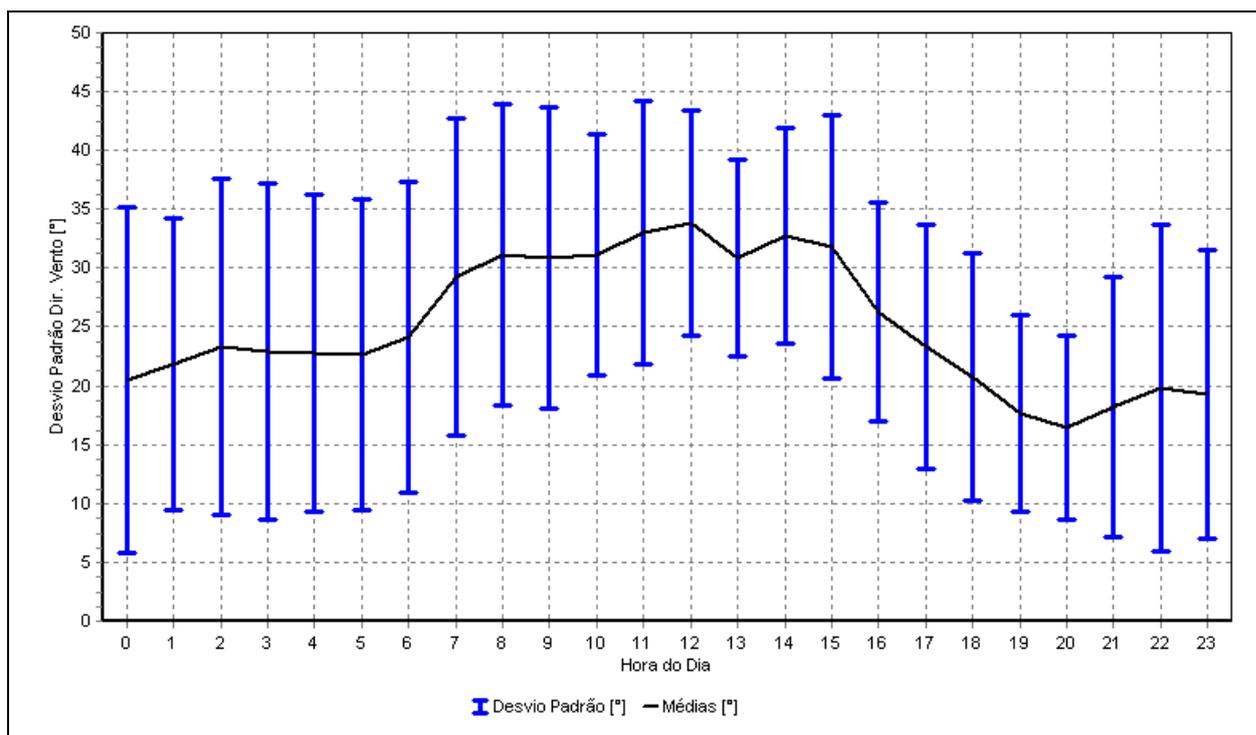


FIGURA 6.1.3.7 – Médias horárias de desvio padrão da direção do vento - Período de 02/08/2007 a 23/10/2007.

6.1.3.2 Análise dos Dados de Qualidade do Ar

O diagnóstico da qualidade do ar da AID do Projeto Ferro Carajás S11D foi realizado com base em dados primários obtidos por meio de uma estação automatizada que foi instalada na área do acampamento do projeto, no período de 02/08/2007 a 23/10/2007.

As concentrações dos poluentes atmosféricos regulamentados (e complementares) presentes na atmosfera da região foram continuamente medidas e registradas como médias horárias, 24 horas por dia, para os seguintes parâmetros: Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (PI como PM_{10}), Dióxido de Enxofre (SO_2), Dióxido de Nitrogênio (NO_2), Monóxido de Nitrogênio (NO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Monóxido de Carbono (CO), Ozônio (O_3), Hidrocarbonetos Totais (HCT), Hidrocarbonetos Não Metano ($HCnM$) e Metano (CH_4).

Nas análises apresentadas, as concentrações dos poluentes são comparadas aos padrões primários de qualidade do ar estabelecidos pela resolução CONAMA 03/1990, quando cabível. É importante observar que a comparação com os padrões é feita graficamente por meio da leitura direta das medições para o caso de padrões com referência temporal de 1 hora, ou com a leitura da média móvel de intervalo compatível, no caso de referências temporais maiores que 1 hora. As escalas dos gráficos foram ajustadas para facilitar a comparação dos resultados com os padrões de qualidade do ar aplicáveis à AID.

A **Tabela 6.1.3.1** apresenta as análises estatísticas descritivas das séries de dados horários de qualidade do ar obtidas na estação no período citado.

TABELA 6.1.3.1

**ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS SÉRIES DE DADOS DE QUALIDADE DO AR DA
ESTAÇÃO DO BLOCO D – PERÍODO DE 02/08/2007 A 23/10/2007**

Poluente	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
PTS [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	83,0	52,0	11,0	389,0
PI [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	61,0	37,0	7,0	250,0
SO ₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1,6	1,3	0,0	9,1
NO ₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	6,4	4,4	0,0	47,3
NO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	2,6	0,8	0,0	16,0
NO _x [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	9,0	4,9	1,2	63,3
CO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	502,6	274,8	117,4	1.665,3
HCT [ppm]	1,9	<0,1	1,8	1,9
HChM [ppm]	0,1	<0,1	0,1	0,2
CH ₄ [ppm]	1,8	<0,1	1,7	1,8
O ₃ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	94,5	24,0	35,0	207,1

Na seqüência de gráficos a seguir (**Figuras 6.1.3.8 a 6.1.3.15**) são apresentados os resultados das concentrações dos poluentes atmosféricos monitorados no Bloco D.

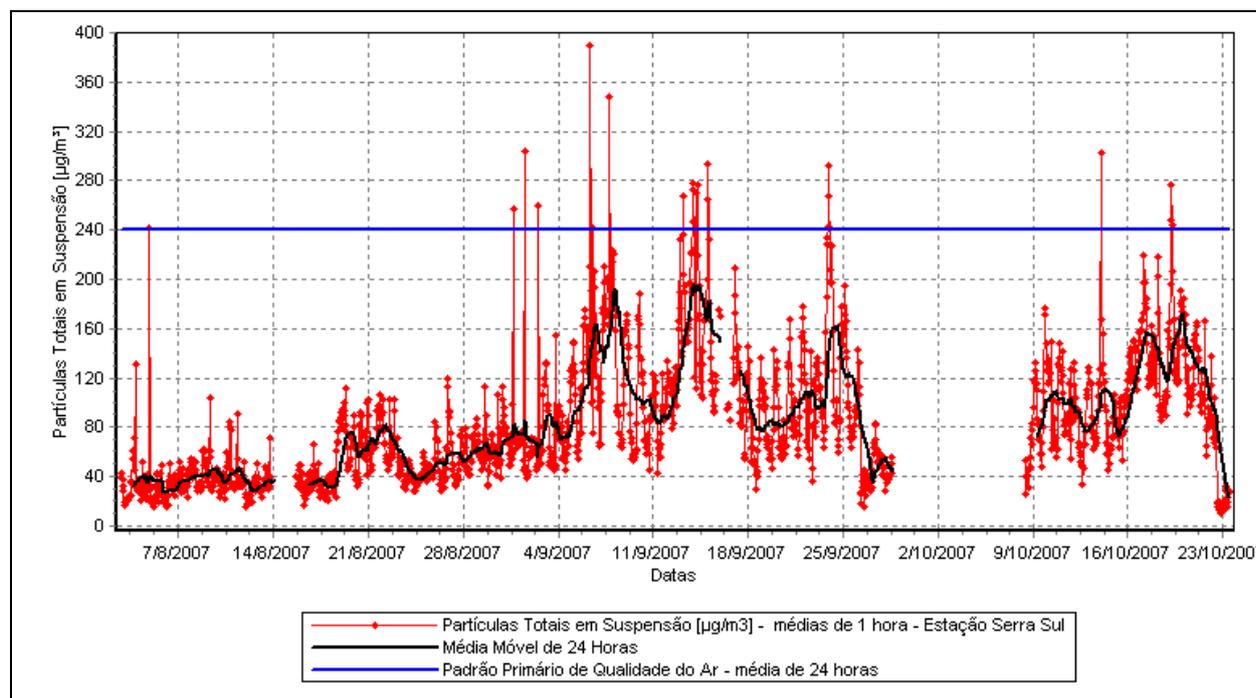


FIGURA 6.1.3.8 – Concentração de partículas totais em suspensão – Bloco D – 02/08/2007 a 23/10/2007.

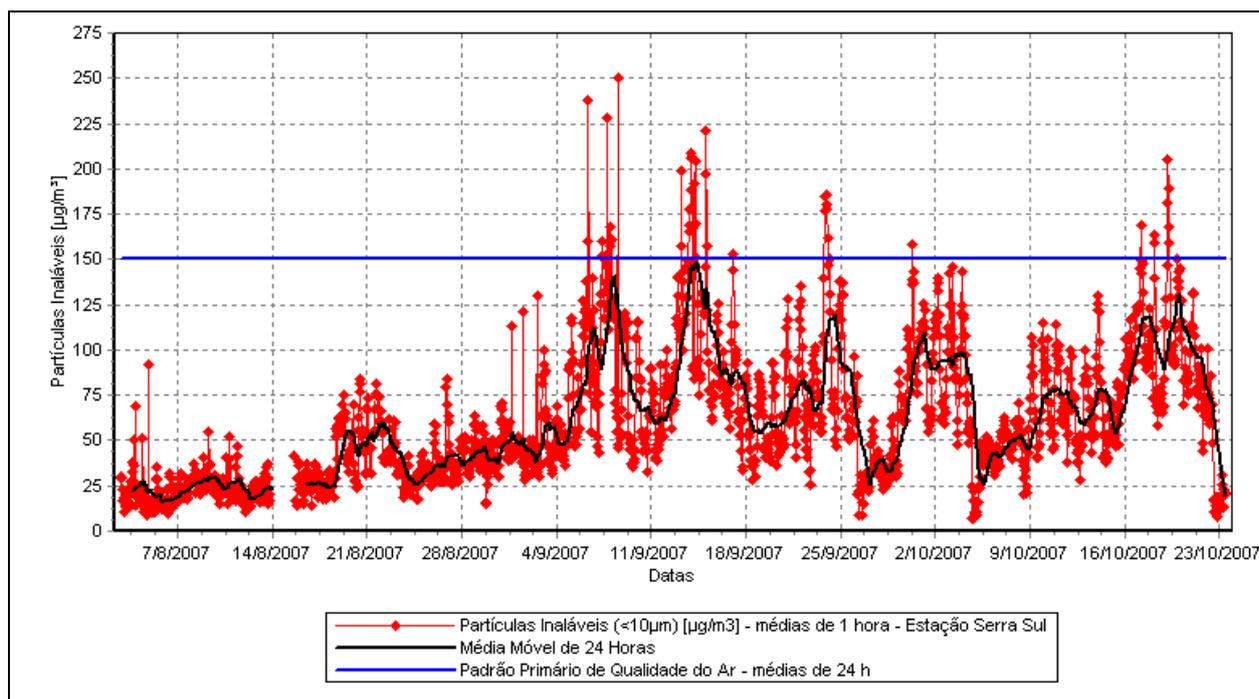


FIGURA 6.1.3.9 – Concentração de partículas inaláveis – Bloco D – 02/08/2007 a 23/10/2007.

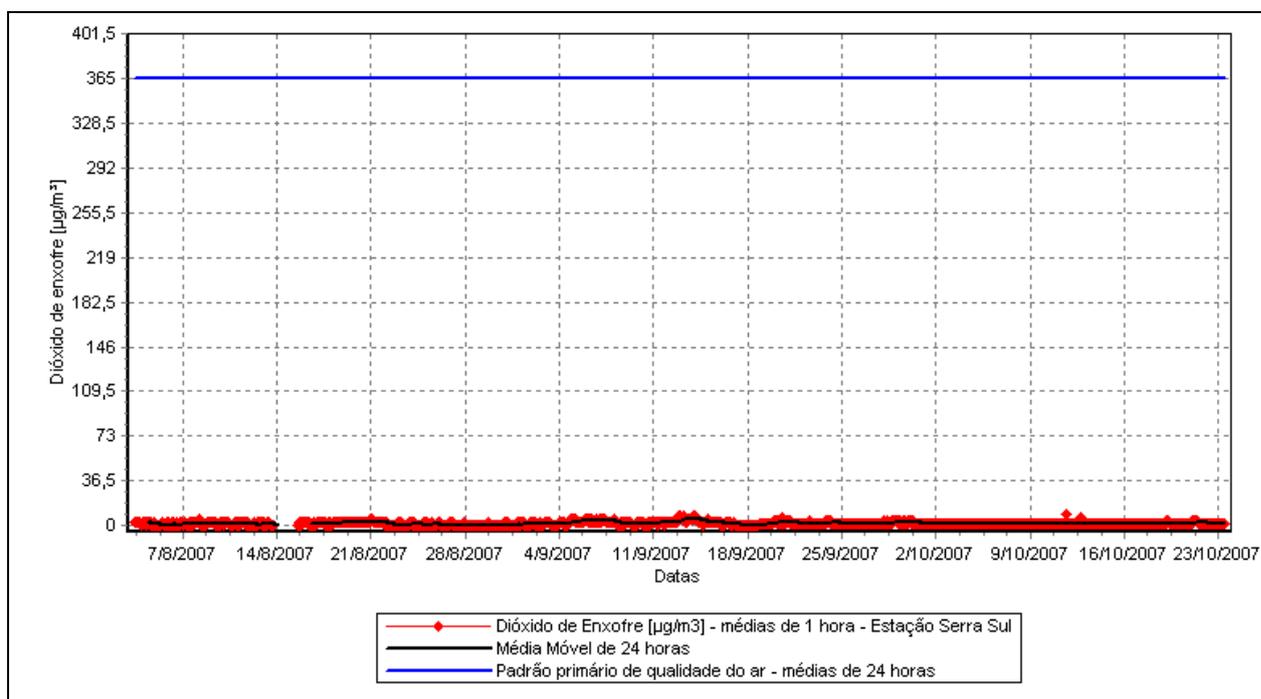


FIGURA 6.1.3.10 – Concentração de dióxido de enxofre – Bloco D – 02/08/2007 a 23/10/2007.

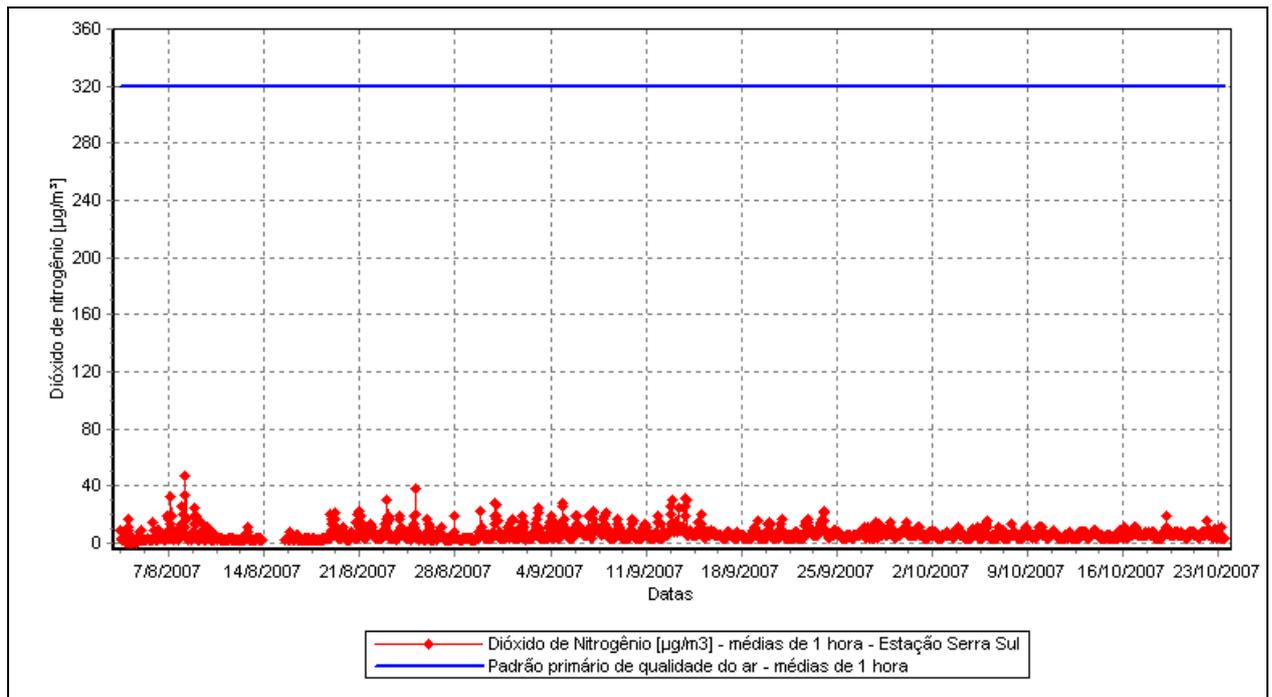


FIGURA 6.1.3.11 – Concentração de dióxido de nitrogênio – Bloco D – 02/08/2007 a 23/10/2007.

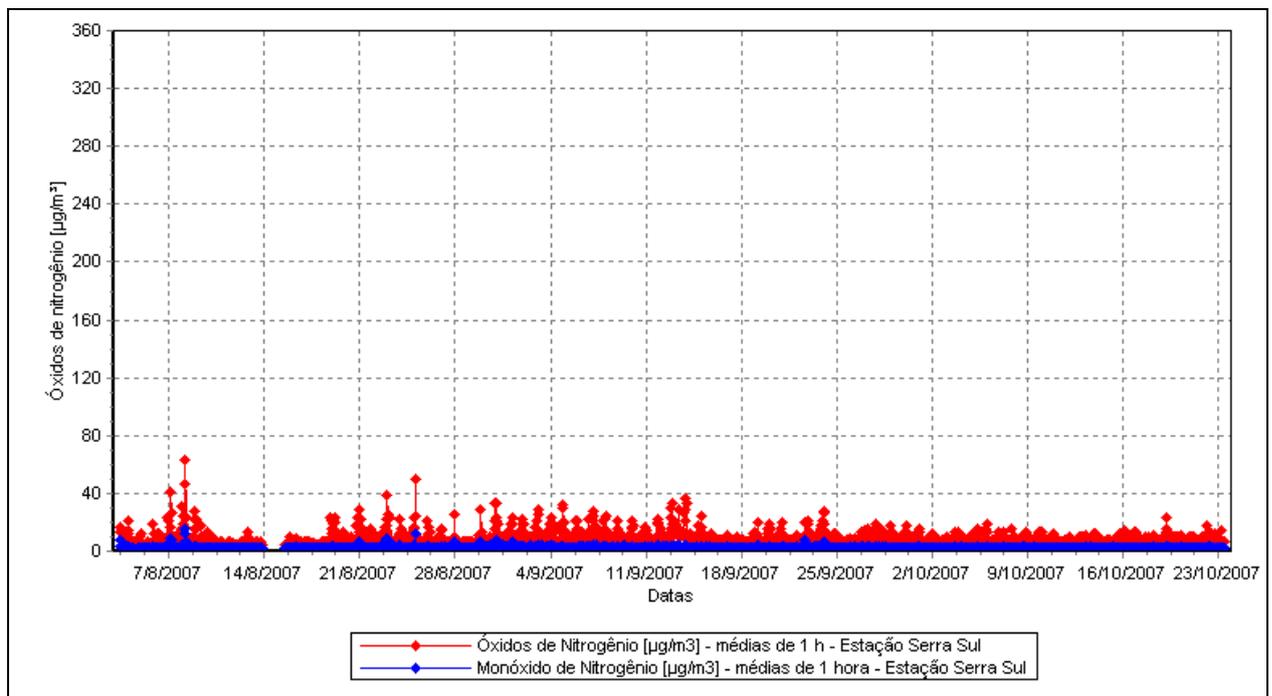


FIGURA 6.1.3.12 – Concentração de óxidos de nitrogênio – Bloco D – 02/08/2007 a 23/10/2007.

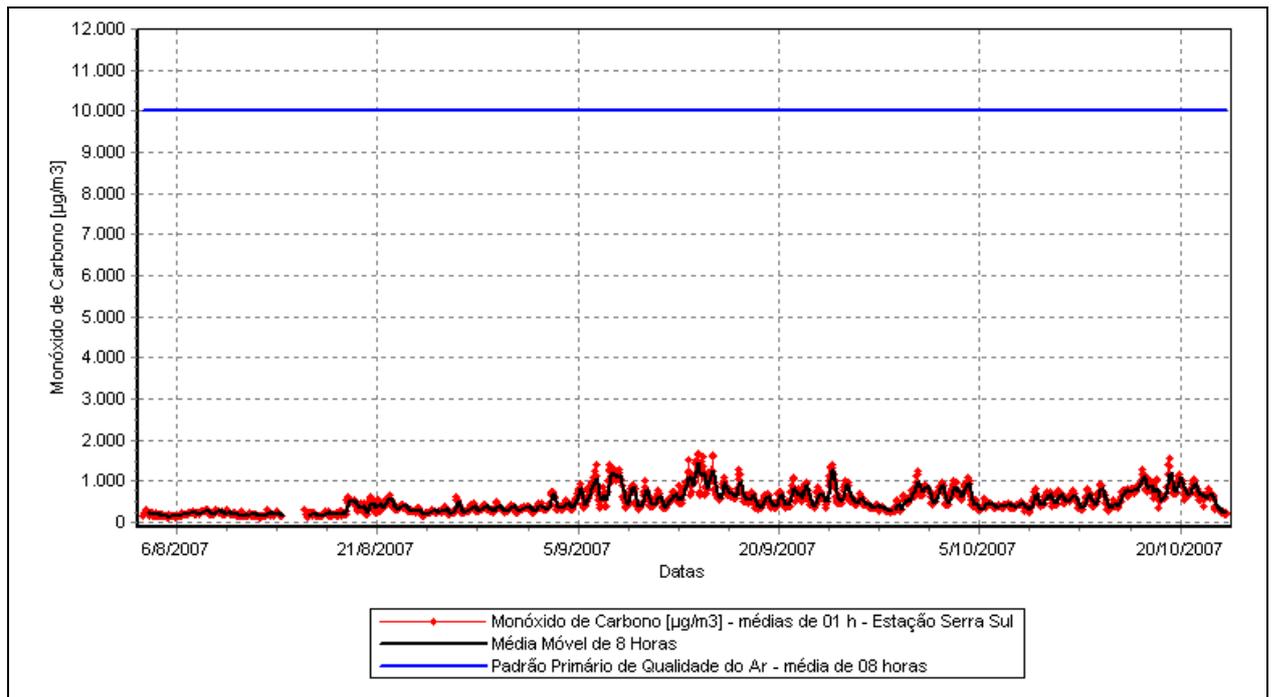


FIGURA 6.1.3.13 – Concentração de monóxido de carbono – Bloco D – 02/08/2007 a 23/10/2007.

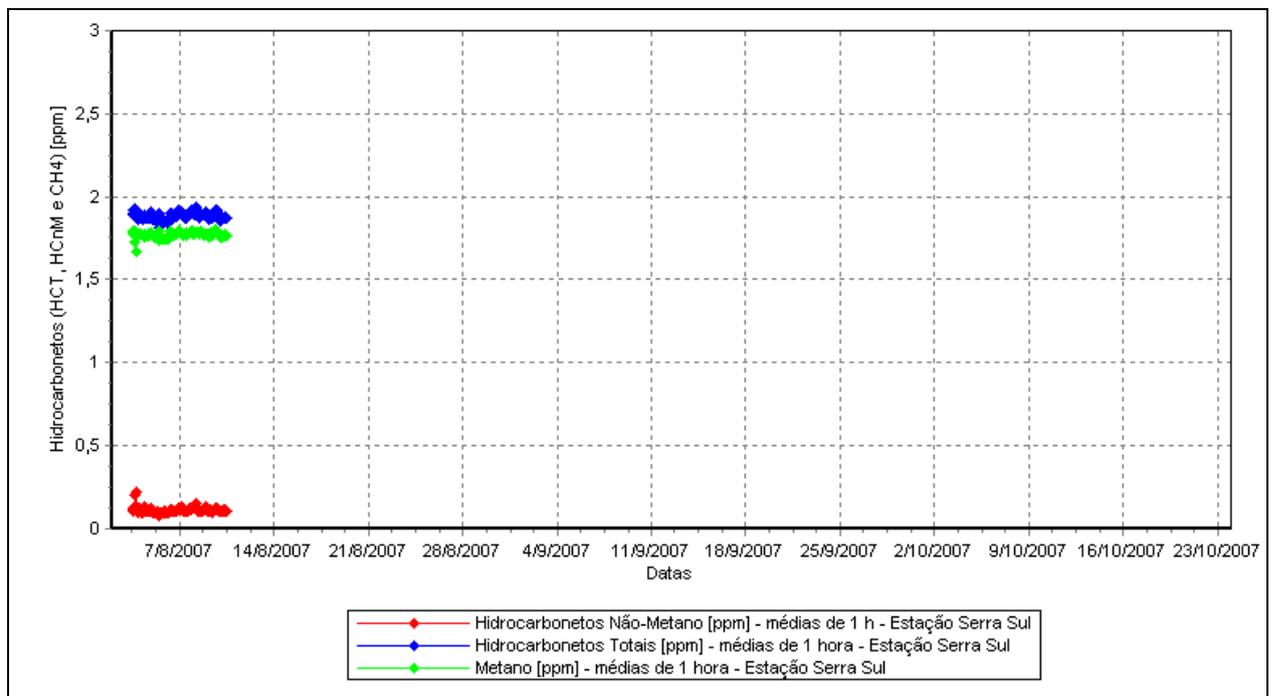


FIGURA 6.1.3.14 – Concentração de hidrocarbonetos – Bloco D – 02/08/2007 a 23/10/2007.

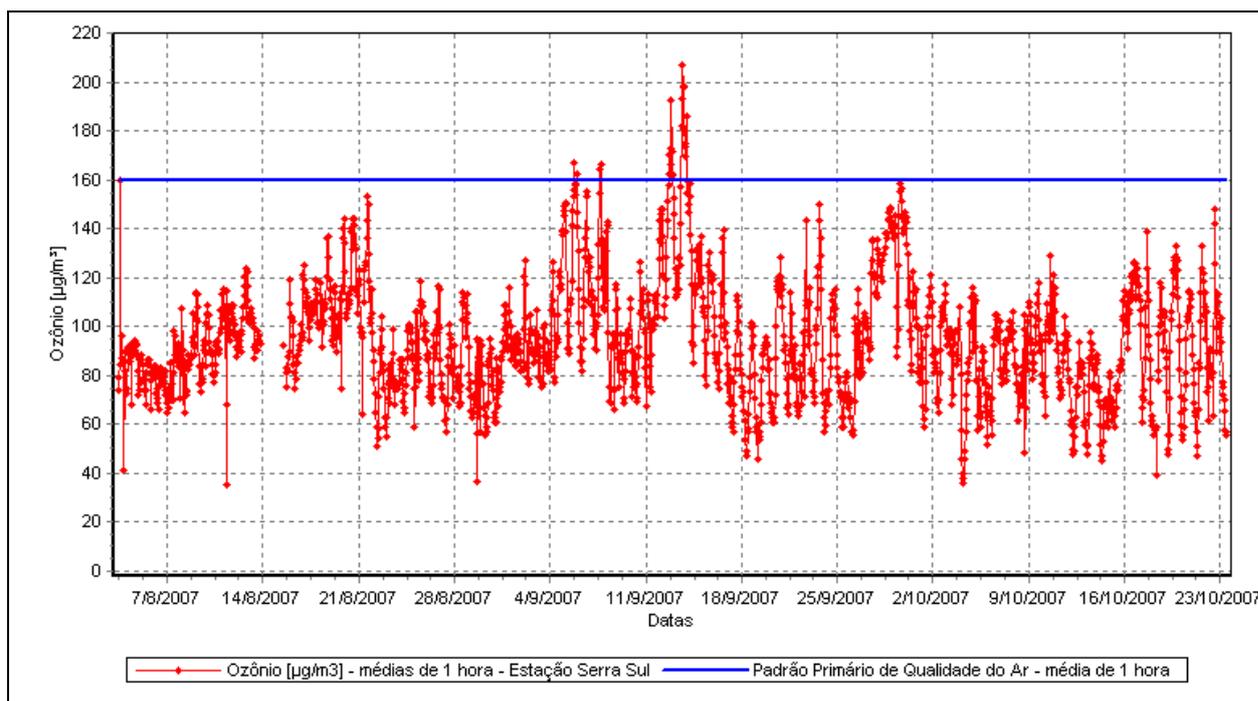


FIGURA 6.1.3.15 – Concentração de ozônio – Bloco D – 02/08/2007 a 23/10/2007.

Sobre os dados de monitoramento contínuo obtidos no período de 02/08/2007 a 23/10/2007 na estação instalada no Bloco D, observa-se que:

- Os parâmetros monitorados apresentaram concentrações inferiores aos limites estabelecidos pelos padrões legais vigentes no Brasil (Resolução CONAMA N° 03/1990), com exceção do parâmetro ozônio (O_3) que ultrapassou 22 vezes o padrão horário de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante o período monitorado;
- Em ordem de significância, os poluentes que apresentaram as maiores concentrações foram o ozônio (O_3), que ocorreu em níveis acima do padrão primário vigente, e as partículas (PI e PTS), cujos níveis se apresentaram muito próximos dos respectivos padrões de curto período estabelecidos, com possibilidade de violação dos padrões de longo período (médias anuais). Os demais poluentes regulamentados apresentaram concentrações em níveis significativamente inferiores aos seus respectivos padrões legais vigentes.

A **Tabela 6.1.3.2** apresenta o resumo das concentrações obtidas na campanha de monitoramento e suas comparações com as concentrações limite estabelecidas pelos padrões primários de qualidade do ar da Resolução CONAMA N° 03/1990. Ressalta-se nesta tabela que as concentrações médias obtidas da campanha de monitoramento realizada no período compreendido entre os dias 02/08/2007 e 23/10/2007 foram comparadas às concentrações médias anuais preconizadas pelos padrões da Resolução citada. Apesar da diferença de tempos de média, a comparação pode ser considerada pertinente no contexto do presente estudo, haja vista a carência de dados secundários de longo período na AID. Porém, como a campanha foi realizada em época de baixa incidência de chuvas e alta incidência de queimadas na região, a comparação torna-se bastante conservadora e deve ser utilizada com as devidas ressalvas.

Os padrões de curto período (1, 8 e 24 h) foram comparados aos resultados das máximas concentrações para cada tempo de média compatível (médias móveis), para cada uma das referências temporais consideradas.

TABELA 6.1.3.2

RESUMO ESTATÍSTICO DA CAMPANHA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR NO BLOCO D E COMPARAÇÃO COM OS PADRÕES PRIMÁRIOS DA QUALIDADE DO AR (RESOLUÇÃO CONAMA Nº 03/1990)

Poluente	Referência Temporal	PQAr ^a	Estação S11D	
			Concentração Máxima ^b	Fração do PQAr [%] ^c
PTS [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 h	240	196,1	82
	Média anual	80	69,0 ^d	86
PI [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 h	150	148,8	99
	Média anual	50	61,0 ^d	122
SO ₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 h	365	5,5	2
	Média anual	80	1,6 ^d	2
NO ₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 h	320	47,3	15
	Média anual	100	6,4 ^d	6
CO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 h	40.000	1.665,3	4
	8 h	10.000	1.449,2	14
O ₃ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 h	160	207,1	129

- padrão primário da qualidade do ar estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 03/1990;
- concentração máxima obtida por médias móveis;
- fração de contribuição relativa ao padrão primário de qualidade do ar ($100 * \text{Concentração Máxima} / \text{Padrão de Qualidade do Ar aplicável}$);
- valor da média do período monitorado (83 dias);

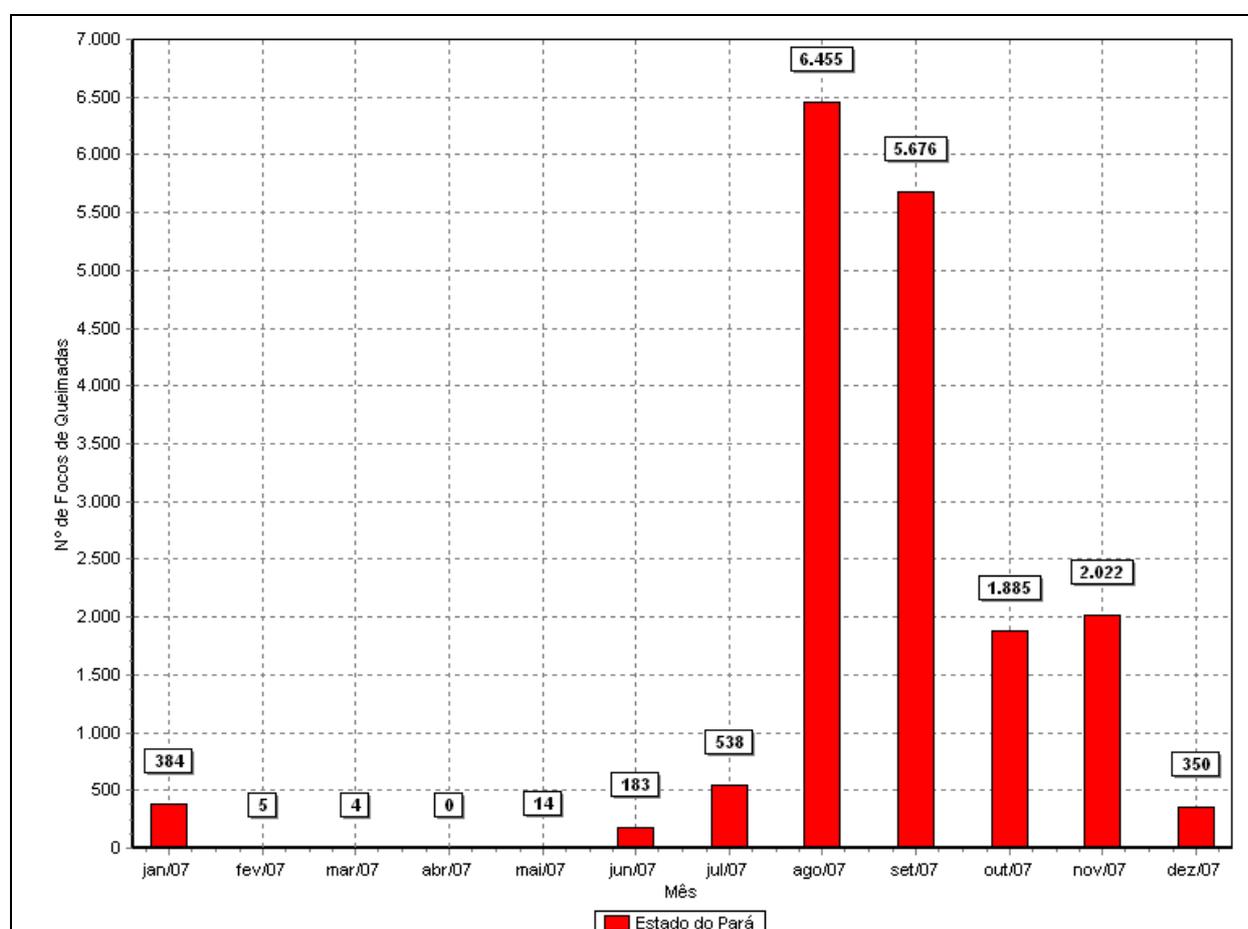
Ressalta-se que as condições de suprimento de energia elétrica para a estação de monitoramento não foram suficientemente adequadas para a operação contínua do analisador de hidrocarbonetos, sensível às variações de frequência produzidas pelo gerador de energia elétrica utilizado para alimentar a estação automatizada. Portanto, a quantidade de registros de medições de hidrocarbonetos (HCT, CH₄ e HCnM) durante a campanha de monitoramento foi inferior à dos demais parâmetros. No entanto, para o curto intervalo em que foi possível a operação correta do instrumento, os valores obtidos foram baixos, compatíveis com concentrações normalmente medidas em áreas rurais distantes de fontes antropogênicas significativas.

O ozônio, utilizado como um traçador dos oxidantes fotoquímicos, não é um poluente emitido diretamente por fontes industriais, veiculares ou naturais, mas é formado na troposfera por meio de reações fotoquímicas de poluentes precursores, tais como os óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis. O poluente ozônio normalmente apresenta-se com maiores concentrações em horários com maior intensidade de luz solar. Os óxidos de nitrogênio, NO e NO₂, são normalmente resultantes de processos de combustão veicular, de biomassa e industrial.

Já os hidrocarbonetos e os compostos orgânicos voláteis são emitidos por meio de processos evaporativos, queima incompleta de combustíveis automotivos, em processos industriais e também por certos tipos de vegetais. Na atmosfera mais próxima ao solo, na presença dos precursores, o ozônio é tanto formado quanto consumido em complexas reações fotoquímicas, estabelecendo um equilíbrio químico dependente ainda das condições meteorológicas. As massas de ar contendo precursores e/ou ozônio podem se dispersar desde as áreas de maior emissão para áreas afastadas das fontes emissoras. Assim, concentrações elevadas de ozônio também podem ser encontradas nas periferias dos grandes centros e mesmo em áreas distantes (dezenas a centenas de quilômetros) das fontes emissoras.

As elevadas concentrações de ozônio e partículas (PI e PTS) encontradas na atmosfera do Bloco D no período em que as medições foram realizadas são decorrentes das emissões atmosféricas produzidas por centenas de focos de queimadas ocorridos na região norte do Brasil (dentro e fora da AID do Projeto Ferro Carajás S11D), observados em intensidades e localidades diferentes durante praticamente todo o período de medição. As queimadas também acarretaram alterações significativas das concentrações de CO no Corpo S11 Bloco D, resultando em valores cerca de 3 vezes acima do normalmente encontrado em áreas rurais, sem no entanto, ameaçar a ultrapassagem dos padrões para CO que são mais amplos que os padrões para PI, PTS e O₃.

O gráfico da **Figura 6.1.3.16** apresenta as ocorrências de focos de queimadas registradas mensalmente no ano de 2007 no Estado do Pará, sendo possível verificar que o fenômeno atingiu seu ápice exatamente durante a campanha de monitoramento da qualidade do ar ocorrida de agosto a setembro no Corpo S11.



Fonte: INPE/CPTEC, 2008

FIGURA 6.1.3.16 – Focos de queimadas ocorridas em 2007 no Estado do Pará.

Na ausência ou minimização das queimadas, o que tipicamente ocorre de dezembro a junho, as concentrações dos poluentes PTS, PI, O₃, NO, NO₂, NO_x e CO em Serra Sul tendem a retornar a níveis muito mais baixos que os encontrados durante a campanha de monitoramento realizada. Dessa forma, as concentrações médias anuais reais desses poluentes certamente serão inferiores àquelas médias apresentadas na **Tabela 6.1.3.1**, que são referentes às médias do período monitorado (agosto, setembro e outubro) na época seca.

b) Estudos de Qualidade do Ar e Meteorologia

Em função de solicitação do IBAMA, para atendimento a sazonalidade para este tema, está sendo realizada uma campanha complementar de monitoramento de qualidade do ar e meteorologia no Bloco D do Corpo S11. Esta campanha, que terá duração de 30 dias, teve início em 06/05/2010. Os dados coletados durante esta campanha serão agregados e confrontados com os dados da 1ª campanha de monitoramento, realizada de agosto a outubro de 2007, para gerar um diagnóstico a ser protocolado no IBAMA em julho de 2010.

O plano de trabalho detalhado da continuidade do estudo de qualidade do ar e meteorologia assim como a planilha de dados brutos coletados até do dia 21/05/2010 encontram-se no **Anexo III-H**.

6.1.4 Ruído e Vibração

O ruído pode ser definido como um som indesejável, constituído por variações de pressão no tempo, propagada em qualquer meio (ar, água, sólido) que o ouvido humano possa detectar. O número de flutuações da pressão acústica no tempo, expressa em ciclos por segundo, recebe a denominação de frequência (Hertz).

Ao utilizar-se o termo pressão acústica, com referência ao ruído, seu conceito torna-se mais evidente, assim como a sua potencialidade em causar danos ou incômodos a terceiros. O ouvido humano pode perceber sons a partir de $20\mu\text{Pa}$, ou seja, vinte milionésimos de um Pascal. Entretanto, trabalhar com o conceito de unidade de pressão dessa magnitude é uma tarefa relativamente árdua, não muito usual ao ser humano.

Para expressar os valores de ruído utiliza-se a escala decibel que varia de 0dB (zero decibel) – correspondente a $20\mu\text{Pa}$ – considerado o limiar da audição, em 1000 Hertz, até 130dB (cento e trinta decibels) – correspondente a 63Pa - considerado o limiar da dor.

Avaliar o ruído perpassa pela identificação e caracterização das possíveis fontes de emissão, podendo ser do tipo móveis ou estacionárias.

As fontes estacionárias são aquelas que se encontram fixas em determinado local, como por exemplo, equipamentos de condicionamento de ar e de exaustão e unidades de co-geração de energia elétrica. Já as fontes móveis são aquelas que emitem ruídos enquanto se deslocam, como no caso dos veículos em geral.

A importância do diagnóstico reflete na capacidade de relacionar ruído com efeitos físicos, psicológicos e sociais, de forma prejudicial à audição, interferindo na comunicação, causando fadiga e reduzindo o desempenho dos indivíduos, e mais recentemente, busca-se a vinculação de seus efeitos sobre o comportamento da fauna, incluindo reprodução e distribuição.

Fisicamente, os ruídos podem provocar, no ser humano, diversos sintomas e/ou efeitos como a dilatação de pupilas, aumento na produção de hormônios da tireóide, aumento da produção de adrenalina, de colesterol, e de corticotrofina (diminuição da imunidade), entre outros.

Já as vibrações são percebidas pelas pessoas em baixas frequências, e passam a ser audíveis em frequências acima de aproximadamente 15Hz. Em geral, essas excitações são caracterizadas pelas acelerações, velocidades e deslocamentos de partículas que podem ser medidas e, classificadas quanto ao incômodo gerado às pessoas, bem com aos danos que estas podem causar às edificações.

A interpretação dos movimentos dinâmicos, isto é, da vibração, se dá em termos dos efeitos causados nas edificações, ou em termos da reação das pessoas ao incômodo gerado por essas vibrações. Nas edificações as vibrações podem gerar trincas sem, no entanto, comprometer as estruturas dessas edificações. Nesse caso os efeitos são considerados como danos arquitetônicos. Por outro lado, essas vibrações também podem gerar danos capazes de comprometerem o funcionamento das estruturas das edificações ou até mesmo levá-las ao colapso. Nesse caso, o dano é considerado como do tipo estrutural. O efeito das vibrações nas pessoas é em geral identificado como incômodo e, em geral, esse incômodo é causado por vibrações com intensidades bem inferiores àquelas necessárias para iniciar danos arquitetônicos e estruturais.

Nesse estudo é importante caracterizar os valores de Ruído e de Vibração de Fundo, existentes nas proximidades das futuras instalações da Mina e Usina do Projeto Ferro Carajás S11D, os quais servirão como parâmetro de referência para futuras avaliações após a implantação e operação do empreendimento.

– Indicadores de Ruído e Vibração Ambiental

São prejudiciais ao sossego e à saúde os valores de níveis sonoros equivalentes superiores aos considerados aceitáveis pela norma da ABNT, NBR 10.151 – “Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade”.

A emissão de ruídos deve então ser sempre avaliada considerando o local, horário e a natureza das atividades emissoras, o que proporcionará a preservação da saúde e do sossego público.

Em conformidade com a Resolução CONAMA N° 01/90, os Níveis Critério de Avaliação (NCA) devem ser definidos de acordo com a característica da ocupação do local, no período diurno (entre 7:00h e 21:59h) e no período noturno (entre 22:00h e 6:59h). Em Áreas de sítios e fazendas os Níveis Critério de Avaliação são 40dB(A) no período diurno (entre 7:00h e 21:59h) e 35dB(A) no período noturno (entre 22:00h e 6:59h). Ainda em conformidade com a Resolução CONAMA N° 01 de 1990, se o Ruído de Fundo (ou Ruído Ambiente) for superior a estes valores indicados na **Tabela 6.1.4.1**, o Nível Critério de Avaliação assume o valor do Ruído de Fundo (ou Ruído Ambiente).

TABELA 6.1.4.1**NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO (NCA) PARA AMBIENTES EXTERNOS, EM dB(A)**

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominante residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Os picos de velocidades de partícula serão comparados aos valores de referência apresentados na **Tabela 6.1.4.2** a seguir, na qual estão apresentadas faixas de valores de pico de velocidade de partícula e as correlações entre estas e as reações dos seres humanos, bem como os efeitos dessas velocidades sobre as construções.

TABELA 6.1.4.2**PICOS DE VELOCIDADES DE PARTÍCULA**

Velocidade pico (mm/s)	Reação Humana	Efeitos sobre as construções
0,00 – 0,15	Imperceptível	Sem danos
0,15 – 0,30	Limiar de percepção	Sem danos
2,00	Vibração perceptível	Vibrações máximas para ruínas e monumentos antigos
2,50	Início de incômodo p/ vibrações contínuas	Virtualmente não causa dano arquitetônico a construções normais
5,00	Vibrações incomodativas	Limiar, no qual existe risco de dano às construções
10,00 – 15,00	Vibrações desagradáveis	Podem gerar danos arquitetônicos

Fonte: Adaptado de: WHIFFIN e LEONARD, Report LR418 Design Div., Transp. Road Research Lab., UK, 19711

a/b. Caracterização dos níveis de ruído de fundo e dos níveis de vibração na área de influência do empreendimento (“background”)

A descrição da metodologia adotada para determinação dos níveis de ruído de fundo e de vibração na área de influencia do empreendimento (“background”) encontra-se detalhada no capítulo **metodologia item 1.3.1.c** apresentado no **Volume I-A** deste documento.

A **Tabela 6.1.4.3** apresenta a relação dos locais de medição acústica e de vibração e das tipologias vegetais e usos do solo. Na **Figura 5.6**, apresentada no **item 5** podem ser observados a localização desses pontos.

¹ WHIFFIN, A C. e D. R. LEONARD, A survey of traffic-induced vibrations, Report LR 418, Design Division, Transport and Road Research Laboratory, UK, 1971.

TABELA 6.1.4.3

IDENTIFICAÇÃO DOS LOCAIS DE SUPOSTO INCÔMODO ONDE FORAM EFETUADAS AS MEDIÇÕES ACÚSTICAS E DE VIBRAÇÕES

Ponto	Coordenada - UTM (SAD 69)		Descrição
P1	576289	9292345	Savana Metalófila (campo rupestre)
P2	573877	9292187	Savana Metalófila (campo rupestre)
P3	571546	9293125	Savana Metalófila (campo rupestre)
P4	568777	9293383	Savana Metalófila (campo rupestre)
P5	572905	9288283	Ambiente florestal (floresta densa)
P6	577155	9285653	Ambiente florestal (floresta densa)
P7	574762	9285763	Ambiente florestal (floresta densa)
P8	571445	9287341	Ambiente florestal (floresta densa)
P9	580672	9289551	Ambiente florestal (floresta densa)
P10	580711	9289702	Ambiente florestal (floresta densa)
P11	581964	9284905	Vila Mozartinópolis
P12	582084	9282533	Área de Ação Antrópica
P13	585396	9284137	Área de Ação Antrópica
P14	575373	9284221	Área de Ação Antrópica
P15	574532	9287409	Área de Ação Antrópica
P16	572952	9288125	Área de Ação Antrópica
P17	581739	9289585	Área de Ação Antrópica
P18	573510	9283449	Ambiente florestal (floresta aberta)
P19	576849	9284831	Ambiente florestal (floresta aberta)
P20	580625	9289053	Ambiente florestal (floresta aberta)

Apresenta-se, a seguir, as **Fotos 6.1.4.1 a 6.1.4.20**, que caracterizam os locais das medições executadas no presente trabalho.



FOTO 6.1.4.1– Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P1.



FOTO 6.1.4.2 – Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P2.



FOTO 6.1.4.3 – Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P3.



FOTO 6.1.4.4 – Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P4.



FOTO 6.1.4.5 – Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P5.



FOTO 6.1.4.6 – Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P6.



FOTO 6.1.4.7 – Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P7.



FOTO 6.1.4.8– Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P8.



FOTO 6.1.4.9 – Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P9.



FOTO 6.1.4.10 – Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P10.



FOTO 6.1.4.11 – Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P11.



FOTO 6.1.4.12 – Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P12.



FOTO 6.1.4.13 – Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P13.



FOTO 6.1.4.14 – Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P14.



FOTO 6.1.4.15 – Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P15.



FOTO 6.1.4.16 – Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P16.



FOTO 6.1.4.17– Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P17.



FOTO 6.1.4.18 – Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P18.



FOTO 6.1.4.19 – Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P19.



FOTO 6.1.4.20 – Fotos do posicionamento do microfone e acelerômetro no ponto de medição P20.

Além do registro dos valores de Ruído de Fundo e Velocidade de Partícula nos locais de suposto incômodo, no entorno das futuras instalações da Mina e Usina do Projeto Ferro Carajás S11D foram também registradas as temperaturas ambientes, umidades relativas do ar e velocidades dos ventos, os quais são apresentados nas **Tabelas 6.1.4.4 e 6.1.4.5**, para os períodos diurno e noturno, respectivamente.

TABELA 6.1.4.4

LOCAIS, HORÁRIOS E DADOS ADICIONAIS, COLETADOS DURANTE AS MEDIÇÕES DE RUÍDO DE FUNDO E VELOCIDADE DE PARTÍCULA, REALIZADAS EM 19, 20, 21, 22, 23, 24 E 25 DE OUTUBRO DE 2007, EM LOCAIS DE SUPOSTO INCÔMODO, NO ENTORNO DAS FUTURAS INSTALAÇÕES DA MINA E USINA DO PROJETO FERRO CARAJÁS S11D. PERÍODO: DIURNO

Posição	Local	Dados das Medições					
		Data	Horário		U.R [%]	Vento [m/s]	Temp [°C]
			Inicial	Final			
P1	Savana Metalófila (campo rupestre)	24/10/07	16:07	16:37	89	< 5	25,2
P2		24/10/07	17:26	17:56	97	< 5	21,8
P3		25/10/07	09:46	10:16	68	< 5	28,6
P4		25/10/07	08:45	09:15	74	< 5	26,0
P5	Ambiente florestal (floresta densa)	19/10/07	10:42	11:12	69	< 5	30,7
P6		23/10/07	11:43	12:13	92	< 5	27,1
P7		20/10/07	07:16	07:46	95	< 5	24,1
P8		19/10/07	09:02	09:32	88	< 5	26,0
P9		21/10/07	10:17	10:47	72	< 5	30,1
P10		24/10/07	12:58	13:28	86	< 5	25,1
P11	Vila Mozartinópolis	22/10/07	11:52	12:22	98	< 5	25,2

Continua...

...continuação

Posição	Local	Dados das Medições					
		Data	Horário		U.R [%]	Vento [m/s]	Temp [°C]
			Inicial	Final			
P12	Área de Ação Antrópica	22/10/07	11:11	11:41	89	< 5	26,3
P13		22/10/07	10:22	10:52	94	< 5	26,1
P14		19/10/07	17:00	17:30	64	< 5	30,9
P15		19/10/07	12:32	13:02	54	< 5	34,1
P16		19/10/07	11:35	12:05	41	< 5	36,6
P17		21/10/07	12:44	13:14	53	< 5	35,3
P18	Ambiente florestal (floresta aberta)	19/10/07	14:38	15:08	57	< 5	34,8
P19		23/10/07	10:18	10:48	97	< 5	25,3
P20		21/10/07	11:34	12:04	58	< 5	32,6

TABELA 6.1.4.5

LOCAIS, HORÁRIOS E DADOS ADICIONAIS, COLETADOS DURANTE AS MEDIÇÕES DE RUÍDO DE FUNDO E VELOCIDADE DE PARTÍCULA, REALIZADAS EM 21, 22 E 24 DE OUTUBRO DE 2007, EM LOCAIS DE SUPOSTO INCÔMODO, NO ENTORNO DAS FUTURAS INSTALAÇÕES DA MINA E USINA DO PROJETO FERRO CARAJÁS S11D. PERÍODO: NOTURNO

Posição	Local	Dados das Medições					
		Data	Horário		U.R [%]	Vento [m/s]	Temp [°C]
			Inicial	Final			
P3	Savana Metalófila (campo rupestre)	24/10/07	22:42	22:57	96	< 5	21,0
P7	Ambiente Florestal (floresta densa)	21/10/07	23:24	23:39	96	< 5	23,4
P10	Ambiente Florestal (floresta densa)	24/10/07	22:04	22:19	98	< 5	22,6
P11	Vila Mozartinópolis	22/10/07	02:24	02:39	96	< 5	22,6
P12	Área de Ação Antrópica	22/10/07	01:11	01:26	97	< 5	22,2
P13	Área de Ação Antrópica	22/10/07	01:49	02:04	94	< 5	23,7
P14	Área de Ação Antrópica	22/10/07	00:00	00:15	98	< 5	23,2
P18	Ambiente florestal (floresta aberta)	21/10/07	22:06	22:21	95	< 5	22,4

A seguir, na **Tabela 6.1.4.6**, são apresentados os valores de ruído de fundo registrados nos locais de medição no entorno das futuras instalações da Mina e Usina do Projeto Ferro Carajás S11D.

TABELA 6.1.4.6

NÍVEIS SONOROS COLETADOS DURANTE AS MEDIÇÕES DE RUÍDO DE FUNDO, REALIZADAS EM 19, 20, 21, 22, 23, 24 E 25 DE OUTUBRO DE 2007, EM LOCAIS DE SUPOSTO INCÔMODO NO ENTORNO DAS FUTURAS INSTALAÇÕES DA MINA E USINA DO PROJETO FERRO CARAJÁS S11D.

Posição	Local	Nível de Ruído de Fundo – dB(A)	
		Diurno 07:00 às 21:59	Noturno 22:00 às 06:59
P1	Savana Metalófila (campo rupestre)	44	-
P2		34	-
P3		39	46
P4		33	-
P5	Ambiente florestal (floresta densa)	38	-
P6		36	-
P7		45	37
P8		44	-
P9		41	-
P10		34	44
P11	Vila Mozartinópolis	63	34
P12	Área de Ação Antrópica	44	33
P13		38	47
P14		37	34
P15		36	-
P16		32	-
P17		34	-
P18	Ambiente florestal (floresta aberta)	36	48
P19		53	-
P20		35	-

Nos Pontos P1, P2, P3 e P4, com vegetação característica de regiões de Savana Metalófila (campo rupestre) as principais fontes geradoras de Ruído de Fundo no período diurno foram animais característicos da fauna local como, por exemplo, grilos, pássaros, sapos, etc.

Nos Pontos P5, P6, P7, P8, P9 e P10 com vegetação característica de ambientes florestais (Floresta densa) as principais fontes geradoras de Ruído de Fundo no período diurno foram insetos em geral, além de predominância de sons provenientes de cigarras, pássaros e macacos.

No Ponto P11 no período diurno não é possível notar os sons provenientes da fauna pelo elevado ruído nos ambientes antropizados, onde as principais fontes geradoras de Ruído de Fundo foram o tráfego de veículos, conversas dos moradores, pedestres e latidos de cães. Nos Pontos P12 e P13 as principais fontes geradoras de Ruído de Fundo no período diurno foram insetos em geral, pássaros, gado, galinhas, com eventuais passagens de veículos.

Nos Pontos P14, P15, P16 e P17, com vegetação característica de ação antrópica, principais fontes geradoras de Ruído de Fundo no período diurno foram o gado, pássaros e alguns insetos. Nos Pontos P18, P19 e P20, com vegetação característica de ambientes florestais (floresta aberta) as principais fontes geradoras de Ruído de Fundo no período diurno foram insetos em geral, pássaros, macacos, sapos, etc.

Cabe ressaltar que essas fontes geradoras de Ruído de Fundo exercem igual influência no período noturno, mas nesse período os sons provenientes de insetos característicos da fauna são predominantes em relação aos demais. No Ponto P11, no período noturno, o ruído da Vila Mozartinópolis não é mais o predominante, podendo ser observados os sons da fauna local como principal fonte geradora de Ruído de Fundo.

A seguir, na **Tabela 6.1.4.7**, são apresentados os valores de Pico de Velocidade de Partícula registrados nos locais de medição no entorno das futuras instalações do Projeto Ferro Carajás S11D.

TABELA 6.1.4.7

PICOS DE VELOCIDADE DE PARTÍCULA COLETADOS DURANTE AS MEDIÇÕES, REALIZADAS EM 19, 20, 21, 22, 23, 24 E 25 DE OUTUBRO DE 2007, NO ENTORNO DAS FUTURAS INSTALAÇÕES DO PROJETO FERRO CARAJÁS S11D

Posição	Local	Pico de Velocidade de Partícula [mm/s]
P1	Savana Metalófila (campo rupestre)	0,08
P2		0,09
P3		0,09
P4		0,08
P5	Ambiente florestal (floresta densa)	0,09
P6		0,08
P7		0,08
P8		0,08
P9		0,08
P10		0,09
P11	Vila Mozartinópolis	0,09
P12	Área de Ação Antrópica	0,08
P13		0,08
P14		0,08
P15		0,10
P16		0,10
P17		0,09
P18		0,09
P19	Ambiente florestal (floresta aberta)	0,08
P20		0,08

Nos Pontos P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P14, P15, P16, P17, P18, P19 e P20 as velocidades de partícula registradas foram exclusivamente de vibrações “naturais”.

Nos Pontos P11, P12 e P13 as velocidades de partícula registradas foram provenientes de vibrações “naturais” e de passagens de veículos e pessoas próximo aos locais de medição.

6.1.4.1 Considerações

Em conformidade com a Resolução CONAMA 01/90, considerando que os valores do Ruído de Fundo nos Pontos P2, P3, P4, P5, P6, P10, P13, P14, P15, P16, P17, P18 e P19 apresentaram valores abaixo de 40dB(A), conclui-se que o Nível Critério de Avaliação é de 40dB(A) para o período diurno nesses locais. Nos Pontos P1, P7, P8, P9, P11, P12 e P19, por apresentarem valores elevados de Ruído de Fundo, os Níveis Critério de Avaliação para esses locais assumem os valores de Ruído de Fundo registrados. No período noturno apenas os Pontos P3, P7, P10, P11, P12, P13, P14 e P18 foram monitorados e os valores dos Níveis Critério de Avaliação serão determinados por região, com exceção dos pontos posicionados próximo à Vila Mozartinópolis.

Considerando que os valores de Ruído de Fundo foram elevados para os Pontos P3, P7, P10, P11, P13 e P18 os Níveis Critério de Avaliação também assumem os valores de Ruído de Fundo registrados para a região de Savana Metalófila (campo rupestre), Ambiente Florestal (floresta densa e aberta) e para o Ponto P11 (Vila Mozartinópolis). Para os ambientes de ação antrópica o Nível Critério de Avaliação permanece igual a 35dB(A) no período noturno.

Conhecidos os valores do Ruído de Fundo – **Tabela 6.1.4.6** - em pontos representativos do entorno das futuras instalações do Projeto Ferro Carajás S11D, conclui-se que nos locais de suposto incômodo os valores médios de L_{Aeq} devem ser inferiores aos apresentados na **Tabela 6.1.4.8**.

TABELA 6.1.4.8

NÍVEIS CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO DEFINIDOS EM CONFORMIDADE COM A RESOLUÇÃO CONAMA 01 DE 1990 E NBR 10.151 (2000), EM LOCAIS DE SUPOSTO INCÔMODO NO ENTORNO DAS FUTURAS INSTALAÇÕES DA MINA E USINA DO PROJETO FERRO CARAJÁS S11D.

Posição	Local	Níveis Critério de Avaliação – dB(A)	
		Diurno 07:00 às 21:59	Noturno 22:00 às 06:59
P1	Savana Metalófila (campo rupestre)	44	46
P2		40	46
P3		40	46
P4		40	46
P5	Ambiente florestal (floresta densa)	40	37
P6		40	37
P7		45	37
P8		44	44
P9		41	44
P10		40	44
P11	Vila Mozartinópolis	63	35
P12	Área de Ação Antrópica	44	35
P13		40	47
P14		40	35
P15		40	35
P16		40	35
P17		40	35
P18	Ambiente florestal (floresta aberta)	40	48
P19		53	48
P20		40	48

As características de relevo podem funcionar como atenuadores, formando barreiras acústicas naturais, mas também como refletores acústicos, elevando o ruído gerado pela mina e pela usina nesses locais. A vegetação configura uma oportunidade por apresentar características de absorção e/ou atenuação. A presença de comunidades de humanos e animais silvestres próximos ao trecho previsto para o empreendimento configura um aspecto de relevância, assim como rios e lagoas que formam espelhos d'água e funcionam como refletores acústicos.

Na avaliação dos valores de pico de velocidade de partícula nos locais amostrados, considerando que os valores de Pico de Velocidade de Partícula em todos os pontos de medição apresentaram valores entre 0,00mm/s e 0,15mm/s, é configurada a situação em que a vibração é imperceptível e não ocorrem danos nas construções.

Conhecidos os valores de Pico de Velocidade de Partícula em pontos representativos do entorno das futuras instalações da mina e usina do Projeto Ferro Carajás S11D, conclui-se que nos locais de suposto incômodo os valores de Pico de Velocidade de Partícula estão bem abaixo dos valores recomendados para que não ocorram danos em edificações, 2,00mm/s. De fato esses valores estão inferiores ao limite de percepção dos seres humanos que é de 0,15mm/s.

É importante considerar que as características do solo podem elevar ou reduzir a propagação de vibração no terreno e também provocar desmoronamentos. Da mesma forma, os rios e lagoas podem funcionar também como barreiras à propagação da vibração e, portanto, configuram uma oportunidade.

6.1.5 Geologia

a) Descrição da Geologia (Descrição da estratigrafia, petrologia, geologia estrutural, da AII, AID e ADA)

6.1.5.1 Geologia da Área de Influência Indireta (AII)

A Área de Influência Indireta do Projeto Ferro Carajás S11D é a bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas, que engloba parte do Cráton Amazônico, mais especificamente da Província Mineral de Carajás, e da Província (Faixa Móvel) Baixo Araguaia- Tocantins.

A Província Mineral de Carajás representa a maior parte da área de estudo e constitui uma das mais bem estudadas regiões do Cráton Amazônico englobando importantes depósitos de Fe, Cu, Au e Mn. A faixa de dobramentos Araguaia – Tocantins (Teixeira et al., 1989), com uma geologia mais monótona é coberta por levantamentos geológicos básicos regionais.

A Província Mineral de Carajás é limitada a leste pelos rios Araguaia-Tocantins, a oeste pelo rio Xingu, a norte pela Serra do Bacajá e a sul pela Serra dos Gradaús. É composta por rochas de idades acima de 2,5 Ga, que são interrompidas a leste pela faixa de dobramentos Araguaia - Tocantins.

As descrições sobre a geologia da PMC foram elaboradas em grande parte com base nos estudos de Docegeo (1988) e em relatórios de pesquisa internos da Vale, referentes à caracterização geológica citada em Relatórios de Pesquisa Mineral dos Alvos de Manganês da Serra de Buritirama e na Avaliação Geoestatística de Recursos – Projeto Serra Sul – Alvos C e D - RELATÓRIO PRELIMINAR DE AVALIAÇÃO DE RECURSOS - VOLUME II – TEXTO - Dezembro 2005 – CVRD, elaborado para a fase Fel 1 do Projeto Ferro Carajás S11D.

6.1.5.1.1 Estratigrafia

6.1.5.1.1.1 Estratigrafia da Província Carajás

A Província Mineral de Carajás, de evidente importância econômica, é alvo de intenso debate que se reflete nas dezenas de colunas estratigráficas que foram e são propostas, à medida que novos dados são obtidos.

Nesse relatório, para elaboração da coluna estratigráfica foi utilizado a coluna publicada por Docegeo (1988), sendo acrescentados dados recentes de Macambira et al. (1990), Nogueira et al. (1995) e Pinheiro (1997), dentre outros e de dados inéditos coletados nos últimos anos pela própria Vale.

Já a coluna estratigráfica da Província Araguaia utilizada foi a apresentada para a Folha Marabá (SB.22-X-D. Escala 1:250 000) Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB-CPRM, coordenado por Almeida et al 1994.

A coluna estratigráfica da Província Carajás é composta, da base para o topo, por Terrenos (Complexos Cristalinos) Granito-gnaissicos de alto grau e Cinturões Greenstone, de idade arqueanas, Terrenos de baixo grau compostos por seqüências supracrustais vulcano-sedimentares e sedimentares, arqueanos e paleoproterozóicos.

Complementando a sua coluna estratigráfica uma série de granitos, de idades arqueanas a paleoproterozóicos, e unidades de rochas máficas-utramáficas (básicas-utrabásicas) de idades diversas (**Figura 6.1.5.1**).

Todos são terrenos de idades arqueanas e paleoproterozóicas da região oriental do Craton Amazônico, na região da Província Mineral da Serra dos Carajás, conforme descrição de Pinheiro (1997).

A coluna estratigráfica da Faixa Araguaia é composta, da base para o topo, seqüências metassedimentares, neoproterozóicas, sedimentares fanerozóicas, e de coberturas recentes terciárias e quarternárias (**Figura 6.1.5.1**), da região da faixa móvel Araguaia, que limita a Província Mineral da Serra dos Carajás a Leste.

Os Terrenos (Complexos) Granito-gnaissicos de alto grau e Cinturões Greenstone, são representados pelas unidades Complexos Xingu e Pium, Complexo Básico-Utrabásico Luanga, granitóides arqueanos (granodiorito Rio Maria, tonalito Parazônia, trondjhemito Mogno) e Supergrupo Andorinhas, representado pelo Grupo Babaçu (**Figura 6.1.5.1**).

Os Terrenos de baixo grau compostos por seqüências vulcano-sedimentares supracrustais é representado pelo Supergrupo Itacaiúnas (Grupos Igarapé Salobo, Grão-Pará, Rio Novo, Igarapé Pojuca, Igarapé Bahia), e Formação Águas Claras e Grupos Buritirama e Paredão. Também são relacionados a estes terrenos de baixo grau os Grupo Tapirapé, Grupo Aquiri e Grupo Alto Bonito (**Figura 6.1.5.1**).

Os granitos classificados são representados pelos Granitos Cigano, Serra dos Carajás, Borrachudo, Rio Branco, Seringa, São João e Pojuca, Gameleira; Unidade Granito Velho Salobre; Unidade Tonalito Parazônia, Granito Xinguara, Granodiorito Rio Maria, Trondhmito, Complexo Tonalítico Caracol, Mogno, todos anorogênicos, e pelas Unidades Granito Plaquê, Diorito Cristalino, Granito Planalto, Complexo Granito Estrela, interpretados com sintectônicos (**Figura 6.1.5.1**).

As unidades de rochas máficas-utramáficas (básicas-utrabásicas), são representadas pelo Grupo Tucumã, Complexo Básico-Utrabásico Lago Grande e Luanga, Grupo Sapucaia, Sequência Metavulcanossedimentar Intrusivas Básico-Utrabásicas Neoproterozóicas e Diabásio Cururu jurássico (**Figura 6.1.5.1**).

As seqüências metassedimentares neoproterozóicas e sedimentares fanerozóicas, são restritas à porção Leste da Bacia do Rio Itacaiunas, representadas pelo Supergrupo Baixo Araguaia (Grupo Tocantins) e pelas formações Pedra de Fogo, Pimenteiras e Itapecuru, respectivamente (**Figura 6.1.5.1**).

As coberturas recentes terciárias, representadas por coberturas detrito-lateríticas, ocorrem tanto na área cratônica quanto na faixa móvel, enquanto que as coberturas quarternárias mapeáveis em escala regional, representadas por depósitos aluvionares, são restritas á faixa móvel, notadamente na região do baixo Araguaia (**Figura 6.1.5.1**).

Domínio Tectônico	Escala de Tempo		COBERTURAS E SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES, METASSEDIMENTARES, VULCANOSSEDIMENTARES E METAVULCANOSSEDIMENTARES		COMPLEXOS MÁFICOS E MÁFICOS-UTRAMÁFICOS, BÁSICOS E BÁSICOS-UTRABÁSICOS		GRANITOGÊNESES - ANOROGÊNICOS E SINTECTÔNICOS	
	Eon/Era/Período		Sigla	Nome da Unidade	Sigla	Nome da Unidade	Sigla	Nome da Unidade
Faixa Araguaia	Fanerozóico	Quaternário	Q2a	Depósitos Aluvionares (Coberturas Aluviais) (Q2a)				
		Terciário/Quaternário	NQdl, Edl	Coberturas detrito-lateríticas(-Aluminosa) (NQdl, Edl)				
		Cretáceo	K1it	Formação Itapecuru (K1it)				
		Jurássico			J8c	Diabásio Cururu (J_delta_c) - 177 Ma		
		Devoniano	D2p	Formação Pimenteiras (D2p)				
		Permiano	P12pf	Formação Pedra de Fogo (P12pf)				
	Proterozóico	Neo-proterozóico						
		Paleo-proterozóico						
Cráton Amazônico, Província Amazônia Central - Cinturão de Cisalhamento Itacaiunas	Arqueano	Neoarqueano	SEQUÊNCIAS METASSEDIMENTARES		SEQUÊNCIAS METASSEDIMENTARES		SEQUÊNCIAS METASSEDIMENTARES	
			NPct	Formação Couto Magalhães (Np_ct)	Npmu b	Sequência Metavulcanossedimentar Intrusivas Básico-Ultrabásicas (Np_mu_b)	PP3yci sc bo rb s jo	Granitos Cigano (ci) 1,87; Serra dos Carajás (sc)1,88; Borrachudo (bo)1,88; Rio Branco (rb); Seringa (s)1,89; São João (jo); e Pojuca1,87 Ga, Gameleira
			NPpq	Formação Pequiheiro (Np_pq)				
			PP3pd	Grupo Paredão (PP3pd)	PPvsst; PP12_mu_c; PP18si PP1mu v	Associação Máfica-Ultramáfica Serra do Tapa (vsst); Suíte Cateté (12_mu_c); Unidade Máfica Santa Inês (1_delta_si); Unidades Ultramáficas Vermelho 1_mu_v) - aprox 2,4 Ga	A4y3vs	Unidade Granito Velho Salobre (A4_gamma_3vs)2,57 Ga
			A4bu	Grupo Buritirama (A4_bu)				
	A4ac	Formação Águas Claras (A4_ac) - 2681 Ga						
	SEQUÊNCIAS METAVULCANOSSEDIMENTARES		SEQUÊNCIAS METAVULCANOSSEDIMENTARES		SEQUÊNCIAS METAVULCANOSSEDIMENTARES		SEQUÊNCIAS METAVULCANOSSEDIMENTARES	
	A4ta aq ab	Grupo Tapirapé (A4ta); Grupo Aquiri (A4_aq); Grupo Alto Bonito (A4_ab)						
	Supergroupo Itacaiunas		Supergroupo Itacaiunas		Supergroupo Itacaiunas		Supergroupo Itacaiunas	
	A4ib	Grupo Igarapé Bahia (A4ib) - 2,75 Ga						
A4pj	Grupo Igarapé Pojuca (A4pj) - 2,73 Ga	A3sa	Grupo Sapucaia (A3sa)					
A4rn	Grupo Rio Novo (A4rn)							
A4cj	GRUPO Formação Carajás (A4cj) 2,76 Ga							
A4pp	GRÃO PARÁ Formação Paraupébas (A4pp) Ga							
A4is	Grupo Igarapé Salobo (A4is) - 2,76 Ga	A4mu lg l	Complexo Básico-Ultrabásico Lago Grande(lg) e Luanga (l) - 2,76 Ga					
COMPLEXOS CRISTALINOS -		COMPLEXOS CRISTALINOS -		COMPLEXOS CRISTALINOS -		COMPLEXOS CRISTALINOS -		
A34PP2xi	Complexo Xingu (A34PP2xi) 2,8-2,97Ga	A3 tm1	Grupo Tucumã (A3_tm1)2,86 Ga					
A3ba	Grupo Babaçu (A3ba) - 3,02 Ga	A3pi	Complexo Pium (A3pi) 2,86-3,05 Ga					
Meso-arqueano								
UNIDADES DE IDADES PREDOMINANTES NEO- E MESOARQUEANAS		UNIDADES DE IDADES PREDOMINANTES NEO- E MESOARQUEANAS		UNIDADES DE IDADES PREDOMINANTES NEO- E MESOARQUEANAS		UNIDADES DE IDADES PREDOMINANTES NEO- E MESOARQUEANAS		
		A3rp	Unidade Piraclasto Rio Preto (Arp)					
		A3ca	Unidade Enderbitto Cajazeiras (A3ca)					
ANOROGÊNICOS		ANOROGÊNICOS		ANOROGÊNICOS		ANOROGÊNICOS		
SINTECTÔNICOS		SINTECTÔNICOS		SINTECTÔNICOS		SINTECTÔNICOS		

Fonte: Compilado de Docegeo, 2008, dentre outros.

FIGURA 6.1.5.1 - Coluna Estratigráfica da Província Mineral de Carajás.

6.1.5.1.1.1 Complexos Cristalinos e Cinturões Greenstone

Os terrenos granito-gnaissicos de alto grau incluem o Complexo Pium (Docegeo, 1988) e o Complexo Xingu (Silva et al, 1974; in Pinheiro, 1997), compreendendo rochas granitóides de idade arqueana metamorfisadas e deformadas, e séries de rochas intrusivas máficas e ultramáficas. Diferenciado destas unidades, compondo os terrenos de alto grau, ocorrem o Grupo Tucumã e Unidades Piraclasto Rio Preto e Enderbitto Cajazeiras.

As sequências tipo granito-greenstone ocorrem na região de Rio Maria (Huhn et al, 1988) e constituem vários cinturões de sequências metavulcanossedimentares, circundadas por granitos e gnaisses. As principais unidades litoestratigráficas incluem as sequências vulcanossedimentares do Supergrupo Andorinhas (Grupo Babaçu) e granitos anorogênicos Granodiorito Rio Maria, o Trondhjemitto Mogno, o Tonalito Parazônia.

O Granodiorito Rio Maria forma um batólito de granodioritos e monzogranitos intrudidos em gnaisses tonalíticos do Complexo Xingu (Souza et al, 1990; in Pinheiro, 1997), embora as relações de contato sejam sobre zonas de cisalhamento dúctil (Leite & Dall’Agnol, 1994; in Pinheiro, 1997). O Trondhjemitto Mogno (Docegeo, 1988) forma outro batólito intrusivo nas sequências greenstone no sul do estado do Pará. Ele é caracterizado por trondhjemitos com idades de 2,88 Ga obtidas por Tassinari et al, (1987; in Pinheiro, 1997). O Tonalito Parazônia é constituído por um pluton deformado, com evidências de ser intrusivo do Granodiorito de Rio Maria e no Trondhjemitto Mogno (Pimentel & Machado, 1994; in Pinheiro, 1997).

– Complexo Pium

O Complexo Pium é caracterizado por ocorrências de rochas granulíticas, distinguidas no contexto do Complexo Xingu, principalmente na borda sudoeste da Serra dos Carajás e na porção nordeste dos cinturões tipo granito-greenstone. A idade obtida para estas rochas é de 3.05 Ga, sendo atribuídas ao metamorfismo das mesmas conforme Rodrigues et al. (1992; in Pinheiro, 1997). Aparentemente os contatos com as rochas do Complexo Xingu são concordantes com as zonas de cisalhamento identificadas no mesmo (Araújo & Maia, 1991).

– Complexo Xingu

No entendimento de Docegeo (1988), o Complexo Xingu compreende rochas gnáissicas, que podem ou não estar migmatizadas, de composição tonalítica, trondhjemítica e granodiorítica, que resultaram do retrabalhamento tectono-metamórfico dos granitóides arqueanos, que só se encontram preservados na região do rio Maria. O último evento de migmatização que afetou as rochas desse complexo, determinado por Machado et al. (1991), ocorreu há 2.859 ± 2 Ma (U/Pb - zircões), enquanto que Macambira e Lancelot (1991) dataram em $2.876 +13/-11$ Ma (U/Pb zircões) a cristalização das rochas do complexo nas proximidades dos terrenos do rio Maria.

Entretanto, permanece ainda em discussão a posição estratigráfica do complexo: se é o equivalente deformado e metamorfizado dos terrenos granito-greenstone da região de Rio Maria ou se representa um outro bloco crustal que se chocou contra estes (Teixeira, 1994).

Há vários granitóides de idade arqueana reconhecidos dentro dos complexos de alto grau. Eles ocorrem na forma de corpos isolados de ortognaisses ou de granitos deformados no Complexo Xingu (Pinheiro, 1997). Dentre estes merece destaque o Granito Estrela ou Complexo Gnáissico Estrela (Barros, 1991; Araújo & Maia, 1991; in Pinheiro, 1997) que ocorre na porção oriental da Serra dos Carajás. As datações indicavam uma idade de 2.53 Ga para o cisalhamento dúctil que afetou o mesmo (Barros et al, 1992; Barros & Dall'agnol, 1994). Recentemente Barros & Dall'agnol (2004) obtiveram uma idade de 2.76 Ga, sendo atribuída ao posicionamento do mesmo.

A Suíte Plaquê, também denominada Plaquê Estratóide Granite por Araújo & Maia (1981; in Pinheiro, 1997; Huhn et al, 1999) constitui um grupo de pequenas intrusões granitóides delimitadas pelos terrenos de alto grau do Complexo Xingu. Estas intrusivas constituem corpos lineares com direção E-W, e constituem exemplos de rochas graníticas (granitos e dioritos) posicionadas sintectonicamente durante o evento deformativo dúctil principal que afetou as rochas do Complexo Xingu (Araújo & Maia, 1991; Jorge João & Araújo, 1992; in Pinheiro, 1997). Embora não datados, os trabalhos de mapeamento indicam tratar-se de intrusivas de idade arqueana (Jorge João & Araújo, 1992; in Pinheiro, 1997).

– Supergrupo Andorinhas (Grupo Babaçu)

O Supergrupo Andorinhas (Docegeo, 1988) constitui uma unidade caracterizada por uma sequência interacamada de rochas metavulcânicas, metassedimentares e de intrusivas máficas metamorfisadas, incluindo peridotitos com textura spinifex. Os metassedimentos são compostos por xistos de origem pelítica e quartzitos.

Estas rochas foram em parte afetadas pelo evento deformacional responsável pelo desenvolvimento do Cinturão Itacaiúnas durante o arqueano (Araújo & Maia, 1991; in Pinheiro, 1997). As idades de 2,98 Ga obtidas a partir de isócronas U-Pb em rochas félsicas presentes nesta sequência têm sido interpretadas como idade mínima da formação (Pimentel & Machado, 1994; in Pinheiro, 1997).

Na área de influência indireta, o Supergrupo Andorinhas se faz presente através do Grupo Babaçu, onde foram registradas uma das idades mais antigas (3,02 Ga.). O mesmo é formado por rochas vulcânicas máficas e ultramáficas (komatiítos, dunitos, piroxenitos e basaltos tholeiíticos), sendo descritos os seguintes litotipos: Formação Ferrífera Bandada, metabasalto, metachert, metagabro, metaperidotito, metapiroxenito, serpentinito e Xistos (Santos, 2003).

6.1.5.1.1.2 Terrenos de baixo grau compostos por sequências supracrustais vulcano-sedimentares e sedimentares

6.1.5.1.1.2.1 Supergrupo Itacaiúnas Sequências Metavulcanossedimentares Neoarqueanas

As sequências vulcano-sedimentares de baixo grau são representadas na região da Serra dos Carajás por rochas do Supergrupo Itacaiúnas (Docegeo, 1988). Esta unidade engloba as seguintes sub-unidades: Grupos Igarapé Salobo (2,76 Ga), Igarapé Pojuca (2,73 Ga), Grão Pará (2,76 Ga), Igarapé Bahia (2,75 Ga) e Buritirama.

De acordo com diversos autores estas unidades depositaram-se em uma série de pequenas bacias controladas por falhamentos relacionados a movimentos transcorrentes regionais (strike slip faults) (Araújo et al, 1988; Araújo & Maia, 1991; Araújo et al, 1992; Araújo & Costa, 1994).

Vários autores na literatura (Medeiros Neto & Villas, 1985, Lindenmayer et al. 1995; Araújo e Maia, 1991; Sena Costa et al., 1995) denominam de "Grão-Pará e correlatos" as rochas do Supergrupo Itacaiúnas, admitindo, portanto, a contemporaneidade de todas as suas seqüências. Essa denominação, entretanto, carece de melhor embasamento, já que pode ser contestada por novos dados geocronológicos (Mougeot et al., 1996), que mostram que as mineralizações da mina de Igarapé Bahia são, pelo menos, 100 Ma mais antigas do que os metarriolitos do Grão-Pará.

– Grupo Igarapé Salobo

O Grupo Igarapé Salobo foi definido de modo restrito dentro do cinturão de rochas do Grupo Igarapé Pojuca. Tem direção aproximada de N70W, com mergulhos subverticais, foliação penetrativa. Contém três formações, constituídas por rochas na fácies anfíbolito, que são, da base para o topo: Gnaiss Cascata, Três Alfa e Cinzento (Docegeo, 1988).

A Formação Três Alfa, a mais estudada, abriga o depósito de Cu-Au-Ag-Mo do Salobo. Lindenmayer & Laux (1996) entendem essa formação como uma seqüência metassedimentar clasto-química, com anfíbolitos (metabasaltos) intercalados na base, a qual apresenta um incremento de terrígenos em direção ao topo. Assim, ocorre uma gradação desde as FFS (formações ferríferas silicatadas) na base, sobrepostas por formações ferríferas aluminosas (FFA), que passam a metagrauvas, culminando com os quartzitos da formação Cinzento no topo.

A mineralização disseminada de cobre a calcocita + bornita ± calcopirita, localmente maciça, se dá em lentes ricas em magnetita dentro das formações ferríferas, com Au e Mo associados (Lindenmayer, 1990). Essas lentes de dimensões variadas são o resultado de uma intensa deformação heterogênea das rochas, que produziu estruturas de truncamento do tipo boudin e pinch-and swell. Essa deformação é produzida por zonas de cisalhamento, que formam uma estrutura fechada. O dúplex Salobo-mirim (Siqueira e Sena Costa, 1991).

Segundo Lindemayerr (1990), a mineralização polimetálica do Salobo foi gerada por dois eventos distintos. O primeiro evento, exalativo-sedimentar, teria produzido uma mineralização estratiforme de cobre (calcocita + bornita ± calcopirita), e o segundo, atribuído ao granito jovem do Salobo, uma mineralização a Au e Mo. De acordo com Siqueira e Sena Costa (1991), entretanto, a mineralização do Salobo estaria relacionada ao desenvolvimento do duplex Salobo-Mirim, num regime transtensivo, em condições metamórficas do fácies xisto verde. A intensa percolação de fluidos remobilizou e tornou econômicas as mineralizações de sulfetos, formadas em estágio anterior.

Três tipos de rochas intrusivas cortam a seqüência do Grupo Igarapé Salobo: o granito velho do Salobo, de idade $2.573 \pm 2\text{Ma}$ (U/Pb), Machado et al. 1991, o granito jovem do Salobo de $1880 \pm 80\text{Ma}$ (Rb/Sr), Cordani (1981), e diques de diabásio de $553 \pm 32\text{Ma}$. As datações de Machado et al. (1991) para as rochas do Grupo Igarapé Salobo são em torno de 2.850Ma e o metamorfismo a 2.740 - 2.730Ma. Segundo Lindenmayer et al. (1995), essas idades estariam relacionadas a rochas do embasamento gnáissico-trondhjémítico do Complexo Xingu, pois as amostras datadas são hoje reconhecidas como anfíbolitos do Complexo Xingu.

Lindenmayer & Fyfe (1994) propuseram um modelo misto sedimentar singenético exalativo, para os sulfetos de cobre hospedados nos níveis ricos em magnetita da formação ferrífera, e uma origem epigenética para o Au, Mo, U, encontrados em veios pós deformação, relacionada a um sistema hidrotermal, instalado após a colocação do quartzo-sienito. Lindenmayer (1998) sugere que o depósito de Cu (Au, Mo, Ag) do Salobo está relacionado a depósitos de cobre pórfiro, sendo ligado a intrusão do quartzo-sienito no pacote de formação ferrífera.

– Grupo Grão-Pará

A divisão do Grupo Grão-Pará proposta por Beisiegel et al. (1973) e Hirata (1982), Docegeo (1988) divide o Grupo Grão-Pará em três formações, da base para o topo: Parauapebas, Carajás e Vulcânica Superior. Já Macambira (2003) subdivide o Grupo Grão Pará em quatro subunidades, denominado-as Formação Igarapé Cigarra (Vulcânica Superior) e Formação Igarapé Boa Sorte, sendo que esta última não ocorre no Corpo S11 de Serra Sul.

A Seqüência Paleovulcânica Superior é questionada por alguns autores, seja pelos litotipos que a compõem, considerando-a como um Seqüência Superior, seja pela sua ocorrência como unidade pertencente ao Grupo Grão Pará, sendo questionado as suas relações de contato, como de caráter estrutural, sem valor estratigráfico, assim como correlacionando-a com o Grupo Igarapé Bahia, posicionado logo acima do Grupo Grão Pará. No Mapa Geológico Regional ora apresentado, são representados apenas as formações Parauapebas e Carajás.

• Formação Parauapebas

A Formação Parauapebas (Meireles et al. 1985) é formada por basaltos, basaltos andesíticos, shoshonitos e riolitos, cortados por corpos quartzo-dioríticos (Gibbs et al., 1985; Teixeira, 1994), metamorfisados na fácies xisto-verde e pouco deformados. No seu topo dominam rochas vulcânicas félsicas, traquiandesitos e riolitos, dados utilizados para indicar uma sincronicidade entre a Formação Parauapebas e a deposição do Grupo Igarapé Salobo e Pojuca.

• Formação Carajás

A Formação Carajás abriga as formações ferríferas bandadas fácies óxido e carbonato, que representam o protominério dos depósitos de ferro supergênicos. Teixeira (1994) observou que há dolomitos na base da formação em contato gradacional com as formações ferríferas.

– Grupo Igarapé Pojuca

O Grupo Igarapé Pojuca tem ampla distribuição nas bordas do "Sinclinório Carajás", abrangendo seqüências de rochas vulcanossedimentares, de fácies xistos verdes a anfíbolito, orientadas segundo direção geral WNW-ESE com mergulhos variando entre 50° NE a 60° SW.

A seção tipo foi definida na área que abriga os depósitos de Cu-Zn e Cu-Au-Mo e descrita por Docegeo (1988) como rochas metavulcânicas básicas a intermediárias, muitas vezes alteradas hidrotermalmente para cordierita-antofilita xistos; anfíbolitos gnaisses; chert e formações ferríferas bandadas (BIF); e xistos de composições diversas. A seqüência toda é cortada pelos granitos Velho do Pojuca (- 2,5Ga) e Novo (-1,8Ga). As mineralizações de CuZn são consideradas singenéticas e relacionadas a fácies sulfeto dos BIFs, enquanto que a mineralização de Cu-Au-Mo está provavelmente relacionada a sistemas pórfiros (Biagini, 1990). O metamorfismo das rochas do Igarapé Pojuca foi datado por Machado et al. (1991) em torno de 2.740 - 2.730 Ma.

– Grupo Igarapé Bahia

O Grupo Igarapé Bahia compreende uma seqüência de rochas vulcanossedimentares, metamorfisadas na fácies xisto verde, de direção aproximada NNW, mergulhando cerca de 70° ENE no Corpo Acampamento Sul, que afloram em uma janela estrutural, situada na porção centro-oeste da região de Carajás. O pacote de rochas foi descrito em detalhe por Ferreira Filho (1985) e, posteriormente subdivididas em duas formações por Docegeo (1988), conhecidas por Formação Grota do Vizinho e a Formação Sumidouro.

A Formação Grota do Vizinho consiste de uma seqüência de rochas metapiroclásticas intercaladas com rochas metabásicas, metapelitos, metagrauvas e metarritmitos, com níveis pouco espessos (<3m) de BIF a magnetita. As rochas metapiroclásticas têm composição ácida a intermediária e formam pacotes com granodecrescência em direção ao topo, com um nível basal maciço de tufo de cristal com fragmentos líticos e de púmice, gradando para estratos cada vez menos espessos de tufo fino. As diversas intercalações, centimétricas a decamétricas, de rochas metabásicas são tanto intrusivas (diabásios, microgabros, por vezes com intercrescimentos granofíricos) quanto extrusivas (metabasaltos ± metandesitos ± metadacitos), sendo que as últimas podem apresentar derrames com feições de base e topo ainda preservadas (Ferreira Filho, 1985).

As brechas hidrotermais são bem caracterizadas nas zonas de minério, que são preferencialmente hospedadas na interface de rochas vulcânicas com rochas piroclásticas/ritmitos do pacote.

A Formação Sumidouro é composta essencialmente por metarenitos de baixo grau metamórfico, por vezes arcoseanos, com lentes de metaconglomerados e metassiltitos. Ao contrário do que é colocado por Docegeo (1988), os estudos de Ferreira Filho (1985) e trabalhos de pesquisa pontuais da Docegeo mostraram que esta unidade é discordante e deve pertencer ao Grupo Rio Fresco (Docegeo, op. cit.) ou Formação Águas Claras (Araújo et al., 1988).

Datações geocronológicas feitas por Ferreira Filho (op. cit.) indicam idades de 2.577 ± 72 Ma (Rb-Sr), com razões iniciais de 0,702 em granófiros básicos e 2.270 ± 50 Ma (Rb-Sr) com razões iniciais de 0,715 em rochas piroclásticas silicosas, admitidas como idade mínima para a sequência vulcanossedimentar. Mougeot et al. (1996), utilizando os métodos Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb e Pb-Pb, realizaram análises em sulfetos (calcopirita, pirita, galena e molibdenita) em diversas zonas mineralizadas da região de Carajás, estabelecendo para a mineralização de Cu e Au de Igarapé Bahia a idade mínima de 2.850 ± 65 Ma, o que caracteriza uma mineralização primária arquearia.

6.1.5.1.1.2 Sequências Metassedimentares Neoarqueanas

– Formação Águas Claras

Repousando discordantemente sobre as rochas do Supergrupo Itacaiúnas, ocorre um pacote siliciclástico, composto por arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados, correlacionados ao antigo Grupo Rio Fresco (Docegeo, 1988), cuja seção tipo foi definida na calha do Rio Fresco. Nogueira et al. (1996), caracterizam a faciologia desse pacote de sedimentos, submetidos apenas a condições de anquimetamorfismo, e assumem a denominação de Formação Águas Claras (Araújo op. cit), uma vez que a correlação com o Rio Fresco é dificultada não só pela distância e falta de continuidade dos afloramentos, mas também pela diversidade litológica entre as duas seções tipo.

Segundo Araújo & Maia (1991, in Lobato & Rosière, 2002) esta unidade substitui a Formação Rio Fresco (Silva et al, 1974; in Lobato & Rosière, 2002). Segundo Trendall et al (1998) a Formação Águas Claras apresenta uma idade de 2,68 Ga, obtida a partir de zircões detríticos derivados de vulcanismo sindeposicional, por sua vez associado aos diques máficos de 2,64 Ga, que cortam toda a sequência. Já Araújo & Maia (1991, in Lobato & Rosière, 2002), consideram a Formação Águas Claras como uma sequência mais nova do Grupo Grão Pará.

A seção tipo da Formação Águas Claras é descrita na estrada que liga as minas de ferro de N4E e de ouro de Igarapé Bahia. A unidade tem espessura de 1.500 m e é subdividida em dois membros, sendo o Membro Inferior constituído por pelitos, siltitos e arenitos, e o Membro Superior constituído principalmente de arenitos. O Membro Inferior foi depositado em ambiente marinho plataformar, enquanto que o Superior sob condições litorâneas (em sua porção mais basal), e fluviais, (tipo rios entrelaçados), no topo (Nogueira et al. 1996). O depósito de manganês do Azul, cujo protominério é uma marga rítmica manganésifera, é considerado na base do Membro Inferior.

A deformação das rochas da Formação Águas Claras possui caráter rúptil e está limitada às zonas de falhas direcionais, como a Falha Carajás. É marcante o arranjo tectônico da formação segundo horsts e grabens. O depósito de Au-Cu de Águas Claras encontra-se relacionado a esse comportamento rúptil nos arenitos do Membro Superior (Soares et al., 1994).

Dias et al (1996) investigaram o período de deposição dos metassedimentos da Formação Águas Claras, através de datações Pb-Pb, em zircões nos metagabros da região de Águas Claras, obtendo a idade mínima de 2.645 ± 12 Ma para a deposição dos mesmos.

Mougeot et al. (1996) ratificaram os dados de Dias et al. (1996) através de datações U-Pb em zircões, fornecendo idades entre $2.708 \pm 37\text{Ma}$. e 2.778Ma . O limite inferior representa a idade da intrusão gabróica que corta as rochas da Formação Águas Claras, enquanto que o limite superior indica a idade do grão de zircão detrítico mais jovem encontrado na formação.

– Grupo Buritirama

É representado por um pacote de metassedimentos clásticos e químicos de direção N55W, que aflora na serra homônima, na porção norte da Província Mineral de Carajás. Corresponde a quartzitos micáceos, mica xistos, quartzitos bandados e xistos variados. Os protominérios das ocorrências de manganês, como se discutirá adiante, são mica xistos carbonatados, rochas cálcio-silicáticas e leitos de mármore.

– Grupo Paredão

É definido como Grupo Paredão (Almeida et al. 1994) sequência de arenitos ortoquartzíticos, de coloração creme-esbranquiçado a rosa, granulometria de fina a média, e subordinadamente, arenitos arcósianos e conglomeráticos, grauvas e conglomerados. São descritos espessos pacotes de (meta) arenitos com estrutura primária predominante uma estratificação plano-horizontal, subordinadamente estratificação cruzada, observada em blocos rolados. Os demais litotipos, todos com ocorrência de forma subordinada ao arenito, são de intercalações de níveis de arenitos conglomeráticos, de grauvas, de coloração é cinza-escuro e granulometria média, observadas na forma de blocos arredondados, e de conglomerados. Os conglomerados são constituídos por matriz angulosa mal selecionada, sem estruturação, coloração avermelhada e, por vezes, esverdeada. A composição da matriz dos conglomerados é arcósiana, envolvendo seixos polimíticos de sílexito, quartzito, formação ferrífera, vulcânicas básicas e quartzo. Esta unidade é associada ao Grupo Buritirama, que por sua vez é associado à Formação Águas Claras.

6.1.5.1.1.3 Granitogêneses

– Granitos Anorogênicos

Datações geocronológicas, realizadas em zircões pelo método (U/Pb), estabeleceram idade em torno de 1.880 Ma. (Gibbs et al., 1986; Machado et al., 1991 e Macambira & Lafon, 1995). Possivelmente, essas intrusões estão associadas ao evento plutônico-vulcânico Uatumã, que recobre extensas porções do Cráton Amazônico com rochas extrusivas félsicas.

Como é apontado por alguns autores (Biagini, 1990; Lindenmayer, 1990 e Mougeot et al. 1996), a importância desses granitos na gênese dos depósitos de Cu-Au da Província Mineral de Carajás ainda precisa ser melhor avaliada.

Um conjunto de intrusões batolíticas graníticas, interpretadas como anorogênicas (Costa, 2007), corta todas as unidades do Supergrupo Itacaiúnas, bem como as rochas da Formação Águas Claras.

São eles: Granito Cigano, Serra dos Carajás, Borrachudo, Rio Branco, Seringa, São João. Datações geocronológicas, realizadas em zircões pelo método (U/Pb), em alguns destes granitos, estabeleceram idade em torno de 1.880 Ma.

Tais corpos ocorrem na forma de “janelas” em meio a serra dos Carajás e na forma alongada ao longo da seção de ruptura entre o alto e médio cursos dos rios Itacaiúnas e Parauapebas. Tais granitos encontram-se associados a lineamentos estruturais expressivos de orientação dominante E/W. Sua presença nesta porção da bacia pode explicar a fraca dissecação observada nesta área.

Outro granito anorogênico são as intrusões batolíticas graníticas Velho Salobre, de idade arqueana são Granito Velho Salobre (ou Old Salobo) com idade de 2,57 Ga.

São também agrupados como anorogênicos, que cortam as sequências greenstone do Supergrupo Andorinhas os Granodiorito Rio Maria, Trondhgemito Mogno e Tonalito Parazônia.

– Granitos Sintectônicos

É registrado um conjunto de intrusões sintectônicas arqueanas de natureza calcioalcalina. São elas (Barros, 1997): Complexo Granítico Estrela, Plaquê (Araújo et al., 1988); Diorito Cristalino e Granito Planalto.

O Complexo Estrela compreende granitos, monzonitos, sienitos e dioritos (Barros, 1997). A unidade é sin-orogênica e intrusiva em relação às rochas vulcanossedimentares do Grupo Rio Novo, apresentando eixo de alongamento com direção E-W, e produzindo auréola de metamorfismo de contato nessas últimas rochas. A deformação do plúton granítico ocorreu predominantemente por achatamento, desenvolvendo xistosidade com orientação E-W, e milonitização localizada nas margens do plúton e nas encaixantes, que incluem rochas metavulcânicas máficas, xistos de composição ultrabásica, Formações Ferríferas, quartzitos e rochas cálcio-silicáticas.

Estudos realizados por Sardinha et al. (2006) indicam que os granitos que ocorrem na Serra do Rabo apresentam idade (2,7 Ga) e características estruturais similares aos granitos Estrela e Plaquê. Os granitos sintectônicos com idade de 2,7 Ga, que produziram auréolas de metamorfismo de contato nas rochas encaixantes em graus variados, foram agrupados em uma única unidade no mapa geológico, denominada Complexo Estrela.

Relações de campo e estudos de petrografia metamórfica realizados por Barros (1997) indicam que as rochas do Complexo Estrela intrudiram em ambiente crustal raso e tectonicamente ativo, interpretado por Rosiére et al. (2005) como um ambiente de fechamento de bacias do tipo retro-arco ou intra-arco, onde foram depositadas as seqüências vulcanossedimentares.

A Suíte Plaquê, presentes na área de influência direta, compreendem corpos lineares com direção E-W, e constituem exemplos de rochas graníticas (granitos e dioritos) posicionadas sintectonicamente durante o evento deformativo dúctil principal que afetou as rochas do Complexo Xingu (Araújo & Maia, 1991; Jorge João & Araújo, 1992; in Pinheiro, 1997). Embora não datados, os trabalhos de mapeamento indicam tratar-se de intrusivas de idade arqueana (Jorge João & Araújo, 1992; in Pinheiro, 1997).

6.1.5.1.1.4 Complexos Máficos, Máficos-Ultramáficos (Básicos, Básicos-Ultrabásicos da Província Carajás

São registradas várias fases de magmatismo máfico, máfico-ultramáfico (básico-ultrabásico), de idades Arqueanas e Paleoproterozóicas, em meio às unidades do Supergrupo Itacaiúnas e Complexos Cristalinos, na Área de Influência Indireta.

São Complexos, alguns associados, contemporâneos às seqüências vulcanossedimentares do Supergrupo Itacaiúnas, sistemas de Sill gabróico como os que cortam as seqüências da Formação Águas Claras e Grupo Igarapé Bahia (datados de 2,65 Ga (Dias et al., 1996) e diques basálticos andesíticos e riolíticos, datados de 1.8 Ga 00 (Zucheti 2007), não detalhados na presente descrição, outros são sistemas de diques e sills, associados a fenômenos distensivos, de fraturamento da crosta, como o Diabásio Cururu, descrito abaixo.

– Intrusivas Máficas e Máficas-Ultramáficas Paleoproterozóicas - Cateté, Vermelho e Santa Inês

As suítes Cateté, Vermelho e Santa Inês são complexos máfico-ultramáficos acamados intrusivos nas rochas arqueanas nos domínios Carajás e Rio Maria, Complexo Xingu e Supergrupo Andorinhas. As mesmas são compostas por gabro, norito, piroxenito e serpentinito. É proposto idade de 2.378 ± 55 Ma para o alojamento de rochas da suíte Cateté na Serra da Onça (Macambira 1996). Para a Unidade Vermelho, constituída por metaperidotitos e metadunitos (fácies xistos verdes), assim como o Gabro Santa Inês, apesar de não estar datada, tem sido atribuída ao Paleoproterozóico (Araújo & Maia, 1991).

– Complexos Básicos-Ultrabásicos Arqueanos de Luanga (A4mul) e Lago Grande

Os complexos máficos-ultramáficos Arqueanos de Luanga e Lago Grande, com 2.763 ± 6 Ga (Machado et al. 1991), são contemporâneos aos vulcanismos das seqüências supracrustais mais antigas (e.g. Grupo Igarapé Salobo 2,76 Ga).

– Diabásio Cururu

Encaixados nas rochas do Grupo Paredão, na parte NE da Área de Influência Indireta, são registradas intrusões mapeadas como Diabásio Cururu (Silva et al., 2003 e Macambira 2001) (177 Ma, datado na Bacia do Alto Tapajó). Esta unidade corresponde a diques Mesozóicos de pequenas dimensões, associados a eventos tectônicos de reativações associados a esforços distensivos, intrudidos em diversas unidades estratigráficas na região cratônica. São descritos como diques geralmente de pequenas dimensões, com espessura inferior a 10 m e dispostos segundo direção NNW-SSE e NNE-SSW, obedecendo aos principais trends regionais.

Tratam-se de rochas mesocráticas a melanocráticas, faneríticas, isotrópicas, equigranulares e de granulação fina. Exibem predominantemente textura ofítica a subofítica. Localmente, são observados intercrescimentos granofíricos em diferentes estágios de desenvolvimento. São compostos por augita, plagioclásio, hornblenda, biotita, apatita e opacos.

6.1.5.1.1.2 Estratigrafia do Cinturão Araguaia

Dentre os tipos de rocha encontrados no Cinturão Araguaia, este situado geograficamente no extremo leste da área, verifica-se a presença dos seguintes tipos litológicos, conforme descrito em CPRM (2001):

6.1.5.1.1.2.1 Supergrupo Araguaia – Sequências Metassedimentares

– Formação Pequizeiro

A Formação Pequizeiro é formada por rochas psamo-pelíticas, paraderivadas, com dominância de quartzo-muscovita-clorita xistos com variações para clorita xistos, muscovita-clorita-quartzo xistos, clorita-quartzo xistos e muscovita-biotita-clorita xistos. Fácies metamórfica xistos-verde médio a baixo. A anisotropia estrutural é conspícua, observando-se nos níveis silicosos cristais de quartzo fortemente achatados e estirados, resultante da formação que atinge o estágio milonítico. Na folha não há registro de ocorrências minerais.

– Formação Couto Magalhães

A Formação Couto Magalhães encontra majoritariamente ao longo das bacias hidrográficas dos rios Sororó e Vermelho. As rochas metassedimentares compreendem filitos, quartzo sericitá-clorita xistos de granulação fina gradando a filitos e ardósias. Subordinadamente ocorrem silixitos e rochas ferríferas bandada. Fácies metamórfica xisto-verde baixo a médio, alcançando o grau anquimetamórfico. A marcante anisotropia estrutural é expressa por alternâncias milimétricas de níveis filitosos e silicosos, sendo resultante de extrema deformação, com conseqüente transformações em estágio milonítico. São registrados garimpos de cristal-de-rocha.

6.1.5.1.1.2.2 Bacia Sedimentar Parnaíba – Sequências Sedimentares

Dentre os tipos de rocha existentes na bacia sedimentar Parnaíba destacam-se as litologias correspondentes aos arenitos das Formações Itapecuru e Pimenteiras, situadas geograficamente no extremo nordeste da área, apenas ao longo da porção jusante das bacias hidrográficas dos rios Vermelho e Sororó, conforme descrito em CPRM (2001), a seguir:

– Formação Pedra de Fogo – Grupo Balsas

Os sedimentos da Formação Pedra de Fogo (Almeida et al. 1994) são mapeados no extremo e da área do Mapa Geológico da AII, ao longo de faixa NS, com 3 Km de largura. Os mesmos ocorrem depositados diretamente sobre unidades Neoproterozóicas da Faixa Araguaia e parcialmente recobertos pelos sedimentos da Formação Itapecuru, de idade Cretácea, depositados discordantemente sobre estes.

A Formação Pedra de Fogo foi originalmente definida no Estado do Maranhão, datada como de idade Permiana e constituída nas suas seções tipo por camadas silix, chert intercalado com siltitos, folhelhos com camadas fósseis (ostracóides) e madeira fóssil (psaronius). As espessuras registradas para esta formação, obtida em superfície e subsuperfície respectivamente são de 100m a 189m.

Com base nas litofácies descritas e suas associações é interpretado para esta unidade de rochas um paleoambiente deposicional relacionado a uma planície de maré mista, carbonático-siliciclástica rasa com variação de energia, possivelmente ligada a um mar restrito, com interferência de depósitos fluviais.

– **Formação Pimenteiras – Grupo Canindé**

A Formação Pimenteiras – Grupo Canindé - é composta por arenitos de cor cinza, grã fina a média, com intercalação de pelitos cinza-esverdeados, com acamamento regular ondulado. Ambiente de planície de maré rasa, com lagos, depósitos de frente deltaica e canais de maré.

– **Formação Itapecuru**

A Formação Itapecuru é composta por arenitos cinza e amarelados, grã fina a média, às vezes arcosianos, bem selecionados, localmente com lentes de conglomerado. Pelitos avermelhados com acamamento regular intercalados aos arenitos. Ambiente fluvial de rios entrelaçados, associados a lagos em planície de inundação e dunas eólicas originados do retrabalhamento de barras e dunas subaquáticas.

6.1.5.1.1.2.3 Complexos Máficos, Máficos-Ultramáficos (Básicos, Básicos-Ultrabásicos) da Província Araguaia

São registradas magmatismo máfico, máfico-ultramáfico (básico-ultrabásico), de idades Paleoproterozóicas a Mesozóicas, em meio às unidades do Supergrupo Araguaia.

– **Seqüência Metavulcanossedimentar Intrusiva Básica-Ultrabásica na Faixa Araguaia**

São poucas as referências sobre seqüências Metavulcanossedimentares Intrusivas Básica-Ultrabásica na faixa Araguaia. Schobbenhaus e Dardene (2001) fazem apenas breve referência a corpos máfico-ultramáficos ao longo do lineamento Tocantins-Araguaia que, segundo Gorayeb (1989) e SOUZA et al. (1995), representariam fragmentos ofiolíticos.

– **Associação Máfica-Ultramáfica Serra do Tapa**

A Associação Máfica-Ultramáfica Serra do Tapa compreende uma faixa com orientação NNE em meio aos metassedimentos do Cinturão Araguaia, imbricados tectonicamente nos metassedimentos da Formação Couto Magalhães no extremo SE da Área de Influência Indireta. Segundo Gorayeb (1989), trata-se de corpos magmáticos essencialmente ultramáficos e de derivação mantélica.

A mesma é formada predominantemente por serpentinitos, metabasaltos e silexitos, e, de forma subordinada, talco xistos, clorita xistos, quartzitos ferríferos bandados e filitos. Os serpentinitos têm textura fibrolamelar a fibrosa, estrutura maciça a foliada. Os metabasaltos têm textura fina e maciça e mantêm preservadas estruturas do tipo pillow-lava, com evidências de processos de epidotização, cloritização, albitização e silicificação. Talco xistos e clorita xistos associam-se aos serpentinitos, ocorrendo, em geral, fortemente milonitizados. Os silexitos, responsáveis pelo destaque topográfico da unidade têm estruturas variando de maciça a intensamente foliada, com vênulas irregulares de quartzo, e estão, também, associados aos serpentinitos. Quartzitos ferruginosos bandados associados à filitos ocorrem com frequência entre as faixas das rochas básico-ultrabásica.

Extensas coberturas lateríticas ferruginosas, que formam clareiras, bem identificáveis em fotos aéreas, desenvolveram-se sobre estes litotipos. A associação máfica-ultramáfica Serra do Tapa foi deformada em regime dúctil-rúptil, caracterizadas por faixas estreitas de alto strain, com intensa foliação milonítica, dobras em bainha, dobras rompidas, boudins etc., intercaladas com faixas mais amplas de baixo strain, nas quais as rochas encontram-se indeformações.

– Formações Superficiais

O cenozóico é representado pelo desenvolvimento de crostas lateríticas e pela deposição de sedimentos aluvionares e coluvionares. Eles estão associados com o estabelecimento da superfície peneplana do Cretáceo, que influencia fortemente a topografia atual e os padrões de drenagem (Assad & Beisiegel, 1978; Bermerguy & Costa, 1991; in Pinheiro, 1997).

As Coberturas Detríticas e/ou Lateríticas são caracterizadas por materiais semiconsolidados de arenito e argilito com capeamento de laterita, típicos de um ambiente continental.

Já as aluviões compreendem os materiais inconsolidados constituídos pelas areias, argilas e níveis de cascalho em ambiente continental, preponderantemente vinculados às calhas de drenagens.

6.1.5.1.2 Petrologia/Petrografia

Neste item procura-se apresentar uma rápida síntese sobre a petrografia da Província Mineral de Carajás. Conforme se depreende do item sobre a sua estratigrafia, onde é realizada uma apresentação mais detalhada, a sua petrografia é bastante extensa, representada por todas as classes e por uma extensa variedade de tipos de rochas. Esta apresentação é feita de acordo com a abordagem e com o grau de conhecimento existente sobre as unidades e a sua petrografia, maior ou menor expressão e importância para a compreensão da evolução geológica da Província.

Para realização desta síntese procurou-se ordenar os diversos tipos de rochas de acordo com as categorias definidas por Pinheiro (1997), descritas no item estratigrafia. São elas: (1) Terrenos (Complexos) Granito-gnaissicos de alto grau, (2) Cinturões Greenstone, (3) Terrenos de baixo grau compostos por seqüências vulcano-sedimentares supracrustais. A estas, acrescentamos a categoria (4) Suítes de rochas plutônicas ígneas, na forma de batólitos e stocks, intrudidas tanto em meio às supracrustais, quanto aos complexos.

A primeira categoria de rochas de idades mais antigas e indiferenciadas é individualizada, dentre outros, através dos complexos Pium e Xingu, definidas de forma generalizadas como Terrenos Granito-gnaissicos de alto grau. Estes complexos são compostos por rochas granulíticas, gnáissicas migmatizadas ou não, de composição tonalítica, trondhjemítica e granodiorítica, produto de retrabalhamento de granitóides arqueanos, que ocorreriam preservados na região do rio Maria, a Sul da Província Carajás.

De acordo com a evolução dos reconhecimentos, em meio a estes terrenos, são diferenciados grupos de rochas de natureza e histórias diferenciadas.

A segunda categoria de rochas engloba sequências greenstones posicionadas em meio a rochas do Complexo Pium e agrupadas no Supergrupo Andorinhas na Província Rio Maria. Os tipos petrográficos relacionados são de derrames de rochas vulcânicas ultramáficas komatiíticas, com textura spinifex, basaltos toleíticos, com estruturas pillow, metagrauvas, metavulcânicas intermediárias a máficas (andesitos, dacitos e riocacitos) e máficas a ultramáficas. Intercalados a estas sequências de rochas, tem-se BIFS's, fácies óxido, metassedimentos químicos, metatufos e talcoxistos, metassiltitos, metaclásticas,

A terceira categoria de rochas engloba rochas associadas a sequências vulcano-sedimentares e sequências sedimentares supracrustais de baixo grau metamórfico, dos Supergrupo Itacaiunas e da Formação Águas Claras, respectivamente.

O Supergrupo Itacaiunas, dividido em diversos grupos, é hospedeiro de mineralizações Cr, Fe, Cu-Au, Mn, Au e W. Com base em dados geoquímicos, é atribuído às suas rochas origem relacionada a ambientes de rifteamento e arco vulcânico associado a subducção. Os tipos de rochas descritos relacionadas a este Supergrupo são dos mais variados: metassedimentares clasto-químicas, metavulcânicas básicas a intermediárias, anfibolitos gnaisses, basaltos e basaltos andesíticos, shoshonitos e riolitos, chert e formações ferríferas bandadas, metapiroclásticas ácidas a intermediárias, metapelitos, metagrauvas e metarenitos, tufos, siltitos tufáceos, filitos, grauvas e derrames máficos, conglomerados com fragmentos angulosos de formações ferríferas e de tufos.

Já a Formação Águas Claras é formada por um pacote de rochas siliciclásticas, composto por arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados.

Uma quarta categoria de tipos de rochas diz respeito à classe de rochas ígneas, individualizadas em anorogênicas, sintectônicas e de rochas máficas-ultramáficas, de idades diversas.

As rochas ígneas anorogênicas são representadas por intrusões batolíticas graníticas, que cortam as unidades do Supergrupo Andorinhas, Itacaiunas e da Formação Águas Claras. Relacionados às sequências greenstone ocorrem intrusões de tonalitos, trondjemitos, granodioritos, granitos e leucogranitos. Relacionados ao Supergrupo Itacaiunas e Formação Águas Claras ocorrem intrusões de rochas máficas e ultramáficas e de corpos graníticos, monzoníticos, sieníticos e dioríticos, alongados sintectônicos, e intrusões de granitos anorogênicos.

6.1.5.1.3 Geologia Estrutural

A região da Serra dos Carajás inicialmente foi compreendida como uma bacia que comportava um pacote de rochas vulcanossedimentares sob a forma de um grande sinclínório ou sinclinal (Beisiegel, 1973; Hirata *et al.* 1982; Docegeo, 1988). A bacia tem forma sigmoidal alongada, segundo a direção geral da foliação ESE, que denota um comportamento predominantemente transcorrente e sinistral. Deslocamentos de até 30 km são registrados ao longo da Falha Carajás, que corta toda a bacia e são indicativos das falhas transcorrentes WNW-ESE. As falhas de direção NE-SW, como a falha McCandless, representam outra importante direção de fraturamento no âmbito da Província Mineral de Carajás.

De acordo com Sena Costa *et al.* 1995, as estruturas da serra dos Carajás estão relacionadas a um evento compressivo oblíquo NE-SW. Tal evento teria gerado bacias transtensivas que abrigariam a deposição das rochas vulcanossedimentares do Supergrupo Itacaiúnas. Posteriormente, essas bacias seriam invertidas e suas rochas metamorfasadas na fácies anfíbolito a xisto-verde ao longo de zonas de cisalhamento. Seguir-se-ia a implantação de falhas transcorrentes de direção WNW-ESE, como a Falha Carajás, N-S e NE-SW. Nas porções transpressivas dessas falhas, ocorreriam os cavalgamentos que modificariam a geometria dos duplexes formados anteriormente. Segundo Macambira e Borges (1994), a configuração atual de minério de ferro de N4E resulta da ação desses splay da falha Carajás, que representariam os cavalgamentos e de falhamentos antitéticos transcorrentes tardios N-S.

O final da evolução tectônica da bacia é de caráter rúptil, como atestado por Nogueira *et al.* (1996) e Barros *et al.* (1994), que registram como consequência da implantação de esforços distensivos, a implantação de horsts e grabens e intrusões de diques e sills de gabro e diorito.

Pinheiro (1997) sugere, conforme coluna tectono-estratigráfica apresentada na **Tabela 6.1.5.1** que a evolução tectônica de Carajás iniciou-se com o estabelecimento de uma zona de cisalhamento dúctil arqueana, de direção E-W (Zona de Cisalhamento Itacaiúnas), responsável pelo aparecimento, nas rochas do embasamento (Complexos Pium e Xingu, Suíte Plaqué e Grupo Igarapé Salobo), de uma fábrica milonítica de alta temperatura (fácies anfíbolito médio a alto) e de cerca de 3.0 Ga e 2.8 Ga. geradas por transpressão sinistral.

Posteriormente, sobre o embasamento, se acomodariam as rochas do Grupo Igarapé Pojuca, que seriam deformadas por transpressão e, sobre estas, os litótipos do Grupo Grão Pará (2.7Ga). Discordantemente sobre essas rochas depositar-se-iam os sedimentos da Formação Águas Claras.

Na sequência, então, seguiria um evento transtensional destal que seria responsável pela subsidência dessas rochas no interior da Bacia de Carajás, ao sul, e ao longo do Sistema Transcorrente Cinzento a norte, gerando uma geometria sigmoidal alongada com trend E-W, fortemente controlada pela geometria das zonas de cisalhamento pretéritas.

TABELA 6.1.5.1**CRONOLOGIA DOS PRINCIPAIS EVENTOS TECTÔNICOS DA REGIÃO DE CARAJÁS**

Idade (Ma)	Evento	Cinemática
	Reativação dos sistemas de falhas marcado por microssísmos recentes.	Desconhecida
240 – 150	Reativação durante a separação da América do Sul no Mesozóico. Desenvolvimento de <i>grabens</i> .	Extensional
	Deposição do Grupo Serra Grande (Siluro-Ordoviciano).	Extensional (Bacia Intracratônica do Parnaíba)
1900	Intrusão de <i>plutons</i> graníticos e diques	Extensional ou transtensional
	Inversão tectônica fraca por reativação de falhas. Inversão forte a moderada nas rochas adjacentes aos traços da Falha Carajás, na parte interna do Sistema Transcorrente Carajás.	Transpressão sinistral
2600	Desenvolvimento dos sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento. Unidades anteriormente depositadas subsidiram em blocos controlados por falhamentos ao longo dos sistemas transcorrentes. Intrusão de <i>sills</i> e diques.	Transtensão dextral
	Deposição da Formação Águas Claras e intrusão de granitos arqueanos (tipo Estrela).	-
2700	Deposição, extrusão e intrusão do Grupo Grão Pará, posteriormente afetado por hidrotermalismo.	Extensional (ampla bacia intracratônica)
2800	Deposição das rochas do Grupo Igarapé Pojuca, posteriormente deformadas e metamorfizadas.	Transpressão sinistral
	Zona de Cisalhamento Itacaiúnas – deformação dúctil de temperatura alta, afetando rochas da assembléia do embasamento.	Transpressão sinistral

Fonte: Pinheiro (1997)

A Falha Carajás marcaria o limite de subsidência e deslocamento dextral transtensivo da Estrutura de Carajás, a qual seria invadida por um enxame de diques e sills máficos por volta de 2.6 GaUm episódio de transpressão sinistral entre 2.6 Ga e 2.0 Ga reativaria a Falha Carajás, deformando as rochas situadas no interior da Estrutura Carajás.

Neste contexto, do Sistema Transcorrente Cinzento, daria origem às estruturas sidewall ripout do Salobo e duplex do Cururu. Um novo episódio deformacional, controlado por uma extensão E-W a NE-SW ocorrida durante o Proterozóico Inferior e o início do Mesoproterozóico, no Cráton Amazônico, daria origem a fraturas e falhas regionais, de direção N-S e permitiria a intrusão de plútons graníticos (Granitos Carajás, Cigano, etc) e, possivelmente, novos diques máficos. Localmente, em virtude da reativação de falhas pretéritas maiores, ocorreu a formação de pequenas bacias onde foram depositados os sedimentos da Formação Gorotire.

Araújo *et al.* (1988) e Araújo & Maia (1991) definem, na Província Mineral de Carajás, o Cinturão Itacaiúnas como a principal estrutura geotectônica do Arqueano, nele distinguindo-se, ao norte, um domínio transcorrente com seqüências vulcanossedimentares associadas e, ao sul, um domínio imbricado oblíquo caracterizado por forte lenticularização de rochas granulíticas, gnaisses diversos, granitóides e rochas supracrustais.

Segundo estes mesmos autores, em termos geométricos o domínio transcorrente situado na porção norte de Carajás, com seqüências vulcanossedimentares associadas, pode ser dividido em dois sistemas:

- Sistema Serra dos Carajás: caracterizado por uma estrutura sigmoidal, alongada na direção WNW-ESE e limitada pelas serras Norte e Sul e,
- Sistema Cinzento: localizado na porção NE da Província Mineral de Carajás, envolvendo as rochas constituídas principalmente por uma seqüência vulcanossedimentar tipo greenstone-belt pertencente ao Grupo Rio Novo, além de rochas do Complexo Xingu e do gnaiss Estrela, onde a geometria interna da mega-estrutura é definida por frações lenticulares dos diferentes termos petrográficos supra citados.

A **Figura 6.1.5.2 (Anexo IX-A)**, apresenta a geologia da Área de Influência Indireta.

6.1.5.2 Geologia da Área de Influência Direta (AID) e Diretamente Afetada (ADA)

a) Descrição da Geologia

Como os dados existentes até o momento devem-se exclusivamente, à caracterização específica do Bloco D, através de sondagens, ou às breves descrições de campo existentes em trabalhos expeditos, faz-se a seguir uma apropriação dos estudos de Mdgeo (2007) os quais se referem aos principais levantamentos direcionados ao entendimento geológico das áreas em questão, tanto do ponto de vista descritivo, como conceitual.

Segundo Mdgeo (2007), a geologia que se encontra na região do projeto Serra Sul ou limitada pelo Corpo S11, pode ser caracterizada pelo amplo predomínio de rochas atribuídas ao Grupo Grão Pará. Esta unidade constitui uma seqüência vulcanossedimentar, que abrange os numerosos depósitos de minério de ferro da Serra dos Carajás (**Figura 6.1.5.3**).

Unidades Litoestratigráficas					
Era	Supergrupo	Grupo	Formação		Associação Litológica
Arqueano	Itacaiúnas	Grão Pará	Parauapebas		Derrames de basaltos, andesitos basálticos com intercalações de horizontes piroclásticos.
				Carajás	Jaspelitos (FFB), hematita mole e hematita dura subordinada.
					Derrames maciços de basaltos, andesitos, associados com riolitos e aglomerados de brechas e tufos.

Fonte: Mdgeo, 2007

FIGURA 6.1.5.3 - Coluna Estratigráfica do Corpo S11.

“O Grupo Grão Pará apresenta-se segundo um “trend” EW/NNW, tendo sido subdividido em quatro alvos: A,B,C e D, conforme sugerido nos trabalhos de pesquisa conduzidos pela Vale em conjunto com a Companhia Meridional de Mineração nas décadas de 60 e 70, em função das inflexões observadas no corpo, embora não tenha sido identificadas descontinuidades no referido corpo”.

6.1.5.2.1 Estratigrafia

– Embasamento Cristalino – Complexo Xingu

O embasamento cristalino predomina na porção sul do Corpo S11 e compreende-se por rochas gnáissicas, que podem ou não estar migmatizadas, de composição tonalítica, trondhjemítica e granodiorítica, que resultaram do retrabalhamento tectono-metamórfico dos granitóides arqueanos. O último evento de migmatização que afetou essas rochas, determinado por Machado *et al.* (1991), ocorreu há 2.859 ± 2 Ma (U/Pb - zircões), enquanto que Macambira e Lancelot (1991) dataram em $2.876 +13/-11$ Ma (U/Pb zircões) a sua cristalização.

Há vários granitóides de idade arqueana reconhecidos dentro dos complexos de alto grau. Eles ocorrem na forma de corpos isolados de ortognaisses ou de granitos deformados no Complexo Xingu (Pinheiro, 1997). Dentre estes merece destaque o Granito Estrela ou Complexo Gnáissico Estrela (Barros, 1991; Araújo & Maia, 1991; in Pinheiro, 1997). As datações indicavam uma idade de 2.53 Ga para o cisalhamento dúctil que afetou o mesmo (Barros *et al.*, 1992; Barros & Dall’agnol, 1994). Recentemente Barros & Dall’agnol (2004) obtiveram uma idade de 2.76 Ga, sendo atribuída ao posicionamento do mesmo.

– Grupo Grão Pará

Macambira (2003) subdivide o Grupo Grão Pará em quatro sub-unidades, sendo da base para o topo denominadas as seguintes unidades: Formação Parauapebas, Formação Carajás, Formação Igarapé Cigarra e Formação Igarapé Boa Sorte, sendo que esta última não ocorre no Corpo S11 de Serra Sul.

• Formação Parauapebas

A Formação Parauapebas é caracterizada por uma sequência vulcânica de caráter bimodal, com predomínio de termos máficos e subordinadamente félsicos. Segundo Gibbs *et al.* (1986) esta unidade apresenta espessuras entre 4 a 6 km. As sequências vulcânicas desta formação foram formadas em ambiente tipo rift continental (Olszewski *et al.*, 1989; Meirelles & Dardenne, 1991).

As rochas vulcânicas máficas a ácidas são de natureza efusiva, de coloração predominantemente esverdeada, porém avermelhada quanto decompostas (MD). São basaltos a andesitos basálticos, com ocorrência de amígdalas e vesículas ocasionalmente orientadas segundo as direções de fluxo ígneo e por vezes ligeiramente estiradas.

As rochas observadas, principalmente a partir de testemunhos de sondagem rotativa, apresentam uma textura fanerítica fina, com a mineralogia representada principalmente por clorita, anfibólio, epidoto, quartzo, carbonatos, biotita, magnetita e pirita. Estas rochas exibem, frequentemente, aspecto maciço, sendo comuns observarem-se estruturas amgdaloidais e vesiculares preenchidas por quartzo, carbonatos, epidoto e anfibólitos. Embora estas rochas aparentemente tenham sido submetidas a baixo grau metamórfico, exibem indícios de alteração hidrotermal.

Os contatos destas rochas com os jaspelitos e hematita mole da Formação Carajás são geralmente gradacionais com interdigitações milimétricas a centimétricas, sendo também, bruscos e concordantes sem aparentes halos de alteração (**Foto 6.1.5.1**).



Fonte: Mdgeo, 2007

FOTO 6.1.5.1 – Zona de contato entre vulcânicas máficas e jaspelito

- **Formação Carajás (Jaspelito)**

A Formação Carajás é constituída principalmente por formações ferríferas bandadas de fácies óxido, tipo jaspelito, em grande parte transformada em minério hematítico, predominando os termos brandos (hematita mole – HM). Os jaspelitos, no Bloco D ocorrem na forma de duas camadas de maior expressão com espessuras variáveis, mas atingindo valores da ordem de 100 metros, sendo uma situada em uma posição intermediária da formação e a outra constituindo o topo da camada, em contato com as vulcânicas máficas.

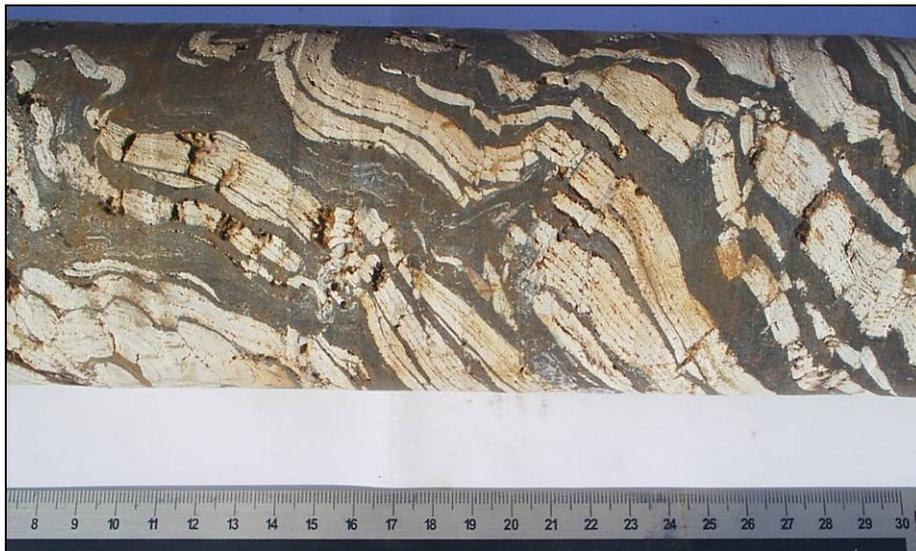
As formações ferríferas são predominantemente fácies óxido, compostas pela alternância de bandas e lâminas de minerais de ferro e sílica (chert). Elas são divididas em fácies petrográficas macroscópicas de acordo com persistência e regularidade do bandamento. São elas:

Fácies 1 - formada por bandas milimétricas a centimétricas (0,1 – 1,0 cm), de sílica/chert e hematita/magnetita. Esta fácies se destaca pelo padrão freqüente e regular, em espessura e composição das bandas. Às vezes encontra-se com um aspecto “zebrado”. A coloração pode variar de esbranquiçada a amarronzada para as bandas de chert e de cinza escura para as hematitas e magnetitas. Porém essa coloração pode variar em função de sua mineralogia. De acordo com sua composição mineralógica pode ser do tipo carbonática, silicosa, clorítica e argilosa.

Fácies 2 - caracterizada por bandamento descontínuo e irregular é formada por bandas de sílica/chert centimétricas (0,5 a 2 cm) com laminação interna fina (1 mm) de óxidos de ferro. Há também bandas mais espessas de até 2-3 cm de óxido de ferro, que por vezes envelopam bandas silicosas (**Foto 6.1.5.2**). Esta fácies tem como característica principal o fraturamento de bandas silicosas e o comportamento plástico que por vezes se desenvolvem. Às vezes apresentam bandas contínuas, porém irregulares. De acordo com sua composição mineralógica pode ser do tipo carbonática, silicosa, clorítica (**Foto 6.1.5.3**) e argilosa, conforme fácies 1.

Eventualmente estas formações ferríferas bandadas apresentam-se densamente fraturadas, porém, em muitos casos, de forma descontínua. Estes fraturamentos geralmente foram preenchidos por quartzo, e se limitam a algumas bandas, verificando, no caminho do veio/vênula, deslocamentos horizontais indicando o provável caráter diagenético para o alojamento do veio.

Os contatos destas rochas com suas encaixantes (HM/MS/MD) aparecem na maioria das vezes de forma gradacional evidenciado pelo enriquecimento de quartzo/sílica próximo aos contatos com as formações ferríferas bandadas. Contudo, contatos bruscos e concordantes com vulcânicas máficas também foram encontrados corroborando a existência de derrames contemporâneos.



Fonte: Mdgeo, 2007

FOTO 6.1.5.2- Jaspelito Fácies 2 – Silicosa



Fonte: Mdgeo, 2007

FOTO 6.1.5.3 - Jaspelito Fácies 2- Clorítica

Fácies 3 - trata-se de uma fácies brechóide, de caráter sedimentar com fragmentos de jaspelitos (**Foto 6.1.5.4**). Os fragmentos encontram-se subangulosos a subarredondados com dimensões de 0,5 até 10 cm, de composição dependente da rocha encaixante. Os clastos são suportados por matriz de óxidos de ferro, e sem orientação preferencial.



Fonte: Mdgeo, 2007

FOTO 6.1.5.4 - Jaspelitos Fácies 3- Brechado

O Minério de Ferro

Os tipos de minério de ferro identificados no Corpo S11 são basicamente três: os tipos compactos, friáveis e pulverulentos, por vezes com estruturas internas preservadas. Estas tipologias de minério apresentam granulometria predominantemente fina a média, e foram distintos, basicamente, dois tipos: Hematita Dura e Hematita Mole.

A hematita dura (HD) é de estrutura predominantemente maciça e compacta, de coloração cinza-azulada, eventualmente com algum bandamento perceptível.

A hematita mole (HM) é o tipo mais encontrado nos furos de sondagem e galerias, não sendo aflorantes na região. Ela ocorre com diferentes colorações, variando de cinza escuro à avermelhada, de acordo com a proporção dos contaminantes presentes. Ela é predominantemente composta por hematita, com massas irregulares de magnetita, goethita e limonita, proveniente do protominério jaspelítico; e caulim e outros argilominerais, provenientes da alteração de rochas vulcânicas máficas decompostas.

Comumente nos tipos friáveis, estão ainda preservados suaves dobramentos, laminações, microfalamentos, sustentadas por lâminas de HD e herdadas do protominério jaspelítico. Já nos tipos pulverulentos não se verificam estruturas reliquias. Outra estrutura que confirma o enriquecimento supergênico para a formação do minério, são as deposições de grânulos que ainda encontram-se preservadas no HM e formação ferrífera bandada com alta liberação de sílica.

Os pacotes de minério mole no Corpo S11 Bloco D apresentam espessuras que podem variar de 20 metros (nas bordas do platô) e entre 200-350 m (nas porções centrais). Ocorrem em subsuperfície numa faixa de direção E-W com aproximadamente 1,5 a 2 km de largura. Cumpre destacar a espessura máxima observada no furo S-11-D-126, de 410 metros (**Figura 6.1.5.4**).

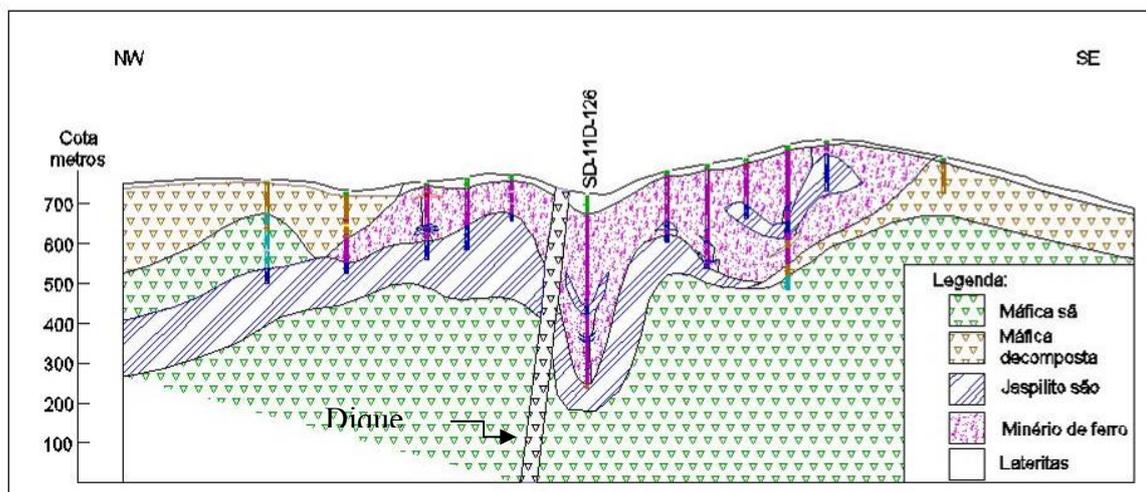


FIGURA 6.1.5.4 - Seção Geológica 5170-D. Furo SD11-D-126 em destaque

As Coberturas Lateríticas associadas à FFB

As cangas representam um produto de meteorização sobre as sequências características da região de Serra Sul. Ocorre em formas variadas, dependendo do substrato rochoso sobre o qual se desenvolveu e das condições fisiográficas, uma vez que se trata de um produto de alteração intempérica. Estas coberturas são de ampla expressão na porção superior do Corpo S11, constituindo elemento de sustentação do topo do platô, face à sua resistência a erosão.

As cangas identificadas na área foram divididas em três tipos distintos: canga química (CQ), canga de minério (CM) e hematita laminada lateritizada (HLL).

As cangas são constituídas por fragmentos de tamanhos variados das rochas subjacentes (em geral de 1 a 10 cm), por vezes cimentados por matriz limonítica/goethítica. Geralmente, trata-se de um material muito hidratado, com altos teores de fósforo e alumina. As cangas podem ocorrer *in situ* ou depositadas na forma de elúvios. Os três tipos de cangas são abaixo discriminados.

Canga Química: formada por intemperismo químico com raros fragmentos saprolitizados de rochas máficas e formação ferrífera, cimentados por limonita/goethita com textura coliforme típica e aspecto vítreo, por vezes podem ocorrer inconsolidados. De maneira geral as cangas químicas são típicas de terrenos onde predominam rochas vulcânicas máficas, sendo inclusive comum, a identificação de fragmentos destas rochas, na forma de saprólitos.

Canga de Minério (Foto 6.1.5.5): formada por processos de intemperismo químico e detríticos com controles paleogeomorfológicos de deposição, ela é composta por fragmentos de formação ferrífera ou de hematita lamelar, cimentados por matriz limonítica/goethítica em aspecto terroso.

Hematita Laminada Lateritizada (Foto 6.1.5.6): caracteriza-se por ser laminada com estruturas parcialmente preservadas, devido à formação de horizontes cimentados por minerais de ferro.



Fonte: Mdgeo, 2007

FOTO 6.1.5.5 – Aspecto de testemunho de sondagem rotativa em camada de canga de minério



Fonte: Mdgeo, 2007

FOTO 6.1.5.6 – Aspecto de testemunho de sondagem rotativa em camada de hematita laminada lateritizada

- **Formação Cigarra**

Esta formação ainda não foi totalmente mapeada na região e aparenta ser muito semelhante à Formação Parauapebas, no que diz respeito à mineralogia, porém com raras amígdalas e vesículas. A alteração hidrotermal nesta formação aparenta ter sido menos intensa (Mdgeo, 2006).

- **Formação Águas Claras**

Situado em pequenas manchas a noroeste do Corpo S11, esta formação ocorre em um pacote siliciclástico, composto por arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados, que repousam discordantemente sobre as rochas do Supergrupo Itacaiúnas. Nogueira et al. (1996), caracterizam a faciologia desse pacote de sedimentos, submetidos apenas a condições de anquimetamorfismo, e assumem a denominação de Formação Águas Claras. Segundo Trendall et al (1998) a essa formação apresenta uma idade de 2,68 Ga, obtida a partir de zircões detríticos derivados de vulcanismo sindeposicional, por sua vez associado aos diques máficos de 2,64 Ga, que cortam toda a sequência. Já Araújo & Maia (1991, in Lobato & Rosière, 2002), consideram a Formação Águas Claras como uma sequência mais nova do Grupo Grão Pará.

– **Unidade Granito Plaquê**

A Suíte Plaquê, também denominada Plaquê Estratóide Granite por Araújo & Maia (1981; in Pinheiro, 1997; Huhn *et al.*, 1999) situa-se na porção sudeste do Corpo S11 e constitui um grupo de pequenas intrusões granitóides delimitadas pelos terrenos de alto grau do Complexo Xingu. Estas intrusivas constituem corpos lineares com direção E-W, e constituem exemplos de rochas graníticas (granitos e dioritos) posicionadas sintectonicamente durante o evento deformativo dúctil principal que afetou as rochas do Complexo Xingu (Araújo & Maia, 1991; Jorge João & Araújo, 1992; in Pinheiro, 1997). Embora não datados, os trabalhos de mapeamento indicam tratar-se de intrusivas de idade arqueana (Jorge João & Araújo, 1992; in Pinheiro, 1997).

– **Diabásio, diques e sills máficos**

São gabros, dioritos e diabásios pouco estudados na região, apesar de abundantes. Sabe-se que existem várias fases de magmatismo máfico, mas a sua divisão é muito difusa. Têm idades desde arqueanas (gabros de 2.7 Ga no depósito de Águas Claras), passando a proterozóicas (dioritos do Igarapé Aquiri, com cerca 1.9 Ga., Hirata *et al.* 1982) a até brasilianas (diques encontrados na área do Salobo (Lindenmayer, 1990). No Corpo S11 os sills máficos situam-se em pequenas manchas na porção central, estando em meio as cangas detríticas, próximos a lagoa do Violão e do Amendoim. O diabásio se encontra intrudido a noroeste da área, em que afloram pequenas manchas em meio a canga estrutural. Já o dique diabásico, se apresenta em um estreita faixa na porção central do Corpo S11, entrecortando rochas das formações Parauapebas e Cigarra e cangas estruturais e detríticas. A **Figura 6.1.5.5** apresentada no **Anexo IX-B** mostra o mapa geológico local.

– **Porosidade dos materiais de cobertura laterítica**

Considerando-se a total inter-relação das carapaças lateríticas com as formações ferríferas subjacentes, apenas recentemente é que os assuntos direcionados à compreensão de sua gênese e as transformações advindas do potencial de dissolução / lixiviação das formações ferríferas têm sido mais pesquisados. A seguir apresenta-se a caracterização do cenário geológico existente no Bloco D do Corpo S11.

Os jaspelitos no Bloco D do Corpo S11 ocorrem na forma de duas camadas de maior expressão com espessuras variáveis, mas atingindo valores da ordem de 100m, sendo uma situada em uma posição intermediária da formação e a outra constituindo o topo da camada, em contato com as vulcânicas máficas. As formações ferríferas mostram-se em contatos com suas encaixantes (hematita mole (HM), máfica sã (MS) e máfica decomposta - MD) de forma gradacional, evidenciado pelo enriquecimento de quartzo/sílica próximo aos contatos com as formações ferríferas bandadas. Contudo, contatos bruscos e concordantes com as rochas vulcânicas máficas podem ocorrer.

Variações mineralógicas foram identificadas, sendo algumas porções enriquecidas com óxidos de manganês e sulfetos (pirita, calcopirita, bornita e cobre nativo), além da rara malaquita. As ocorrências de manganês são concordantes ao acamamento e próximos aos contatos com as rochas vulcânicas máficas decompostas, enquanto os sulfetos podem ocorrer tanto em laminações concordantes, como em cristais neoformados em meio a bandas silicosas e fácies brechadas.

Estudos mineralógicos e texturais dos minérios de Serra Sul, segundo Fujikawa (2000) e Vieira (2004), apontam para as composições minerais listadas abaixo (**Tabela 6.1.5.2**), a partir de resultados integrados por microscopia ótica, difração de raios-X e análises químicas.

TABELA 6.1.5.2
COMPOSIÇÕES DOS MINÉRIOS DE SERRA SUL

Mineralogia	Composição (%)
Hematita	64
Goethita e limonita	16
Magnetita	18
Elementos traços (óxidos de Manganês, ilmenita, quartzo, gibbsita, caulinita, talco, carbonato, turmalina, azurita, anatásio e rutilo)	2

Fonte: Fujikawa (2000) e Vieira (2004)

Os pacotes de minério mole no Bloco D do Corpo S11 de Serra Sul apresentam espessuras que podem variar de 20m nas bordas do platô a até 200-350 metros nas porções centrais. Ocorrem em subsuperfície, numa faixa de direção E-W, com aproximadamente 1,5 a 2km de largura. Cumpre destacar a espessura máxima observada no furo S-11D-126, com 410 metros de profundidade. Conforme citado em Vale (2006), as coberturas lateríticas representam um produto de intemperismo que se desenvolveu sobre as seqüências litológicas presentes na região de Serra Sul, ocorrendo de modo variado em superfície, dependendo do substrato rochoso e das condições fisiográficas a que estão associadas. Essas coberturas dão sustentação a toda área de exposição do Corpo S11, em face à sua maior resistência a erosão.

Segundo Simmons (1963), a canga é a denominação dada a um depósito superficial fragmentário rico em hematita e cimentada por limonita, que cobre muitas encostas e algumas cristas e fundos de vale. O mesmo autor, estudando as extensas crostas lateríticas no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, aponta a presença de coberturas de canga com espessuras que variam entre alguns poucos milímetros até 30 metros. Relata ainda que os fragmentos detríticos possuem tamanho que varia desde silte até blocos, sendo a quantidade de cimento limonítico, além de variável, capaz de preencher completamente os interstícios da canga, mas, via de regra, especialmente quando os fragmentos são grandes, a limonita preenche parcialmente os espaços vazios, resultando em uma rocha porosa, embora relativamente permeável.

Já o estudo das coberturas de alteração no Corpo N1, elaborado por Maurity & Kotschoubey (1995), apresenta um detalhado levantamento dos processos intervenientes na gênese desses ambientes. Dentre as diversas abordagens realizadas, constataram a presença de ‘zonas de baixa densidade’ a partir da observação de cavidades “ocultas” (sem entradas) no interior do platô laterítico. Esses mesmos autores revelam que a ação dos mecanismos geoquímicos responsáveis pela mobilização do Fe e Al na canga, os quais podem migrar para zonas mais profundas do manto de alteração, atingem a base da couraça e/ou topo do saprólito. Desse modo, na forma de complexos solúveis, ficariam sujeitos à ação de águas oxigenadas, causando então a precipitação da goethita, hematita e gibbsita nas fissuras e fraturas do topo da zona saprolítica, formando um sistema reticular superposto ao material saprolítico.

Sugerem por fim, que a migração lateral da água subterrânea causa a dissolução da caolinita e, com a lixiviação da sílica e alumina remanescente, evolui para um produto gibbsítico poroso e friável, facilmente erodível, resultando no aparecimento de vazios cada vez mais abundantes na interface crosta/saprólito. Neste modelo de Maurity & Kotschoubey (1995), o produto final são zonas de baixa densidade (alta porosidade).

Como descrito acima, as água subterrâneas desempenham papel fundamental nos processos evolutivos do arcabouço estruturado da base das carapaças lateríticas. Muitas das feições que suportam as lagoas citadas estão associadas à ação do intemperismo em antigas zonas de percolação de fluidos, cujos processos de dissolução, mobilização e lixiviação mineral potencializaram o aparecimento de zonas de baixa densidade, principalmente localizadas nas faixas de contato entre as capas de material laterítico residual e as rochas imediatamente subjacentes, de maior compactidade.

Os métodos comumente adotados nas pesquisas geológicas podem trazer diversas informações pertinentes acerca do grau de compactação, tipos de estruturação e composição do substrato rochoso. Desse modo, com o propósito de se investigar a existência de macro porosidades em subsuperfície, apresenta-se a seguir uma síntese da análise realizada a partir dos resultados obtidos com as sondagens geológicas executadas no Bloco D, conforme material fornecido pela Vale.

Diante da malha de sondagens do Bloco D do Corpo S11, com 43 seções alinhadas na direção NNW/SSE, ortogonal ao alongamento do corpo de minério, e 239 furos de sondagem com mais de 23.000 metros perfurados, a investigação do nível de recuperação dos testemunhos em furos de sondagens pode funcionar como uma ferramenta auxiliar no cômputo do índice de porosidade existente no meio rochoso.

Para se proceder a tal investigação, parte-se da premissa de que todos os níveis apontados nas sondagens como 'NS' (Not Sampled – não amostrados), ocorrem em função da presença de zonas extremamente porosas internamente aos materiais perfurados. Esses espaços ocupados por faixas de macro porosidades puderam ser mensurados perante a ausência de amostras em diversas zonas perfuradas, assinaladas nos procedimentos de recuperação dos testemunhos de sondagens.

A análise minuciosa de todos os furos de sondagens disponibilizados para o Bloco D do Corpo S11 mostra um total de 420 metros sem recuperação de testemunhos. A espessura média desses espaços porosos é de 1,8 m para um total de 232 zonas onde não houve recuperação dos testemunhos. O máximo observado é de 11,7 m, com um mínimo de 0,35 m.

Interessante notar que muitos dos trechos não amostrados ocorrem tanto em zonas internas de um mesmo material quanto em zonas de contato entre materiais distintos. Os materiais em que ocorrem com maior frequência são as hematitas moles seguidas dos jaspelitos e cangas de minério, e em seus respectivos contatos. De modo menos expressivo, podem ocorrer no contato das rochas básicas sãs ou decompostas com as hematitas.

As cotas médias observadas para ocorrência das zonas não amostradas coincidem com a altitude de 622 mNM, sendo a mínima de 331 mNM e a máxima de 848 mNM. A profundidade máxima de ocorrência pode atingir mais de 340 m e a mínima, inferior a 20 m.

A fim de representar graficamente os valores encontrados, apresenta-se a seguir algumas relações que podem ser expressas quanto à profundidade, cota e número de trechos observados na zona interna do maciço ferrífero do Bloco D do Corpo S11 (**Figura 6.1.5.6**).

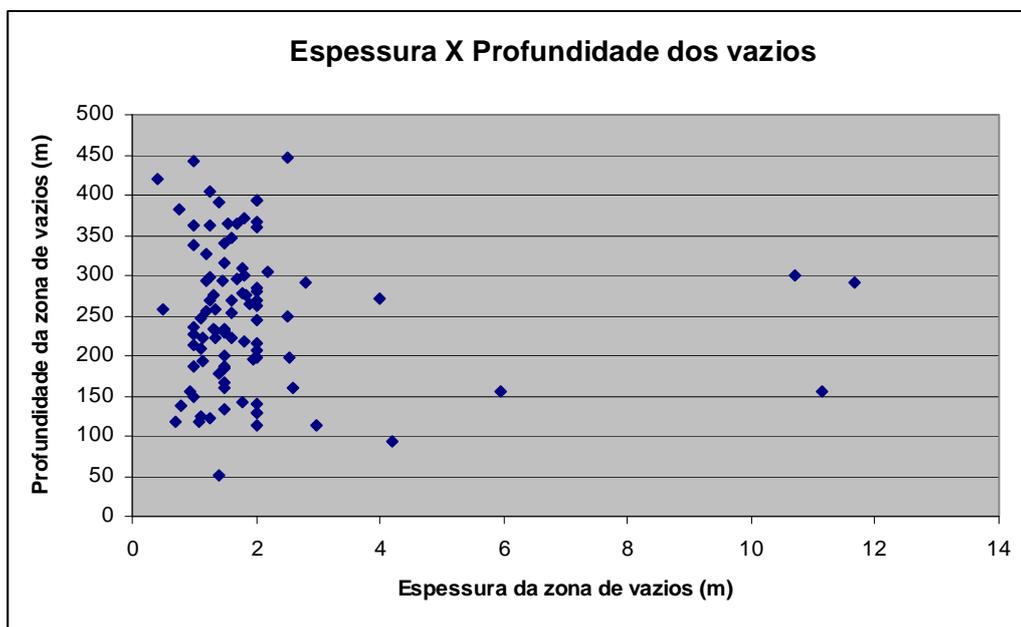


FIGURA 6.1.5.6 - Distribuição das zonas porosas (não testemunhadas) versus profundidade

Como apresentado na **Figura 6.1.5.6**, observa-se que não há a tendência da zona porosa concentrar-se em uma faixa altimétrica específica, dado que as profundidades das mesmas distribuem-se de modo aleatório ao longo dos 239 furos realizados no Bloco D. No entanto, pode-se notar a predominância de zonas porosas ocorrerem com espessuras médias inferiores a 2,0 m.

Isto demonstra claramente a rica presença de espaços abertos em profundidade, o que torna o Sistema aquífero Carajás um excelente corpo armazenador de água.

b) Mapeamento Geológico

O mapa geológico existente para o domínio de interesse foi elaborado pela equipe técnica da Minerconsult/Vale (2009) e é apresentado na escala 1:30.000 (de acordo com os esclarecimentos do IBAMA nas reuniões dos dias 18 e 19 de agosto de 2009 (**Anexo I**), frente às dúvidas do TR expostas pela Vale, foi consenso de que a Vale poderá apresentar, em meio físico, o mapa topográfico na escala 1:10.000, os outros mapas temáticos em escala 1:30.000. Em meio digital, deverão ser apresentados em escala 1:10.000). Trata-se do primeiro mapeamento geológico consistido para a zona de entorno do Corpo S11 Bloco D, em que se observam as principais estruturas, tipos litológicos e principais zonas de tectonismo incidente ao longo do referido domínio.

Conforme apresentado nos estudos geológico-geotécnicos de Minerconsult-Vale (2009), o documento abaixo apresentado sintetiza as principais informações coletadas para a análise geológica do empreendimento minerário de Serra Sul. Dado que o relatório trata especificamente dos aspectos pertinentes à caracterização dos atributos litológicos da área, poucas alterações foram acrescentadas, sendo o texto adaptado, modificado em alguns itens, ou mesmo transcrito em grande parte do documento.

O objetivo principal é o de produzir as informações geológicas em caráter local do domínio de estudo visando subsidiar a concepção do projeto de implantação do futuro Complexo Industrial Mineral Serra Sul na região de Carajás, sul do estado do Pará.

Conforme citado em Minerconsult-Vale (2009), durante os trabalhos de campo para o mapeamento geológico realizado em fevereiro e março de 2008, foi utilizado inicialmente o mapa geológico regional como base de orientação nos caminhamentos e logística técnica. As incursões pela área foram realizadas inicialmente através das poucas estradas que atravessam as propriedades rurais locais, complementadas na sua grande maioria por diversas trilhas ao longo de pastagens e florestas.

No decurso dos mesmos observou-se a necessidade de uma revisão e adequação das informações geológicas à maior escala de trabalho (1: 20.000), própria para o atual estágio evolutivo de estudo para o projeto, que se basearam na identificação da petrografia macroscópica dos litotipos encontrado nos afloramentos e dos eventuais blocos alóctones, e para o cadastramento e análise das feições geológicas estruturais nos afloramentos e, ainda, sobre as imagens aéreas disponíveis.

Como resultado, foi obtido, principalmente, o mapa geológico com a identificação ou confirmação dos corpos rochosos de diversas naturezas os quais foram cartografados e individualizados em caráter preliminar, conforme apresentado na **Figura 6.1.5.5 (Anexo IX-B)**.

As dificuldades de mapeamento são inerentes às regiões tropicais devido ao grau intenso de intemperismo dos litotipos e a existência de um manto de cobertura que ocorrem na forma de horizontes de solo e carapaças lateríticas significativas, aliada aos setores com baixa densidade de afloramentos de rocha sã ou pouco decomposta, e a alta complexidade litoestrutural das unidades geológicas. As adversidades climáticas sazonais indicam que o trabalho ora apresentado seja caracterizado como um produto de primeira aproximação, servindo para orientação para trabalhos futuros.

O posicionamento da área do projeto dá-se no limite de dois domínios geotectônicos, um de regime compressivo que ocorreu na transição Arqueano-Proterozóico, que progrediu para um regime transcorrente, os quais caracterizam respectivamente os terrenos geológicos imbricado e transcorrente.

Estes ocorrem simultaneamente ou separadamente, seja em mesoescala ou de afloramento, o que reforça o pressuposto da alta complexidade geológica local e regional dos terrenos do sul-paraense.

Utilizaram-se nesse ínterim, as importantes informações contidas no “PROJETO ESPECIAL MAPAS DE RECURSOS MINERAIS, DE SOLOS E DE VEGETAÇÃO PARA A ÁREA DO PROGRAMA GRANDE CARAJÁS” - Serra dos Carajás, folha SB.22-Z-A, escala 1:250.000, além da folha Serra Pelada, executadas pela CPRM (1991 e 1994) – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e, subordinadamente, as informações contidas no Projeto Radam –1974 e nas ortofotocartas (CVRD - Aerosul, 2004).

O local do empreendimento situa-se na região sudeste do estado do Pará. Tendo como referência os limites geográficos dados pelos paralelos 6°21'12” e 6°30'48” de latitude sul, e pelos meridianos 50°14'58” e 50°21'29” de longitude WGr.

A área em estudo está inserida na microrregião de Parauapebas do estado do Pará, integrado cinco municípios, quais sejam: Parauapebas, Canaã dos Carajás, Eldorado dos Carajás, Água Azul do Norte e Curionópolis.

O posicionamento da Planta Industrial não atinge, diretamente, o núcleo urbano de nenhum município. Localizado na zona rural do município Canaã dos Carajás, está, em linha reta, a 50 km a sudoeste do núcleo urbano de Parauapebas e a 33 km a nordeste do núcleo urbano de Água Azul do Norte.

b.1 - Aspectos do Empilhamento do Litoestratigráfico da AID – Mantos de Cobertura / Rochas

Diante do objetivo de fornecer elementos para a caracterização geral do empreendimento, foram levados em consideração todos os materiais de cobertura, que, de maneira direta ou indireta contribuem sobremaneira para interpretação geológica local. Desse modo, os solos foram caracterizados segundo sua classificação genética, que leva em conta sua origem geológica, sua caracterização e seus aspectos geotécnicos preliminares.

Os terrenos do Complexo Xingu e granitóide Plaqué, respectivamente constituídos principalmente de rochas gnáissicas e granitóides, ocupam os terrenos da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Pacu, na porção ao sul de terrenos arrasados. Os solos são constituídos por colúvio, alúvio e residual, por vezes ao lado de afloramentos rochosos e carapaças ferruginosas.

No domínio da formação Parauapebas (metabásicas), a ocorrência dos solos está associada ao condicionamento de relevo e as litologias adjacentes. Na face sul da serra (espigão) ocorrem colúvios assentados sobre solo residual de metabásica da formação Parauapebas, se distribuindo ainda sobre as unidades do Complexo Xingu e as carapaças ferruginosas (canga); na face norte predominam ocorrências de colúvio sobre os terrenos de metabásica.

Dentro da classificação geológica, que leva em consideração a gênese do solo ou depósito, na região foram reconhecidos colúvio, alúvio, elúvio (solo residual) e depósito de tálus.

b.1.1 Colúvios

Em geral são amplamente distribuídos, recobrendo os solos residuais e, eventual e localmente, bordos aluviais. A depender dos tipos litológicos da área-fonte, em geral são solos argilo-arenosos, por vezes pedregosos, ou ainda com esparsos blocos rochosos (**Foto 6.1.5.7**).



FOTO 6.1.5.7 – Colúvio argiloso com fase pedregosa com fragmentos de metabásica. (UTM E=582.999/N=9.289.325)

b.1.2 Alúvios

Os depósitos aluvionares são restritos às calhas dos rios, especialmente mais expressivos no rio Parauapebas (fora da área do empreendimento), aonde regionalmente podem ser identificadas grandes manchas marginais em determinadas posições ao longo do seu curso, que podem tornar-se fontes de materiais granulares para o uso na construção civil. Depósitos menores, antigos terraços atualmente em parte dissecados, ocorrem em alguns cursos de hierarquia secundária e terciária (rio Pacu); também, às vezes constituem acumulação de cascalho de seixo rolado, algumas vezes recobertos por camadas lateríticas coluvionares que sobressaem discretamente na topografia (**Foto 6.1.5.8**).



FOTO 6.1.5.8 – Depósito aluvionar de cascalho de seixo rolado quartzoso, capeado por horizonte de colúvio de cascalho granular laterítico (margem esquerda do rio Pacu, UTM E=587.003/N=9.288.206)

b.1.3 Elúvios

Manchas eluviais ocorrem nos platôs da serra dos Carajás constituindo comumente imensos horizontes de cascalho lateríticos ferruginosos (Superfície de Aplainamento Pré-Cretácea) que são fontes excelentes de materiais granulares para aplicação em pavimentação de estradas. Os solos residuais eluviais aparecem nas áreas mais elevadas e preservadas; solos residuais (autóctones) também aparecem em áreas elevadas e isoladas (platô, morros e serrotes), se expondo diretamente na superfície dos terrenos.

No caso dos platôs ferríferos (Formação Carajás) ocorrem carapaças ferruginosas e/ou ferríferas (rocha), enquanto em morros e serrotes das demais litologias têm suas texturas dependentes da rocha mãe, como solos arenoso-cascalhento (granito anorogênico), silto-arenosos (gnaisse e granitóides) (**Foto 6.1.5.11**), silto-argiloso (metabásica), argiloso (metassedimento pelítico) e arenoso (metassedimento arenoso).

Foi identificado regionalmente da Depressão Periférica, moldando as suaves colinas e bordos das dissecações fluviais recente, carapaças ferruginosas com extensões variáveis associadas à superfície de aplainamento Quaternário (inferido) são facilmente identificadas pelos blocos de canga, dispostos na superfície do terreno, aglomerados ou não, assentados, envolvidos ou às vezes recobertas por colúvios. Tais ocorrências podem ser também fontes de cascalhos lateríticos para uso como material granular principalmente na construção e manutenção de estradas.

A presença de blocos e afloramentos, às vezes lado a lado dos solos residuais autóctones são bastante comum, ou mesmo de outros, como na unidade geológica Plaqué, mas também nas demais quando em áreas mais dissecadas (**Fotos 6.1.5.9 e 6.1.5.10**).



FOTO 6.1.5.9 – Carapaça ferrífera no platô sobre a formação Carajás na superfície de aplainamento pré-Cretácea. (UTM E=573.287/N=9.292.946)



FOTO 6.1.5.10 – Carapaça ferruginosa da superfície Terciária de aplainamento (Depressão Periférica) recoberta por solo coluvionar argiloso (UTM E=583.292/N=9.287.450).



FOTO 6.1.5.11 – Saprolito de Gnaiss Xingu, com foliação bastante evidenciada pelo bandamento subvertical com cores contrastantes (E=582.044/N=9.282.314).

b.1.4 Tálus (zona de blocos)

As acumulações do tipo depósito de blocos (inferido preliminarmente como tálus) estão restritas aos bordos de escarpas constituídas por litologias mais resistentes ao intemperismo, especialmente as das formações ferríferas Carajás, mas também da formações Parauapebas e Águas Claras. São constituídas por misturas soltas de blocos rochosos, às vezes aglomerados de blocos ferruginosos (canga) e solos nas mais variadas proporções e litotipos, que se apresentam superficialmente sob forma de blocos e que, de modo inferido, se considera com prolongamento em profundidade (**Foto 6.1.5.12**).



FOTO 6.1.5.12 – Blocos de canga ferrífera soldados entre si, constituindo grandes massas de canga, dispostas no sopé de encosta, no bordo do espigão da formação Carajás (E=578.273/N=9.287.211)

b.1.5 Depósitos de escorregamentos

Um tipo especial de acumulação, de pé de encosta, causada pela deposição de material proveniente de escorregamentos, também pode ocorrer pontualmente nas porções baixas de vertentes encaixadas e inclinadas existentes nas encostas de ruptura de relevo das serras (semelhante às cunhas de escorregamento) (**Foto 6.1.5.13**) Tais feições dessas acumulações foram localizadas pontualmente, em áreas externas às de interesse do projeto.



FOTO 6.1.5.13 – Depósitos de sopé de encosta devido a escorregamentos de massas de misturadas de solo, rochas e matéria orgânica em canal retilíneo com alta declividade (“cunha”); notar mancha onde há deposição do material (E=582.633/N=9.290.291)

b.2 Geologia da AID

O mapeamento de campo com base aerofotográfica na escala 1:25.000 possibilitou o reconhecimento e o mapeamento das grandes unidades litológicas assim como a identificação de subtipos litológicos indiferenciados os quais, quando possível, foram diferenciados em corpos, que não estiveram no alcance do trabalho do mapa geológico básico produzido pela CPRM sob a publicação da Folha de Carajás (1:250.000). As coberturas lateríticas, os depósitos de tálus, colúvios e alúvios de maior expressão também foram alvo de mapeamento. As feições de foliação milonítica observadas em afloramentos possibilitaram analisar as diferenças de deformação causadas pelo sistema transcorrente. Sistemas de fraturas e falhas, creditadas principalmente ao sistema geotectônico imbricado, puderam ser comparados com as direções dos lineamentos principais os quais foram obtidos por interpretações de aerofotos e de constatação em campo (**Figura 6.1.5.7**).

b.2.1 Litoestratigrafia

As unidades geológicas mapeadas acompanham aquelas definidas estratigraficamente pela geologia regional, adaptando-se às particularidades locais, como posição de contatos e diferenciações possíveis na escala de trabalho. Abaixo, as unidades são descritas completando as informações espaciais do mapa geológico da **Figura 6.1.5.8** e seções geológicas (**Figuras 6.1.5.9 a 6.1.5.13**).

– Complexo Xingu

Dentro da área do empreendimento esta unidade geológica ocupa parte do setor meridional da quadrícula, alinhando-se segundo o trend geral regional leste-oeste; está em contato com a unidade Granitóide Plaquê na porção sul-sudeste e, ao norte, com a Formação Parauapebas.

O contato com o granitóide Plaquê é pouco preciso, característico e função da sua própria gênese, que o considera uma diferenciação genético-litológica a partir das rochas do Complexo Xingu que o acompanhou quando da atuação na deformação segundo o sistema imbricado, resultante de forças direcionais provindas do sul - sudoeste. Com a formação Parauapebas, o contato se dá principalmente por falha transcorrente (sistema transcorrente de deformação); há hipótese de falhas preexistentes ao evento transcorrente, resultantes da atuação da deformação do sistema embricado, que resultou na colocação de litotipos de níveis crustais distintos.

Na área de abrangência do Complexo Xingu foi identificado um grau de heterogeneidade litológico significativo. Dentro do Complexo Xingu Indiviso foram diferenciados corpos litologicamente homogêneos, denominados de Blocos A, B, C e D, que juntamente com o arranjo estrutural indicam a complexidade geológica da unidade, que a seguir são sucintamente apresentados.

– Gnaisses - Complexo Xingu Indiviso

As rochas indivisas dessa unidade ocupam grande parte meridional da quadrícula, sendo que o contato inferido com a formação Parauapebas é através de uma Zona de Cisalhamento com Cavalgamento Oblíquo Sinistral, cujo traço ficou bastante obliterado por outros sistemas de falhas que a intercepta (a zona de cisalhamento), além dos terrenos arrasados por aplainamento (carapaças ferruginosas) que a encobrem parcialmente. O contato com os Blocos A e B no extremo oeste dos mesmos, se dão de forma pouco distinta, considerada uma falha indiferenciada, marcada em parte de sua extensão por um pequeno vale encaixado em V (direção N-S), com modificação da direção da foliação (provavelmente uma dobra de arrasto).

O contato sul do Bloco B, também por falha, é do tipo cavalgamento com ascensão do bloco do Xingu Indiviso sobre o Bloco B, em alto ângulo, deixando a foliação do gnaisse com graus variados de mergulho, desde baixo ângulo em posições afastadas até alto ângulo ou subvertical nas posições mais próximas ao contato com o Bloco B. Esta falha de cavalgamento de alto ângulo se prolonga na direção oeste até atingir as vizinhanças do dique básico quando aparentemente o Bloco B se extingue.

Ainda dentro do Xingu Indiviso ocorrem litologias com feições variáveis, desde gnaisse com foliação milonítica, semelhante a um xisto (com estiramento mineral), até gnaisses graníticos pouco bandados à granitóide; a deformação rúptil impressa se traduz também em sistemas de fraturas e falhas (**Fotos 6.1.5.15, 6.1.5.16 e 6.1.5.21 a 6.1.5.23**).

Corpos básicos intrusivos (Blocos C e D) em forma de dique de idade Mesozóica e de formas assemelhadas (idade imprecisa) penetraram as litológicas do Complexo Xingu Indiviso.

– Bloco A – Granitóide

O granitóide denominado Bloco A (**Fotos 6.1.5.17, 6.1.5.19 e 6.1.5.20**) está localizado na porção centro-leste da quadrícula compreendido entre o Bloco B – “metamáfica de Mozartinópolis” - e a formação Parauapebas. A relação de contato ao norte se dá por falha transcorrente que imprimiu uma foliação milonítica, bastante diferenciada, que tem direção geral leste-oeste e mergulho subvertical a muito inclinado (em torno 80°) acompanhada de dobras que, às vezes, resultam em crenulações.

A rocha tipo é um granitóide de grãos minerais de dimensões médias (<5mm), pseudo-isotrópico, cor róseo acinzentado; sua ocorrência típica está situado no leito de drenagem na coordenada N 9.286.714/ E 582.163.

Sua expressão morfológica é caracterizada por ocupar relevo deprimido, de fundo de vale, indicando sua maior susceptibilidade à erosão, devido principalmente ao seu solo residual de granulometria silto-arenosa, que tem maior erodibilidade. Seus afloramentos são escassos não permitindo a partir de dados superficiais a concatenação sobre a espessura de seu manto decomposto.

– **Bloco B – Metamáfica (anfíbolito)**

O Bloco B constitui de um alinhamento serrano de direção geral (N80°W-S100°E) posicionado na área centro-leste da quadrícula, topograficamente mais elevado na sua porção oeste e rebaixado na porção leste junto ao vale do rio Pacu, quando não tem expressão morfológica.

Sua relação de contato ao norte se dá com o granitóide Bloco A e, ao sul, com os gnaisses foliados Xingu Indiviso; na primeira relação é pouco evidente sua definição, porém, de forma inferida, foi considerado de falha indiferenciada, possivelmente de falhas correlacionadas simultaneamente aos sistemas de deformação imbricado e transcorrente.

Amostras pontuais da rocha, de composição máfica (**Fotos 6.1.5.18 e 6.1.5.22**), do tipo anfíbolítica, negra, em maior parte deformada, onde a foliação é a estrutura mais expressiva e genérica, à exceção pontualmente de porções homogêneas com menor deformação, sugere geneticamente um pretérito corpo intrusivo arqueano-proterozóico, que foi submetido aos eventos de deformação e metamorfismo regionais. Este bloco mostra-se falhado e fraturado segundo a direção N-S e N20°E, evidenciado principalmente pelo vales encaixados que cortam o bloco. A foliação acompanha a direção do corpo com mergulho subvertical a alto ângulo para os quadrantes do sul.

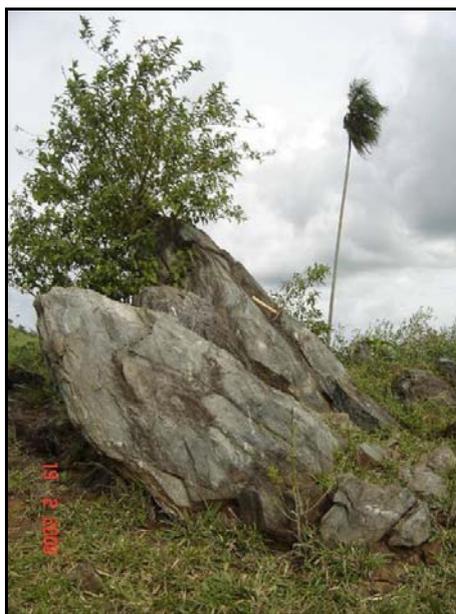


FOTO 6.1.5.14– Afloramento de gnaiss Xingu foliado com falhas e fraturas. O mergulho da foliação para o quadrante sul é indicado pelo cabo do martelo. (E=579.999/N=9.285.200)

A rocha decomposta, em geral dissecada na sua expressão positiva na topografia, comumente está à pequena profundidade, quase sempre recoberta por solos residuais pouco espessos a inexistentes. Na altura da vila Mozartinópolis, onde a expressão de seu relevo torna-se aplainado, são encontrados vestígios de carapaça ferruginosa, o que foi considerado uma indicação da existência de uma superfície de aplainamento, de idade imprecisa (Terciário/Quaternária), entre as altitudes 250 e 300 metros que no pretérito formavam amplos vales e suaves encostas.



FOTO 6.1.5.15– Gnaiss Xingu milonitizado (E=580.095/N=9.284.211)



FOTO 6.1.5.16 – Bloco de granitóide Xingu, isotrópico, maciço e granulação média (E=581.980/N=9.286.726)



FOTO 6.1.5.17 – Metamáfica Xingu (Bloco B) (E=581.348/N=9.284.871)

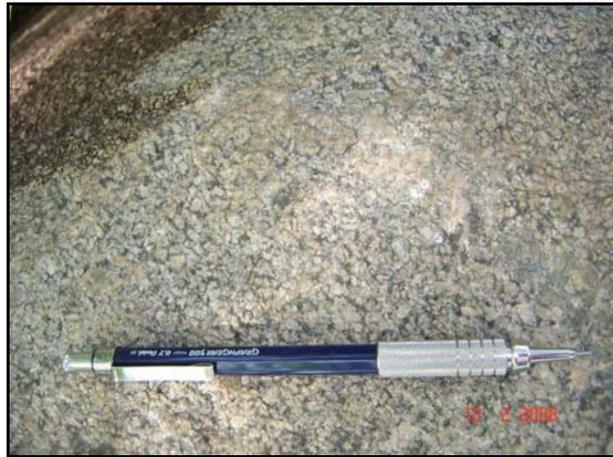


FOTO 6.1.5.18 – Detalhe mineralógico do arranjo pseudo-isotrópico do granitóide Xingu – Bloco A.(E=581.980/N=9.286.726)



FOTO 6.1.5.19 – Gnaise Xingu milonitizado, com crenulação horizontalizada. (E=579.884/N=9.285.569)



FOTO 6.1.5.20– Gnaise Xingu (E=580.815/N=9.286.643)



FOTO 6.1.5.21– Gnaiss Xingu (metamáfica) (E=583.106/N=9.284.774)



FOTO 6.1.5.22 – Detalhe da foto 14 – em perfil; notar foliação milonítica em alto ângulo de mergulho e, na aresta a crenulação (E=579.884/N=9.285.569)



FOTO 6.1.5.23 – Gnaiss decomposto com foliação milonítica (E=580.872/N=9.284.340)

Grupo Grão Pará

– Formação Parauapebas – Metabasalto

Os litotipos da formação Parauapebas, representado por uma variedade da rocha metabasáltica (metariodacitos/metadiabásio), ocupam, em parte, a área setentrional da quadrícula, alinhando-se também ao trend geral regional leste-oeste e envolvendo, como encaixante, a formação ferrífera Carajás e, além, constituindo a base dos metassedimentos Águas Claras.

No limite sul, o seu contato com os litotipos do Complexo Xingu se dá através da Zona de Cisalhamento com Cavalgamento Oblíquo Sinistral que imprimiu um alto grau de deformação em estado próximo ao regime dúctil, que obliterou expressivamente sua estrutura original/petrografia, com uma foliação milonítica subvertical dentro de uma faixa de largura significativa da ordem de 900 metros, em parte realçada topograficamente (ao norte de Mozartínópolis) (**Fotos 6.1.5.25 e 6.1.5.26**, ver **Figura 6.1.5.8**). Nas zonas aplainadas, a leste dos seus afloramentos, interpretou-se que a zona cisalhada encontra-se recoberta por depósitos dedrito-lateríticos (solos e manchas de cangas).

Entre a faixa intensamente cisalhada (foliação milonítica) e o espigão (formação ferrífera Carajás) os raros afloramentos existentes mostram que a rocha metabasáltica se encontra bastante fraturada (cataclásada) (**Foto 6.1.5.24**), porém sem expressar milonitização. Assim, entende-se que a intensidade do cisalhamento, a qual é maior na faixa próxima ao contato litológico com o Complexo Xingu, torna-se menor (talvez gradativa) quando se afasta em direção a formação Carajás ao norte. Noutros locais, já na região do platô da Serra Sul, há testemunhos de sondagem (**Foto 6.1.5.28**) mostrando contato abrupto de falha, entre metabasalto e formação ferrífera, com a foliação segundo o plano da falha.

A junção de zonas cisalhadas e falhadas, realçadas por um relevo extremamente movimentado, onde ocorre uma conjunção de coberturas coluvionares (solo e blocos) de sopé de escarpas, com provável zona de tálus (zona de blocos), torna essa área bastante complexa lito-estruturalmente, com dificuldades do seu entendimento a luz dos estudos atuais.

Na bacia do rio Sossego, ocorrem metabasaltos fraturados e falhados da Formação Parauapebas, assim como também os metassedimentos Águas Claras e a formação Carajás. A relação de contato entre os metabasaltos e metassedimentos na margem direita do rio Sossego é de falha, do tipo cavalgamento com alto ângulo. Há indícios que o contato metabasalto-formação ferrífera (escarpas) seja de falha cisalhante transcorrente, cuja foliação milonítica de direção EW e mergulhos altos para os quadrantes sul/sudeste/sudoeste, conforme sua posição ao longo do espigão serrano, sugere uma componente do sistema imbricado sob a forma de falha de cavalgamento.

Uma variedade da rocha metabasáltica apresentando grã média dos minerais, rara e pontualmente encontrada, indica prováveis porções mais interiores à intrusão “basáltica” que favoreceu a melhor cristalização/diferenciação mineral (metariodacitos/metadiabásio), que por sua vez estiveram mais preservadas das deformações causados pelas movimentações cisalhantes transcorrentes (**Foto 6.1.5.27**).



FOTO 6.1.5.24 – Metabasalto fraturado, falhado, não foliado; notar aspecto homogêneo da massa rochosa (E=580.875/N=9.289.194)

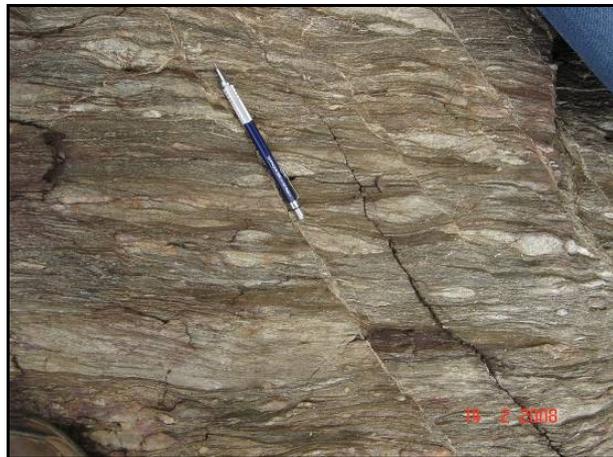


FOTO 6.1.5.25 – Metabasalto com foliação milonítica, falhada e fraturada (E=582.337/N=9.288.218)



FOTO 6.1.5.26 – Metabasalto com foliação milonítica e veios de quartzo em boudin (salsicha). (E=582.367/N=9.288.174)

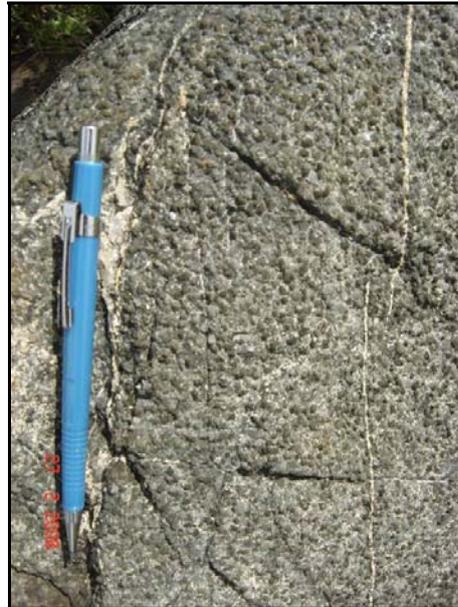


FOTO 6.1.5.27 – Metariodacitos ou metadiabásio (?) com os grãos minerais destacados. (E=583.640/N=9.288.535)



FOTO 6.1.5.28 – Contato de falha entre metabasalto e formação ferrífera em testemunho de sondagem. Notar a foliação da formação ferrífera segundo o plano da falha

– Formação Carajás – Formação Ferrífera Bandada e Membro Inferior

A unidade é constituída de formação ferrífera com variações do tipo bandada com sucessão de níveis hematíticos e quartzosos com frações variáveis ora de um, ora de outro. Na maior parte de seu perímetro (contato litológico) se mostra envolvida pela formação Parauapebas (metabasalto), sendo que a relação de contato litológico mostra certa correlação com o tipo de zona de transcorrência sinistral, com a foliação milonítica e o bandamento quase sempre se coincidindo, com atitude acompanhando a direção do espigão (com partes truncadas e/ou soldadas) e mergulhos subverticais ou variando até próximo a 80° para sul-sudeste e sul-sudoeste, em geral.

A largura da faixa de ocorrência da formação, que pode ser mapeada pela exposição superficial de carapaças, é muito variável, de interpretação que foge aos objetivos deste estudo. Ela está situada entre os **paralelos** N9.290.000 e 9.244.000 a oeste da longitude E577.400; na faixa mais larga sua média é de cerca de 2,0 km, sendo que ao longo do espigão serrano que se estende para leste a partir da longitude E576.000, aproximadamente, apresenta em média uma largura de 110 metros (**Fotos 6.1.5.29 a 6.1.5.32**).

– Formação Igarapé Cigarra

Esta formação ainda não foi totalmente mapeada na região e aparenta ser muito semelhante à Formação Parauapebas, no que diz respeito à mineralogia, porém com raras amígdalas e vesículas. A alteração hidrotermal nesta formação aparenta ter sido menos intensa (Mdgeo, 2006).



FOTO 6.1.5.29 – Escarpa da face norte do espigão serrano da formação Carajás (E=580.410/N=9.288.197)



FOTO 6.1.5.30 – Superfície da escarpa com a foliação (plano da caneta) e fraturas (duas famílias) (E=580.360/N=9.288.170)



FOTO 6.1.5.31 – Bloco de formação ferrífera bandada e falhada (E=580.905/N=9.289.249)



FOTO 6.1.5.32 – Testemunho de sondagem mostrando a foliação e bandamento da Formação Ferrífera

– **Formação Águas Claras – Metassedimentos e Metassiltitos**

Os metassedimentos Águas Claras estão localizados na porção setentrional da quadricula dentro da bacia hidrográfica da alta cabeceira do rio Sossego, em forma de apêndices e faixas, relativamente estreitas, com seus contatos com a formação Parauapebas e Carajás através de falhas, sendo que com a primeira formação está em contato na sua porção sul através de falha tipo “zona de cisalhamento com cavalgamento” em alto ângulo e, ao norte, através de falha indiferenciada inferida, provavelmente também “zona de cisalhamento com cavalgamento”.

No extremo oeste da faixa de afloramento dos metassedimentos, seu contato lado a lado com a formação Carajás e, provavelmente com a formação Parauapebas, se dá através de falha de direção N27°E, onde se pode observar na superfície do platô a passagem abrupta da carapaça ferrífera para solos, respectivamente com vegetação de cerrado e floresta.

De acordo com as informações de âmbito regional, seus sedimentos Proterozóicos foram depositados também sobre as formações do Grupo Grão Pará que por sua vez, conjuntamente, foram submetidas ao tectonismo que resultaram em deformação nos estados dúctil e rúptil, parte delas são evidenciadas por falhas que formam, de certa forma, uma rede que tornam complexa a estruturação lito-estratigráfica atual.

Assim, os contatos dessa formação na quadrícula são em parte imprecisos, sendo na sua maioria atribuídas às falhas, algumas entrecruzadas, do tipo de empurrão em alto ângulo, principalmente.

A rocha metassedimentar pelítica quando pouco decomposta (alterada) apresenta-se consistente, de granulometria siltosa a areia muito fina quando existente, de cor bege amarelada, vermelho e vermelho tijolo (**Fotos 6.1.5.33 e 6.1.5.34**).

As discontinuidades penetrativas principais são o acamamento e a foliação, de difícil distinção nos afloramentos decompostos existentes. Essas discontinuidades observadas dentro da área da bacia da barragem projetada apresentam direção E-W, em geral com mergulho subvertical ou em médio-alto ângulo para sul. O mergulho da discontinuidade principal (acamamento) para sul é indicada pela morfologia assimétrica (norte-sul) do morro que constitui a margem e ombreira esquerda da barragem projetada.

O talvegue do rio Sossego, na altura da barragem, é considerado um indicativo do contato (encoberto) por falha, entre a formação Águas Claras e Parauapebas.



FOTO 6.1.5.33 – Bloco de metassedimento Águas Claras. Notar bandamento policromático (E=582.721/N=9.290.241)



FOTO 6.1.5.34 – Bloco de metassedimento Águas Claras. Notar coloração homogênea (E=579.881/N=9.289.810)

– **Suíte Plaquê**

O corpo do granitóide Plaquê que ocorre em parte na quadrícula do projeto, localiza-se na sua porção sudeste e mantêm uma relação de contato normal com a unidade Complexo Xingu Indiviso (diferenciação).

A rocha tipo é um granitóide foliado e fraturado (**Fotos 6.1.5.35 e 6.1.5.36**), geralmente mais resistente à erosão que o Complexo Xingu Indiviso que resulta num leve realce topográfico que torna comuns seus afloramentos e a pequena espessura de seus solos.

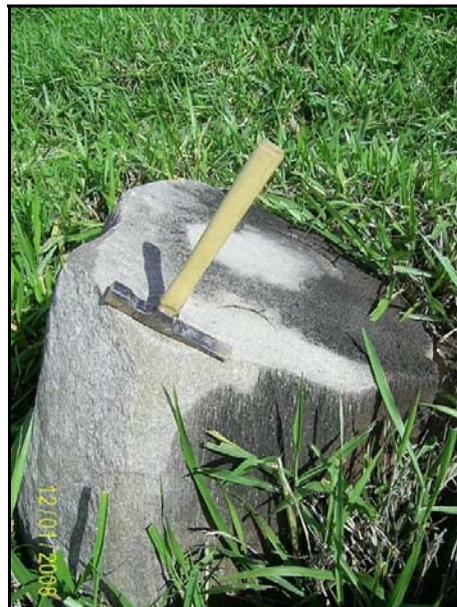


FOTO 6.1.5.35 – Bloco in situ de Granitóide Plaquê (E=577.451/N=9.280.524)

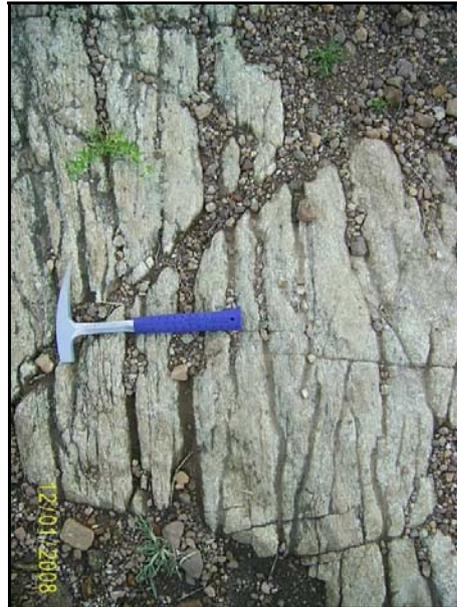


FOTO 6.1.5.36 – Detalhe da foliação e fratura do Granitóide Plaqué (E=582.529/N=9.282.195)

– Rochas Intrusivas Básicas (Máficas) – Diques Máficos

As rochas intrusivas básicas (máficas), que constituem corpos isolados dentro das litologias do Complexo Xingu Indiviso e Grupo Grão-Pará, são manifestações vulcânicas consideradas do Mesozóico e que não foram submetidas às grandes deformações tectônicas.

No relevo tais corpos normalmente se apresentam realçados topograficamente, no entanto partes arrasadas podem estar presentes. Foram identificados três corpos, dois na parte central da quadrícula e um no seu limite leste. Os solos oriundos da decomposição de suas rochas quando em superfície tendem a ser argilosos, e mais raramente com a presença de argila-cascalhenta e de cascalho laterítico; suas espessuras numa visão superficial parecem ser rasos ou medianamente profundos (**Fotos 6.1.5.37e 6.1.5.38**).



FOTO 6.1.5.37– Afloramento de dique básico (relevo arrasado) (E=578.356/N=9.281.317)



FOTO 6.1.5.38 – Bloco de rocha básica sã proveniente de dique (E=577.550/N=9.281.705)

– Coberturas Terciárias e Pré-Cretáceas

Os depósitos e detritos de cobertura mais importantes foram identificados no platô nivelado na altitude média 750-800m e na depressão periférica nivelada entre altitudes 250 e 300m, aproximadamente. O primeiro é constituído pelo aplainamento de idade inferida pré-Cretáceo/Pleistocênica, sobre as diversas litologias do Grupo Grão Pará e Formação Águas Claras, principalmente, enquanto que o segundo ocorre sobre o relevo arrasado que englobam os litotipos das formações Parauapebas, Água Claras e do Complexo Xingu (incluindo os blocos A e B) e, secundariamente sobre o Granitóide Plaqué.

Os litotipos do platô são constituídos de canga ferrífera geneticamente formada a partir da própria formação ferrífera “in situ” ou, ainda, alóctone na forma de blocos aglomerados. Nos bordos desses platôs é comum a ocorrência de fraturas ou fendas que indicam início de movimentação, ou mesmo fraturas relacionadas à falhas (**Fotos 6.1.5.39 e 6.1.5.40**).

Nas depressão periférica (zonas rebaixadas) os depósitos são constituídos de manchas de canga ferruginosa que incorporam fragmentos líticos (formação ferrífera, quartzo de veio, etc.), bastantes resistentes ao intemperismo e ao desmonte natural, resultando num relevo discretamente destacado em relação aos níveis rebaixados das drenagens atuais; a carapaça tem espessura variável que atinge cerca de 2,0m com consistência variável entre dura e branda, normalmente nos horizontes superficiais e mais profundos.

Tais corpos ocorrem sobre solos de naturezas diversas conforme os solos residuais ou mesmo coluviais e aluviais. Também, lateralmente estão lado a lado de solos de diversas naturezas, mais comumente como os solos argilosos (**Fotos 6.1.5.41 e 6.1.5.42**).



FOTO 6.1.5.39 – Superfície do Platô em canga ferrífera. Notar fraturas com crescimento de gramíneas. (E=577.053/N=9.292.366)



FOTO 6.1.5.40 – Boca da galeria de pesquisa, escavada em formação ferrífera laterizada (canga)



FOTO 6.1.5.41 – Blocos de canga ferruginosa sobre solo, com fragmentos de quartzo de veio (E=575.928/N=9.285.498)



FOTO 6.1.5.42 – Superfície aplainada na depressão periférica em canga ferruginosa (E=583.787/N=9.288.001)

– Depósitos de Coberturas – Quaternárias e Recentes

Os depósitos de cobertura são aqueles que comumente têm expressão horizontal, apresentam pequenas espessuras, e têm como origem os processos aluvionares, coluvionares e de acumulação tipo tálus (zona de blocos alóctones concentrados)

Os depósitos aluvionares principais dentro da quadrícula do projeto foram cadastrados em terraço da margem esquerda, afastada do atual curso do rio Pacu; são constituídos principalmente por cascalho arenoso de seixo rolado quartzoso, em forma de camadas e cordões que acompanham os paleocanais e as paleoplanícies aluvionares. Na calha do rio Sossego ocorrem depósitos de blocos e, secundariamente cascalho e areia, os primeiros são produtos de transporte em regime de alta energia durante as épocas chuvosas (**Foto 6.1.5.43**).

Os colúvios são comuns cobrindo grande parte da área da quadrícula, à exceção das áreas das Coberturas Terciária no platô e zonas de cumeadas das elevações isoladas, especialmente partes mais elevadas Bloco B (metamáfica), na sua porção centro-oeste. Os materiais que constituem os colúvios são correlacionados aos de sua origem, assim os solos argilosos ocorrem principalmente nos domínios da formação Parauapebas e Água Claras (fácies pelítica), enquanto que na área do Complexo Xingu ocorrem solos de natureza argilosa e arenosa, às vezes cascalhenta (**Foto 6.1.5.44**).

Sobre as carapaças ferruginosas (cangas) às vezes também ocorrem colúvios rasos, comumente argilosos com ou sem fase cascalhenta; também, sobre aluviões camadas rasas de colúvio são encontradas.

Nos bordos do platô da formação ferrífera, dentro da bacia hidrográfica da barragem projetada, ocorrem rupturas bruscas de relevo onde a jusante está presente expressiva área de blocos de canga, consideradas nesta fase de trabalho como sendo em parte depósitos de blocos (tálus) e de colúvio, que caracteriza uma dinâmica de dissecação intensa. As dimensões dos blocos são bastante variáveis, desde vários metros até fragmentos centimétricos de canga ferruginosa e formação ferrífera, envolvidos ou não por solos de natureza argilosa, normalmente.

Outros depósitos de blocos (possivelmente tálus) estão restritos ao sopé das rupturas de relevo, ao norte e sul das escarpas que acompanham o espigão serrano com os litotipos da formação Carajás e Parauapebas; tais depósitos são compostos por mistura de solos, blocos e fragmentos rochosos, nas mais variadas frações, que constituem depósitos heterogêneos conformando os sopés do espigão, que se transforma gradativamente para depósitos de colúvio, o qual se estende por grandes áreas marginais à fonte. A definição dos depósitos de tálus a partir do mapeamento de superfície é considerada inferida, tornando-se necessário, para cada caso, a confirmação através de sondagens subsuperficiais.



FOTO 6.1.5.43 – Colúvio/canga sobre cascalho aluvionar da bacia do rio Pacu. (E=587.002/N=9.288.206)



FOTO 6.1.5.44 – Colúvio de solo argilo-arenoso com fase pedregosa sobre saprolito de granito Plaquê (E=581.269/N=9.280.116)

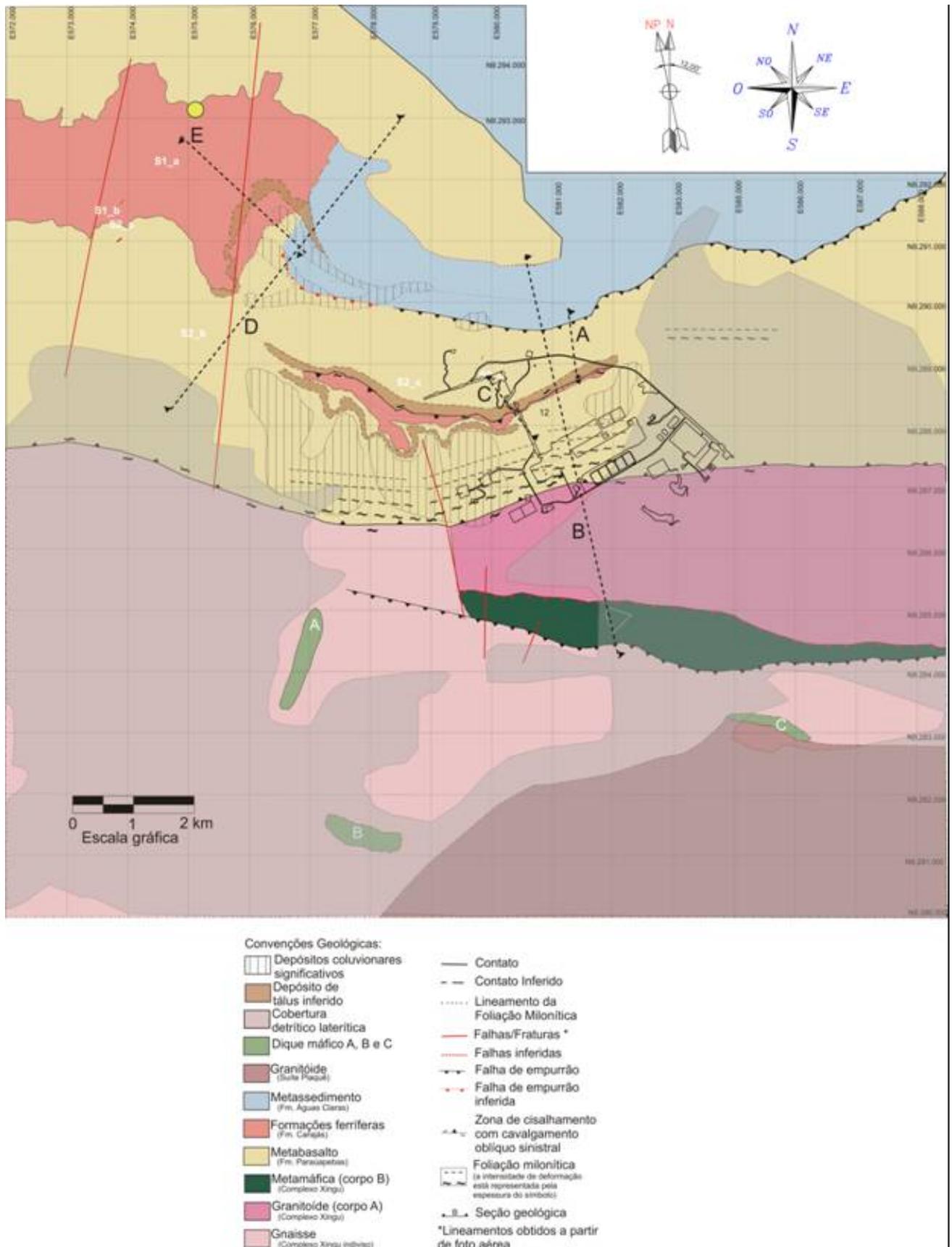


FIGURA 6.1.5.7 - Mapa geológico da quadrícula de projeto do empreendimento com indicação das principais estruturas da Usina

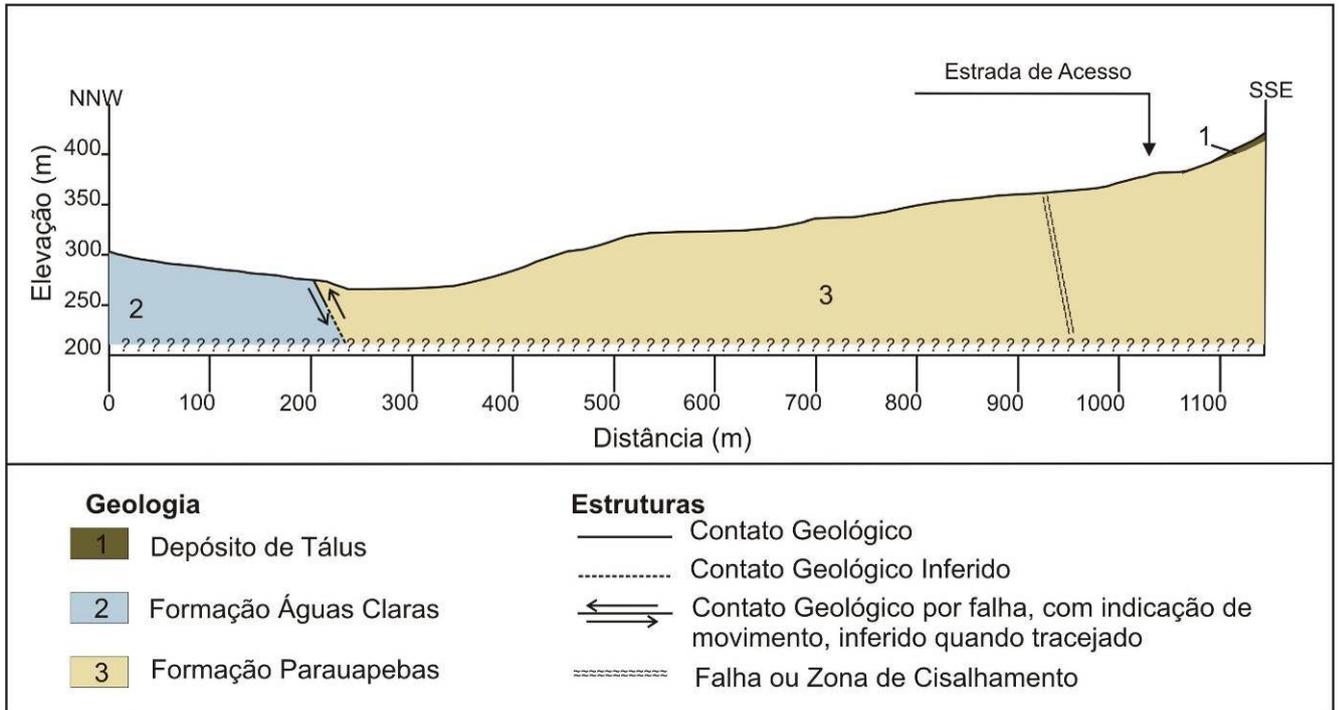


FIGURA 6.1.5.8 - Seção Geológica A

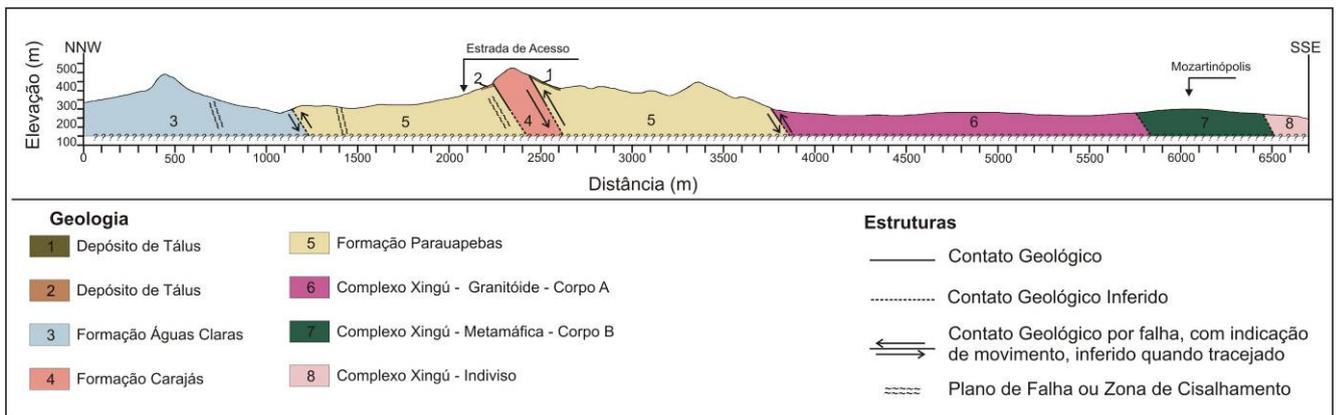


FIGURA 6.1.5.9 - Seção Geológica B

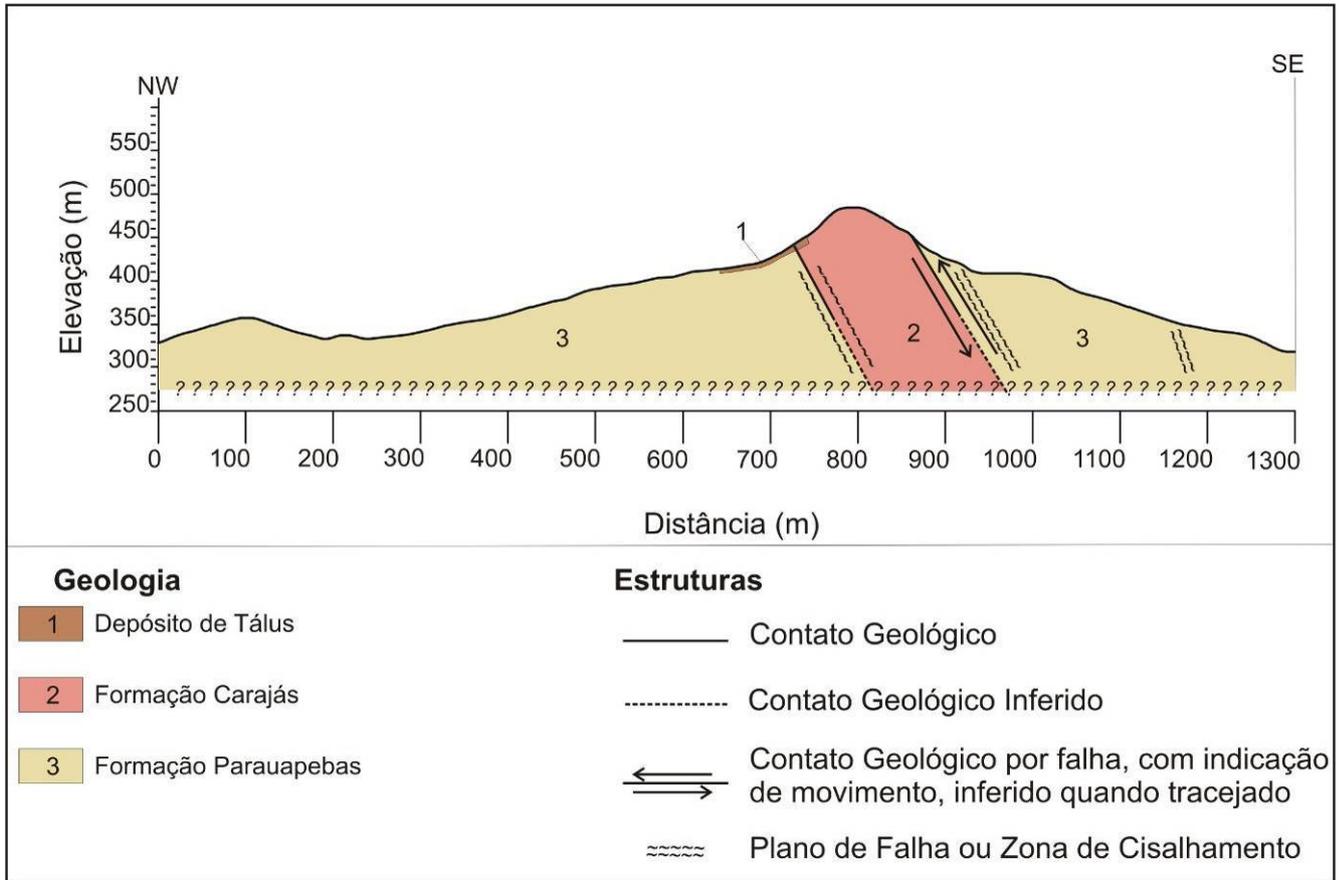


FIGURA 6.1.5.10 Seção Geológica C

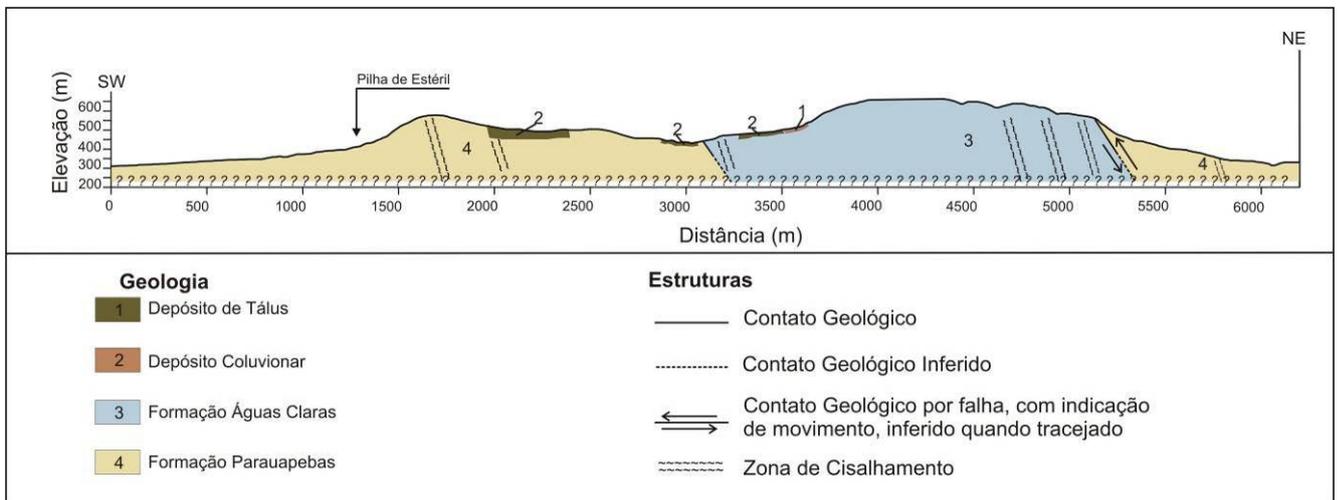


FIGURA 6.1.5.11 - Seção Geológica D

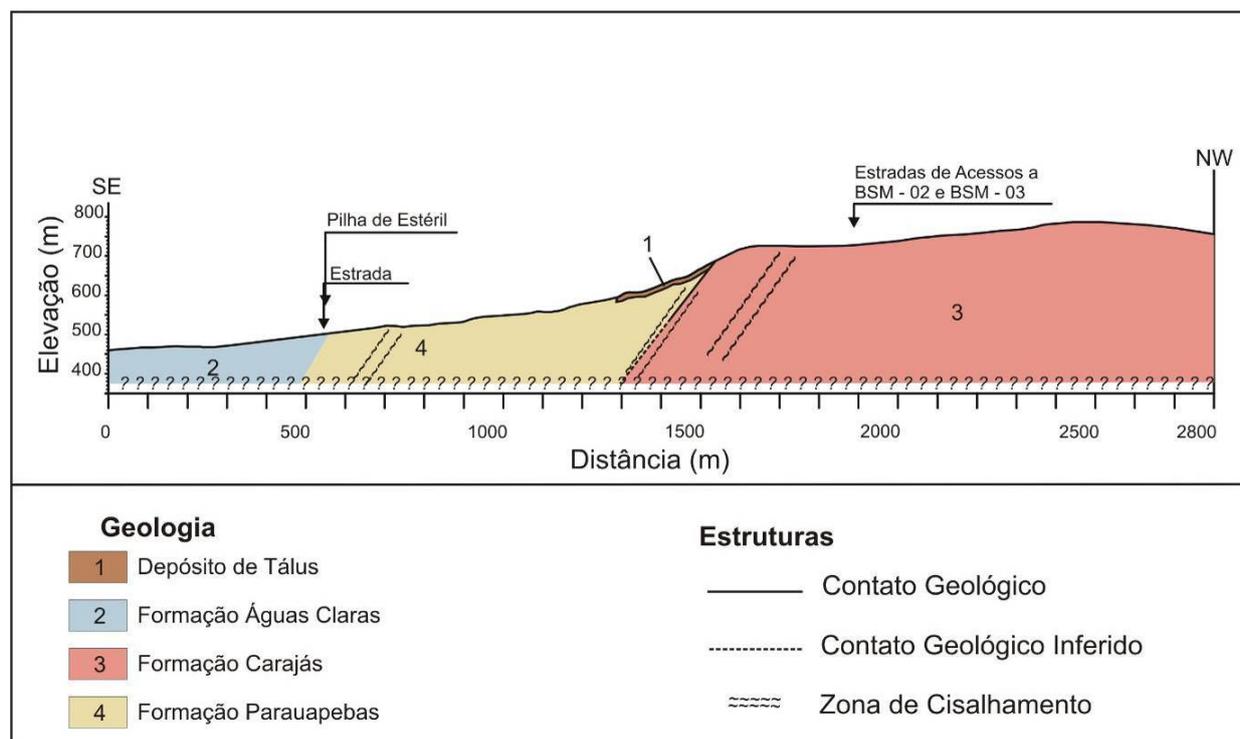


FIGURA 6.1.5.12 - Seção Geológica E

b.2.2 Elementos Estruturais Condicionantes

Assim como nos estudos e cartografia geológica regional, em que se reporta a complexidade tectônica regional, refletida pelos estudos geológico-estruturais, a área do empreendimento é igualmente complexa, vide constatação através da identificação de lineamentos (visualizados em aerofotos), contatos diversos entre as diversas unidades geológicas através de falhas e, ainda, com variações tipológicas da mesma rocha original causadas pelas deformações, como a milonitização, cataclasmamento e dobramento, além do hidrotermalismo.

Os principais elementos estruturais das diversas litologias e unidades geológicas são as discontinuidades penetrativas (foliação, foliação milonítica e acamamento) e não penetrativas (falhas e fraturas). Acompanhando a estruturação geológica regional, a foliação e foliação milonítica apresentam direção geral (trend) leste-oeste, variando conforme as peculiaridades locais.

A foliação é encontrada nas litologias do Complexo Xingu Indiviso e no Bloco B (Complexo Xingu), sendo ainda observada em porções do Granitóide Plaquê, com direção geral leste-oeste com mergulho para os quadrantes meridionais. A foliação é constituída pela orientação mineral preferencial que materializam planos de fraqueza que se refletem, principalmente, na estabilidade de taludes em corte, e na fundação quando pode haver rupturas preferenciais (zonas preferenciais de cisalhamento profundo).

Na formação Carajás, dentro da área do platô, a foliação (ou ainda foliação milonítica) pode ser notada também em superfície, na qual se identificam dobras abertas ou mesmo apertadas. Na extensão da formação ferrífera através do espigão serrano, que divide as bacias hidrográficas da alta cabeceira do rio Sossego (área da barragem) e a do seu afluente rio Pacu (área industrial), a foliação encontra-se concordante com a direção serrana de direção geral leste-oeste e mergulho variável entre 90° e 80° para os quadrantes meridionais. Isto favoreceu o aparecimento de escarpas subverticais mais pronunciadas na face norte que a sul do espigão.

A foliação milonítica impressa nas rochas metabásicas da formação Parauapebas situada ao longo da zona de falha de cisalhamento é exemplar no contato com o Complexo Xingu, mostrando-se subvertical com direção leste-oeste (segundo o trend geral regional); ainda, a rocha milonitizada comporta dobras, veios de quartzo boudinado, além de sistemas de fratura e falhas. Esse complexo de estruturas superpostas resulta em diversos condicionamentos geomecânicos para o maciço que o contém.

As rochas pelíticas- siltitos e argilitos - da Formação Águas Claras, pela sua gênese sedimentar, apresentam acamamento. Os arenitos, bastantes típicos dessa unidade, não foram encontrados superficialmente, o que indica sua inexistência ou mesmo sua condição secundária no “pacote” metassedimentar. Nos afloramentos, a exibição dessa estrutura é obliterada pela decomposição (solo), tornando-se difícil a distinção entre o acamamento e a foliação caso a segunda exista. Independente da sua gênese, a foliação fina é bastante pronunciada, com direção leste-oeste e ângulos de mergulhos médios-altos. Seus solos residuais são extremamente argilosos, vermelho tijolo, de origem inferida aos metassedimentos pelíticos decompostos. O contato metassedimento-metabásica mostra-se verticalizado, sendo que a foliação é subvertical no primeiro e não visível a olho nu na segunda tipologia.

Mencionam-se ainda que nas estruturas de zonas de falhas transcorrentes, quando incididas em rocha metabásica Parauapebas, ocorre formação ferrífera foliada milonitizada/cataclasada (possivelmente mineralizada por hidrotermalismo) com direções leste-oeste bem definidas e mergulhos subverticais ou em alto ângulo para os quadrantes meridionais. Tais “diques” atravessam acompanhando a faixa da margem direita do rio Sossego, situados ao norte dos paredões da escapa da formação ferrífera Carajás e seus lineamentos serranos adjacentes.

Numa análise geral da interferência das estruturas geológicas (foliação, acamamento, falhas e fraturas), baseadas nos dados estruturais levantados em campo, há indicação que em praticamente todas as obras de escavação, sejam túneis, taludes em corte ou mesmo encostas, há em maior ou menor grau um condicionamento estrutural que determina a sua estabilidade.

Baseado nos cadastros de campo, os estudos preliminares de estabilidade indicam a existência de algumas famílias de descontinuidades as quais condicionam, conforme a geometria do corte e encostas, principalmente, o surgimento de potenciais planos e cunhas de escorregamento, que conforme as estruturas podem estar sujeitos a escorregamentos. **(Fotos 6.1.5.45 a 6.1.5.52) (Figuras 6.1.5.13 a 6.1.5.16).**

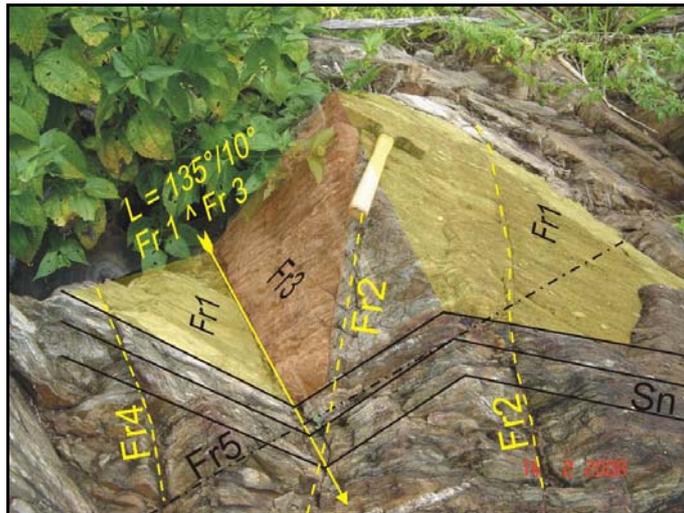


FOTO 6.1.5.45 – Metabasalto exibindo planos de fratura (Frs) e foliação milonítica. Formação Parauapebas (E=582338 / N=9288219) – ver orientação Figura 6.1.5.13.

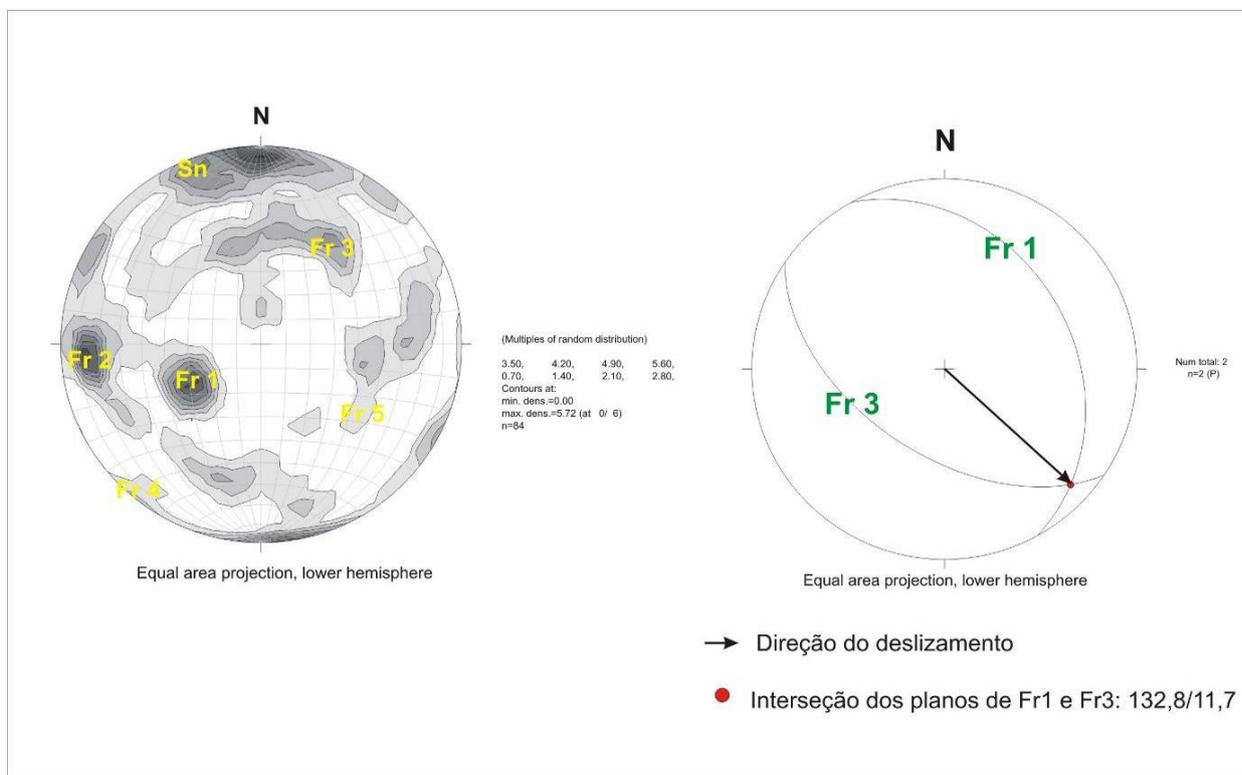


FIGURA 6.1.5.13 - Estereogramas representando as famílias das discontinuidades cadastradas no afloramento da Foto 3.39 e a interpretação da formação de cunhas pela interseção $Fr1 \wedge Fr3$ (máximas densidades), com vetor deslizamento na direção $133^{\circ}/12^{\circ}$

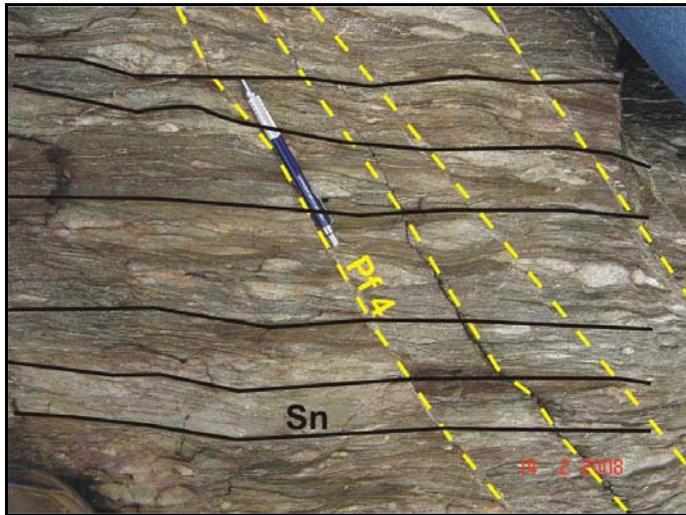


FOTO 6.1.5.46 – Metabasilto exibindo planos de falha (Pf – N56°W/43°NE) oblíquos a foliação milonítica (Sn-N75°E/74°NW) - Formação Parauapebas (E 582338 / N 9288219)

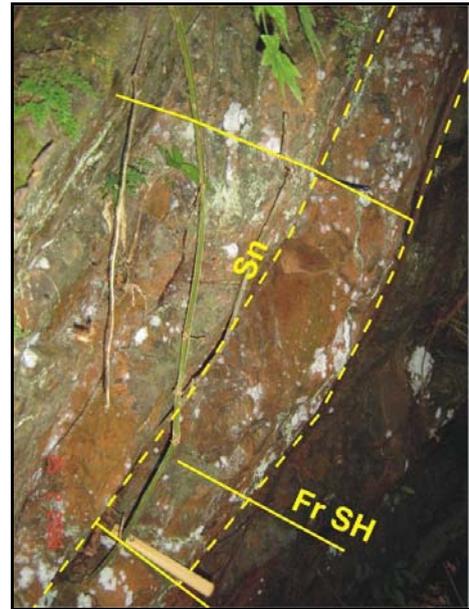


FOTO 6.1.5.47 – Formação Ferrífera exibindo foliação (Sn-N50°W/59°SW), planos de fratura sub-horizontais (Fr SH) - (UTM – E=580.471 / N=9.288.247)



FOTO 6.1.5.48 – Escarpa da formação Carajás com planos de fraturas onde houve escorregamento planar (Fr 9 - EW/60°N) e destacamento de bloco (Fr 10 - EW/45°S) que formam provavelmente formam par associado devido ao sistema imbricado de deformação (E=580.471 / N=9.288.247)



FOTO 6.1.5.49 – Formação Ferrífera Carajás complexamente dobrada. (E=575,884 / N=9.290.645)

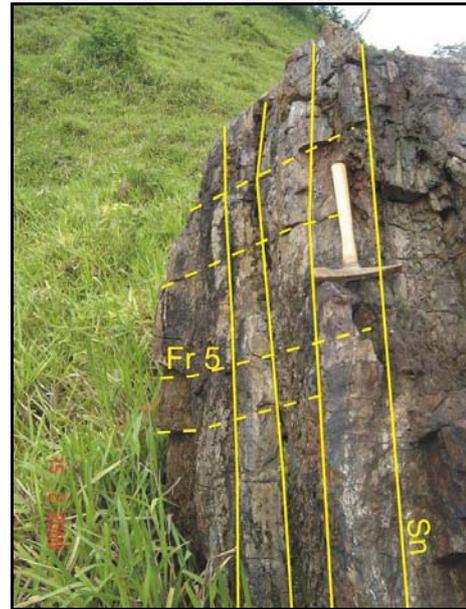


FOTO 6.1.5.50 – Bloco in situ exibindo planos de fratura da família 5 (Fr 5) perpendiculares a foliação milonítica (Sn) - formação ferrífera (E=581.134 / N=9.289.283)



FOTO 6.1.5.51 - Bloco in situ de formação ferrífera exibindo planos de fratura das famílias 2 e 5 (Fr 2 e Fr5). Nota: posição a 90° da foto 45 (E=581.134 / N=9.289.283)

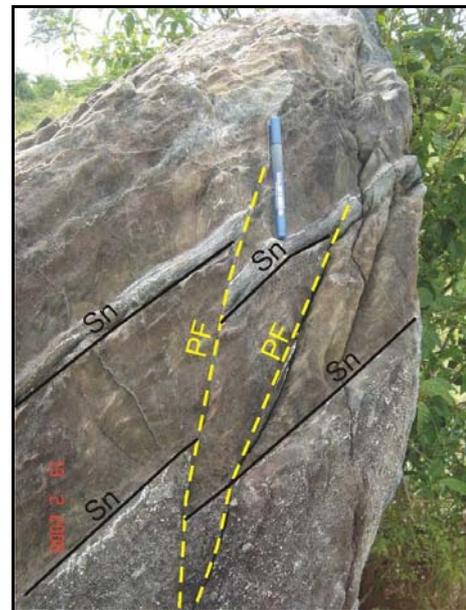
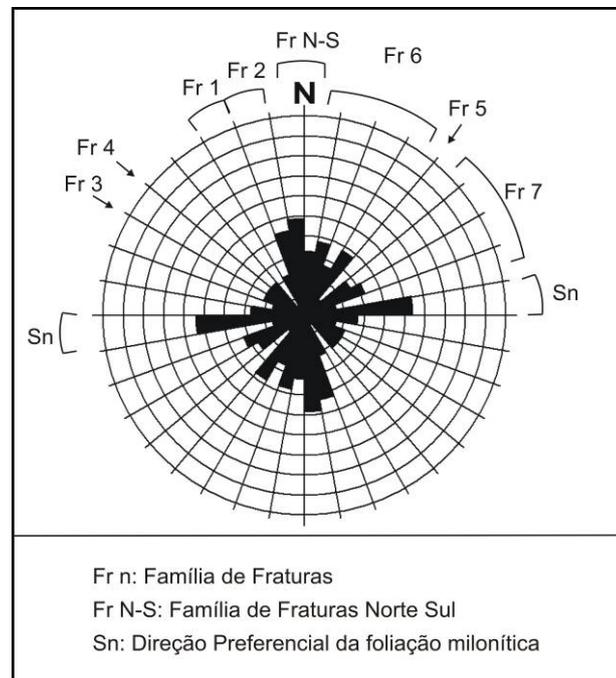


FOTO 6.1.5.52 – Gnaiss do Complexo Xingu Indiviso (E=579.999 / N=9.285.200) exibindo planos de falha de cavalgamento em alto ângulo (PF) oblíquos a foliação milonítica

TABELA 6.1.5.3**IDENTIFICAÇÃO DAS FAMÍLIAS DAS DESCONTINUIDADES**

Família Fr (fratura); Sn/m (foliação)	Direção	Mergulho (graus)
Fr1	N 20°-30° W	25°-30° NE
Fr2	N 10°-20° W	65°-74° NE
Fr3	N 60° W	46°-60° SW
Fr4	N 50° W	70°-81° NE
Fr5	N 40° E	46°-52°NW
Fr6	N 5°-35° E	Alto ângulo
Fr7	N 45°-75° E	Alto ângulo
Fr 8	NS	Alto ângulo
Fr 9	EW	60°N
Fr 10	EW	45°S
Fr 11	NS	50-60°E
Fr 12	NS	50-60°W
Sn (milonítica)	EW	90 – 10°N
Sm (zona falha)	N10°E	45°NW

**FIGURA 6.1.5.14 - Diagrama com indicação das várias famílias de descontinuidades**

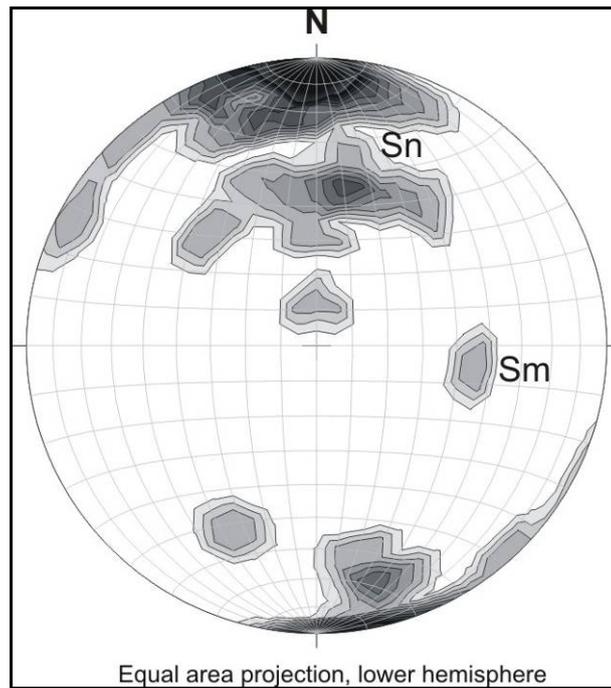


FIGURA 6.1.5.15 - Estereograma representando a distribuição da foliação (o núcleo Sn é o principal, enquanto o Sm é subordinado)

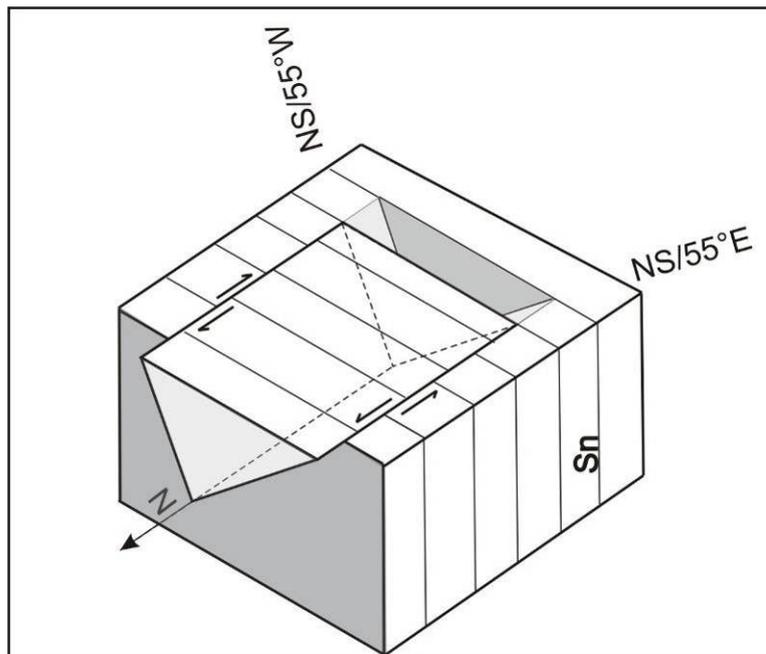


FIGURA 6.1.5.16 - Bloco diagrama representando o movimento da cunha devido à interseção das fraturas Fr 11 (NS/55°E) e Fr 12 (NS/ 55°W) juntamente com o deslocamento (Sn)

c) Análise litoestrutural e geotécnica das áreas de cava/Delimitação das formações superficiais

Na região do Projeto Ferro Carajás S11D a maior parte da área apresenta-se com coberturas por sobre os maciços rochosos, sendo raros os afloramentos. As coberturas sobre as rochas são tipicamente duas: consolidada (apresenta cimentação e estruturas concreccionárias no solo, ex. canga) e outro tipo inconsolidada (solos soltos e facilmente destorroados, ex. colúvio, talus).

A cobertura caracterizada como consolidada é mapeada como duricrosta “canga”. São resíduos de rocha e/ou de solo cimentados por limonita/goethita. São facilmente identificados pela sua posição geográfica, estando freqüentemente associadas aos topos de morros. Podem ser subdividida em canga de minério e canga química.

As coberturas inconsolidadas foram classificadas como colúvio, tálus e coberturas recentes sobre o platô, cada uma é caracterizada devido ao local de ocorrência.

c.1 Coberturas

– Coberturas recentes sobre o platô de canga

Essas coberturas recentes foram mapeadas dentro do domínio do Corpo S11 Bloco D capeando a canga de minério. É composta por sedimentos arenosos a siltosos por vezes com pedregulhos de canga, rocha e quartzo, cor cinza escuro a marrom escuro.

São encontradas acompanhando a geomorfologia do terreno, nos fundos de vales, encostas e altos de morros, ocorrem com espessuras delgadas e de forma espaçada, limitados a pequenas regiões.

Este solo é a base inicial de sustentação da vegetação na canga, e normalmente é a própria vegetação com as raízes que caracterizam a resistência aparente do solo, porém, quando desnudado, apresentam-se solto e fofo.

– Canga de Minério

Esta cobertura é facilmente identificada na região de pesquisa e pode ser identificada com o auxílio de fotografias aéreas e imagens de satélite, uma vez que a vegetação característica desta cobertura é mais rala e de menor porte do que a floresta amazônica circundante.

Apresenta-se cimentado e mineralizado em Fe, que compreende grande resistência ao substrato. Suas espessuras podem variar da ordem métrica a decimétrica (+60,0 m). Possuem cor escura na superfície exposta, e quando destruído apresentam cor metálica cinza azulada.

Um das estruturas de fácil caracterização são as lagoas na canga, interpretada no presente trabalho como solapamento da cobertura. Outra estrutura mapeada são os sistemas de fraturas/falhas na canga com lineamentos bem marcados.

A cobertura de canga de minério, bem como a inconsolidada, ocorre ao longo de todo perímetro de desenvolvimento da cava.

– Depósito de Tálus

Esta cobertura foi mapeada principalmente nas vertentes mais íngremes que limitam o Corpo S11, São geralmente encontradas na quebra da topografia entre escarpa e vertente.

O solo é caracterizado como siltoso com areia e argila, com pedregulhos de rocha e quartzo, com matações de rocha, com matéria orgânica, cor vermelho escuro a marrom, plástico.

Os clastos deste depósito são de canga ou jaspelito e são da ordem de 0,3 a 1,5 m de diâmetro, sendo os mais comuns, blocos métricos. Este domínio é característico da área onde se prevê a instalação das pilhas de estéril.

– Solo Coluvionar

Apresentam-se normalmente siltosos com argila e areia, com pedregulhos e blocos de rocha mineralizada em Fe, com matéria orgânica, cor marrom avermelhado, solo plástico. São encontrados nas vertentes das serras que limitam a mineralização do Corpo S11 Bloco D. Este solo compõe as rampas das encostas e sopés de todo Corpo S11. Este domínio marca o terço médio e inferior da encostas.

c.2 Topo Rochoso

A partir da análise das seções geológico-geotécnicas do estudo de dimensionamento de taludes da cava final dos Blocos C e D realizado pela VOGBR e fornecido pela Vale, realizou-se uma análise da profundidade do topo rochoso do jaspelito ao longo da cava no Bloco D.

Define-se como topo rochoso a superfície que separa as rochas menos resistentes das rochas classificadas como maciço bom a muito bom (classe I/II de Bieniaswski, 1989) **Tabela 6.1.5.4**.

TABELA 6.1.5.4

CLASSIFICAÇÕES DE BIENIASWSKI (1989) E BARTON (1974)

Classe	I / II	III	IV	V	VI
Grau de Resistência	R6/R5	R4	R3	R1/R2	R0
Grau de Alteração	W1	W2	W3/W4	W5/W4	W6
RMR	> 60	60 – 40	40 – 20	20 – 0	-
Q	> 10	10 – 0,5	0,5 – 0,06	< 0,06	-
Termo Descritivo	Bom a Muito bom	Regular	Pobre	Muito pobre	Solo/Saprolito
Tipo de Desmonte	Fogo	Fogo	Fogo	Mecânico	Mecânico
Categoria de Escavação	100% - 3 ^a	100% - 3 ^a	90% - 3 ^a 10% - 2 ^a	90% - 1 ^a 10% - 2 ^a	100% - 1 ^a

Ao longo do Bloco D as rochas menos resistentes (hematita mole – HM) são predominantemente classificadas como maciço muito pobre (classe V). Na zona interna do corpo o maciço muito pobre normalmente atinge profundidades maiores que 200m, chegando a mais de 400m na porção centro-sul. Nas extremidades norte e sul o topo rochoso está em média a aproximadamente 150m de profundidade.

A superfície de topo rochoso apresenta-se com dobras suaves a abertas; ora segue a geometria dos contatos litológicos e ora discorda desses e normalmente marca o contato direto (sem transição) do maciço muito pobre (classe V) com o maciço muito bom/bom (classe I/II).

Nas regiões mais baixas e com relevo mais suave, fora do platô, o topo rochoso se encontra bem mais raso, entre 10 e 20m.

Análise Litoestrutural

Na região compreendida do Corpo S11 Bloco D, na área da cava e seus prolongamentos a oeste, afloram exclusivamente rochas do Grupo Grão Pará, estas estão parcialmente capeadas por carapaças ferruginosas com espessuras na ordem de dezenas de metros.

As estruturas medidas nesta região ficam limitadas aos poucos afloramentos rochosos encontrados e às estruturas proeminentes na canga. As estruturas na canga são interpretadas aqui, como reflexo estrutural do pacote de rocha subjacente, ou seja, a impressão de estruturas na cobertura laterítica por reativação de planos pré-existentes.

As principais estruturas nas rochas são: a foliação primária de sedimentação, sistemas de dobras (sinclinais, anticlinais, sinclinais invertidos e anticlinais invertidos) e os sistemas de fraturas e falhas, todas são reflexo da estrutural regional.

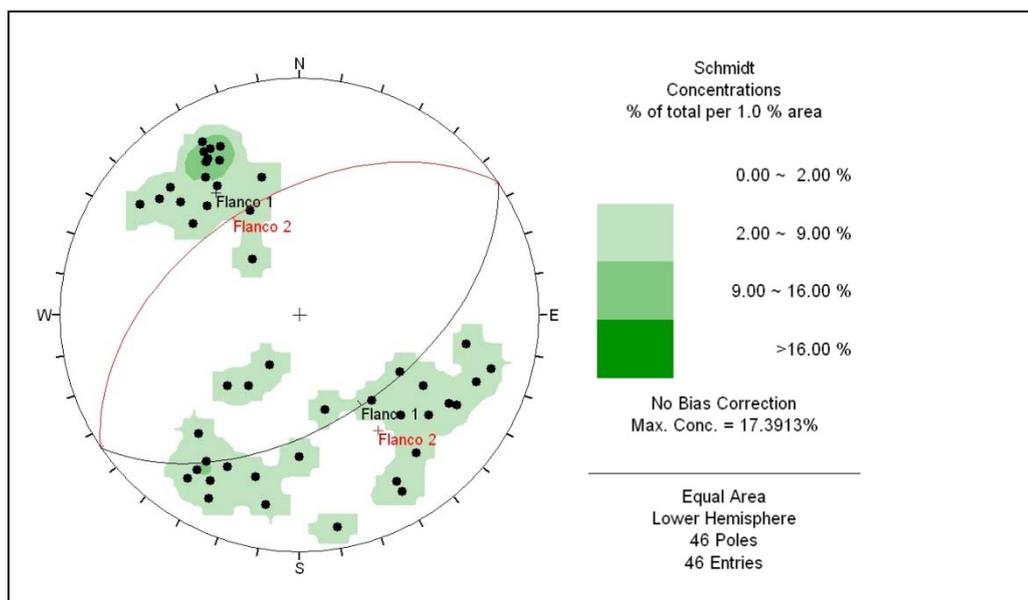
As principais estruturas na canga são: os contatos entre os pulsos sedimentares e os sistemas de fraturas e falhas, que são um reflexo das rochas subjacentes.

Os planos entre os pulsos são diretamente relacionados com as rampas na topografia, ficando paralelos a descida das vertentes, não havendo qualquer ligação com as estruturas penetrativas regionais.

A foliação primária de sedimentação é medida no jaspelito, na hematita semi-dura e nos contatos entre as formações do Grupo Grão Pará. Pela análise em rede estereográfica, identifica-se um diagrama polimodal para os planos de acamamento, materializando dobras abertas com ângulos interflancos na ordem de 70°.

O eixo da dobra está sub-horizontal (**Figura 6.1.5.17**), com atitudes aproximadamente 055°/05° e 235°/05°, havendo um par conjugado para esta estrutura. Este lineamento é bem marcado nas imagens de satélites e nas fotoaéreas. Não são observados até o momento alguma foliação plano-axial pertencente à deformação do dobramento.

O acamamento às vezes é difuso com alguma dispersão das medidas que mergulham para o setor norte. É interpretado aqui como o translado e rotação das camadas devido ao falhamento. Porém os flancos das dobras são caracterizados na rede pelos máximos 325°/40° e 140°/50° (**Figura 6.1.5.17**).



Fonte: Mapa geológico da Jazida S11D, escala 1:20.000, elaborado pela Geocarta

FIGURA 6.1.5.17 - Diagrama polimodal, representando pólos e densidade do acamamento da foliação primária de sedimentação na região da cava do Projeto Ferro Carajás S11D.

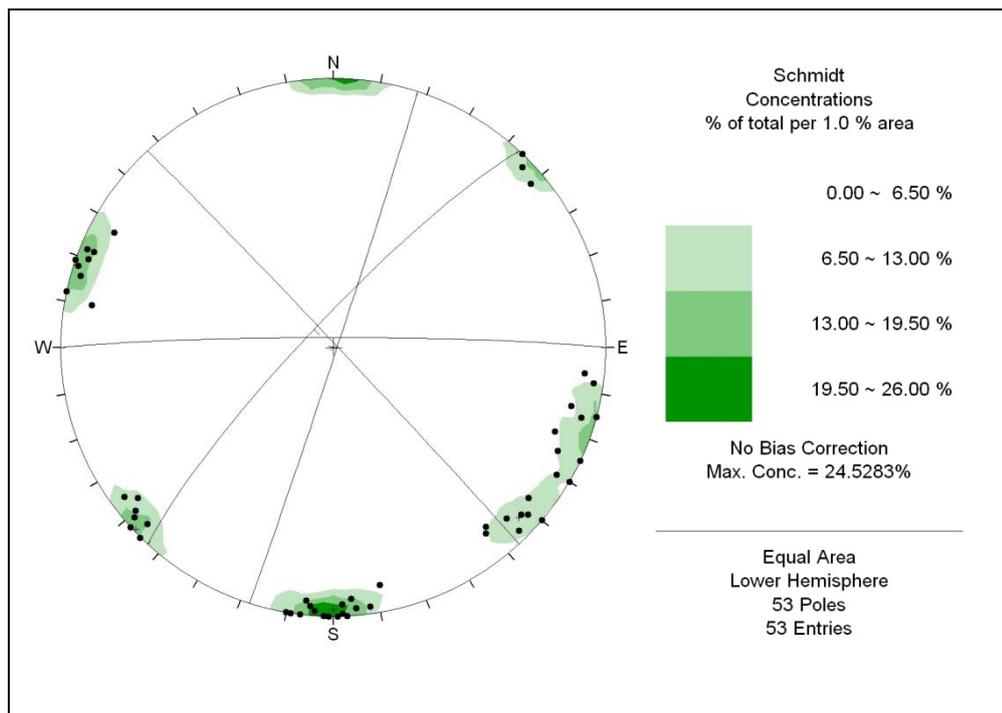
Para as fraturas e falhas, estas são bem marcadas tanto nas rochas quanto na canga, possuem persistências na ordem de dezenas de metros e espaçamentos variados, normalmente os planos são subvertical a vertical (**Figura 6.1.5.17**).

As falhas na região do Corpo S11 Bloco D são do tipo normal com a rampa vertical, logo a classificação é em relação ao deslocamento vertical do Bloco que desceu (D) e do bloco que subiu (S), gerando o escalonamento da cobertura de canga em reflexo a gravidade formando degraus com até 20,0 metros de altura (rejeito).

Não são observadas estrias ou algum outro tipo de lineamento impresso nos planos de falhas para a camada de canga. Em profundidade, estas falhas apresentam rejeito de até 100,0 metros, em acordo com as seções geológicas interpretadas a partir dos furos de sondagens.

O diagrama de máximos para esta descontinuidade remete um sistema do tipo juntas de cisalhamento, uma vez que a relação angular entre os sistemas de fraturas são bem conhecidos na literatura como critério de Coulomb.

O diagrama é classificado como polimodal e os ângulos entre as famílias de descontinuidades são: ângulo agudo entre 60° e 70° e ângulo obtuso entre 120° a 130° (**Figura 6.1.5.18**).



Fonte: Mapa geológico da Jazida S11D, escala 1:20.000, elaborado pela Geocarta

FIGURA 6.1.5.18 - Diagrama polimodal, representando pólos e densidade das fraturas / falhas na região da cava do Projeto Ferro Carajás S11D.

d) Delimitação das Formações Superficiais e Processos Erosivos

As formações geológicas superficiais podem ser visualizadas no mapa geológico da AII (**Figura 6.1.5.2 – Anexo IX-A**) e no mapa geológico da AID e ADA (**Figura 6.1.5.5 – Anexo IX-B**).

Os dados relativos às características de espessura dos materiais de cobertura detrítica na área de intervenção das atividades de lavra (ADA) são identificados a seguir.

Em relação à espessura da canga de minério presente no Bloco D, foram analisadas nove seções geológicas baseadas em furos de sondagem realizadas pela VOGBR (2008), estas seções podem ser visualizadas na **Figura 6.1.5.19 (Anexo IX-C)**. A maioria das seções analisadas aborda a porção leste do Bloco D, apresentando uma distância média entre as seções de aproximadamente 58,31 metros, a **Tabela 6.1.5.5** apresenta a distância entre cada seção analisada.

TABELA 6.1.5.5
DISTÂNCIA ENTRE SEÇÕES DO BLOCO D

Seções	Distância (m)
Seção 00E-D / Seção 3600 E-D	241,76
Seção 3600 E-D / Seção 4000 E-D	26,72
Seção 4000 E-D / Seção 5170 E-D	78,02
Seção 5170 E-D / Seção 5570 E-D	26,74
Seção 5570 E-D / Seção 5770 E-D	12,97
Seção 5770 E-D / Seção 6370 E-D	40,31
Seção 6370 E-D / Seção 6770 E-D	26,62
Seção 6770 E-D / Seção 6970 E-D	13,33
Média	58,31

Em nove seções analisadas foram investigados 42 furos de sondagens, atentando-se a sua profundidade e a espessura de canga de minério. Quanto às profundidades encontradas nestes furos de sondagens, observa-se que os valores máximo, mínimo e médio analisados correspondem a 442,20, 108,10 e, 247,93 metros respectivamente.

De acordo com a análise destas sondagens, verifica-se que a espessura média de canga de minério presente no Bloco D é de 19,55 metros, variando de 2,22 a 48,43 metros. A **Tabela 6.1.5.6** apresenta os furos de sondagem analisados com suas respectivas profundidades, juntamente com a espessura de canga de minério encontrada e a qual seção pertence.

TABELA 6.1.5.6

**FUROS DE SONDAGEM ANALISADOS COM SUAS RESPECTIVAS
PROFUNDIDADES E ESPESSURA DE CANGA DE MINÉRIO**

Seção	Furo de Sondagem	Profundidade do Furo (m)	Espessura da Canga de Minério (m)
Seção 00E-D	S11D-316	258,6	36,06
Seção 3600 E-D	S11D-291	158,3	33,85
	S11D-292	322,5	18,20
	S11D-079	419,0	3,95
	S11D-081	192,9	6,08
	S11D-326	280,2	2,22
Seção 4000 E-D	S11D-089	216,7	15,02
	FSS-S11D-FD299	354,6	17,65
	S11D-F24	249,4	11,77
	FSS-S11D-FD300	203,9	21,94
	S11D-187	169,2	31,30
Seção 5170 E-D	S11D-123	154,2	14,35
	S11D-178	228,7	30,80
	S11D-154	243,4	13,03
	S11D-F62	390,5	48,43
	FSS-S11D-FD321	161,2	22,33
	S11D-320	314,8	11,56
Seção 5570 E-D	S11D-216	108,1	7,50
	S11D-198	399,8	12,02
	S11D-191	334,5	19,02
	S11D-315	280,0	42,20
	S11D-140	280,6	18,26
	S11D-188	363,0	6,60
Seção 5770 E-D	S11D-F19	327,4	17,25
	S11D-F63	155,4	7,58
	S11D-139	128,0	13,95
	S11D-274	295,0	14,72
Seção 6370 E-D	S11D-247	319,0	33,60
	S11D-252	201,8	11,13
	S11D-249	149,7	19,53
	S11D-256	142,4	14,15
	D11D-234	304,6	15,57
Seção 6770 E-D	D11D-235	252,2	13,92
	D11D-229	262,8	31,65
	D11D-239	247,8	17,18
	S11D-267	230,3	39,68
	D11D-103A	442,2	17,05
Seção 6970 E-D	D11D-105A	292,7	14,05
	D11D-101	122,4	22,67
	D11D-099	132,7	15,70
	S11D-098	163,4	23,97
	D11D-100	160,3	33,58
	Máximo		
Mínimo			2,22
Médio			19,55

A caracterização das dinâmicas do relevo, representada pelos processos erosivos deve ser analisada considerando-se o conjunto de fatores ambientais que as determinam, ou seja, basicamente deve-se considerar nessa análise as características geológicas, geomofológicas, pedológicas e climatológicas da região.

Neste sentido será apresentado uma descrição específica para o tema processos erosivos, a seguir no **item 6.1.7.b**, após a caracterização pedológica da área de influência.

6.1.5.3 Síntese Temática

O presente documento é o resultado dos trabalhos de levantamento de campo realizados por Minerconsult (2008) dentro da quadricula de interesse do empreendimento minerário e concatenação técnica dos estudos geológicos regionais (CPRM, 1991, 1994).

Os elementos regionais forneceram as bases para o enquadramento geológico local que orientaram a identificação dos diversos litotipos (com seus subtipos) e a estruturação das unidades geológicas.

Algumas questões estruturais foram elucidadas de forma inferida por fotogeologia interpretativa, como a relação de contatos por falhas entre todas as unidades geológicas ou mesmo internamente as mesmas (Bloco A e B do Complexo Xingu e zonas milonitizadas), que dentro do objetivo e escala de trabalho foram alvos de análises (Minerconsult, 2008).

Com os intensos trabalhos de campo realizados por Minerconsult (2008) foi possível, além de consolidar grande parte das questões tipológicas e estruturais que envolvem o sítio do empreendimento, determinar as seguintes características da área:

- corpos diferenciados dentro do Complexo Xingu;
- particularidades da Formação Águas Claras com relação ao seu intemperismo;
- anisotropia da zona de metabasaltos submetidos ao cisalhamento transcorrente em contato com o Complexo Xingu;
- complexidade estrutural que envolve todas as unidades litológicas;
- entendimentos das questões da geologia aplicada à engenharia;
- previsibilidades das questões da estabilidade e da escavabilidade dos maciços;
- previsão das questões hidrogeológicas na fronteira com o platô da Serra Sul.

Como grande parte da usina encontra-se sobre a cobertura dedrítico-laterítica que recobre parte da Formação Parauapebas e Complexo Xingu, é importante destacar a ocorrência de um sistema de aberturas, sob a crosta ferruginosa, gerado pela erosão subterrânea dos solos residuais situados sob a mesma.

Associado a este sistema de aberturas, ocorre um fluxo d'água sazonal subcutâneo que acarreta a erosão subterrânea e a formação dos dutos que desembocam nos bordos das drenagens. Estas cavidades podem comprometer a fundação das estruturas mais pesadas e principalmente daquelas sujeitas à vibração. Outro fator condicionante da estabilidade das estruturas industriais são as descontinuidades exibidas pelos diversos litotipos (foliação e fraturas). Estas são particularmente importantes nos cortes da estrada de acesso principal e no transportador de minério, principalmente nos trechos de descida e subida das serras.

6.1.6 Geomorfologia

A caracterização geomorfológica da área de influência do empreendimento foi fundamentada em dados cartográficos, levantamentos topográficos e imagens de satélite organizados em um banco de dados geográficos que foram processados e analisados em ferramentas de geoprocessamento.

Os levantamentos de campo foram realizados por meio de caminhar das vias de acesso e abertura de picadas na mata, que possibilitaram uma abordagem interpretativa da paisagem, estabelecendo as relações que existem entre os componentes geomorfológicos com os demais fatores dos meios físico e biótico. Desta forma, buscou-se identificar e caracterizar as formas de relevo, sua gênese e dinâmicas erosivas existentes na área de influência do Projeto Ferro Carajás S11D.

6.1.6.1 Geomorfologia da Área de Influência Indireta (AII)

Considerando como documento de referência para a caracterização da geomorfologia da área de influência indireta da bacia do rio Itacaiúnas, a compartimentação proposta pelo RADAMBRASIL (1974), conforme pode ser observada na **Figura 6.1.6.1**, apresentada no **Anexo XII-A**. Observa-se a ocorrência de dois compartimentos morfoestruturais de expressão regional denominados *Depressão Periférica do Sul do Pará* (**Foto 6.1.6.1**) e *Planalto Dissecado do Sul do Pará* (**Foto 6.1.6.2**).

a) Planalto Dissecado do Sul do Pará

Este compartimento é descrito como unidade regional de relevo caracterizada por maciços residuais de topo aplainado e conjunto de cristas e picos interpenetrados por faixas de terrenos rebaixados com altitudes variando entre 500 e 600 metros, com trechos mais elevados na região da Serra dos Carajás onde estas chegam à 700 metros, na média. Caracterizam-se por revelar notável amplitude dos macro-relevos componentes, com desníveis superior a 200 metros – manifestando-se tanto em serras ou morros – marcados por acentuado grau de dissecação, referência diferenciadora fundamental com relação à outra unidade regional.

O Planalto Dissecado do Sul do Pará é representado, principalmente, pela Serra dos Carajás, cujo eixo maior estende-se por 160 km (leste-oeste) e eixo menor por 60 km. Por outro lado, reconhece-se a existência de dois tipos de comportamento desse arranjo geomorfológico, sendo eles repartidos em “dois *domínios principais, que ocorrem fundamentalmente nas porções centro-norte e sul-sudoeste*” do compartimento.

- **Domínio Centro-Norte**

Correspondente à área influenciada pelas estruturas tectônicas da zona de cisalhamento de direção aproximada WNW-ESE, ligada à Falha de Carajás, à qual correspondem, espacialmente, os afloramentos dos litotipos arqueanos dos grupos Grão Pará e Rio Novo e outras suítes graníticas. O relevo predominante é de serras, com altura média de 300 metros, principalmente nas áreas de ocorrência de litotipos graníticos, mas que, quando com altitudes de topo alcançando 700 metros, podem adquirir alturas superiores a 400 metros. Isto ocorre, em geral, nas áreas sustentadas pelos litotipos mais resistentes do Grupo Grão Pará, a exemplo das porções ligadas às serras Norte e Sul, onde as macro-feições de relevo adquirem a característica de platôs. Essas alturas das macro-feições caracterizam um contexto em que as encostas possuem declividades médias (20 a 45%) a íngremes (45% a 100%), podendo até apresentarem-se como escarpamentos sub-verticais ao longo das cornijas armadas pelas formações ferríferas nas bordas dos platôs.

- **Domínio Sul-Sudoeste**

É representado por conjunto de morros com alturas variáveis no intervalo 100-300 metros, com topos no intervalo altitudinal de 500-600 metros. Esses morros são caracterizados por topos arredondados, aplainados e até angulares, mas sempre de extensão reduzida e vertentes côncavo-convexas, com declividade mais acentuada na base. Essas vertentes encerram vales geralmente estreitos, sendo as planícies raras e de pequeno porte quando existentes. Alguns topos, os mais aplainados, são sustentados por formações ferríferas e crostas lateríticas ferruginosas (canga).

b) Depressão Periférica do Sul do Pará

Este compartimento é caracterizado como uma depressão que circunda o compartimento planáltico ora descrito, sendo ocupada por geoformas que se organizam em torno de dois “sistemas de relevo”, um deles representado por conjuntos de morros, o outro por conjuntos de colinas. Essas formas de relevo são predominantemente moldadas em rochas granitóides (granitos, gnaisses, entre outros), metavulcânicas e metassedimentares pré-cambrianas.

- **“Sistema de Morros”**

Este sistema agrega morros com aspecto de serras baixas ou cristas, geralmente isoladas, mas por vezes alinhadas. A altura dessas unidades morfológicas situa-se, em média, em torno de 100 metros, com encostas côncavo-convexas cujas declividades variam de íngremes a moderadas e topos de formas extremamente variáveis.

- **“Sistema de Colinas”**

Este sistema é o representativo das porções mais aplainadas, situadas notadamente na faixa mais ao sul da serra dos Carajás. Com altura média em torno de 200 m e altitude das mais elevadas colinas atingindo a cota 300 m, elas apresentam encostas com declividades suaves e topos relativamente aplainados.

O domínio da Serra dos Carajás, incluindo-se outras menores que integram o referido sistema serrano como a serra do Rabo, a serra da Bocaina, a serra da Estrela, as serras do Sereno e Leste, caracteriza-se pela ocorrência de padrões de dissecação distintos, ora condicionados por fatores estruturais, ora influenciados pela morfologia dominante. Disso, resultou a dinamização de formas distintas de dissecação, sendo as mais evidentes as seguintes:

- Dissecação em interflúvios tabulares: forma de dissecação determinada pelo aprofundamento de talvegues em relevos tabulares, geralmente formando um padrão de drenagem retangular.
Este padrão de dissecação pode ser observado nas porções cimeiras da Serra dos Carajás, onde predominam amplas superfícies planas, cobertas por solos espessos, sob floresta ombrófila densa. Tais áreas são caracterizadas pela presença de encostas muito abruptas marcando o contorno dos domínios planos. Nestas, ocorrem escarpas erosivas, a partir de onde a erosão regressiva desmantela as superfícies tabulares.
- Dissecação em cristas: Forma de dissecação de maciços residuais, por vales profundos, geralmente adaptados a uma rede de fraturas que apresenta uma ou duas direções preferenciais. Este padrão de dissecação pode ser observado nos rebordos dos principais alinhamentos serranos da Província Mineral de Carajás e mostra-se intimamente associado à orientação dos principais lineamentos estruturais observados em seu domínio.
- Dissecado em Cristas com Ravinamentos: Formas resultantes da dissecação de relevos bem pronunciados, por uma rede de drenagem orientada, cujos afluentes apresentam ramificações. Este padrão dissecação apresenta-se também presente no domínio da Serra dos Carajás, principalmente no seu quadrante oeste.

Excluindo-se os domínios serranos, formas de dissecação menos vigorosas foram registradas na área em estudo, nos terrenos drenados pela bacia hidrográfica do rio Vermelho, localizados na porção leste da bacia do rio Itacaiúnas.

Nesta porção, predomina a dissecação em ravinas, caracterizada como uma forma de atuação superficial resultante do entalhamento por uma drenagem incipiente. Nesta porção da bacia hidrográfica predominam rochas pré-cambrianas.

Formas de dissecação pouco desenvolvidas caracterizam o alto curso do rio Itacaiúnas. Estas são caracterizadas por um sistema de dissecação em colinas e ravinas, com ramificações de canais intermitentes, resultantes de retomada de erosão recente ou influência litológica, ou mesmo formas de dissecação de superfícies pediplanadas, por canais geralmente curtos, numerosos e pouco aprofundados.

Esta característica de dissecação se soma a outras de ordem física que, como se verá ao longo deste trabalho, contribui para explicar o comportamento hidrológico observado o alto curso dos rios que formam a bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas.

Contornando a porção sudeste e leste do conjunto de serras que integram o domínio da Província Mineral de Carajás, têm-se a predominância de superfícies pediplanadas em rochas pré-cambrianas, em retomada de erosão recente, com áreas bem conservadas recobertas por depósitos superficiais inconsolidados. Eventualmente engloba terraços pedimentados.

Publicação mais recente que sustenta a compartimentação inicialmente apresentada no contexto do Projeto Radam (1974) é notada na afirmação de Ab'Sáber (1986), de que a *“geomorfologia da área oriental da Amazônia, onde se desenvolve o Projeto Carajás e o Projeto Serra Leste, é toda ela constituída por grandes extensões de terras baixas colinosas – tabuleiros, baixos platôs, relevos cuestiformes, colinas ligeiramente mamelonares situadas em terrenos antigos – até 600-800 km para o interior, onde a serra dos Carajás quebra a monotonia relativa das terras baixas, salientando-se na paisagem como restos de antigos divisores dissecados, situados entre os vales do Araguaia e o Xingu”*.

Trata-se de uma evidente associação entre o conjunto serrano de Carajás individualizado como um domínio planáltico dissecado, e o seu entorno, caracterizado como um compartimento de altitudes mais modestas, correspondente ao domínio da depressão sul paraense, cujas características morfológicas são muito bem assinaladas por Ab'Sáber (1986).



FOTO 6.1.6.1 - A foto mostra em primeiro plano, a morfologia que caracteriza a Depressão Periférica do Sul do Pará. Ao fundo nota-se a borda sul da porção da Serra dos Carajás no domínio da Flona homônima, que integra o domínio do Planalto Dissecado do Sul do Pará. A área mostrada na foto integra a porção da alta bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, mais especificamente a porção do alto curso do rio Parauapebas. Notar o domínio de uma dissecação pouco pronunciada e um relevo marcado por colinas de topo plano e flanco pouco declivosos.

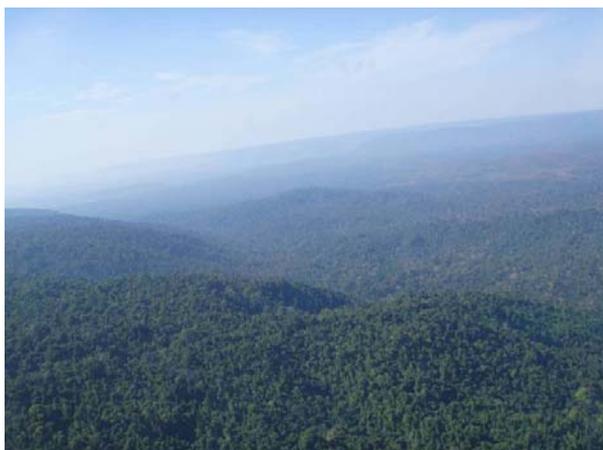


FOTO 6.1.6.2 – A foto mostra a característica da unidade do Planalto Dissecado do Sul do Pará. Notar o aprofundamento da drenagem, configurando diferenças altimétricas importantes entre os cursos de água e os divisores de bacias.

– Morfologia da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas

Para a análise da morfologia da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas foram produzidos documentos cartográficos que pudessem expressar a realidade regional em termos da declividade, da perspectiva do modelo digital do terreno, dos compartimentos geomorfológicos, considerando como base o mapa produzido no âmbito do Zoneamento Ecológico Econômico; e uma base de representação cartográfica que permitiu a visualização adequada dos grandes compartimentos de relevo com base na dissecação dos vários domínios da bacia estudada. A análise desenvolvida na seqüência é sustentada pela cartografia explicitada, conforme apresentadas nas **Figuras 6.1.6.2 (Anexo X-B)**, **Figura 6.1.6.3 (Anexo X-C)** e **Figura 6.1.6.4 (Anexo X-D)**.

O mapa de declividade apresentado na **Figura 6.1.6.3 (Anexo X-C)** foi produzido considerando-se os seguintes intervalos de classes:

- 0 a 3%, correspondente a um domínio plano
- 3.1 a 8%, correspondente a um domínio suave ondulado
- 8.1 a 15%, correspondente a um domínio ondulado
- 15.1 a 45%, correspondente a um domínio forte ondulado
- 45.1 a 75%. Correspondente a um domínio montanhoso
- > a 75%, correspondente a um domínio escarpado.

Tais classes foram estabelecidas no contexto da abordagem pedológica, considerando que o aumento da declividade implica, em certa medida, na potencialização da dinâmica erosiva.

É importante considerar que atualmente sabe-se que o domínio de maior incidência de processos erosivos corresponde aquele compreendido entre 15 e 45%, já que nas áreas superiores a este intervalo, o uso encontra-se limitado em função da própria inclinação dos terrenos. Nos domínios escarpados, os processos de pedogênese dificilmente se processam, não havendo, portanto, materiais intemperizados a transportar.

As análises apresentadas a seguir são sustentadas, conforme afirmado anteriormente, por uma cartografia específica.

A análise do mapa de declividade (**Figura 6.1.6.3 - Anexo X-C**) da bacia do rio Itacaiúnas mostra dois domínios portadores de declividades entre 15,1 e 45%, localizados na porção limite superior das drenagens formadoras da referida unidade hidrográfica e em toda a porção central da mesma, onde encontra estruturada a Serra dos Carajás. O primeiro domínio corresponde a uma porção muito reduzida na bacia, posicionada na porção S-SW, enquanto a segunda estende-se por toda a porção central, abrangendo toda a porção oeste da área em análise.

Estes dois domínios de declividade correspondem a uma unidade geomorfológica caracterizada como área de dissecação estrutural, evidenciando-se a influência dos grandes lineamentos no condicionamento dos processos modeladores do relevo nestes terrenos. As altitudes nestas duas áreas encontram-se quase sempre compreendidas entre 350 e 800 metros em relação ao nível médio do mar.

É importante destacar que o domínio sul apresenta-se como uma unidade formadora do rio Itacaiúnas, enquanto a porção correspondente a Serra dos Carajás, mostra-se como uma unidade geomorfológica a partir de onde se orientam rios, tanto para norte como para sul, no contexto da mesma bacia hidrográfica. Trata-se de uma unidade geomorfológica central que funciona do ponto de vista hidrogeológico, como a principal unidade aquífera da bacia do rio Itacaiúnas que alimenta, a sul, a calha fluvial do rio Parauapebas e a oeste e a norte, a calha fluvial do próprio Itacaiúnas.

Ressalta-se que além da forte influência estrutural no modelamento dos terrenos que caracterizam a Serra dos Carajás e a presença das formações ferríferas, os mais importantes reservatórios de água da área em estudo; a presença de unidades geomorfológicas residuais planas, providas de espessas coberturas pedológicas que também contribuem para a reconhecida importância hidrogeológica desta área no contexto de toda a AII.

Outra unidade geomorfológica de domínio espacial expressivo na bacia é representada pelas áreas de dissecação convexa nos seus diferentes níveis de aprofundamento dos cursos de água. Essa unidade caracteriza a porção sul da bacia do alto curso do rio Itacaiúnas, estendendo-se, por vezes interrompida por linhas de serras estruturais. Porções mais reduzidas desta unidade de mapeamento são também observadas na porção leste, nas cabeceiras dos rios Sororó e Sororozinho, bem como na porção norte na margem direita do rio Surpresa.

Este domínio geomorfológico possui classes de declividades compreendidas entre 8 e 45%, para as formas residuais de relevo e entre 3 e 8% para as áreas rebaixadas, embutidas nas primeiras. A altitude desta porção da bacia encontra-se compreendida entre 350 e 650 metros em relação ao nível médio do mar.

Com relação à dissecação, considera-se que esta unidade geomorfológica pode ser enquadrada como de nível intermediário, representativo da transição entre os domínios serranos estruturais para as áreas pediplanadas que caracterizam quase toda a porção leste e sul da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas.

O domínio do pediplano desnudado retocado da bacia do rio Itacaiúnas encontra-se sua área de maior expressão em toda a bacia dos rios Vermelho e Sororó, limite leste da referida unidade hidrográfica. Tal característica expande-se por todo o alto curso do rio Parauapebas até a altura de sua confluência com o rio Sossego.

Nesta porção da bacia, a altitude encontra-se compreendida entre 100 e 150 metros em relação ao nível médio do mar. As declividades são sempre inferiores a 8%, sendo que ao longo dos rios esta não ultrapassa os 3%. Trata-se de um domínio de fraca dissecação fluvial, resposta ao baixo gradiente topográfico observado nesta unidade geomorfológica.

A unidade geomorfológica definida como de dissecação aguçada é também representativa na bacia do rio Itacaiúnas. Ela apresenta-se de forma expressiva bordejando o limite sudoeste da Serra dos Carajás, drenando terrenos do próprio Itacaiúnas, dos rios Cateté e Saco.

Este domínio evidencia, conforme mostra a **Figura 6.1.6.2 (Anexo X-B)** a presença de residuais de colinas de forma mais adensada, acompanhada de maiores níveis de dissecação, conforme se nota na **Figura 6.1.6.4 (Anexo X-D)** correspondente ao modelo digital de terreno da AII. A altitude nesta unidade geomorfológica encontra-se compreendida entre 300 e 650 metros em relação ao nível médio do mar. Tais características se reproduzem na porção norte da área em estudo ao longo de uma extensa faixa de orientação latitudinal que abrange terras das bacias do rio Preto, limite setentrional da bacia do rio Itacaiúnas, bem como terrenos drenados pela margem direita do alto curso do rio Tapirapé. Um núcleo menor da unidade de dissecação aguçada é também presente na bacia do rio Itacaiúnas na sua porção centro-oriental, correspondente ao domínio de nascentes do alto curso do rio Novo e afluentes do rio Vermelho.

Como síntese da análise da documentação cartográfica produzida para a bacia do rio Itacaiúnas, pode-se afirmar que a serra dos Carajás interrompe o gradiente de redução topográfica e altimétrica observado na porção sul da área em estudo. A partir da serra dos Carajás, inicia-se um novo gradiente de redução dos níveis altimétricos, de declividade e de dissecação em direção à norte, onde a calha do rio Itacaiúnas adquire orientação E-W.

Os mapas representados pela **Figura 6.1.6.2 (Anexo X-B)** e **Figura 6.1.6.3 (Anexo X-C)** evidenciam a baixa dissecação, as reduzidas declividades e altitudes em toda a porção leste e centro-sul e sudeste na bacia do rio Itacaiúnas. Trata-se de uma área de dimensões expressivas, que possui sua dinâmica geomorfológica fortemente influenciada pelos reduzidos gradientes fluviais observados em seus domínios.

A cartografia produzida mostra a destacada dissecação nos domínios que configuram as estruturas serranas da área em estudo. Tal característica encontra-se associada à forte influência da estrutura geológica AII, marcada por falhas e zonas de cisalhamento de alta intensidade nesta porção da bacia, confrontando-se com domínios de litologias mais homogêneas e estáveis do ponto de vista da história geológica regional.

Esses aspectos explicam a importância de tal domínio espacial no comportamento hidrogeológico e hidrológico da AII, conforme mostra o presente estudo nos temas citados.

6.1.6.1.1 Uma Nova Compartimentação da Base Física da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas

Baseando-se principais textos relacionados à base física da bacia do rio Itacaiúnas, como o Projeto RadamBrasil (1974), Geomoroflogia da Amazônia (2004), Ab'Saber (2003), tornou-se possível o desenvolvimento de modelo de compartimentação da base física da mesma, considerando os arranjos resultantes da combinação entre a geologia, geomorfologia e pedologia.

Este modelo de compartimentação foi definido conforme mostra a **Figura 6.1.6.5**, apresentada na seqüência.

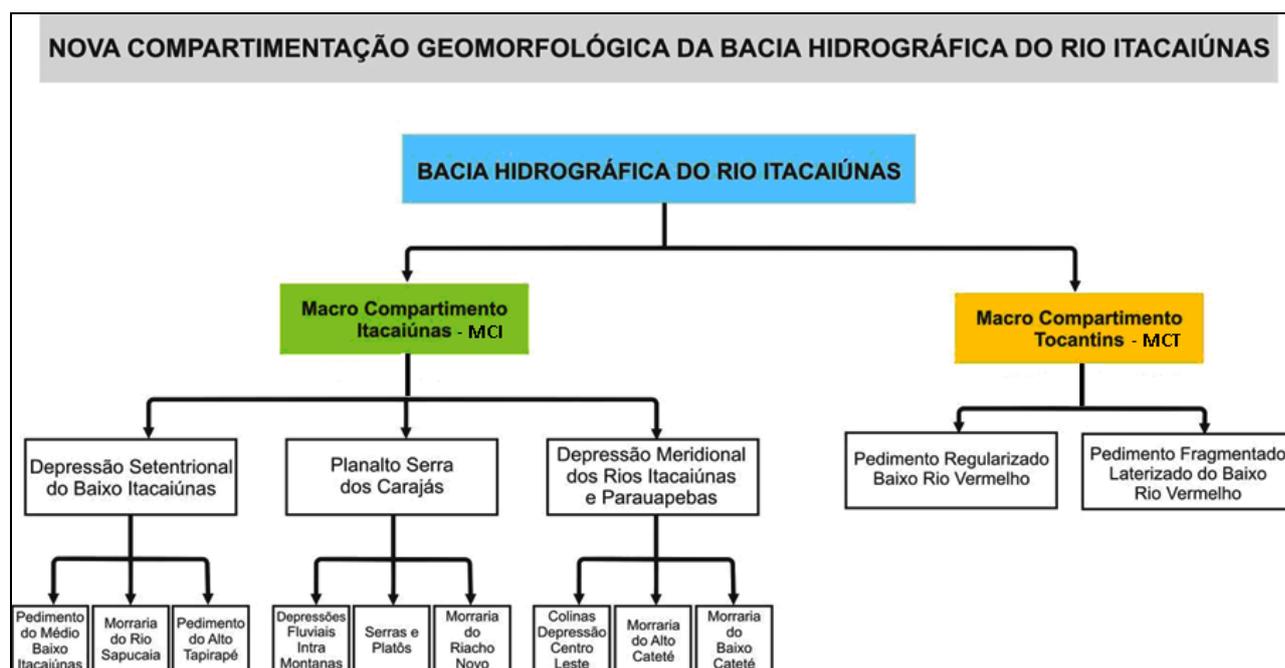


FIGURA 6.1.6.5 – Nova Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas.

A nova compartimentação da Bacia Hidrográfica do rio Itacaiúnas pode ser vista na **Figura 6.1.6.6** apresentada no **Anexo X-E**.

Na seqüência, apresenta-se cada um dos compartimentos definidos e os demais subcompartimentos a estes associados.

a) Mega-compartimentos Morfo-estruturais da Bacia Hidrográfica do rio Itacaiúnas

Existem 2 mega-compartimentos (MC) diferentes do ponto de vista da organização morfo-estrutural e independentes do ponto de vista do funcionamento morfodinâmico.

A diferença em termos geo-estruturais é caracterizada pela ocorrência de uma massa cratonizada arqueana e paleoproterozóica a oeste, que foi cavalgada por unidades neoproterozóicas de leste em direção a oeste. O bloco ocidental é composto, em sua maior extensão espacial, por corpos graníticos, alguns deles gnaissificados, outros pouco, tendo, portanto um comportamento geomorfológico de batólito maciço.

O bloco oriental é composto por uma extensa cobertura de metassedimentos hoje fragmentada em lascas de direção N-S que re-orientaram a organização da rede de drenagem para essa direção.

Esta compartimentação tem uma expressão do ponto de vista morfodinâmico, pois ela acaba seccionando a rede de drenagem em 2 sistemas: o ocidental ligado aos rios Itacaiúnas e Parauapebas que drenam o mega-compartimento ocidental, grosseiramente, de oeste para nordeste, e o sistema oriental que, composto, pelos rios Vermelho e Sororó, drena o mega-compartimento oriental, de sul para norte. O fato dos dois sistemas encontrarem-se praticamente na desembocadura da bacia, indica que eles funcionam de modo totalmente independente.

- **MC Tocantins**

Massa cavalgada da Formação. Couto de Magalhães, do Grupo Tocantins, de E para W, implicando em estruturas predominantes de direção N-S, com relevos de serras e rede de drenagem controlados, incluindo rio Itacaiúnas quando adentra o compartimento. Feição de Superfície fragmentada em blocos inclinados para E, concordantemente com o mergulho do grande plano de empurrão do Bloco Tocantins. Formado sobre conjunto de rochas metassedimentares onde predominam os filitos (secundariamente calcários, conglomerados, quartzitos, metassiltitos e metargilitos).

- **MC Itacaiúnas**

Mega-estrutura de zona de cisalhamento de direção E-W, com feição de megaflor positiva centrada na Serra dos Carajás, implicando em estruturas suavemente sinuosas na direção geral E-W e ESE-WNW, controlando os relevos nesses rumos - serra dos Carajás - incluindo a rede de drenagem que somente a resistência litológica dos metabasaltos e formações ferríferas conseguem conter fora deste controle estrutural. Este mega-compartimento é mais complexo, pois contém uma forte diversidade de litotipos (ígneos e metamórficos) em arranjos estruturais variados.

- **Sub-Compartimentos no MC Tocantins**

- **Pedimento Fragmentado Laterizado do Baixo rio Vermelho**

Sucessão de platôs baixos e inclinados de W para E e de WSW para ENE, alternando com depressões fluviais alargadas. Trata-se de planos inclinados cujas frentes escarpadas, orientadas para E, atingem alturas de 230 metros no contato SW com o MC Itacaiunas (180 a 410 metros) e diminuem para 90 metros a leste (190 a 280 metros). Os planos inclinam com declividades extremamente suaves (0,28%) em rampas que atingem extensão de até 10 quilômetros.

Deste modo, os vales fluviais, que deságuam para norte, entre as cotas de 210 a 160 metros, são assimétricos, com a margem oriental geralmente mais escarpada e estreita, enquanto a ocidental se encontra suavemente inclinada e larga.

Do ponto de vista morfoestrutural, parece claro que se trata do resultado da fragmentação tardia de uma superfície de aplainamento, outrora fossilizada por uma Cobertura Laterítica, que hoje sobrevive sobre os topos dos planos inclinados contribuindo à sua proteção e manutenção. Essa cobertura laterítica deve resultar da movimentação recente de um perfil laterítico elaborado às custas dos metassedimentos em períodos geológicos mais propícios.

- **Pedimento Regularizado do Baixo Rio Vermelho**

Testemunho de Superfície de aplainamento retocado por uma infinidade de drenos organizados numa rede de drenagem convergindo, em direção ao sul, para uma confluência de três grandes rios. Numa distância reta de, aproximadamente, 75 km, esse fragmento do pediplano regional, regularizado pelas divagações da rede fluvial, inclina-se de sul para norte, entre as cotas médias de 150 e 100 metros respectivamente.

Trata-se de uma unidade geomorfológica muito simples, composta de uma alternância regular de dois tipos de feições orientadas N-S: interflúvios suavemente convexos e culminando na cota média de 160 metros e fundos de vales abertos na cota média de 120 metros.

Nesta unidade geomorfológica, destacam-se as planícies aluviais que assumem importantes expressões areais, ao longo dos 2 rios principais (rio Vermelho e rio Sororó) que escoam de sul para norte.

- **Sub-compartimentos no MC Itacaiúnas**

Neste Mega compartimento ocorrem três sub-compartimentos morfo-estruturais, subdivididos em 9 unidades geomorfológicas:

- **Planalto Serra dos Carajás**

Este sub-compartimento compõe uma unidade regional de relevo onde a notável altura dos macro-relevos componentes (superior a 200 metros) – sendo eles serras ou morros - e o acentuado grau de dissecação constituem características diferenciadoras fundamentais com relação às outras unidades regionais. Ele é representado, principalmente, pela Serra dos Carajás, cujo eixo maior estende-se por 160 km (leste-oeste) e eixo menor por 60 km. Em meio a este caráter de planalto de escala regional, reconhece-se a existência de três tipos de unidades geomorfológicas.

Serras e Platôs

Esta unidade corresponde à área influenciada pelas estruturas tectônicas da zona de cisalhamento de direção aproximada WNW-ESE, ligada à Falha de Carajás, à qual correspondem, espacialmente, os afloramentos dos litotipos arqueanos. O relevo predominante é de serras, com altura média de 300 metros, principalmente nas áreas de ocorrência de litotipos graníticos mas que, quando com altitudes de topo alcançando 700 metros, podem adquirir alturas superiores a 400 metros. Isto ocorre, em geral, nas áreas sustentadas pelos litotipos mais resistentes do Grupo Grão Pará, ao exemplo das porções ligadas às serras Norte e Sul, onde as macro-feições de relevo adquirem a característica de platôs. Essas alturas das macro-feições caracterizam um contexto em que as encostas possuem declividades médias (20 a 45%), a íngremes (45% a 100%), podendo até apresentarem-se como escarpamentos sub-verticais ao longo das cornijas armadas pelas formações ferríferas nas bordas dos platôs.

Fato importante é representado pela ocorrência de inúmeras cavernas desenvolvidas em meio a lateritas ferruginosas que capeiam os topos dos platôs sustentados por formações ferríferas. Essas cavernas desenvolvidas em laterita são dotadas de espeleotemas fracamente desenvolvidos, não ultrapassando a dimensão centimétrica. No entanto, sua presença denota o processo de lixiviação que afeta os litotipos que sustentam o topo dos platôs e explica tanto a presença das lagoas quanto das ressurgências que alimentam, na base das escarpas que coroam os relevos, os ecorregamentos que constituem o principal processo de evolução das encostas sob floresta local.

Depressões Fluviais Intramontanas

Este tipo de unidade geomorfológica é a expressão da profunda dissecação à qual foi submetido este sub-compartimento, após o consensual soerguimento pós-pleistocênico. É a unidade menos compacta de toda a bacia do rio Itacaiunas, pois se constitui de várias ocorrências, isoladas e espalhadas em meio às serras ou platôs, em altitudes que variam de 320 metros, na extremidade oeste do compartimento, a 200 metros, em seu meio e extremidade oriental. A forma geral é alongada na direção E-W, refletindo o controle estrutural operado pelas falhas da zona de cisalhamento, e o controle litológico dos corpos cristalinos nos quais elas foram escavadas. Na realidade, trata-se de depressões lito-estruturais, pois são assentadas sobre corpos cristalinos e ladeadas por serras erguidas sobre os litotipos metamórficos dos grupos Rio Novo e Grão Pará. A alternância dos litotipos é o fruto da movimentação tectônica ao longo das falhas transcorrentes oblíquas.

A dinâmica de escorregamentos que afeta as vertentes das serras marginais contribui ao alargamento contínuo dos vales e ao aporte de carga sedimentar para os cursos de água. Carga que deverá aumentar de modo preocupante na eventualidade de qualquer tipo de corte de floresta.

Morrarias do Riacho Novo

Essas morrarias são constituídas por colinas côncavo-convexas com altura variável entre 100 e 250 metros, extensão horizontal variável entre 1 a 2 km e altitude máxima de 520 metros, na extremidade oriental. A unidade é estreitamente ligada aos granitos intrusivos, posteriormente afetados por metamorfismo e deformação tectônica, do Complexo Granítico Estrela. Este é composto por granitos, tonalitos e granodioritos, cuja textura, em geral, homogênea e equigranular, explica o aspecto isotrópico das geoformas, apesar da deformação tectônica sofrida.

O aspecto isotrópico geral é, também, ilustrado pela rede de drenagem que assume um tipo dendrítico pronunciado e uma organização centrífuga, fazendo do conjunto um maciço dispersor de drenagem.

• Depressão Setentrional do Baixo Rio Itacaiúnas

Depressão desenvolvida, entre as cotas 220 e 160 metros, a norte da Serra dos Carajás, fora do alcance das estruturas principais da zona de cisalhamento do Cinturão Itacaiunas e dos litotipos dos grupos Rio Novo e Grão Pará. Neste sub-compartimento predominam rochas ígneas (granitos, granulitos, anfibolitos, entre outros) e metamórficas, com destaque para os gnaisses do Complexo Xingu, organizados em faixas sinuosas de direção geral E-W, função do controle exercido pelas falhas transcorrentes oblíquas que estruturam a região.

Apesar da baixa altitude e fraca amplitude do relevo, encontram-se elementos para diferenciar três unidades geomorfológicas neste sub-compartimento.

Morraria do Rio Sapucaia

Esta unidade é composta de geoformas cujos contornos não são muito bem definidos, oscilando entre colinas e morros baixos (altura máxima de 80 metros, entre as cotas de 240 e 160 metros), quase sempre agrupados sob a forma de ombreiras alongadas nas direções SW-NE e/ou E-W.

Essas direções encerram uma geometria de dissecação que, apesar de ser pouco profunda, mostra-se intensa. Elas parecem resultar de controle estrutural cruzado, pois a E-W é nitidamente controlada pela falhas transcorrentes do Cinturão Itacaiúnas, enquanto a SW-NE corresponde geometricamente a uma das componentes distensivas de um modelo de Riedel. Esta interpretação é reforçada pela existência de uma organização de geoformas que conforma romboedros embutidos de variadas dimensões. Além do mais, a aparente componente distensiva é representada, morfologicamente, por vales retilíneos, largos e dotados de fundos chatos. Finalmente, como último argumento, ressalta-se o fato da unidade estender-se sobre litotipos diferenciados incluindo gnaisses, granulitos e rochas metassedimentares variadas, entre outros.

Pedimento do Alto Tapirapé

Esta unidade é caracterizada por um testemunho de superfície de aplainamento que ainda não foi (ou foi pouco) atingido pela evolução regressiva da dissecação fluvial. Situado numa cota de 200 metros, ele ainda preserva relevos residuais que se erguem 40 metros acima, na forma de pequenos *inselbergs*. A rede de drenagem que o alcança e drena se encaixa dificilmente, atingindo uma dissecação com profundidade máxima de 40 metros (piso na cota 160 metros) em sua extremidade oriental, quando deixa lugar para a unidade contígua mais dissecada.

A litologia predominante é composta por gnaisses do Complexo Xingu, além de uma faixa estreita de rochas metassedimentares. Esta unidade parece estar a mais estável do ponto de vista morfodinâmico, impressão reforçada pela ocorrência de baixa densidade da rede de drenagem.

Pedimento Médio e Baixo Itacaiúnas

Esta unidade, desenvolvida sobre granulitos arqueanos, dá continuidade á precedente tanto no âmbito da ocorrência espacial, quanto da característica morfológica, pois se apresenta como uma versão ligeiramente mais dissecada. Esta dissecação é devida à sua travessia pelo rio Itacaiúnas, uma vez que o mesmo a adentra depois de ter atravessado a Serra dos Carajás no sentido SW-NE. Ao longo de seu percurso neste pedimento, de E para W, o rio Itacaiúnas cava um vale numa profundidade ligeiramente superior a 40 metros, mas que induz uma densificação notável de pequenos tributários. É, portanto, o maior aporte de vazão que permitiu uma dissecação mais avançada desta porção da Depressão Setentrional.

É, também, importante ressaltar que esta porção será palco de uma transferência mais volumosa de produtos da erosão, carregados pelo rio Itacaiúnas.

- **Depressão Meridional dos Rios Itacaiúnas-Parauapebas**

Este sub-compartimento é caracterizado como uma depressão que circunda, a sul, o compartimento planáltico da Serra dos Carajás, sendo composta por conjuntos de geoformas, sendo um deles representado por conjuntos de morros, o outro por conjuntos de colinas. Essas formas de relevo são predominantemente moldadas em rochas granitóides (granitos, gnaisses, entre outros), rochas metavulcânicas e metassedimentares précambrianas. Deve-se notar que a frequência dos batolitos graníticos alongados na direção E-W - resultado das falhas transcorrentes do cinturão Itacaiúnas - desenvolve um importante papel de controle morfológico, traduzido por alinhamentos de morros e/ou colinas em meio aos pedimentos.

Três unidades geomorfológicas se diferenciam com base no grau de desenvolvimento e na densidade das geoformas em seus agrupamentos espaciais.

Colinas da Depressão Centro-Leste

Trata-se de uma depressão com perfil extremamente suave, abrigando a rede de drenagem dos altos cursos dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, orientada de sul para norte. No entanto, o controle tectônico regional operado pelas estruturas do Cinturão Itacaiúnas, lhe confere um alongamento na direção E-W. Morfológicamente, ela apresenta o aspecto de um pediplano dissecado sobre rochas predominantemente gnáissicas (Complexo Xingu) e graníticas. Este pediplano sustenta colinas com aspecto de lombadas baixas, geralmente isoladas, mas por vezes alinhadas quando formadas sobre afloramentos graníticos controladas por falhas e zonas de cisalhamento, exemplo freqüente no caso do Granito Plaquê. A altura dessas colinas situa-se, em média, em torno de 100 metros, com encostas côncavas-convexas cujas declividades variam de íngremes a moderadas e topos de formas extremamente variáveis.

A espessura delgada dos mantos de alteração e solos permite a emersão de pontões cristalinos ou amontoados de blocos formados na base de mantos de intemperismo erodidos.

A rede de drenagem, apesar de densa, apresenta um alto grau de desorganização, mesmo com aparente padrão dendrítico, e sobrevive a uma escassez de água durante grande parte do ano.

Apesar dos vales entulhados, não parece haver sinais de uma forte erosão, pois os substratos afloram e são constituídos de rochas duras.

Morraria do Alto Cateté

Um maciço granítico com geoformas romboédricas situado no limite meridional da bacia do rio Itacaiúnas, dá sustentação a uma unidade geomorfológica composta por uma densa aglomeração de morros com altura atingindo 280 metros (entre as cotas de 640 e 360 metros). Esses apresentam encostas com declividades suaves e topos relativamente aplainados, sendo isolados por densa rede de drenagem, bastante encaixada e rumando de SW para NE.

Esta direção evidencia o controle efetuado por sistema de falhas SW-NE já encontrado em outras partes da bacia do rio Itacaiúnas. Do mesmo modo, as falhas transcorrentes de direção, localmente, SE-NW, controlaram o desenvolvimento de vales que seccionam a unidade em aglomerados de morros.

Morraria do Baixo Cateté

Na extremidade ocidental do sub-compartimento, uma organização de litotipos sob forma concêntrica, articulada em torno de um núcleo composto pelo Complexo Granulítico, o qual é cercado por faixas concêntricas de Granito Plaquê e de gnaisses do Complexo Xingu, alternadamente, sustenta mais uma aglomeração de morros que se destaca em meio ao pediplano regional. Uma avaliação mais detalhada permite ver que a forma do conjunto é mais romboédrica que circular, devido ao controle rígido exercido pelas falhas SW-NE sobre o maciço granulítico central e os afloramentos do Granito Plaquê e Granito Aquiri, entre outros.

As geoformas são de colinas e morros com alturas que variam de 150 a 300 metros de altura e pequena extensão no plano horizontal, em associação com uma densa rede de drenagem das cabeceiras do rio Cateté.

b) Serra dos Carajás e Compartimentos Geomorfológicos Associados

Apresenta-se, a seguir, uma caracterização da geomorfologia da Serra dos Carajás e seu entorno, de forma a evidenciar numa abordagem de escala de maior detalhe, quais são as principais unidades morfológicas presentes no contexto de inserção do Projeto Ferro Carajás S11D na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas.

Para o desenvolvimento deste tópico, considerou-se como adequado a retomada dos grandes domínios geomorfológicos já caracterizados, porém analisados agora, sob o enfoque das especificidades que caracterizam o recorte espacial a ser analisado.

A Serra dos Carajás encontra-se inserida no domínio do Planalto Dissecado do Sul do Pará, caracterizado por maciços residuais de topo aplainado e conjuntos de cristas e picos interpenetrados por faixas de terrenos mais baixos (BRASIL, 1974). Esta unidade apresenta-se intensamente dissecada por vales encaixados, adaptados a redes de fratura em rochas arqueanas e algumas estruturas proterozóicas. Observa-se uma densidade média de drenagem, apresentando um padrão dendrítico. Os vales são essencialmente fechados, em forma de V e, em alguns casos, em forma de U onde ocorrem as planícies aluvionares (BRASIL, 1991). A existência de drenagens interiores é evidenciada pela presença de lagoas suportadas pelas formações ferríferas do grupo Grão Pará. O relevo é montanhoso, predominando declividades acima de 20 %. Na porção inferior de algumas encostas ocorrem declividades de 9-20 %, caracterizando um relevo ondulado. Os topos são extensos e aplainados, tendendo localmente a tabulares, constituindo testemunhos de uma superfície de aplainamento resultante de uma pediplanação terciária que reelaborou um pediplano cretácico ou pré-cretácico (BRASIL, 1991). São poucos os topos de forma arredondada e ainda mais raros aqueles de forma angular, ocorrendo apenas no extremo sudoeste da serra dos Carajás e no extremo sudeste, na serra do Rabo.

Destacam-se neste domínio, serras com amplitude de 300 m, com altitude média de 700 m, chegando a 900 m nas partes mais elevadas. Entre as principais serras, tem-se: as serras Norte e Sul, Serra do Rabo ou do Buriti e a Serra do Tarzan. Nas porções mais altas das serras, dispõem-se os paleo-relevos residuais caracterizados pelas coberturas lateríticas e concrecionárias que revelam um relevo colinoso exumado, conservado pelos profundos mantos de intemperismo das rochas ferríferas arqueanas, pertencentes à Formação Carajás do Grupo Grão-Pará. Na porção interna deste domínio, ocorrem relevos de menor amplitude, correspondendo às áreas de ocorrência dos granitos proterozóicos (BRASIL, 1991). São comuns os ravinamentos, principalmente nos flancos da megaestrutura que constitui a serra dos Carajás (BRASIL, 1991).

Segundo Resende e Barbosa (1972) os aspectos geomorfológicos marcantes do distrito de Carajás são: vales cobertos pela mata virgem; serras alongadas e íngremes e chapadas ou “mesas”. As chapadas são as feições dominantes, erguidas acima da floresta densa, em forma de clareiras, com encostas geralmente íngremes, cujas feições morfológicas comuns são: **1)** áreas predominantemente planas, alongadas e situadas mais ou menos ao mesmo nível; **2)** espigões alongados de perfis convexos com topos suaves ou planos, esculpido sobre canga de minério de ferro, orientados longitudinalmente e erguidos acima da superfície alongada; **3)** depressões fechadas, com ocorrência de lagos e brejos temporários ou perenes nas áreas planas e rebaixadas.

Já a Depressão Periférica do Sul do Pará compreende uma faixa de terrenos rebaixados que envolve parcialmente o Planalto Dissecado do Sul do Pará. Apresenta um relevo de morros e colinas com serras restritas, muitas vezes isoladas. O sistema de morros apresenta amplitudes da ordem de 300 m, chegando a 500 m em algumas serras. O relevo é ondulado a forte ondulado, com encostas côncavo-convexas esculpido sobre rochas dos complexos Xingu (granitos e gnaisses) e Pium (granulitos), granito estratóide Plaquê e restos de supracrustais, correlatas ao grupo Sapucaia. A drenagem apresenta densidade média com padrão dentrítico, por vezes paralelo, estruturalmente controlado. Os vales são fechados e raramente em forma de U. Não há evidências de drenagens fechadas. Observa-se densidade de drenagem média a alta. Nos segmentos alongados e linearizados relacionados aos xistos do grupo Sapucaia apresentam um ravinamento mais intenso.

Dentro da depressão periférica ocorre também um domínio de relevo colinoso aplainado esculpido sobre o complexo Xingu, correspondendo geologicamente à parte mais arrasada do regime compressivo do cinturão Itacaiúnas. A altitude média é entorno de 200 m, chegando a 300 m nas áreas mais elevadas. As encostas são suaves ondulado a ondulado, mesmo nas bordas das raras elevações deste domínio, apresentando vertentes retilíneas. Lagos de pequenas dimensões podem ocorrer nesse domínio aplainado, ainda que raramente. Nas depressões periféricas em cotas mais baixas, são comuns extensos babaçuais (**Figura 6.1.6.7**).

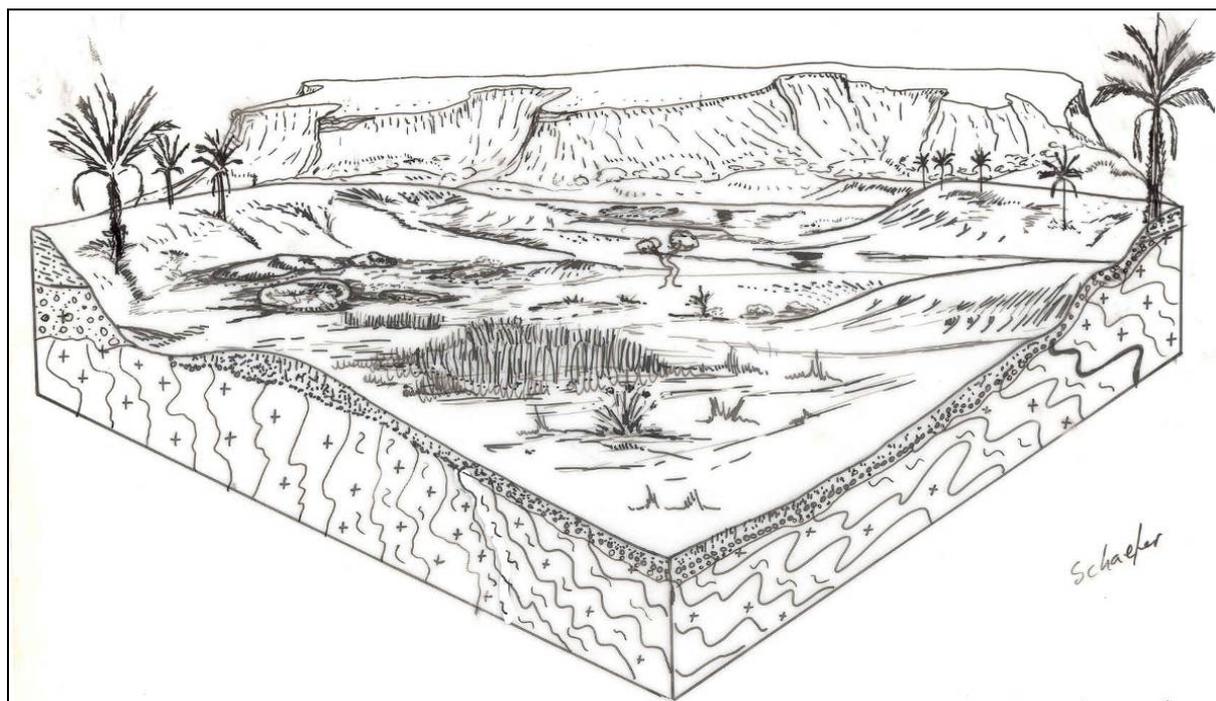


FIGURA 6.1.6.7 - Golpe de vista Geológico e Geomorfológico do domínio Colinoso de Argissolos epi-pedregosos da borda sul da Serra dos Carajás, nas proximidades da serra Sul.

O bloco diagrama (**Figura 6.1.6.7**) permite vislumbrar algumas características das duas principais unidades morfo-estruturais e morfoclimáticas definidas para a região em estudo. No primeiro plano nota-se o relevo que caracteriza a Depressão Periférica do Sul do Pará. No segundo plano fica evidente a borda sul da serra dos Carajás que integra o Planalto Dissecado do Sul do Pará. Esta área é caracterizada por pastagens degradadas sobre Argissolos Plínticos e pedregosos se alternando com Babaçuais e Matas de porte elevado, ao fundo, nas encostas de colúvio do Corpo S11 Bloco D. O desnível alcança mais de 400 metros do topo à base da escarpa.

c) Análise da Morfodinâmica da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas

As interpretações apresentadas na seqüência derivam de uma análise dos diversos mapas temáticos produzidos sobre a realidade geomorfopedológica da bacia, incluindo-se a cartografia referente à declividade e níveis de dissecação para a mesma.

É importante ressaltar que a análise a seguir, encontra-se também fundamentada por informações levantadas em outros temas investigados na área em estudo como a hidrologia, a hidrogeologia e do uso do solo e da cobertura vegetal vigente na mesma.

Considerando-se a distribuição da dissecação na bacia como o fato indutor do comportamento morfodinâmico de uma dada região, nota-se que a porção mais oriental da área em estudo, representada pelo conjunto das terras drenadas pelos rios Vermelho e Sororó, apresenta-se como aquele onde o perfil longitudinal do principal canal fluvial mostra- fraca inclinação. Este padrão encontra-se correlato com a sistemática ocorrência de depósitos aluviais quaternários que ocupam amplas porções de algumas das principais drenagens desta área.

Neste domínio a diferença altimétrica entre os talvegues e fundo dos vales é muito reduzida, indicando um incipiente encaixamento das drenagens, de forma geral.

O arranjo morfológico como o observado, caracteriza um domínio onde o processo de intensificação da erosão recente só pode ser potencializado pela retirada da floresta que protege o substrato.

É importante ressaltar que nesta porção da AII são notáveis as presenças de vales, de diferentes dimensões, totalmente colmatados. Cabe destacar que, a exemplo de outras áreas ou domínios regionais, tal processo pode estar ora em curso em decorrência da exposição de ambientes tipicamente ombrófilos, protegidos por florestas densas, ao efeito direto de chuvas intensas. Trata-se do estabelecimento de um novo ciclo de dinâmica de superfície que passou a operar estes terrenos há poucas décadas, cujos efeitos ainda são apenas especulativos. De toda forma, os residuais de coberturas detrítico lateríticos observados na porção extremo sul da bacia do rio Vermelho e a disseminada formação de amplas áreas de aluviões ao longo mesmo, confirmam um processo intenso de desmantelamento das áreas mais altas e franco entulhamento das áreas mais baixas.

De toda forma, os residuais de coberturas detrítico lateríticos observados na porção extremo sul da bacia do rio Vermelho e a disseminada formação de amplas áreas de aluviões ao longo mesmo, confirmam um processo intenso de desmantelamento das áreas mais altas e franco entulhamento das áreas mais baixas.

Um segundo domínio importante do ponto de vista espacial é representado por uma faixa de largura variável, porém de dimensões sempre acima de dezenas de km, orientada no sentido E-W, compreendendo a porção imediatamente a jusante da alta bacia dos rios Itacaiúnas e Parauapebas até o limite com o conjunto planáltico da Serra dos Carajás (**Figura 6.1.6.6 - Anexo X-E**).

Todo este segmento é também caracterizado pela ocorrência de um perfil longitudinal das calhas fluviais dos citados rios, por baixos declives. Trata-se também de um domínio de fraca dissecação fluvial, apesar da presença de feições ou alinhamentos de colinas e morros em meio a um domínio de topografia plana a suave ondulada.

É importante observar que tais residuais de relevo encontram-se associados a granitóides alongados no sentido E-W, cujos blocos encontram-se isolados por linhas de falha de mesma orientação. Os efeitos das linhas de falha são evidentes nas flexões observadas nas principais calhas fluviais que escoam de sul para norte.

Este domínio de rochas metamórficas, alinhadas às estruturas impressas no relevo parece influenciar no controle do encaixamento da rede de drenagem, favorecendo a manutenção de níveis de dissecação relativamente fracos, contrário ao que se observa em litologia semelhante nas porções correspondentes às cabeceiras do rio Itacaiúnas.

Deve-se destacar a grande abundância de solos jovens, rasos, pouco evoluídos nesta porção da bacia, apesar do indicativo contrário evidenciado pelos mapeamentos pedológicos publicados até o presente para a região. Trata-se de uma situação que precisa ser detalhadamente compreendida, por tratar-se de um domínio plano, sujeito ao clima úmido, onde os processos pedogenéticos não expressam a dinâmica esperada para esta situação.

A ausência de solos bem desenvolvidos na área e a rocha maciça muito próxima à superfície, associada ao possível controle da dissecação pelas massas granitóides e lineamentos estruturais registrados, podem explicar as baixas reservas de água nesta porção da bacia, bem como o aspecto quase que temporário que opera, inclusive, nas calhas dos rios Itacaiúnas e Parauapebas.

A interpretação de tal dinâmica de forma definitiva requer avaliações interdisciplinares suportadas por investigações mais diretas na região.

Ao norte desta faixa de terrenos analisada, ergue-se o maciço serrano dos Carajás que, devido às suas dimensões assume características típicas de um domínio planáltico.

Esta unidade de relevo é marcada por um conjunto heterogêneo de formas menores de relevos embutidas no conjunto de todo o domínio planáltico. Observa-se a presença de domínios planos cobertos por espessos solos, contrapondo-se com ambientes planos a ondulados revestidos por uma carapaça compacta de canga, depressões embutidas em meio a relevos escarpados, bem como domínio colinosos igualmente comprimidos no interior da serra dos Carajás.

A esta diversidade morfológica encontra-se operante um processo de dissecação e de esculturação da paisagem muito dinâmico, apesar da presença de um denso manto florestal que reveste grande parte desta unidade geomorfológica. De igual intensidade nesta porção da bacia do rio Itacaiúnas, estão as principais falhas geológicas da região e o conjunto secundário de lineamentos a estas associadas.

Todo este mosaico de aspectos que caracteriza esta unidade de análise tem sua morfodinâmica fortemente controlada pela presença da floresta. Trata-se de um domínio onde a dissecação moldurou encostas de altas declividades, ao mesmo tempo em que a umidade e a floresta potencializaram o desenvolvimento de coberturas pedológicas normalmente espessas.

Todas estas características, associadas ao principal sistema aquífero da área em estudo faz com que esta porção da área em estudo funcione como um dos principais domínios de produção de água da bacia do rio Itacaiúnas. Trata-se de um domínio onde as litologias e a estrutura a estas associadas, favorecem a acumulação de água subterrânea, processo igualmente evidente nas espessas e permeáveis coberturas pedológicas desenvolvidas nos residuais planos do tipo “chapadas”, presentes em vastas áreas dos domínios mais altos da serra dos Carajás.

De acordo com estudos anteriores de Golder, há uma equivalência no comportamento da porção correspondente ao Alto Itacaiúnas e à Serra dos Carajás. É importante notar que estas áreas equivalem-se apenas no que diz respeito aos níveis de dissecação e na presença de lineamentos estruturais importantes, sendo, no entanto, divergentes quanto à litologia, morfologia, tipos de solos. Além do mais, enquanto a Serra dos Carajás é provida de uma densa cobertura florestal, as pastagens caracterizam o Alto Itacaiúnas, conforme mostra o mapa de uso do solo e cobertura vegetal, apresentado na **Figura 6.1.6.8 - Anexo X-F**.

Outra unidade espacial a ser individualizada no contexto da bacia do Itacaiúnas é representada pela porção norte da mesma, no segmento que compreende todo o médio baixo curso da mesma e a margem direita do rio Tapirapé.

Trata-se do conjunto de terrenos localizado e contíguo à serra dos Carajás, cuja dissecação modelou um conjunto de feições convexas que tem suas altitudes reduzidas à medida que se aproxima do nível de base regional, chegando a ocorrerem interdigitadas à planícies aluviais, de onde cedem lugar na paisagem para o domínio destas.

Este domínio da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas é facilmente delimitado dado ao nível intermediário de rugosidade dos seus terrenos demonstrado nos documentos cartográficos específicos, quando comparado com o domínio espacial da serra dos Carajás e a porção centro-sul e leste da área em estudo

Nesta porção da bacia é importante destacar que as declividades notadamente típicas de relevo ondulado podem, favorecer o desenvolvimento de processos erosivos desde que as condições de equilíbrio do balanço morfogênese X pedogênese seja rompido. Neste sentido é importante ressaltar que esta porção da bacia do rio Itacaiúnas ainda não se mostra plenamente desprovida de cobertura vegetal. Nesta área ainda nota-se um típico conflito de uso entre a prática pecuarista e a manutenção da cobertura florestal.

De toda forma, trata-se de um domínio marcado por drenagens muito curtas, afluentes ao curso principal, fato que incrementa a vulnerabilidade destas em decorrência do agravamento das pressões de uso do solo, quando estas se manifestam de forma a interferir na cobertura florestal.

Cabe destacar que pesquisas recentes indicam que terrenos de declividades médias, aliados ao maior potencial de uso do que as áreas mais inclinadas, apresentam-se como os domínios de maior produção de sedimentos e, conseqüentemente de perda de solos, em muitas bacias hidrográficas analisadas.

Neste caso, cabe ressaltar, ainda, o destacado papel da ação do escoamento pluvial em terrenos que teve sua gênese associada à proteção de um denso manto florestal.

6.1.6.2 Geomorfologia da Área de Influência Direta (AID) e Diretamente Afetada (ADA)

O Maciço ou Serra de Carajás é o que restou de uma paleocordilheira arrasada desde os fins do Cretáceo (Ab'Sáber 1986), embasado por rochas Arqueanas dobradas de grau metamórfico muito baixo ou nulo (Grupo Grão Pará, Formações Carajás e Águas Claras). A idade máxima do Intemperismo da Serra de Carajás alcança o Cretáceo superior (cerca de 70 MA antes do presente, Vasconcelos, 1996), quando da separação definitiva do Gondwana e abertura final do Gateway do Atlântico Norte. A partir de então, instala-se um clima tropical úmido que favorece a alteração profunda das rochas. Supostamente, antes deste período, o clima era bem mais seco, e as taxas de intemperismo negligíveis. Ciclos de aplainamento e erosão foram freqüentes na região desde então, configurando a província mineral principalmente sobre metavulcanitos básicos e formações ferríferas do Arqueano (Maurity e Kotschoubey, 1995), bem como rochas sedimentares Arqueanas. Ao final do Terciário Inferior, a crosta litificada ou laterítica sofreu uma progressiva degradação causada por variações climáticas e por lentos e progressivos soerguimentos regionais, que causaram rebaixamento do nível de base e aprofundamento do intemperismo, formando cavidades pseudocársticas.

A partir do Plioceno, e principalmente na evolução Quaternária tardia do Holoceno, os ciclos de alternância climática seco-úmida resultaram na formação generalizada de crostas lateríticas nos períodos secos, acompanhada de savanização, e destruição parcial da crosta por subsidência da

zona saprolítica subjacente, nos períodos úmidos de mais longa duração, favorecendo a expansão das florestas e permitindo o surgimento de depressões pseudo-cársticas, doliniformes. Nas fases úmidas, os rebordos dos relevos tabulares sofreram com a invasão das florestas e da erosão ativa que solapou as escarpas e capturou drenagens do topo, por meio de sistemas de cavidades subterrâneas e cavernas. Como a crosta laterítica é relativamente pouco permeável mas também pouco erodível, protegida pela cimentação, esta sustentou as bordas escarpadas, mas permitiu a formação e perpetuação de lagos nas depressões centrais dos platôs. Bolsões de Canga degradada, residual ou pisolítica, ocorrem de forma esparsa nos platôs, em meio à cobertura de canga laterítica muito antiga.

A evolução geomorfológica dos rebordos dos platôs favoreceu a formação de cavidades de abatimento, com desenvolvimento de processos geoespeleológicos associados, que só recentemente começaram a ser investigados e mais detalhados. São feições representativas de um processo geoquímico e mecânico comum às áreas de canga ferrífera, como a encontrada no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais e nos corpos das minas de N4 e N5 na Serra dos Carajás, já estudados (Maurity e Khoutschubey, 2000). Além da diversidade de espeleotemas que comporta, algumas cavidades são também portadoras de patrimônio arqueológico, também sob contínua investigação no contexto da Floresta Nacional de Carajás.

– Unidades Geomorfológicas

Segundo Resende e Barbosa (1972) os aspectos geomorfológicos marcantes do distrito de Carajás (**Foto 6.1.6.3**) são: vales cobertos pela mata virgem; serras alongadas e íngremes e chapadas ou “mesas”. As chapadas são as feições dominantes, erguidas acima da floresta densa, em forma de clareiras, com encostas geralmente íngremes, cujas feições morfológicas comuns são: a) áreas predominantemente planas, alongadas e situadas mais ou menos ao mesmo nível; b) espigões alongados de perfis convexos com topos suaves ou planos, esculpido sobre canga de minério de ferro, orientados longitudinalmente e erguidos acima da superfície alongada; c) depressões fechadas, com ocorrência de muitos lagos e brejos temporários ou perenes nas áreas planas e rebaixadas. Este esquema pôde ser muito mais detalhado com base nos estudos pedológicos e geomorfológicos de campo realizados por Golder em 2007. Tal detalhamento permitiu uma visão muito mais integradora dos geoambientes da Serra, bem como uma reconstrução mais detalhada do processo evolutivo das geoformas e geoambientes associados.

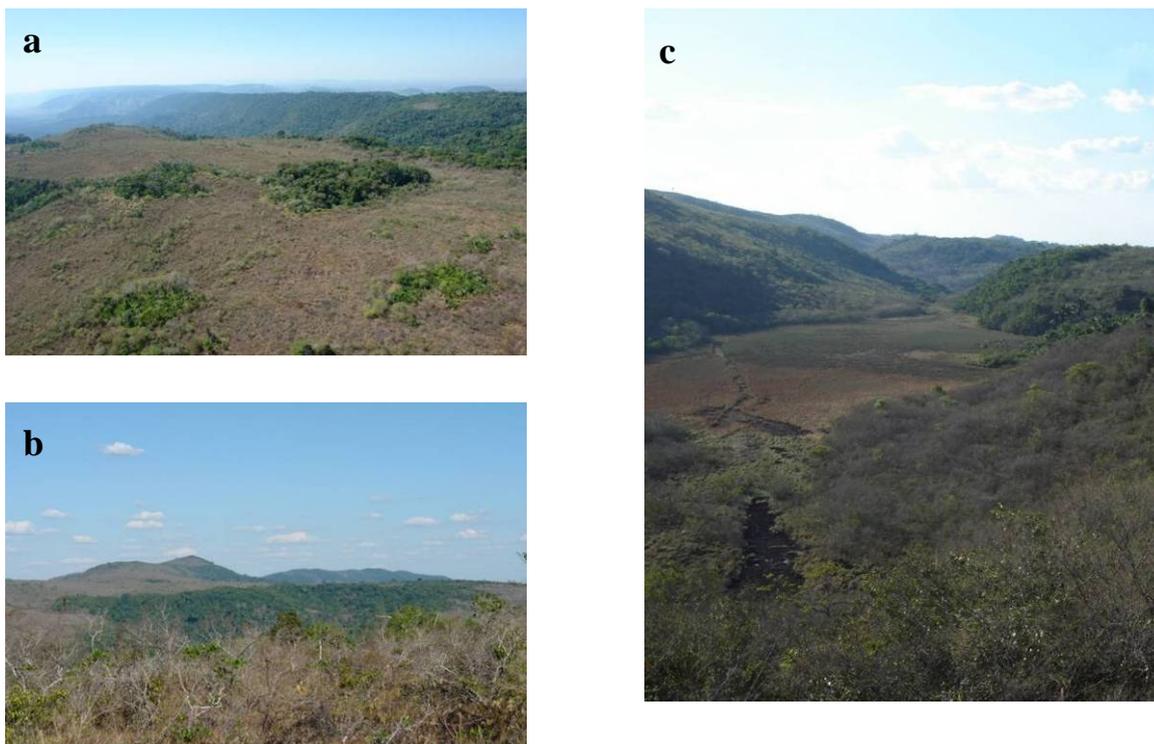


FOTO 6.1.6.3 – Feições morfológicas comuns das chapadas de canga ferrífera de Carajás: a) áreas predominantemente planas, alongadas ou alveolares, situadas mais ou menos ao mesmo nível; b) espigões alongados de perfis convexos, esculpido sobre canga de minério de ferro, orientados longitudinalmente e erguidos acima da superfície alongada; c) depressões fechadas, com ocorrência de muitos lagos e brejos temporários ou perenes nas áreas planas e rebaixadas.

A ADA onde se localizam as estruturas pode ser dividida em duas grandes áreas com características pedogeomorfológicas distintas:

- Área da Mina e Pilhas de Estéril – comporta áreas que serão receptoras da implantação e operação da Mina e das pilhas de estéril. Engloba terrenos elevados localizadas a oeste do Bloco D e terrenos posicionados no flanco sul do mesmo, ambos contidos no interior da Flona Carajás. Essa área pode ser observada na **Figura 6.1.6.9 - Anexo X-G**.
- Área da Usina – áreas que serão destinadas à instalação da Usina de beneficiamento e demais estruturas de apoio às operações do projeto. Posicionam-se em um quadrante à sudeste do Bloco D, já em terras externas ao domínio da Flona de Carajás, numa matriz de áreas muito antropizadas. Essa área pode ser observada na **Figura 6.1.6.9 - Anexo X-G**.

O limite da AID e ADA, por sua vez, foi definido considerando o arranjo das drenagens posicionadas no entorno das diferentes unidades operacionais do projeto, conforme ressaltado no capítulo específico.

Foram identificadas e mapeadas as seguintes unidades geomorfológicas, cujas expressões geográficas e dimensões podem ser observadas na **Figura 6.1.6.10 - Anexo X-H** e na **Tabela 6.1.6.1**:

- Platôs e encostas dissecadas – formas de dissecação de maciços residuais esculpidas sobre litologias das formações Parauapebas e Águas Claras, com vales profundos adaptados a redes de fraturas, recobertos por vegetação florestal. Apresenta um relevo forte ondulado a montanhoso, no qual predominam Latossolos Vermelhos e Plintossolos Pétricos Concrecionários. Ocorrem no interior da Flona de Carajás, ocupando pequena porção (**Tabela 6.1.6.1**) da parte norte da ADA e grande parte da AID relacionada a Mina.
- Escarpas e encostas dissecadas – relevo escarpado, com ravinamento intenso, esculpido sobre litologias da formação Carajás. Este compartimento circunda todo o Corpo S11, constituindo a ligação deste com os níveis de colinas e platôs mais rebaixados em seu redor. Predominam feições côncavas portadoras de depósitos de tálus grosseiros originários da erosão e solapamento da capa de canga que reveste e mantém os platôs de canga. Predominam solos rasos e concrecionários (Cambissolos e Plintossolos Pétricos). Ocorre principalmente na ADA, ao redor de toda a Serra Sul, dentro da Flona de Carajás, sendo que apresentam-se mais abruptas e escarpadas na porção sul do Bloco D, enquanto que na porção norte a declividade é menor. Na AID, ocupa pequenas áreas das porções nordeste, leste e noroeste e oeste (**Tabela 6.1.6.1**). Esta unidade geomorfológica é caracterizada por apresentar declividades superiores a 30% e possui altimetria variando entre 390 e 600 metros, conforme mostram as **Figuras 6.1.6.9 (Anexo X-G - Mapa de altimetria da AID)** e **6.1.6.10 (Anexo X-H - Mapa de declividade)**.
- Encostas com campos rupestres – Os platôs de canga ferrífera-laterítica apresentam-se como fragmentos de dimensões diversas, e mostram evolução morfodinâmica singular no contexto regional. Constituem a superfície mais elevada na Serra Sul, com relevo ondulado, esculpido sobre a formação Carajás, sob vegetação de campos rupestres (savana metalófila). Predominam solos muito rasos sobre camada contínua da canga (Plintossolos Pétricos Litoplínticos). O Corpo S11 é um dos principais residuais de canga ferrífera dentro da Flona de Carajás. Apesar de comumente referida como um platô é na verdade composta por superfícies inclinadas, colinosas ou convexas em diferentes graus, portadoras de drenagens temporárias, lagoas ou depressões do tipo “dolíniformes”. Nos flancos, ou mesmo em quebras locais da carapaça ferruginosa das áreas de canga, são comuns a presença de cavidades de dimensões diversas, em alguns casos, portadoras de espeleotemas típicos de formações ferríferas. Nestas cavidades foi registrada ocorrência de patrimônio arqueológico, agregando importância adicional a esta feição geomorfológica. Esta realidade que constitui a maior parte da ADA (Bloco D) ocorre também na AID (Blocos A, B e C) (**Tabela 6.1.6.1**). Possui também declividades variadas, podendo abranger segmentos com declives superiores a 30%, pontualmente, bem como grandes áreas de configuração levemente inclinada. Comporta os terrenos com altitudes superiores a 600 metros em relação ao nível médio do mar.
- Encostas e grotas com matas – Consistem áreas onde o aprofundamento da drenagem permitiu a formação de solos mais profundos em processo de latossolização (Plintossolos Pétricos Concrecionários), onde ocorrem ilhas de vegetação florestal em meio aos campos rupestres. Ocorrem principalmente na ADA (Bloco D) e, como menor expressão, na AID (Blocos C, B e A) (**Tabela 6.1.6.1**).

- Depressões sob campos mal-drenados e lagos Doliniformes – Estas unidades ocorrem na ADA (Bloco D) em meio aos campos de canga. Constituem depressões planas, com ocorrência de lagos permanentes e brejos temporários, com presença de solos rasos (Plintossolos Pétricos Litoplínticos) e, em alguns casos, com ocorrência de Organossolos. Nestes casos, representam o maior compartimento de carbono orgânico da área estudada, possuindo alto valor ecológico e científico.
- Colinas e Patamares do Itacaiúnas e do Parauapebas – compartimento geomorfológico que ocorre na porção mais rebaixada da área estudada, a partir o sopé das encostas da face sul do Corpo S11. Constitui um relevo dissecados em colinas suave onduladas e onduladas, esculpidos sobre as rochas do complexo Xingu, com predomínio de Argissolos e Cambissolos. É neste compartimento que serão implantadas as principais estruturas da Mina, como a usina de beneficiamento, alojamentos e estrutura administrativa. Neste domínio, as declividades predominantes são inferiores a 5%, com raras ocorrências de relevos residuais onde estas são superiores. A altitude predominante é inferior a 320 metros em relação ao nível do mar. As **Figuras 6.1.6.10 e 6.1.6.11**, apresentadas nos **Anexos X-H e X-I** respectivamente, mostram as altitudes e declividades da área em análise.

TABELA 6.1.6.1**ÁREA DAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS**

Geomorfologia	AID		ADA	
	ha	%	ha	%
Lagos Doliniformes	104,1	0,39	22,93	0,81
Depressões sob Campos mal-drenados	259,19	0,98	91,12	3,21
Encostas e Grotas com Matas	168,86	0,64	104,13	3,67
Platôs e Encostas Dissecadas	953,40	3,60	-	-
Encostas com Campos Rupestres	4.115,24	15,53	1.083,71	38,21
Colinas e Patamares do Itacaiúnas	1.533,29	5,78	3,7	0,13
Colinas e Patamares do Parauapebas	8.250,20	31,13	334,9	11,81
Escarpas e Encostas Dissecadas	11.122,12	41,96	1.196,04	42,17

Características dinâmicas do relevo (presença ou propensão à erosão, assoreamento e inundações, instabilidade etc.)

A caracterização das dinâmicas do relevo, representada pelos processos erosivos deve ser analisada considerando-se o conjunto de fatores ambientais que as determinam, ou seja, basicamente deve-se considerar nessa análise as características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e climatológicas da região.

Neste sentido será apresentado uma descrição específica para o tema processos erosivos, a seguir no **item 6.1.7.b**, após a caracterização pedológica da área de influência.

6.1.7 Pedologia

a) Descrição da pedologia e tipos de solo

6.1.7.1 Pedologia da Área de Influência Indireta (AII)

O primeiro levantamento de solos disponível para a Bacia Hidrográfica do rio Itacaiúnas foi produzido durante o desenvolvimento do Projeto Radam (1974). O mapeamento de cunho exploratório produzido em 1974 está disponível na escala de 1:1.000.000.

A unidade definida como Serra de Carajás foi mapeada como portadora de Latossolos Vermelho-Amarelo Distrófico relacionado a relevo ondulado e forte ondulado.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos são profundos, com relação textural em torno de 1,0, fertilidade natural baixa e saturação de bases também baixa, tratam-se de solos com coloração variando de bruno a bruno amarelado e bruno forte a vermelho-amarelado no horizonte B. São solos permeáveis e muito porosos.

Os Latossolos estão presentes em grande parte das áreas cimeiras da Serra dos Carajás, especialmente nos domínios aplainados onde a Floresta Ombrófila apresenta-se onipresente. Nestas áreas a profundidade do Latossolo pode ultrapassar a 4 metros, reduzindo sua espessura à medida que as superfícies planas começam a inclinar na direção da transição para as encostas ocupadas por formações florestais mais abertas. É importante salientar que não é raro a presença de solos desenvolvidos como o Latossolo mesmo nas áreas mais inclinadas.

Os Solos Litólicos encontram-se associados aos domínios geomorfológicos denominados de platôs associados aos grandes sistemas de serras existentes na região. Tratam-se das áreas cobertas pela dura carapaça de canga, revestidas por formações vegetais do tipo savana.

Associações de Latossolos Vermelho-Amarelos e Gley Pouco Húmico encontram-se distribuídos ao longo das calhas fluviais dos principais rios da região, com destaque para as acumulações de sedimentos ao longo dos rios Parauapebas, Itacaiúnas e Tapirapé.

Os solos Gleyzados apresentam perfis com horizontes orgânico e orgânico-mineral, com grande variação de espessura, nos quais a matéria orgânica está total ou parcialmente decomposta ou em ambas as formas. São solos pouco evoluídos, medianamente profundos, muito mal a mal drenados, muito pouco porosos, muito ácidos e de baixa capacidade de troca de cátions e saturação de bases. São formados em ambientes fortemente influenciados pela presença do nível freático próximo a superfície ou mesmo sobre esta.

Em meio ao domínio da serra dos Carajás, associada à ocorrência de rochas graníticas, foi mapeada uma grande área de Podzólico Vermelho-Amarelo textura argilosa – e Podzólico Vermelho-Amarelo Equivalente Eutrófico textura argilosa relevo suave ondulado.

São solos ácidos, bem desenvolvidos, que possuem um horizonte A fraco e um horizonte B argílico. Caracterizam-se pela significativa diferença textural entre os horizontes A e B, horizonte B estruturado, presença de cerosidade no horizonte B e argila de baixa capacidade de troca. O horizonte B possui espessura variando de 80 a 150 cm.

Nos domínios florestados encontram-se revestidos por formações florestais abertas com grande presença da palmeira babaçu.

Os solos Podzólicos em sua maioria distróficos ocorrem ao longo de todo o domínio colinoso que envolve as áreas serranas como a serra dos Carajás, Serra Leste e Serra do Sereno. Esta classe de solo é a mais representativa no contexto espacial analisado.

O conjunto de serras de menor expressão localizadas na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas como a Serra do Rabo, a Serra da Estrela, as serras Leste e do Sereno são caracterizadas pela presença de solos Litólicos Distróficos, associados à Podzólicos Vermelho-Amarelo e, em menor escala, a afloramentos de rocha. Os solos litólicos são caracterizados pela disposição do horizonte A diretamente ou não sobre a rocha ou pela presença de um perfil muito pouco evoluído.

Tais solos são característicos de relevos muito acentuados como o que se observa nestas serras.

É importante destacar novamente, que os levantamentos de campo produzidos para os estudos de licenciamento ambiental, apesar de pontuais, revelaram uma diversidade pedológica muito mais expressiva do que as que ora foram referenciadas neste trabalho.

Neste sentido, cabe destacar os levantamentos da STCP Engenharia de Projetos Ltda em 1999 e 2006 que apresentam maior detalhamento das unidades pedológicas existentes no perímetro das unidades de conservação representadas pelas Flonas de Carajás e do Tapirapé-Aquiri.

A EMBRAPA (2005), produziu na escala de mapeamento de 1:5.000.000, o Mapa de Solos do Brasil, incorporando os novos conceitos da classificação brasileira de solos data de 1997. Por se tratar da classificação em vigor a abordagem adotada para este trabalho será a dotada no referido documento cujo extrato referente à bacia do rio Itacaiúnas está representado pela **Figura 6.1.7.1** apresentada no **Anexo XI-A**.

Este levantamento pedológico apresentado para a bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, além de mais detalhado, já considera em seus conceitos o atual sistema brasileiro de classificação de solos, publicado pela EMBRAPA em 1999.

A porção central da bacia, coincidente com o domínio da serra dos Carajás é caracterizada pela presença de Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico (**Foto 6.1.7.1**).

Estes solos são caracterizados por serem constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural com argila de atividade baixa imediatamente abaixo do horizonte A ou E. São solos portadores de baixa saturação de bases na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (EMBRAPA,1999).

São solos caracterizados por evolução avançada, com atuação incompleta do processo de ferralitização, em conexão com paragênese caulínica-oxídica ou virtualmente caulínica, na vigência de mobilização de argila da parte mais superficial, com acumulação ou concentração em horizonte subsuperficial.



FOTO 6.1.7.1 – Área de domínio de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, no entorno da Serra da Bocaina, em sua borda meridional.

Considerando-se o domínio de mapeamento apresentado, nota-se que este incorpora áreas das superfícies tabulares onde manchas de coberturas latossólicas já foram observadas, bem como domínios de carapaças ferruginosas extensas, como a serra Norte e a serra Sul. De toda forma, nota-se uma contradição na definição da classe de solo anteriormente apresentada no contexto dos estudos do Projeto Radam, quando boa parte da serra dos Carajás foi mapeada como portadora de Latossolos. Ao mesmo tempo, o presente mapeamento mostra-se alinhado com os levantamentos mais detalhados produzidos para a referida serra, produzidos pela STCP em 1999, que identifica na mesma o predomínio de classes distintas de Argissolos.

O presente mapeamento identifica a presença de Argissolos Vermelho-Amarelo Distróficos em outros terrenos da bacia do rio Itacaiúnas (**Foto 6.1.7.2**). Esta classe de solo foi identificada no alto curso onde se alojam drenagens formadoras da referida bacia, num pequeno alinhamento serrano que corta o rio do Saco e o rio Cateté, encerrando-se antes de alcançar a drenagem do rio Itacaiúnas em sua margem esquerda.



FOTO 6.1.7.2 - A foto mostra o domínio mapeado Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico na porção correspondente ao alto curso da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas.

Esta mesma classe de solo foi também identificada no divisor de águas do córrego Refúgio, afluente do rio Vermelho e do rio Verde, afluente do rio Parauapebas, bem como no entorno do interflúvio que separa as nascentes que se orientam para o rio Sereno daquelas que possuem escoamento para os rios Castanheira e Surpresa, já na porção centro-leste da bacia do rio Itacaiúnas.

Outra expressiva área de ocorrência deste solo pode ser observada na porção extremo-oeste da AII, na margem direita do rio Aquiri, afluente pela margem esquerda do rio Itacaiúnas. Por fim, cabe destacar a extensa faixa de Argissolos localizada na porção extremo norte da área de estudo, incorporando grande parte da bacia do rio Preto.

Uma extensa área de Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico foi mapeada como dominante em praticamente toda a porção centro-sul da área em análise. Esta classe de solo abrange terrenos do alto curso dos rios Itacaiúnas, Parauapebas e Vermelho, estendendo-se de forma contínua até a serra dos Carajás. Sua diferenciação em relação à classe anterior está na alta saturação de bases.

Observa-se que, enquanto os Argissolos distróficos encontram-se associados aos relevos serranos, os eutróficos mostram forte relação com ambientes de dissecação menos expressiva.

É importante destacar que todo o domínio dos Argissolos eutróficos foi considerado no mapeamento pedológico do Projeto Radam em 1974, como área de domínio de Cambissolos. Neste caso, não se tem mapeamentos mais detalhados desta porção da bacia, a exemplo do que se observou para o perímetro que envolve as florestas nacionais de Carajás e do Tapirapé-Aquiri.

O mapeamento apresentado neste trabalho, produzido pela EMBRAPA (2005) identifica, no entanto, uma grande área de domínio de Cambissolos Háplicos Tb Distróficos, em quase totalidade das bacias hidrográficas dos rios Vermelho e Sororó.

Esta classe de solo tem como característica ser constituída por material mineral com horizonte B incipiente imediatamente abaixo do horizonte A ou horizonte hístico com espessura inferior a 40 cm. No presente domínio espacial mapeado, trata-se de uma classe de solo com argila de atividade < 27 cmolc/kg de argila e baixa saturação de bases ($V < 50\%$) na maior parte do horizonte B (inclusive BA), (EMBRAPA,1999).

Este solo encontra-se associado à porção da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas marcada pelos mais baixos níveis de dissecação, sob um domínio litológico mais homogêneo do que o que se observa na porção mais ocidental da área em estudo.

A individualidade pedológica desta porção da AII alinha-se com a individualidade geológica e a preservação da mesma em relação aos efeitos intensos da história da evolução estrutural da região.

Ao longo das calhas fluviais do baixo curso dos rios Parauapebas e Itacaiúnas, foi identificada uma área de domínio de Gleissolos Háplicos Tb Distróficos.

Os Gleissolos são constituídos por material mineral com horizonte glei imediatamente abaixo do horizonte A, ou de horizonte hístico com menos de 40 cm de espessura; ou horizonte glei começando dentro de 50 cm da superfície do solo; não apresentam horizonte plântico ou vértico, acima do horizonte glei ou coincidente com este, nem horizonte B textural com mudança textural abrupta coincidente com o horizonte glei, nem qualquer horizonte diagnóstico acima do horizonte glei. (EMBRAPA,1999).

No presente caso, foram identificados como solos de atividade baixa e baixa saturação por bases na maior parte dos primeiros 120 cm a partir da superfície do solo.

Esta classe de solos encontra-se associada a ambientes de influência notável do lençol freático, bem como associado à uma dinâmica fluvial caracterizada pela frequência das águas nestes terrenos. Seguramente, tal classe de solos ocorre, em áreas de menor expressão, em muitas outras porções da bacia do rio Itacaiúnas, onde as características ambientais assinaladas se fizerem presentes.

Há que se ressaltar que a unidade de mapeamento apresentada na **Figura 6.1.7.1** que consta no **Anexo XI-A**, parece expandir por segmentos de encostas onde a gênese de tal classe de solos é difícil de se esperar.

O Latossolo Vermelho-Amarelo apresenta-se como uma importante classe de solos presente na porção centro-norte da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas. Seu domínio expande-se a partir do limite setentrional da serra dos Carajás, alcançando uma estreita faixa na margem esquerda do rio Itacaiúnas, estendendo-se até as proximidades da confluência deste com o rio Parauapebas. Ocorre associado a relevos colinosos convexos, especialmente quando esta geoforma mostra topos mais largos e planos.

Os Latossolos caracterizam-se por serem solos constituídos de material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresenta mais de 150 cm de espessura. (EMBRAPA,1999).

Solos caracterizados por evolução muito avançada com atuação expressiva de processo de latolização (ferralitização ou laterização), segundo intemperização intensa dos constituintes minerais primários, e mesmo secundários menos resistentes, concentração relativa de argilominerais resistentes e/ou óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, com inexpressiva mobilização ou migração de argila, ferrólise, gleização ou plintitização.

No presente caso, o Latossolo identificado caracteriza-se por conter baixa saturação de bases na maior parte dos primeiros 100 cm, inclusive BA.

Na porção extremo oeste da bacia do rio Itacaiúnas foi mapeada uma área de ocorrência de Neossolos Litólicos Distróficos, associados a porções cimeiras de subbacias que deságuam no referido curso de água, em sua margem esquerda.

São solos considerados em processo de formação, seja pela ausência dos processos pedogenéticos ou por características inerentes ao material originário.

Apresentam insuficiência de manifestação dos atributos diagnósticos que caracterizam os diversos processos de formação. Exígua diferenciação de horizontes, com individualização de horizonte A seguido de C ou R. Predomínio de características herdadas do material originário.

Os Neossolos são solos pouco evoluídos e sem horizonte B diagnóstico (EMBRAPA,1999). Na AII são caracterizados por baixa saturação de bases, conferindo-lhe o caráter distrófico já assinalado.

Ressalta-se novamente que a **Figura 6.1.7.1 (Anexo XI-A)** mostra um mapeamento mais detalhado do que a informação pedológica produzida pelos levantamentos necessários ao desenvolvimento do Projeto Radam. No entanto, ressalvas devem ser consideradas no mapa pedológico ora analisado, dado que o mesmo ainda apresenta-se dotado de generalizações que em tese podem induzir a interpretações equivocadas sobre a qualidade do substrato pedológico da área em estudo. É importante assinalar que as informações apresentadas em ambos mapeamentos são resultantes de abordagens regionais.

Os Plintossolos compreendem solos constituídos por material mineral, com Horizonte Plíntico (presença de plintita em quantidade igual ou superior a 15% e espessura de pelo menos 15 cm). O Horizonte Plíntico apresenta geralmente argila de baixa atividade.

Estes solos ocorrem em terrenos com aquíferos freáticos elevados ou com restrição temporária à percolação hídrica.

Na área em estudo o grande grupo PLINTOSSOLO HÁPLICO, segundo mapeamento realizado pela EMBRAPA (2005), é encontrado nas cabeceiras do rio Socorozinho, afluente do rio Socoró, a leste da área em estudo.

6.1.7.2 Pedologia da Área de Influência Direta (AID) e Diretamente Afetada (ADA)

As análises de estudos pedológicos disponibilizados pela EMBRAPA, e os dados obtidos em campanha de campo permitiram a identificação, dentro do primeiro nível categórico, de cinco ordens de solo ocorrentes na área estudada, conforme relacionado a seguir: ARGISSOLOS, CAMBISSOLOS, PLINTOSSOLOS, LATOSSOLOS e ORGANOSSOLOS.

Considerando o segundo nível categórico de classificação dos solos foram identificadas oito subordens. Os ARGISSOLOS AMARELOS, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS DISTRÓFICOS, CAMBISSOLOS HÁPLICOS DISTRÓFICOS, PLINTOSSOLOS PÉTRICOS, LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO, LATOSSOLO VERMELHO PERFÉRICO, ORGANOSSOLO FÓLICO e ORGANOSSOLO HÁPLICO.

Essas subordens compõem as unidades de mapeamento definidas e são descritas a seguir. A distribuição geográfica e área ocupada por cada unidade pode ser observada na **Figura 6.1.7.2**, apresentada no **Anexo XI-B**.

- **Argissolos**

A ordem dos ARGISSOLOS encontra-se representada pelas subordens dos ARGISSOLOS AMARELOS e ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS e pelos grupos ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico epipedregoso, ARGISSOLO AMARELO Tb Distrófico cascalhento, ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, ARGISSOLO AMARELO Tb Distrófico (epieutrófico) endoconcrecionário.

Os ARGISSOLOS AMARELOS E OS ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS distróficos durante os levantamentos de campo foram observados no entorno da Flona de Carajás, (Perfis 18, 19, 20 e 21).

De modo geral, os Argissolos Distróficos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta conjugada com saturação por bases baixa e/ou caráter alítico na maior parte do horizonte B. São solos distróficos, portanto considerado de média fertilidade, e apresentam textura argilosa.

A seguir serão apresentadas as descrições gerais e morfológicas dos perfis dos Argissolos encontrados na ADA, a localização dos pontos dos perfis pode ser visualizada na **Figura 6.1.7.2 (Anexo XI-B)**.

PERFIL 18

DESCRIÇÃO GERAL

Data: 03/08/2007

Classificação: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico epipedregoso

Localização, município, estado e coordenadas: Entorno da Flona de Carajás, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 575798 / 9286438.

Altitude: 306 metros.

Litologia: Gnaisse, granulitos e anfibolitos.

Formação geológica: Complexo Xingu.

Material originário: Produto de alteração do material supracitado.

Pedregosidade: Pedregosa.

Rochosidade: Não rochosa.

Relevo local: Suave ondulado.

Relevo regional: Ondulado.

Erosão: Forte.

Drenagem: Bem drenado.

Vegetação primária: Pastagem.

Clima: Aw da classificação de Koppen.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-10 cm; Cinzento (2,5Y 6/1); franco-argilo-arenosa; moderada média blocos subangulares e grãos simples; solto, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.

Bt 10-40+ cm; Amarelo-brunado (10YR 6/6); franco-argilo-arenosa; moderada média blocos subangulares; solto, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

Obs.: 70% de pedregosidade até 30 cm e 30% abaixo de 30 cm.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 – 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-10	20	39	20	21	Franco-Argilo-Arenosa
Bt	10-40 ⁺	21	25	28	26	Franco-Argilo-Arenosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³					cmol _c /dm ³				
A	6,08	5,14	7	156	0,5	4,49	1,57	0	4,3	6,46	6,46	10,76
Bt	6,04	4,78	0,7	40	0	1,54	0,56	0	2,9	2,2	2,2	5,1

SB = soma de bases

t = troca catiônica efetiva

T = troca catiônica a pH 7,0

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%		dag/kg		mg/L	mg/dm ³			
A	60	0	0,03	3,98	45,4	3,58	165,9	88,7	1,13
Bt	43,1	0	0	1,96	37,1	0,1	66	12,8	1,02

V = saturação por bases

M = saturação por alumínio

ISNa = índices de satisfação da necessidade de água

MO = determinação da matéria orgânica

Prem = P-remanescente

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,17	0,42	0,00	0,00
Bt	0,00	0,25	0,00	0,00

PERFIL 19**DESCRIÇÃO GERAL***Data:* 03/08/2007*Classificação:* ARGISSOLO AMARELO Tb Distrófico cascalhento*Localização, município, estado e coordenadas:* Entorno da Flona de Carajás, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 575735 / 9286396 m.*Altitude:* 296 metros.*Litologia:* Gnaisse, granulitos e anfibólitos.*Formação geológica:* Complexo Xingu.*Material originário:* Produto de alteração do material supracitado.*Pedregosidade:* Ligeiramente pedregosa.*Rochosidade:* Não rochosa.*Relevo local:* Ondulado.*Relevo regional:* Ondulado.*Erosão:* Forte.*Drenagem:* Bem drenado.*Vegetação primária:* Pastagem.*Clima:* Aw da classificação de Koppen.**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- A 0-10 cm; Bruno-acinzentado (10YR 5/2); franco-arenosa; moderada média blocos subangulares e grãos simples; solto, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.
- Bt 10-40+ cm; Amarelo-brunado (10YR 6/6); franco-arenosa; moderada média blocos subangulares; solto, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 – 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-10	39	31	14	16	Franco-Arenosa
Bt	10-40 ⁺	30	37	18	15	Franco-Arenosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	5,79	4,77	4,4	111	0	2,44	1,32	0	4,8	4,04	4,04	8,84
Bt	5,1	4,21	0,7	19	0	0,42	0,08	0,39	3,8	0,55	0,94	4,35

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
A	45,7	0	0	5,87	45,2	4,21	326	111,9	1,38
Bt	12,6	41,5	0	1,57	36,8	0,11	162,7	26,3	2

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,48	0,00	0,00
Bt	0,00	0,14	0,00	0,00

PERFIL 20**DESCRIÇÃO GERAL***Data:* 03/08/2007*Classificação:* ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico*Localização, município, estado e coordenadas:* Entorno da Flona de Carajás, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 575591 / 9286198.*Altitude:* 283 metros.*Litologia:* Gnaisse, granulitos e anfibolitos.*Formação geológica:* Complexo Xingu.*Material originário:* Produto de alteração do material supracitado.*Pedregosidade:* Pedregosa.*Rochosidade:* Não rochosa.*Relevo local:* Plano.*Relevo regional:* Ondulado.*Erosão:* Ligeira.*Drenagem:* Bem drenado.*Vegetação primária:* Pastagem.*Clima:* Aw da classificação de Koppen.**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- A 0-15 cm; Bruno-amarelado-claro (10YR 6/4); franco;
 AB 15-25 cm;
 BA 25-35 cm;
 Bt1 35-60 cm; Amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8); franco-argilosa;
 Bt2 60-70 cm; Amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8); franco-argilosa;
 Obs.: Solo bicrômico em Bt2 (60-70 cm) indicando goethização atual.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 - 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 - 0,05 mm)	Silte (0,05 - 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-15	9	37	28	26	Franco
Bt1	35-60	10	35	27	28	Franco-Argilosa
Bt2	60-70	10	35	26	29	Franco-Argilosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	5,31	4,07	1,3	56	1,5	1,49	0,7	0,29	6	2,34	2,63	8,34
Bt1	5,33	3,96	0,4	9	2,5	0,34	0,14	0,67	4	0,51	1,18	4,51
Bt2	5,94	4,06	0,4	5	18,6	0,11	0,4	0,58	2,9	0,6	1,18	3,5

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
A	28,1	11	0,25	5,22	35,7	0,79	208,5	31,2	3,3
Bt1	11,3	56,8	0,92	1,3	31,3	0,06	269,7	3,9	4,29
Bt2	17,1	49,2	6,85	1,04	31,9	0,1	145,1	1,2	4,49

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,33	0,00	0,00
Bt1	0,00	0,05	0,00	0,00
Bt2	0,00	0,10	0,00	0,00

PERFIL 21**DESCRIÇÃO GERAL**

Data: 03/08/2007

Classificação: ARGISSOLO AMARELO Tb Distrófico (epieutrófico) endoconcrecionário

Localização, município, estado e coordenadas: Entorno da Flona de Carajás, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 575194 / 9286184.

Altitude: 304 metros.

Litologia: Gnaisse, granulitos e anfibólitos.

Formação geológica: Complexo Xingu.

Material originário: Produto de alteração do material supracitado.

Pedregosidade: Ligeiramente pedregosa.

Rochosidade: Não rochosa.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Ondulado.

Erosão: Forte.

Drenagem: Bem drenado.

Vegetação primária: Floresta Aberta

Clima: Aw da classificação de Koppen.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-20 cm; Cinzento-escuro (10YR 4/1); franco-arenosa;

AB 20-30 cm; cor (); textura;

BA 30-40 cm; Bruno-acinzentado (10YR 5/2); franco-arenosa;

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 – 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-20	32	37	14	17	Franco-Arenosa
BA	30-40	26	41	15	18	Franco-Arenosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	6,55	5,78	1,6	84	0	5,08	1,44	0	2,2	6,73	6,73	8,93
BA	5,25	4,14	0,7	16	0	0,48	0,15	0,77	5,7	0,67	1,44	6,37

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
A	75,4	0	0	4,56	45,5	1,17	20,4	30	0,13
BA	10,5	53,5	0	1,57	31,4	0,07	39,2	6,6	0,49

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,02	0,00	0,00
BA	0,00	0,00	0,00	0,00

– Cambissolos

A ordem dos CAMBISSOLOS possui a maior representatividade espacial na ADA e encontra-se representado pela subordem CAMBISSOLO HÁPLICO e pelo grupo CAMBISSOLOS HÁPLICOS distróficos.

De um modo geral, os CAMBISSOLOS são constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, exceto hístico com 40 cm ou mais de espessura, ou horizonte A chernozêmico, quando o B incipiente apresentar argila de atividade alta e saturação por bases alta. Plintita e petroplintita, horizonte glei e horizonte vértico, se presentes, não satisfazem os requisitos para Plintossolos, Gleissolos e Vertissolos, respectivamente.

Ressalta-se que para esta ordem de solo não houve amostragem.

– Plintossolos

A ordem dos PLINTOSSOLOS encontra-se representada pelas subordens dos PLINTOSSOLOS PÉTRICOS e pelos grupos PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário câmbico, PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplíntico típico, PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário distrófico (léptico ou típico), PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplíntico típico, PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário, PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplíntico húmico, PLINTOSSOLO PÉTRICO lítico típico e PLINTOSSOLO PÉTRICO concrecionário latossólico.

Os PLINTOSSOLOS são representados por um grupamento de solos com expressiva segregação localizada de ferro, atuando como agente de cimentação, com capacidade de consolidação acentuada. No caso das áreas estudadas têm-se a ocorrência generalizada de petroplintita. São solos formados em condições de restrição a percolação da água, caracterizados pela presença de nível litoplíntico ou concrecionário nos primeiros 40 cm de solo ou dentro de 200 cm da superfície do solo se imediatamente subjacente ao horizonte A ou E. Apresentam seqüência de horizontes A-AB-Btf, Bf, Bwf ou Cf. Os Plintossolos constituem a principal classe de solo em todas as áreas de canga estudadas, com elevado conteúdo de petroplintita.

Ressalta-se que os PLINTOSSOLOS durante os levantamentos de campo foram observados na Serra Sul (Blocos A, B, C e D) e estrada de ligação Serra Norte à Serra Sul, (Perfis 01, 04, 05,07, 08, 09, 11, 12, 15, 16, 17, 22, 24, 25, 26, 27, 29, 30, e 31).

A seguir serão apresentadas as descrições gerais e morfológicas dos perfis dos PLINTOSSOLOS encontrados na área em estudo, a localização dos pontos dos perfis podem ser visualizados na **Figura 6.1.7.2 (Anexo XI-B)**.

PERFIL 01**DESCRIÇÃO GERAL***Data:* 02/08/2007*Classificação:* PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário câmbico.*Localização, município, estado e coordenadas:* Flona Carajás – Bloco D, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 572173 / 9292600.*Altitude:* 714 metros*Litologia:* colúvios latossólicos misturados com canga da Formação Carajás.*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.*Material originário:* canga degradada e colúvios de canga da Formação Carajás. Arqueano.*Pedregosidade:* Não pedregosa.*Rochosidade:* Não rochosa.*Relevo local:* Plano.*Relevo regional:* Forte ondulado.*Erosão:* Não aparente.*Drenagem:* Acentuadamente drenado.*Vegetação primária:* Campo rupestre arbustivo de canga ferrífera Vellozia*Clima:* Aw da classificação de Koppen.**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A 0-4 cm; Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/3); franco-argilo-arenosa; moderada pequena blocos subangulares; solto, solto, não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual; concreções frequentes, duras, irregulares, pequenas e grandes.

Bif1 4-25 cm; Vermelho-escuro (10R 3/6); franco-argilosa; forte muito pequena granular; solto, solto, não plástico e não pegajoso; transição ondulada e gradual; concreções frequentes, duras, irregulares, pequenas e grandes.

Bif2 25-60 cm; Vermelho-escuro (10R 3/6); franco-argilosa; forte muito pequena granular; solto, solto, não plástico e não pegajoso; transição irregular e gradual; concreções frequentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas e grandes.

Raízes: Raízes muito finas dentro da canga, abundantes média a grossas no A; muitas médias e grossas no Bi1; muitas médias e grossas no Bi2.

Obs.: Solos com blocos concrecionados entre 25 cm e 70⁺ cm e canga pisolítica e nodular em processo de degradação (60% de concreções), atividade intensa de térmitas.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 - 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 - 0,05 mm)	Silte (0,05 - 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-4	41	7	25	27	Franco-Argilo-Arenosa
Bif1	4-25	25	8	37	30	Franco-Argilosa
Bif2	25-60	28	6	36	30	Franco-Argilosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³					cmol _c /dm ³				
A	4,74	3,32	3,5	75	26,7	0	0,03	1,93	18,8	0,34	2,27	19,14
Bif1	4,70	3,57	2,3	17	0,5	0	0,01	1,25	14	0,05	1,3	14,05
Bif2	4,19	3,81	2	11	0,5	0	0,01	1,06	11,4	0,04	1,10	11,44

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
A	1,8	85	5,11	7,43	20,4	0,56	224,6	1,4	0,04
Bif1	0,4	96,2	0,17	3,91	17	0,38	42,2	0,9	0,09
Bif2	0,3	96,4	0,20	3,26	12,9	0,34	150,3	0,5	0,10

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,00	0,00	0,00
Bif1	0,00	0,00	0,00	0,00
Bif2	0,00	0,00	0,00	0,00

PERFIL 04**DESCRIÇÃO GERAL**

Data: 01/08/2007

Classificação: PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplúntico típico

Localização, município, estado e coordenadas: Flona Carajás – Bloco D), Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 572520 / 9292320.

Altitude: 731 metros

Litologia: canga nodular da Formação Carajás.

Formação geológica: Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

Material originário: canga nodular degradada da Formação Carajás. Arqueano.

Pedregosidade: Moderadamente pedregosa.

Rochosidade: Moderadamente rochosa.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Forte ondulado.

Erosão: Forte.

Drenagem: Mal drenado.

Vegetação primária: Mata baixa (capão florestal aberto) sobre canga degradada.

Clima: Aw da classificação de Köppen.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-3 cm; Vermelho-amarelado (5YR 5/8); franco-argilo-arenosa forte muito pequena granular; solto, solto, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções frequentes, dominantes, duras, esféricas e pequenas.

Cf 3-25⁺ cm; forte muito pequena granular; solto, solto, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções frequentes, dominantes, duras, esféricas e pequenas.

Raízes: Abundantes e finas até 20 cm, inclusive nas fraturas.

Obs.: Atividade intensa de térmitas *Nasuti*.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 - 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 - 0,05 mm)	Silte (0,05 - 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-3	46	8	21	25	Franco-Argilo-Arenosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	5,07	4,28	1,9	17	10,6	0	0	0,48	9,2	0,11	0,59	9,31

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
A	1,2	81,4	7,81	8,61	22,4	0,54	733,6	1,6	0,16

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,00	0,00	0,00

PERFIL 05**DESCRIÇÃO GERAL**

Data: 01/08/2007

Classificação: PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário distrófico (léptico ou típico).

Localização, município, estado e coordenadas: Flona Carajás – Bloco D, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 570918 / 9291589

Altitude: 880 metros

Litologia: campo rupestre e colúvios de canga da Formação Carajás.

Formação geológica: Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

Material originário: canga degradada e colúvios de canga da Formação Carajás. Arqueano.

Pedregosidade: Moderadamente pedregosa.

Rochosidade: Moderadamente rochosa.

Relevo local: Montanhoso.

Relevo regional: Montanhoso.

Erosão: Moderada.

Drenagem: Acentuadamente drenado.

Vegetação primária: Campo rupestre arbustivo de canga ferrífera.

Clima: Aw da classificação de Koppen.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-5 cm; Vermelho muito escuro-acinzentado (2,5YR 2,5/2); franco-arenosa; forte muito pequena e pequena granular; solto, solto, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição plana e gradual; concreções frequentes, duras, angulares e grandes.

Bif 5-50 cm; Vermelho muito escuro-acinzentado (10R 2,5/2); franco-arenosa; forte muito pequena granular; solto, solto, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição irregular e gradual; concreções frequentes, duras, angulares e grandes.

Raízes: Abundantes finas a grossas no A; abundantes finas e médias no Bi.

Obs.: Cupins de solos comuns, poucos montículos, solos formado sobre colúvios de escarpa.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 - 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 - 0,05 mm)	Silte (0,05 - 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-5	50	13	19	18	Franco-Arenosa
Bif	5-50	60	9	21	10	Franco-Arenosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	3,61	3	1,8	30	7,5	0	0,02	2,7	24,8	0,13	2,83	24,93
Bif	3,73	3,6	1,7	14	2,5	0	0	1,54	12,2	0,05	1,59	12,25

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%		dag/kg		mg/L	mg/dm ³			
A	0,5	95,4	1,15	10,17	22,3	1,45	493,7	1,8	0,06
Bif	0,4	96,9	0,68	3,65	22,6	0,59	196,3	1,2	0,28

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,00	0,00	0,00
Bif	0,00	0,00	0,00	0,00

PERFIL 07**DESCRIÇÃO GERAL**

Data: 02/08/2007

Classificação: PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplúntico típico

Localização, município, estado e coordenadas: Flona Carajás – Bloco D, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 572234 / 9292724.

Altitude: 770 metros

Litologia: canga ferrífera da Formação Carajás.

Formação geológica: Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

Material originário: canga ferrífera degradada da Formação Carajás. Arqueano.

Pedregosidade: Muito pedregosa.

Rochosidade: Extremamente rochosa.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Forte ondulado.

Erosão: Forte.

Drenagem: Imperfeitamente drenado.

Vegetação primária: Campo rupestre arbustivo de canga ferrífera Vellozia

Clima: Aw da classificação de Köppen.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-5 cm; Bruno-oliváceo-claro (2,5Y 5/3); franco-argilosa; forte muito pequena granular; solto, solto, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções frequentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas e grandes.

F 5-25⁺ cm.

Raízes: Abundantes e finas, inclusive nas fraturas.

Obs.: Solos muito rasos em bolsões. Atividade intensa de térmitas.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 - 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 - 0,05 mm)	Silte (0,05 - 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-5	20	7	44	29	Franco-Argilosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	4,89	3,39	3,4	35	5,5	0,47	0,17	0,87	19,1	0,75	1,62	19,85

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
A	3,8	53,7	1,48	45,65	14,9	1,14	372,5	2,7	0,36

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,00	0,00	0,00

PERFIL 08**DESCRIÇÃO GERAL***Data:* 02/08/2007*Classificação:* PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplúntico típico*Localização, município, estado e coordenadas:* Flona Carajás – Bloco D, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 573040 / 9291210.*Altitude:* 810 metros*Litologia:* canga ferrífera da Formação Carajás.*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.*Material originário:* canga ferrífera degradada da Formação Carajás. Arqueano.*Pedregosidade:* Muito pedregosa.*Rochosidade:* Extremamente rochosa.*Relevo local:* Plano.*Relevo regional:* Forte ondulado.*Erosão:* Forte.*Drenagem:* Imperfeitamente drenado.*Vegetação primária:* Floresta aberta*Clima:* Aw da classificação de Köppen.**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A 0-5 cm; Bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4); franco-argilo-arenosa; forte muito pequena granular; solto, solto, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções frequentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas e grandes.

F 5-25⁺ cm.

Raízes: Abundantes e finas, inclusive nas fraturas.

Obs.: Solos muito rasos em bolsões. Atividade intensa de térmitas.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 - 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 - 0,05 mm)	Silte (0,05 - 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-5	45	2	23	30	Franco-Argilo-Arenosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	4,4	3,2	4,1	75	13,6	0,93	0,42	2,12	27,8	1,6	3,72	29,4

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%		dag/kg		mg/L	mg/dm ³			
A	5,4	57	1,59	30	2	0,84	837,4	8,2	0,16

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,00	0,00	0,00

PERFIL 09**DESCRIÇÃO GERAL**

Data: 02/08/2007

Classificação: PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário.

Localização, município, estado e coordenadas: Flona Carajás – Bloco D, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 575396 / 9291680.

Altitude: 736 metros.

Litologia: sedimentos derivados da canga ferrífera.

Formação geológica: Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

Material originário: Depósitos fluvio-lacustres derivados da Formação Carajás.

Pedregosidade: Não pedregosa.

Rochosidade: Ligeiramente rochosa.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Forte ondulado.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Mal drenado.

Vegetação primária: Mata baixa (capão florestal aberto) sobre canga degradada.

Clima: Aw da classificação de Koppen.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ah 0-12 cm; Preto (7,5YR 2,5/1); franco; fraca pequena blocos subangulares; solto, plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara; concreções frequentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas e grandes.
- Bif1 10-30 cm; Bruno-amarelado(10YR 5/8); franco; fraca média blocos subangulares; solto, plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara; concreções frequentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas e grandes.
- Bif2 30-45 cm; Vermelho (2,5YR5/8); franco-siltosa; fraca média blocos subangulares; solto, plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara; concreções frequentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas e grandes.
- BC 45-60 cm; Amarelo (10YR 8/8); franco-argilo-arenosa; fraca média blocos subangulares; solto, não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual; concreções frequentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas e grandes.
- Raízes: Poucas e finas no Ah e no Bi1; muitas médias e grossas no Bif2 e BC. No Bif2 e BC predominam raízes de Buritirana.

Obs.: Canga ferrífera sendo degradada, formando ferridrita e reprecipitando.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 - 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 - 0,05 mm)	Silte (0,05 - 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
Ah	0-12	13	26	40	21	Franco
Bif1	12-30	6	29	42	23	Franco
Bif2	30-45	5	19	52	24	Franco-Siltosa
BC	45-60	40	7	26	27	Franco-Argilo-Arenosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
			P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
	H ₂ O	KCl	mg/dm ³			cmol/dm ³						
Ah	4,67	3,95	113,6	53	8	0,19	0,18	1,64	17,5	0,54	2,18	18,04
Bif1	5,12	4,42	208,7	33	14	0	0,04	0,87	14,3	0,18	1,05	14,48
Bif2	5,31	4,68	192,6	24	25	0,02	0	0,39	8,7	0,19	0,58	8,89
BC	5,52	4,61	82,6	21	13	0,03	0,02	0,29	9,9	0,16	0,45	10,06

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
Ah	3	75,2	1,6	40,43	12,1	7,54	375,8	2,1	3,27
Bif1	1,2	82,9	5,8	22,17	6,3	4,16	73,8	0,9	8,49
Bif2	2,1	67,2	18,74	13,04	8,6	6,38	112,8	1,2	13,27
BC	1,6	64,4	12,56	8,48	10,7	3,22	152,3	0,4	4,13

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
Ah	0,00	0,00	0,01	0,00
Bif1	0,00	0,00	0,02	0,39
Bif2	0,00	0,38	0,01	0,77
BC	0,00	0,00	0,00	0,48

PERFIL 11**DESCRIÇÃO GERAL***Data:* 02/08/2007*Classificação:* PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplúntico húmico*Localização, município, estado e coordenadas:* Flona Carajás – Bloco D, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 575334 / 9291726.*Altitude:* 720 metros*Litologia:* canga da Formação Carajás.*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.*Material originário:* colúvio de canga degradada da Formação Carajás. Arqueano.*Pedregosidade:* Ligeiramente pedregosa.*Rochosidade:* Ligeiramente rochosa.*Relevo local:* Suave ondulado.*Relevo regional:* Forte ondulado.*Erosão:* Forte.*Drenagem:* Moderadamente drenado.*Vegetação primária:* Buritizais sobre solos orgânicos.*Clima:* Aw da classificação de Koppen.**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A(h) 0-10 cm; Preto (10YR 2/1); franco; forte muito pequena granular; solto, solto, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções frequentes, duras, angulares, pequenas e grandes.

Bif 10-25 cm; Vermelho muito escuro-acinzentado (2,5YR 2,5/2); franco-arenosa; forte muito pequena granular; solto, solto, não plástico e não pegajoso; transição ondulada e clara; concreções muito frequentes, duras, angulares, pequenas e grandes.

F 25⁺ cm.

Raízes: Abundantes e muito finas a médias no A(h) e muitas e finas a grossas no Bi.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 - 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 - 0,05 mm)	Silte (0,05 - 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A(h)	0-10	35	8	35	22	Franco
Bif	25	53	3	25	19	Franco-Arenosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol/dm ³						
Ah	3,21	2,49	173,4	63	0	0,2	0,08	3,37	36,6	0,44	3,81	37,04
Bif	3,33	2,54	237,3	35	0,5	0,06	0,03	3,28	40,1	0,18	3,46	40,28

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%		dag/kg		mg/L	mg/dm ³			
Ah	1,2	88,5	0	32,93	29,5	7,21	863,1	1,6	3,33
Bif	0,4	94,8	0,06	6,59	27,7	3,57	927,1	1	5,56

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
Ah	0,00	0,00	0,00	0,00
Bif	0,00	0,00	0,00	0,00

PERFIL 12**DESCRIÇÃO GERAL***Data:* 02/08/2007*Classificação:* PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplúntico típico.*Localização, município, estado e coordenadas:* Flona Carajás – Bloco D, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 576230/9292190.*Altitude:* 720 metros*Litologia:* canga nodular da Formação Carajás.*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.*Material originário:* canga nodular degradada da Formação Carajás. Arqueano.*Pedregosidade:* Ligeiramente pedregosa.*Rochosidade:* Ligeiramente rochosa.*Relevo local:* Plano.*Relevo regional:* Forte ondulado.*Erosão:* Não aparente.*Drenagem:* Mal drenado.*Vegetação primária:* Campo gramíneo.*Clima:* Aw da classificação de Köppen.**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A 0-2 cm; Amarelo (10YR 7/8); franco-argilosa; forte muito pequena granular; solto, solto, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções frequentes, duras, esféricas e pequenas.

Bif 2-20 cm; Amarelo (10YR 8/8); franco-argilo-arenosa; forte muito pequena granular; solto, solto, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções frequentes, duras, esféricas e pequenas.

Raízes: Abundantes e finas até 20 cm.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 - 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 - 0,05 mm)	Silte (0,05 - 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-2	17	5	42	36	Franco-Argilosa
Bif	2-20	49	4	18	29	Franco-Argilo-Arenosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	5,21	4,56	2,8	61	23,7	0,49	0,1	0,19	7,8	0,85	1,04	8,65
Bif	5,49	5,82	3	13	0	0,02	0	0	3	0,05	0,05	3,05

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
A	9,8	18,3	9,91	34,56	6,8	2,4	726,7	2,9	1,03
Bif	1,6	0	0	1,83	2,3	0,59	72,8	0,3	1,02

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,10	0,00	0,00
Bif	0,00	0,19	0,00	0,00

PERFIL 15

DESCRIÇÃO GERAL

Data: 03/08/2007

Classificação: PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário câmbico

Localização, município, estado e coordenadas: Flona Carajás – Bloco C, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 568444 / 9295356.

Altitude: 709 metros.

Litologia: sedimentos derivados da canga ferrífera.

Formação geológica: Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

Material originário: Depósitos fluvio-lacustres derivados da Formação Carajás.

Pedregosidade: Não pedregosa.

Rochosidade: Ligeiramente rochosa.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Forte ondulado.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Bem drenado.

Vegetação primária: Campo rupestre arbustivo de canga ferrífera.

Clima: Aw da classificação de Koppen.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

O 15-0 cm; forte pequena granular; solto, solto, plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara; concreções frequentes, duras, irregulares, pequenas.

A 0-10 cm; Vermelho-escuro-acinzentado (10R3/3); franco; forte pequena granular; solto, solto, plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada e abrupta; concreções frequentes, duras, irregulares, pequenas.

Bif1 10-35 cm; Vermelho (2,5YR 4/8); franco-argilosa; forte pequena granular; solto, solto, plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada e gradual; concreções frequentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas.

Bif2 35-80⁺ cm; Vermelho-escuro (2,5YR 3/6); franco-argilosa; forte pequena granular; solto, solto, plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada e difusa; concreções frequentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas e grandes.

Raízes: Abundantes e médias no O; muitas e médias no A e Bif1; poucas e finas no Bif2.

Obs.: Presença de carvão abundante no horizonte A.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 - 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 - 0,05 mm)	Silte (0,05 - 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-10	33	11	31	25	Franco
Bif1	10-35	28	8	36	28	Franco-Argilosa
Bif2	35-80 ⁺	30	7	31	32	Franco-Argilosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	3,94	3,96	17,2	10	0,5	0	0	1,93	18,8	0,03	1,96	18,83
Bif1	4,9	4,71	11,1	3	0	0,03	0,02	0,29	10,7	0,06	0,35	10,76
Bif2	5,04	4,84	12,3	1	0	0	0	0,19	9,4	0	0,19	9,4

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
A	0,2	98,5	0,11	6,72	9,9	1,56	88,7	2,1	0,58
Bif1	0,6	82,9	0	9,13	4	0	43,7	2	0,78
Bif2	0	100	0	6,91	0,8	0,15	35,9	2,8	1,64

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,07	0,05	0,00	0,00
Bif1	0,12	0,07	0,00	0,00
Bif2	0,04	0,15	0,00	0,00

PERFIL 16**DESCRIÇÃO GERAL***Data:* 03/08/2007*Classificação:* PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplúntico típico*Localização, município, estado e coordenadas:* Flona Carajás – Bloco C, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 568193 / 9295392.*Altitude:* 711 metros*Litologia:* canga ferrífera da Formação Carajás.*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.*Material originário:* canga ferrífera degradada da Formação Carajás. Arqueano.*Pedregosidade:* Muito pedregosa.*Rochosidade:* Extremamente rochosa.*Relevo local:* Plano.*Relevo regional:* Forte ondulado.*Erosão:* Forte.*Drenagem:* Imperfeitamente drenado.*Vegetação primária:* Campo rupestre arbustivo de canga ferrífera Vellozia.*Clima:* Aw da classificação de Köppen.**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A 0-8 cm; Bruno muito escuro (7,5YR 2,5/2); franco-argilo-arenosa; forte muito pequena granular; solto, solto, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções frequentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas e grandes.

F 8-25⁺ cm.

Raízes: Abundantes e finas, inclusive nas fraturas.

Obs.: Solos muito rasos em bolsões. Atividade intensa de térmitas.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 – 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-8	52	5	19	24	Franco-Argilo-Arenosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	4,71	3,14	4,3	96	20,7	1,16	0,39	1,35	24	1,89	3,24	25,89

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
A	7,3	41,7	2,78	16,79	25,6	2,05	1036,9	7,4	0,3

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,00	0,00	0,00

PERFIL 17**DESCRIÇÃO GERAL**

Data: 03/08/2007

Classificação: PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplúntico típico

Localização, município, estado e coordenadas: Flona Carajás – Bloco C, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 568032 / 9294244.

Altitude: 768 metros

Litologia: canga ferrífera da Formação Carajás.

Formação geológica: Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

Material originário: colúvio de canga ferrífera degradada da Formação Carajás. Arqueano.

Pedregosidade: Muito pedregosa.

Rochosidade: Extremamente rochosa.

Relevo local: Ondulado.

Relevo regional: Forte ondulado.

Erosão: Forte.

Drenagem: Moderadamente drenado.

Vegetação primária: Campo rupestre arbustivo de canga ferrífera.

Clima: Aw da classificação de Koppen.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-3 cm; Bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4); argila; forte muito pequena granular; solto, solto, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções freqüentes, duras, irregulares, pequenas.

BCf 3-25 cm; Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4); franco-argilosa; forte muito pequena granular; solto, solto, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções freqüentes, duras, irregulares, pequenas e grandes

F 25⁺ cm.

Raízes: Abundantes e finas a médias em A e CF, inclusive nas fraturas.

Obs.: Solos rasos em bolsões. Atividade intensa de térmitas.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 – 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-3	29	5	25	41	Argila
BCf	3-25	41	4	21	34	Franco-Argilosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	4,42	3,18	1,4	98	16,6	0,45	0,36	1,25	20,5	1,13	2,38	21,63
BCf	4,5	3,39	1,1	84	15,6	0,1	0,23	0,77	17,7	0,61	1,38	18,31

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%		dag/kg		mg/L	mg/dm ³			
A	5,2	52,5	3,03	30,65	22,1	1,37	1129,3	5,3	0,32
BCf	3,3	55,8	4,91	6,78	15,7	1,19	191,3	4,3	0,05

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,00	0,00	0,00
BCf	0,00	0,00	0,00	0,00

PERFIL 22**DESCRIÇÃO GERAL**

Data: 03/08/2007

Classificação: PLINTOSSOLO PÉTRICO lítico típico*Localização, município, estado e coordenadas:* Flona Carajás – Bloco C, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 568219/ 9295030.*Altitude:* 717 metros.*Litologia:* Canga residual/campo brejoso/graminoso.*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.*Material originário:* Produto de alteração do material supracitado.*Pedregosidade:* Moderadamente pedregosa.*Rochosidade:* Moderadamente rochosa.*Relevo local:* Plano.*Relevo regional:* Plano.*Erosão:* Moderada.*Drenagem:* Imperfeitamente drenado.*Vegetação primária:* Campo rupestre arbustivo de canga ferrífera.*Clima:* Aw da classificação de Koppen.*Observações:* Camada organo mineral (A) de 5 cm com algumas concreções diretamente sobre a canga.**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A 0-5 cm; Bruno muito escuro (7,5YR 2,5/3); franco-argilosa; granular, muito pequeno; nódulos e concreções muito pouco; muitas raízes finas e muito finas;

F 5- cm; cor (); textura;

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 – 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-5	29	6	34	31	Franco-Argilosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	4,22	4,04	2,1	15	3,5	0	0,01	0,87	12,6	0,07	0,94	12,67

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
A	0,6	92,6	1,62	37,17	16,8	0,55	1011,1	1	0,16

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,00	0,00	0,00

PERFIL 24**DESCRIÇÃO GERAL***Data:* 04/08/2007*Classificação:* PLINTOSSOLO PÉTRICO lítico típico.*Localização, município, estado e coordenadas:* Flona Carajás – Bloco B, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 566482/ 9298172.*Altitude:* 734 metros.*Litologia:* Canga.*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.*Material originário:* Produto de alteração do material supracitado.*Pedregosidade:* Não pedregosa.*Rochosidade:* Não rochosa.*Relevo local:* Plano.*Relevo regional:* Forte ondulado/montanhoso.*Erosão:* Ligeira.*Drenagem:* Bem drenado.*Vegetação primária:* Campo rupestre arbustivo de canga ferrífera.*Clima:* Aw da classificação de Koppen.**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- A 0-5 cm; Bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2); franco-argilo-arenosa; granular, pequeno e forte; nódulos e concreções dominante de forma irregular, tamanho e dureza pequeno, grande e duro; muitas raízes finas e médias;
- F 5-15+ cm; cor (); textura;

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 – 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-5	46	3	21	30	Franco-Argilo-Arenosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	4,6	3,22	3,7	99	16,6	0,89	0,31	1,06	22,7	1,52	2,58	24,22

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
A	6,3	41,1	2,8	16,79	29,1	1,92	254,9	8,3	0,47

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,00	0,00	0,00

PERFIL 25**DESCRIÇÃO GERAL**

Data: 04/08/2007

Classificação: PLINTOSSOLO PÉTRICO concrecionário latossolico (antes CAMBISSOLO FERRÍFERO LATOSSOLICO Endoconcrecionário).

Localização, município, estado e coordenadas: Flona Carajás – Bloco B, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 565417/ 9298706.

Altitude: 597 metros.

Litologia: Canga.

Formação geológica: Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

Material originário: Canga (coluvial e degradada “in situ”).

Pedregosidade: Não pedregosa.

Rochosidade: Ligeiramente rochosa.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Suave ondulado.

Erosão: Ligeira.

Drenagem: Bem drenado.

Vegetação primária: Floresta aberta.

Clima: Aw da classificação de Koppen.

Observações: Bw1 com 45% de concreções; Bw2 com 50% de concreções grandes, médias e pequenas (endoconcrecionário). Bw1 e Bw2 típicos latossolicos.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 10-13 cm; Vermelho-escuro (2,5YR 3/6); argila; concrecionário; granular, muito pequeno; nódulos e concreções muito pouco, esférica, tamanho pequena e dureza pequena; raízes abundantes;
- Bw1 13-30 cm; Vermelho-escuro (10R 3/6); argilo-arenosa; granular, muito pequeno; nódulos e concreções frequente, irregular, tamanho grande; raízes abundantes;
- Bw2 30-60 cm; Vermelho-escuro (10R 3/6); argila; granular, muito pequeno; nódulos e concreções dominante, angular, tamanho grande; raízes abundantes;

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 – 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	10-13	26	12	15	47	Argila
Bw1	13-30	44	7	12	37	Argilo-Arenosa
Bw2	30-60	38	6	13	43	Argila

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	4,45	4	2,5	41	6,5	0,28	0,19	1,45	17	0,6	2,05	17,6
Bw1	4,34	4,29	1	19	2,5	0	0,03	0,77	10,7	0,09	0,86	10,79
Bw2	4,54	4,56	1,1	12	0	0,01	0,03	0,29	8,4	0,07	0,36	8,47

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%		dag/kg		mg/L	Mg/dm ³			
A	3,4	70,7	1,38	15,16	10,6	0,48	232,1	10,9	0,5
Bw1	0,8	89,5	1,26	7,7	13,8	0,31	133	10,4	0,4
Bw2	0,8	80,6	0	5,09	10,5	0,22	82,8	8,1	0,54

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,05	0,00	0,00
Bw1	0,00	0,08	0,00	0,00
Bw2	0,00	0,07	0,00	0,00

PERFIL 26**DESCRIÇÃO GERAL**

Data: 04/08/2007

Classificação: PLINTOSSOLO PÉTRICO concrecionário câmbico (antes CAMBISSOLO FERRÍFERO concrecionário léptico).

Localização, município, estado e coordenadas: Flona Carajás – Bloco A, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 561307/ 9298378.

Litologia: Canga.

Formação geológica: Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

Material originário: Canga degradada.

Pedregosidade: Ligeiramente pedregosa.

Rochosidade: Rochosa.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Ondulado.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Moderadamente drenado.

Vegetação primária: Campo rupestre arbustivo de canga ferrífera.

Clima: Aw da classificação de Koppen.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-3 cm; Bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4); franco-argilosa; ranular; muito pequeno; solto, ligeiramente plástico e não pegejoso;

Bif 3-25 cm; Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/3); franco; pequeno; solto, ligeiramente plástico e não pegejoso; nódulos e concreções dominante, de forma irregular, tamanho e dureza grande;

F 25+ cm

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 – 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-3	37	8	28	27	Franco-Argilosa
Bif	3-25	45	4	29	22	Franco

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	4,92	3,73	17,6	63	7,5	0,05	0,06	2,8	22,9	0,3	3,1	23,2
Bif	3,97	3,91	16,8	27	2,5	0	0,02	2,22	19,7	0,1	2,32	19,8

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
		%		dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
A	1,3	90,3	1,05	29,67	13,4	0,95	282,3	1,8	0,43
Bif	0,5	95,7	0,47	11,35	7,5	0,68	872,7	1,9	0,41

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,10	0,00	0,00
Bif	0,00	0,00	0,00	0,00

PERFIL 27**DESCRIÇÃO GERAL**

Data: 04/08/2007

Classificação: PLINTOSSOLO PÉTRICO litoplintico típico (forma complexo de solos com AR).

Localização, município, estado e coordenadas: Flona Carajás – Bloco A, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 560826/ 9300232.

Altitude: 781 metros.

Litologia: Canga.

Formação geológica: Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

Material originário: Canga degradada.

Pedregosidade: Muito pedregosa.

Rochosidade: Extremamente rochosa.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Forte ondulado/montanhoso.

Erosão: Forte.

Drenagem: Imperfeitamente drenado.

Vegetação primária: Floresta aberta.

Clima: Aw da classificação de Koppen.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-3 cm; Bruno-escuro (10YR 3/3); franco-argilo-arenosa; granular, muito pequena; nódulos e concreções minerais dominante, irregular, pequ e grande; muitas raízes, muito finas, finas e médias;
- F 3-25+ cm; cor (); textura;

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 – 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-3	52	3	17	28	Franco-Argilo-Arenosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	4,56	3,02	1,2	75	15,6	1,05	0,5	1,06	9,5	1,81	2,87	11,31

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
A	16	36,9	2,36	46,95	36,6	1,73	608,8	12	0,31

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,00	0,00	0,00

PERFIL 29**DESCRIÇÃO GERAL**

Data: 04/08/2007

Classificação: PLINTOSSOLO PÉTRICO litoplíntico típico.

Localização, município, estado e coordenadas: Flona Carajás –Bloco A, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 561287/ 9301582.

Altitude: 725 metros.

Litologia: Canga.

Formação geológica: Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

Material originário: Orgânico turfoso.

Pedregosidade: Pedregosa.

Rochosidade: Ligeiramente rochosa.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Plano.

Erosão: Ligeira.

Drenagem: Imperfeitamente drenado.

Vegetação primária: Campo rupestre arbustivo de canga ferrífera.

Clima: Aw da classificação de Koppen.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-4 cm; Bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4); franco-argilo-arenosa; solto, muito friável; nódulos e concreções freqüente, esférica e irregular, pequeno e duro; raízes abundantes, muito finas e finas;

F 4-+cm

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 – 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-4	70	2	6	22	Franco-Argilo-Arenosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	5,18	4,28	1,9	24	2,5	0,05	0,03	0,58	24	0,15	0,73	24,15

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%		dag/kg		mg/L	mg/dm ³			
A	0,6	79,5	1,49	8,09	14,3	0,52	910,5	2,5	0,03

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,00	0,00	0,00

PERFIL 30**DESCRIÇÃO GERAL***Data:* 04/08/2007*Classificação:* PLINTOSSOLO PÉTRICO litoplíntico típico.*Localização, município, estado e coordenadas:* Flona Carajás –Bloco A, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 560833/ 9300740.*Altitude:* 736 metros.*Litologia:* Canga.*Formação geológica:* Cervo*Material originário:* Canga.*Pedregosidade:* Moderadamente pedregosa.*Rochosidade:* Rochosa.*Relevo local:* Ondulado.*Relevo regional:* Ondulado.*Erosão:* Moderada.*Drenagem:* Bem drenado.*Vegetação primária:* Campo rupestre arbustivo de canga ferrífera.*Clima:* Aw da classificação de Koppen.**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A 0-10 cm; Vermelho-amarelado (5YR 4/6); textura argilo-arenosa; granular, muito pequeno e pequeno.

F 10-15+cm

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 – 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-10	46	2	16	36	Argilo-Arenosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	4,48	3,4	4,4	101	21,7	2,37	1,02	1,06	25,1	3,74	4,8	28,84

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
A	13	22,1	1,97	35,87	33,6	1,99	932,3	32,9	0,55

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,00	0,00	0,00

PERFIL 31**DESCRIÇÃO GERAL***Data:* 04/08/2007*Classificação:* PLINTOSSOLO PÉTRICO litoplíntico típico.*Localização, município, estado e coordenadas:* Flona Carajás –Bloco B, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 565357/ 9298724.*Altitude:* 609 metros.*Litologia:* Canga.*Formação geológica:**Material originário:* Canga.*Pedregosidade:* Moderadamente pedregosa.*Rochosidade:* Rochosa.*Relevo local:* Ondulado.*Relevo regional:* Ondulado.*Erosão:* Moderada.*Drenagem:* Bem drenado.*Vegetação primária:* Floresta aberta.*Clima:* Aw da classificação de Koppen.**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

O 3-0 cm; cor (); textura;

A1 0-25 cm; Bruno-avermelhado-escuro(2,5YR 3/4); franco-argilo-arenosa; média, pequeno em blocos subangulares, forte e muito pequeno granular;

AF 25-30 cm; Vermelho-escuro (2,5YR 3/6); franco-argilo-arenosa;

F 30-120+ cm; Vermelho-escuro (10R 3/6); argila;

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 – 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A1	0-25	45	5	21	29	Franco-Argilo-Arenosa
AF	25-30	44	7	18	31	Franco-Argilo-Arenosa
F	30-120 ⁺	25	7	25	43	Argila

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A1	5,51	4,02	5,1	56	9,6	1,02	0,21	0,87	15,6	1,41	2,28	17,01
AF	6,01	5,12	3,3	25	5,5	0,16	0,04	0,29	6,2	0,28	0,57	6,48
F	5,63	6,14	5	5	0,5	0	0	0	1,3	0,01	0,01	1,31

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
A1	8,3	38,2	1,83	13,04	21,9	0,89	459	18,7	0,78
AF	4,3	50,9	4,2	3,91	10,3	0,46	131,4	4,5	0,37
F	0,8	0	21,74	0,65	2,5	0,26	36,4	1,5	0,37

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A1	0,00	0,00	0,00	0,00
AF	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00

– Latossolos

São solos minerais profundos, com horizonte B latossólico (Bw), bem acentuadamente drenados, muito permeáveis e porosos. Os perfis apresentam seqüência de horizonte A-Bw-C com transição normalmente gradual ou difusa. Apresentam avançado estágio de intemperismo, com virtual ausência de minerais primários facilmente alteráveis. Nas áreas levantadas no presente estudo, verificou-se a presença de LATOSSOLO VERMELHO Distroférico petroplíntico. O elevado conteúdo de petroplintita levou-nos a propor a classificação de petroplíntico no 4º nível categórico visto que o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos não prevê este atributo para esta classe.

A elevada permeabilidade destes solos os torna, quando em relevo suave, (superfícies onduladas e tabulares) constituintes de zonas de recarga de aquíferos. Por outro lado as geoformas de relevo homogêneas, onde ocorrem vertentes convexas e rampas de colúvio, favorecem os processos de erosão hídrica laminar que são potencializados pela declividade especialmente por extensos comprimentos de rampas. Quanto maiores os teores de óxidos férricos na fração argila destes solos maior tendência à estruturação granular e, por conseqüência, elevada permeabilidade mesmo quando muito argilosos.

São solos formados a partir da degradação dos blocos de canga em ambientes de acumulação normalmente associados às entradas de cavidades, formando bolsões de material latossólico que condiciona uma maior profundidade efetiva que permite o desenvolvimento de vegetação florestal. Desta forma, a ocorrência dos Latossolos está restrita à área de Mata alta (Capão Florestal denso) sobre Solo Profundo de Canga Degradada, estando associados aos PLINTOSSOLOS PÉTRICOS Concrecionários latossólicos, apresentando características químicas e físicas semelhantes.

Por outro lado, assumindo o mesmo material de origem descrito, os solos tendem a menor nível de fertilidade e maior acidez trocável que as ordens de solos menos desenvolvidos. Exceção feita apenas aos LATOSSOLOS de origem máfica em diques e sills.

A ordem dos LATOSSOLOS encontra-se representada pela subordem dos LATOSSOLO VERMELHO e pelos grupos LATOSSOLO VERMELHO Distroférico plíntico LATOSSOLO VERMELHO PERFÉRICO Endoconcrecionário.

Ressalta-se que os LATOSSOLOS durante os levantamentos de campo foram observados nos Blocos A e D, (Perfis 02 e 03) **Figura 6.1.7.2 (Anexo XI-B)**.

PERFIL 02**DESCRIÇÃO GERAL**

Data: 02/08/2007

Classificação: LATOSSOLO VERMELHO Distroférico plúntico

Localização, município, estado e coordenadas: Flona Carajás – Bloco D, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 572143 / 9292582.

Altitude: 768 metros

Litologia: colúvios latossólicos misturados com canga da Formação Carajás.

Formação geológica: Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

Material originário: canga degradada e colúvios de canga da Formação Carajás. Arqueano.

Pedregosidade: Não pedregosa.

Rochosidade: Não rochosa.

Relevo local: Suave ondulado.

Relevo regional: Forte ondulado.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Acentuadamente drenado.

Vegetação primária: Campo rupestre arbustivo de canga ferrífera Vellozia.

Clima: Aw da classificação de Köppen.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-10 cm; Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4); franco-argilosa; forte muito pequena e pequena granular; solto, solto, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções poucas, duras, irregulares, esféricas e pequenas.
- AB 10-15 cm; Vermelho-escuro (10R3/6); franco; forte muito pequena granular; solto, solto, não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual; concreções frequentes, duras, irregulares, esféricas e grandes.
- Bw1 15-80 cm; Vermelho-escuro (10R3/6); franco; forte muito pequena granular; solto, solto, não plástico e não pegajoso; transição irregular e gradual; concreções frequentes, dominantes, duras, irregulares, esféricas e grandes.
- Bw2 80-110⁺ cm; Vermelho-escuro (10R3/6); franco; forte muito pequena granular; solto, solto, não plástico e não pegajoso; transição irregular e gradual; concreções dominantes, duras, irregulares, esférica e grandes.

Raízes: Abundantes finas a grossas no A e AB; abundantes finas e médias no Bw1; e muitas finas e médias no Bw2.

Obs.: Solos com blocos concrecionados entre 25 cm e 70⁺ cm e canga pisolítica e nodular em processo de degradação (60% de concreções), atividade intensa de térmitas.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 - 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 - 0,05 mm)	Silte (0,05 - 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-10	23	7	40	30	Franco-Argilosa
AB	10-15	25	6	46	23	Franco
Bw1	15-80	24	6	47	23	Franco
Bw2	80-110 ⁺	25	7	44	24	Franco

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³					cmol _c /dm ³				
A	3,55	3,16	16,9	21	1,5	0	0	2,89	21,9	0,07	2,96	21,97
AB	4,39	3,99	18,9	8	0	0	0	1,06	10,8	0,02	1,08	10,82
Bwf1	4,2	4,09	15,7	6	0	0	0	0,67	10,2	0,02	0,69	10,22
Bwf2	4,2	4,08	13,4	7	0,5	0	0	0,58	10,3	0,02	0,6	10,32

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
A	0,3	97,6	0,22	12,13	21,7	0,77	236,3	0,8	0,37
AB	0,2	98,1	0	3,65	13,8	0,79	124	2,3	0,67
Bwf1	0,2	97,1	0	2,74	12,5	0,72	199,7	1,2	1,3
Bwf2	0,2	96,7	0,36	3,13	12,5	1,56	110,9	0,9	0,88

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,06	0,00	0,00
AB	0,00	0,05	0,00	0,00
Bwf1	0,00	0,14	0,00	0,00
Bwf2	0,00	0,03	0,00	0,00

PERFIL 03**DESCRIÇÃO GERAL***Data:* 02/08/2007*Classificação:* LATOSSOLO VERMELHO Distroférico plúntico*Localização, município, estado e coordenadas:* Flona Carajás – Bloco D, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 576315 / 9292142.*Altitude:* 694 metros*Litologia:* colúvios latossólicos misturados com canga da Formação Carajás.*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.*Material originário:* canga degradada e colúvios de canga da Formação Carajás. Arqueano.*Pedregosidade:* Não pedregosa.*Rochosidade:* Não rochosa.*Relevo local:* Plano.*Relevo regional:* Forte ondulado.*Erosão:* Não aparente.*Drenagem:* Acentuadamente drenado.*Vegetação primária:* Campo rupestre arbustivo de canga ferrífera.*Clima:* Aw da classificação de Köppen.**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- A 0-5cm; Vermelho-escuro (2,5YR 3/6); franco; forte muito pequena e pequena granular; solto, solto, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções poucas, duras, irregulares e pequenas.
- Bw1f 5-40 cm; Vermelho-escuro (10R 3/6); franco-argilo-arenosa; forte muito pequena granular; solto, solto, não plástico e não pegajoso; transição ondulada e gradual; concreções muito frequentes, duras, irregulares, esféricas e grandes.
- Bw2f 40-70⁺ cm; Vermelho-escuro (10R 3/6); franco-argilo-arenosa; forte muito pequena granular; solto, solto, não plástico e não pegajoso; transição ondulada e difusa; concreções muito frequentes, duras, irregulares, esféricas e grandes.
- Raízes: Abundantes finas a médias no A; muitas finas e médias no Bw1 e Bw2.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 - 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 - 0,05 mm)	Silte (0,05 - 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
A	0-5	23	15	44	18	Franco
Bw1f	5-40	50	6	19	25	Franco-Argilo-Arenosa
Bw2f	40-70 ⁺	43	6	20	31	Franco-Argilo-Arenosa

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
A	1,3	81,7	0	8,48	4,8	0,37	82,5	10,1	5,36
Bw1f	0,3	92,9	0	4,83	9,1	0,13	57,8	5,4	5,02
Bw2f	0,4	90,6	0	4,96	7,9	0,12	41,3	6,6	5,3

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
			P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
	H ₂ O	KCl	mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
A	4,99	4,4	3,4	16	0	0,06	0,03	0,58	9,5	0,13	0,71	9,63
Bwf1	4,63	4,56	1,3	12	0	0	0	0,39	8,7	0,03	0,42	8,73
Bwf2	4,69	4,69	1,3	10	0	0	0	0,29	8,3	0,03	0,32	8,33

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
A	0,00	0,15	0,00	0,00
Bwf1	0,00	0,05	0,00	0,00
Bwf2	0,00	0,00	0,00	0,00

- **Organossolos**

São solos compostos por material de natureza orgânica. No caso das áreas estudadas, os horizontes orgânicos identificados ocorrem devido ao acúmulo de material orgânico em ambientes que permanecem saturados de água durante grande parte do ano. Nas áreas de maior alagamento, a humificação da matéria orgânica é mais lenta, favorecendo a ocorrência de horizonte H e solos com material orgânico hêmico, caracterizando os. Apenas nas áreas mais bem drenadas ocorrem horizontes sápricos, caracterizados pelo grau avançado de humificação do material orgânico.

Ocorrem em ambientes depressionais que favorecem o acúmulo de água e material orgânico formando campos brejosos. Na estação seca, o solo encontra-se saturado de água a partir de 30 cm de profundidade. Ocorrem também associados aos buritizais.

São solos ácidos, com elevado teor de matéria orgânica e valores relativamente altos de P, quando comparados aos solos minerais formados a partir das rochas ferríferas. Constituem os solos de maior riqueza nutricional, constituindo áreas de extrema importância para a manutenção dos processos ecológicos visto que regulam a vazão das principais drenagens, muitas delas subterrâneas, interligando os diversos lagos e estes às drenagens que descem as serras. Servem como oásis para a fauna local que, por sua vez, contribui para o enriquecimento nutricional destes solos devido a deposição de dejetos, como verificado para o solo de Buritizal amostrado no Corpo S11 Bloco D, que apresenta valores extremamente altos de P disponível, atribuídos à atividade de antas, evidenciada pela presença de fezes e rastros de animais nestas áreas.

Além disso, constituem importantes sinks de carbono orgânico visto que seu posicionamento na paisagem propicia o depósito dos resíduos vegetais e animais produzidos no entorno, que se acumulam em função da baixa atividade microbiana resultante do ambiente anaeróbico que prevalece nestes solos. Apresentam elevado estoque de carbono orgânico cuja datação pode revelar informações importantes para a compreensão da evolução da paisagem na região.

A ordem dos ORGANOSSOLOS encontra-se representada pela subordem dos ORGANOSSOLO FÓLICO e ORGANOSSOLO HÁPLICO.

Ressalta-se que os ORGANOSSOLOS durante os levantamentos de campo foram observados nos Blocos A, B, C e D, (Perfis 06, 10, 13, 14, 23 e 28) **Figura 6.1.7.2 (Anexo XI-B)**.

PERFIL 06**DESCRIÇÃO GERAL***Data:* 01/08/2007*Classificação:* ORGANOSSOLO FÓLICO lítico.*Altitude:* 713 metros*Litologia:* canga dregadada da Formação Carajás.*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.*Material originário:* material orgânico sobre canga degradada da Formação Carajás. Arqueano.*Pedregosidade:* Moderadamente pedregosa.*Rochosidade:* Rochosa.*Relevo local:* Plano.*Relevo regional:* Forte ondulado.*Erosão:* Ligeira.*Drenagem:* Mal drenado.*Vegetação primária:* Campo rupestre arbustivo de canga ferrífera.*Clima:* Aw da classificação de Koppen.**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Oy 0-20 cm; Preto (7,5YR 2,5/1); franco-argilo-arenosa; material fibroso típico.

F 20⁺ cm.

Obs.: Turfeira de campo brejoso típico, com material fibroso atípico para a região.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 - 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 - 0,05 mm)	Silte (0,05 - 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
Oy	0-20	27	27	22	24	Franco-Argilo-Arenosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
Oy	4,52	3,64	5,7	29	13	0	0,02	1,83	14,2	0,15	1,98	14,35

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
		%		dag/kg	mg/L		mg/dm ³		
Oy	1	92,4	2,85	52,17	16,9	0,78	721,2	0,5	0,14

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
Oy	0,00	0,00	0,00	0,06

PERFIL 10**DESCRIÇÃO GERAL***Data:* 02/08/2007*Classificação:* ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico.*Altitude:* 736 metros.*Litologia:* sedimentos derivados da canga ferrífera.*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.*Material originário:* Depósitos fluvio-lacustres derivados da Formação Carajás.*Formação geológica:* Arqueano*Pedregosidade:* Não pedregosa.*Rochosidade:* Ligeiramente rochosa.*Relevo local:* Plano.*Relevo regional:* Forte ondulado.*Erosão:* Não aparente.*Drenagem:* Mal drenado.*Vegetação primária:* Campo brejoso graminoso.*Clima:* Aw da classificação de Koppen.**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- O 0-20 cm; transição clara e plana
- Oy1 20-40 cm; Bruno-escuro (7,5YR 3/3); argilo-arenosa; transição clara e plana
- Oy2 40-70 cm; Preto (7,5YR 2,5/1); franco-argilosa; transição clara e irregular
- CF 70⁺ cm. Bruno-oliváceo-claro (2,5Y 5/4); franco-argilosa;
- Obs.: Solo saturado com água

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 - 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 - 0,05 mm)	Silte (0,05 - 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
Oy1	20-40	46	2	15	37	Argilo-Arenosa
Oy2	40-70	20	7	43	30	Franco-Argilosa
Cf	70 ⁺	40	2	25	33	Franco-Argilosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
Oy1	4,19	3,7	26,6	32	9	0	0,13	2,22	17,2	0,25	2,47	17,45
Oy2	4,96	4,08	399,7	10	3	0	0,03	2,31	26,2	0,07	2,38	26,27
Cf	5,17	4,32	74,7	10	10	0,13	0	0,96	16,5	0,2	1,16	16,7

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%		dag/kg		mg/L	mg/dm ³			
Oy1	1,4	89,9	1,58	34,56	17,3	2,76	71,5	0,8	2,91
Oy2	0,3	97,1	0,55	46,95	4,2	1,78	59,8	0,3	7,49
Cf	1,2	82,8	3,75	9,13	4,6	1,04	112,8	0,2	2,57

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
Oy1	0,00	0,00	0,00	0,02
Oy2	0,00	0,00	0,00	0,16
Cf	0,00	0,00	0,00	0,32

PERFIL 13**DESCRIÇÃO GERAL**

Data: 03/08/2007

Classificação: ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico

Localização, município, estado e coordenadas: Flona Carajás Bloco C, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 567859 / 9296362.

Altitude: 735 metros.

Litologia: sedimentos derivados da canga ferrífera.

Formação geológica: Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

Material originário: Depósitos fluvio-lacustres derivados da Formação Carajás.

Formação geológica: Arqueano

Pedregosidade: Não pedregosa.

Rochosidade: Ligeiramente rochosa.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Forte ondulado.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Mal drenado.

Vegetação primária: Campo rupestre arbustivo de canga ferrífera Vellozia.

Clima: Aw da classificação de Koppen.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O1 0-20 cm; cor (); textura; estrutura grumosa pequena; macio, muito friável; transição clara e ondulada.
- O2/A 20-40 cm; Bruno (7,5YR 4/2); franco-argilosa; estrutura grumosa pequena; macio, muito friável; transição clara e plana.
- F 40+ cm.

Raízes: Abundantes e muito finas a finas no O1, abundantes e finas a médias no O2.

Obs.: Presença freqüente de pelotas fecais de Antas.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 - 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 - 0,05 mm)	Silte (0,05 - 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
O2/A	20-40	14	11	39	36	Franco-Argilosa

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%		dag/kg		mg/L	mg/dm ³			
O2/A	4,97	3,52	10,8	52	18	0	0,08	0,96	8,7

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
O2/A	3,2	76,8	6,26	39,13	31,8	0,81	888	1	0,23	3,2	76,8	6,26

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
O2/A	0,00	0,00	0,00	0,00

PERFIL 14**DESCRIÇÃO GERAL***Data:* 03/08/2007*Classificação:* ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico*Altitude:* 735 metros.*Litologia:* sedimentos derivados da canga ferrífera.*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.*Material originário:* Depósitos fluvio-lacustres derivados da Formação Carajás.*Formação geológica:* Arqueano*Pedregosidade:* Não pedregosa.*Rochosidade:* Ligeiramente rochosa.*Relevo local:* Plano.*Relevo regional:* Forte ondulado.*Erosão:* Não aparente.*Drenagem:* Muito mal drenado.*Vegetação primária:* Campo rupestre arbustivo de canga ferrífera Vellozia.*Clima:* Aw da classificação de Koppen.**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

O1 0-17 cm; Preto (7,5YR 2,5/1); franco-argilo-arenosa; estrutura grumosa pequena; macio, muito friável; transição clara e ondulada.

O2 17-35 cm; Preto (7,5YR 2,5/1); argila; estrutura grumosa pequena; macio, muito friável; transição clara e plana.

F 35⁺ cm.

Raízes: Abundantes e muito finas a finas no O1 e O2.

Obs.: Solo saturado com água.

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 - 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 - 0,05 mm)	Silte (0,05 - 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
O1	0-17	38	9	25	28	Franco-Argilo-Arenosa
O2	17-35	12	5	38	45	Argila

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
O1	5,17	3,9	3,7	21	8	0	0,03	0,58	4,8
O2	5,14	3,96	3	20	5	0,39	0,01	1,25	12,2

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						
O1	2,2	84,1	5,04	30	30,5	1,04	1042,9	0,3	1,03	2,2	84,1	5,04
O2	3,7	72,7	1,26	38,48	11,9	0,62	1054,7	0,3	1,1	3,7	72,7	1,26

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
O1	0,00	0,00	0,00	0,00
O2	0,00	0,00	0,00	0,00

PERFIL 23**DESCRIÇÃO GERAL**

Data: 04/08/2007

Classificação: ORGANOSSOLO HAPLICO Hêmico (Oxy).

Localização, município, estado e coordenadas: Flona Carajás – Bloco B, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 567082/ 9298786.

Altitude: 728 metros.

Litologia: Canga.

Formação geológica: Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

Material originário: Produto de alteração do material supracitado.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Forte ondulado/montanhoso.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Muito mal drenado.

Vegetação primária: Floresta aberta.

Clima: Aw da classificação de Koppen.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O1 0-10 cm; raízes abundantes, muito finas e finas;
 O2 10-20 cm; Preto (7,5YR 2,5/1); argila; muitas raízes finas;
 O3 20-40 cm; Preto (7,5YR 2,5/1); franco-arenosa;

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 – 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
O2	10-20	29	0	19	52	Argila
O3	20-40	52	8	20	20	Franco-Arenosa

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol/dm ³						
O2	4,45	3,94	2,9	16	6	0,19	0,02	0,87	9,2	0,28	1,15	9,48
O3	5,42	4,48	13,3	20	12	0	0,02	1,06	20,7	0,12	1,18	20,82

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
O2	3	75,7	2,27	35,87	21,8	0,82	674,2	0,4	0,58
O3	0,6	89,8	4,42	48,91	3,4	1,72	112,7	0,5	4,54

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
O2	0,00	0,00	0,00	0,13
O3	0,00	0,21	0,02	0,36

PERFIL 28**DESCRIÇÃO GERAL**

Data: 04/08/2007

Classificação: ORGANOSSOLO HÁPLICO HÊMICO LÍTICO fase Canga degradada.

Localização, município, estado e coordenadas: Flona Carajás – Bloco A, Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 560994/ 9301002.

Altitude: 719 metros.

Litologia: Canga.

Formação geológica: Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

Material originário: Orgânico turfoso.

Pedregosidade:

Rochosidade:

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Plano.

Erosão:

Drenagem: Imperfeitamente drenado.

Vegetação primária: Campo rupestre arbustivo de canga ferrífera Vellozia

Clima: Aw da classificação de Koppen.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Oy1 12-0 cm; (10R 3/6Vermelho-escuro); franco; muitas raízes;

Oy2 0-20 cm; Bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2); franco; muitas raízes;

F 20-30 +cm

Horizontes		Composição Granulométrica da Terra Fina (dag/kg)				Classificação
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa (2 – 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (> 0,002 mm)	
Oy1	12-0	29	8	39	24	Franco
Oy2	0-20	20	17	37	26	Franco

Símb.	pH		Complexo Sortivo									
	H ₂ O	KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)
			mg/dm ³			cmol/dm ³						
Oy1	3,9	3,7	21	8	0	0,03	0,58	4,8	0,11	0,69	4,91	3,9
Oy2	4,88	4,13	11,7	21	1	0	0,04	1,54	15,1	0,09	1,63	15,19

Símb.	V	m	ISNa	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
	%			dag/kg	mg/L	mg/dm ³			
Oy1	2,2	84,1	5,04	30	30,5	1,04	1042,9	0,3	1,03
Oy2	0,6	94,5	0,27	47,61	9,1	0,66	566,9	0,2	2,07

Metais Pesados

Símb.	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³			
Oy1	0,00	0,00	0,00	0,00
Oy2	0,00	0,00	0,00	0,23

b) Descrição e mapeamento das áreas mais propensas ao desenvolvimento de processos erosivos

Conforme apresentado ao longo do diagnóstico ambiental elaborado para a caracterização da área de inserção do empreendimento, verifica-se que nela ocorrem diversas condições relativas aos aspectos morfodinâmicos dos terrenos.

O domínio corresponde à área onde se pretende desenvolver as cavas, apesar de sua topografia pouco regular, mostra-se praticamente desprovido de material mobilizável. Nesta porção da área de estudo predominam superfícies rochosas, correspondentes à canga litificada ou ao afloramento de formações rochosas. Nesse sentido, tal porção da área em estudo foi excluída da análise e considerada como um domínio de geral de baixa condição morfodinâmica.

Em contrapartida, os terrenos do seu entorno mostram comportamentos ditados pelas declividades e tipos de solos. No entanto, tais aspectos são fortemente tamponados pela cobertura florestal, especialmente quando esta ocorre sobre terrenos declivosos, como os que bordejam todo o Corpo S11.

Dada a influência diferenciada da vegetação no processo morfodinâmico dos terrenos, a esta foi atribuída um peso de forma a evidenciar sua relevância na estabilidade dos terrenos, apresentado no **item 1.3.1 – metodologia**. Disso resultou um cenário morfodinâmico que pôde ser constatado durante os levantamentos de campo.

Para elaboração do mapeamento dos Processos Morfodinâmicos Erosivos na AID considerou-se também como já descrito no **item 1.3.1 f – metodologia**, os resultados obtidos em termos de:

- distribuição percentual das classes de declividade consideradas;
- distribuição das classes de solos e sua susceptibilidade natural à erosão; e
- usos do solo.

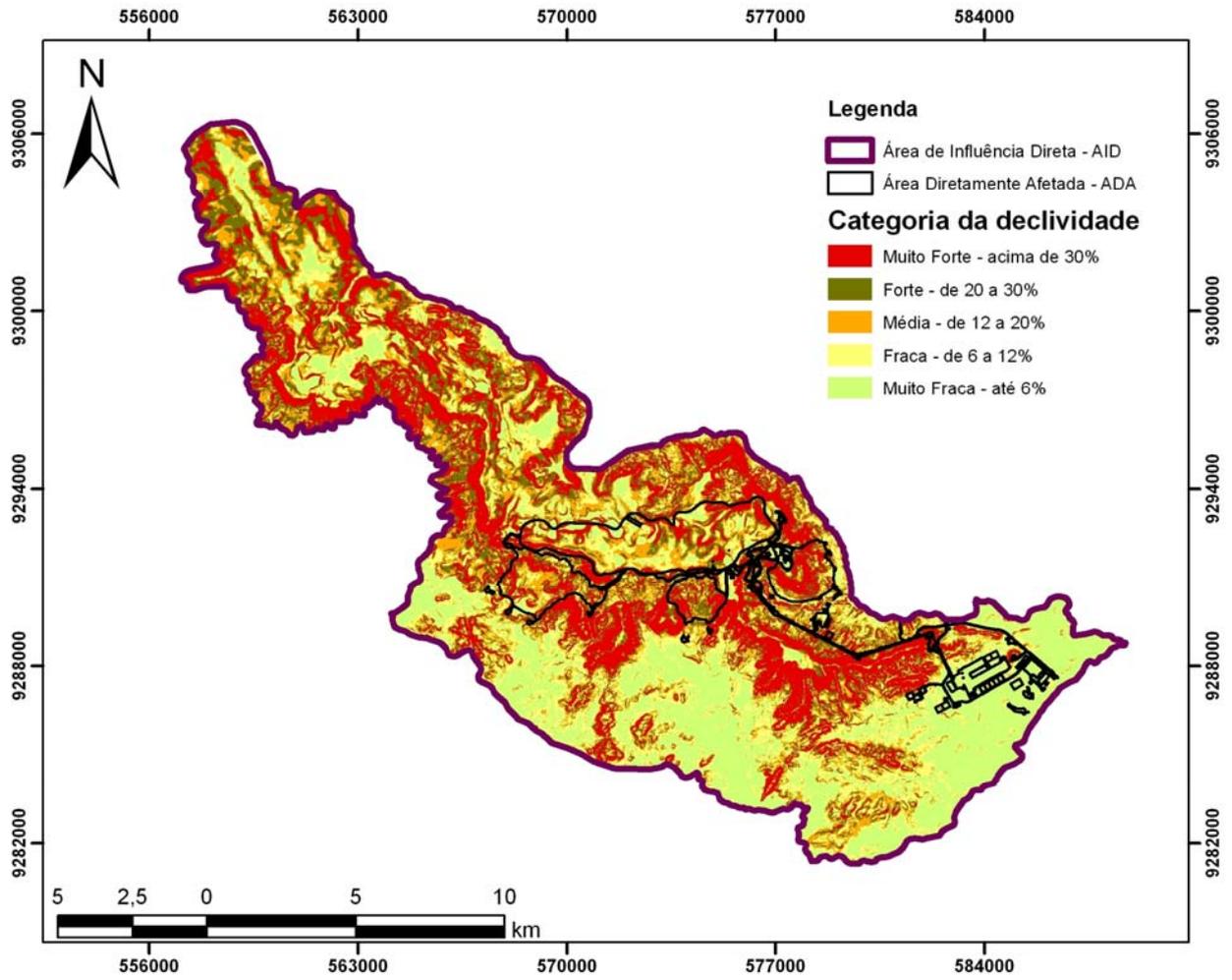
Para melhor entendimento do mapeamento, estes resultados estão sintetizados nas **Tabelas 6.1.7.1 a 6.1.7.3** e nas Figuras **6.1.7.3 a 6.1.7.5** apresentadas a seguir. No item posterior apresenta-se o resultado final do mapeamento à Processos Morfodinâmicos Erosivos na AID.

TABELA 6.1.7.1

DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DAS CLASSES DE DECLIVIDADE NA AID

Declividade	Área (ha)	Percentual
Muito Fraca - até 6%	6953,91	26,27%
Fraca - de 6 a 12%	4088,98	15,45%
Média - de 12 a 20%	4421,9	16,71%
Forte - de 20 a 30%	4550,29	17,19%
Muito Forte - acima de 30%	6454,56	24,38%
TOTAL	26469,64	100,00%

Fonte: Adaptado de Ross, 1992



Fonte: Adaptado de ROSS, 1992.

FIGURA 6.1.7.3 – Mapa dos valores percentuais de declividade na AID

TABELA 6.1.7.2**DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DAS CLASSES DE SOLOS NA AID**

Tipologia de Solo	Área (ha)	Percentual
Argissolo Vermelho Amarelo distrófico + Cambissolo Háplico Tb distrófico plíntico endopedregoso + Neossolo Litólico distrófico fase relevo ondulado Floresta Semidecidual Densa com palmeiras	1556,64	5,87%
Argissolo Vermelho Amarelo distrófico + Cambissolo Háplico Tb distrófico plíntico endopedregoso + Neossolo Litólico distrófico fase relevo ondulado Floresta Semidecidual Densa com palmeiras	1210,6	4,57%
Argissolo Vermelho Amarelo distrófico + Cambissolo Háplico Tb distrófico plíntico epipedregoso Fase relevo suave ondulado Floresta Semidecidual Aberta com palmeiras	6551,58	24,72%
Cambissolo Háplico Tb Distrófico plíntico + Latossolo Vermelho Distroférrico plíntico + Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico Fase relevo montanhoso a escarpado Fase Floresta Ombrófila Aberta de Encostas	5500,47	20,76%
Cambissolo Háplico Tb Distrófico plíntico + Latossolo Vermelho Distroférrico plíntico Fase relevo forte ondulado a montanhoso Floresta Ombrófila Aberta Montana	361,92	1,37%
Cambissolo Háplico Tb Distrófico plíntico + Latossolo Vermelho Distroférrico plíntico Fase relevo montanhoso a escarpado Floresta Ombrófila Aberta de Encostas	575,79	2,17%
Cambissolo Háplico Tb Distrófico plíntico + Latossolo Vermelho Distroférrico plíntico Fase relevo montanhoso a escarpado Floresta Ombrófila Aberta de Encostas	513,59	1,94%
Cambissolo Háplico Tb Distrófico plíntico + Latossolo Vermelho Distroférrico plíntico Fase relevo montanhoso a escarpado Floresta Ombrófila Densa de Encostas	187,65	0,71%
Cambissolo Háplico Tb Distrófico plíntico + Latossolo Vermelho Distroférrico plíntico Fase relevo montanhoso a escarpado Floresta Ombrófila Densa de Encostas	176,17	0,66%
Cambissolo Háplico Tb Distrófico plíntico + Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico + Latossolo Vermelho Distroférrico plíntico Fase relevo montanhoso Floresta Ombrófila Densa de Encostas	5530,21	20,87%
Lagos	123,01	0,46%
Latossolo Vermelho Distroférrico plíntico + Plintossolo Pétrico Concrecionário Latossólico Fase relevo forte ondulado a montanhoso Floresta Ombrófila Densa Montana	136,49	0,52%
Organossolo Háplico Hêmico típico + Organossolo Háplico Sáprico típico + Cambissolo Hístico fase relevo plano Campo brejoso e Buritizais	63,39	0,24%
Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico + Plintossolo Pétrico Concrecionário léptico Fase relevo montanhoso Campo Rupestre arbustivo de canga ferrífera (áreas de canga externas da serra)	415,55	1,57%
Plintossolo Pétrico Concrecionário léptico fase relevo ondulado a forte ondulado Campo rupestre arbustivo de Canga Ferrífera	2898,32	10,94%
Plintossolo Pétrico Litoplíntico e Afloramentos de Canga Ferrífera fase Relevo ondulado a forte ondulado Campo rupestre de Vellozia sobre Canga Ferrífera	649,05	2,45%
Plintossolo Pétrico Litoplíntico e Afloramentos de Rocha fase relevo plano a suave ondulado Campo graminoso sobre Canga nodular	49,43	0,19%
Total	26499,86	100,00%

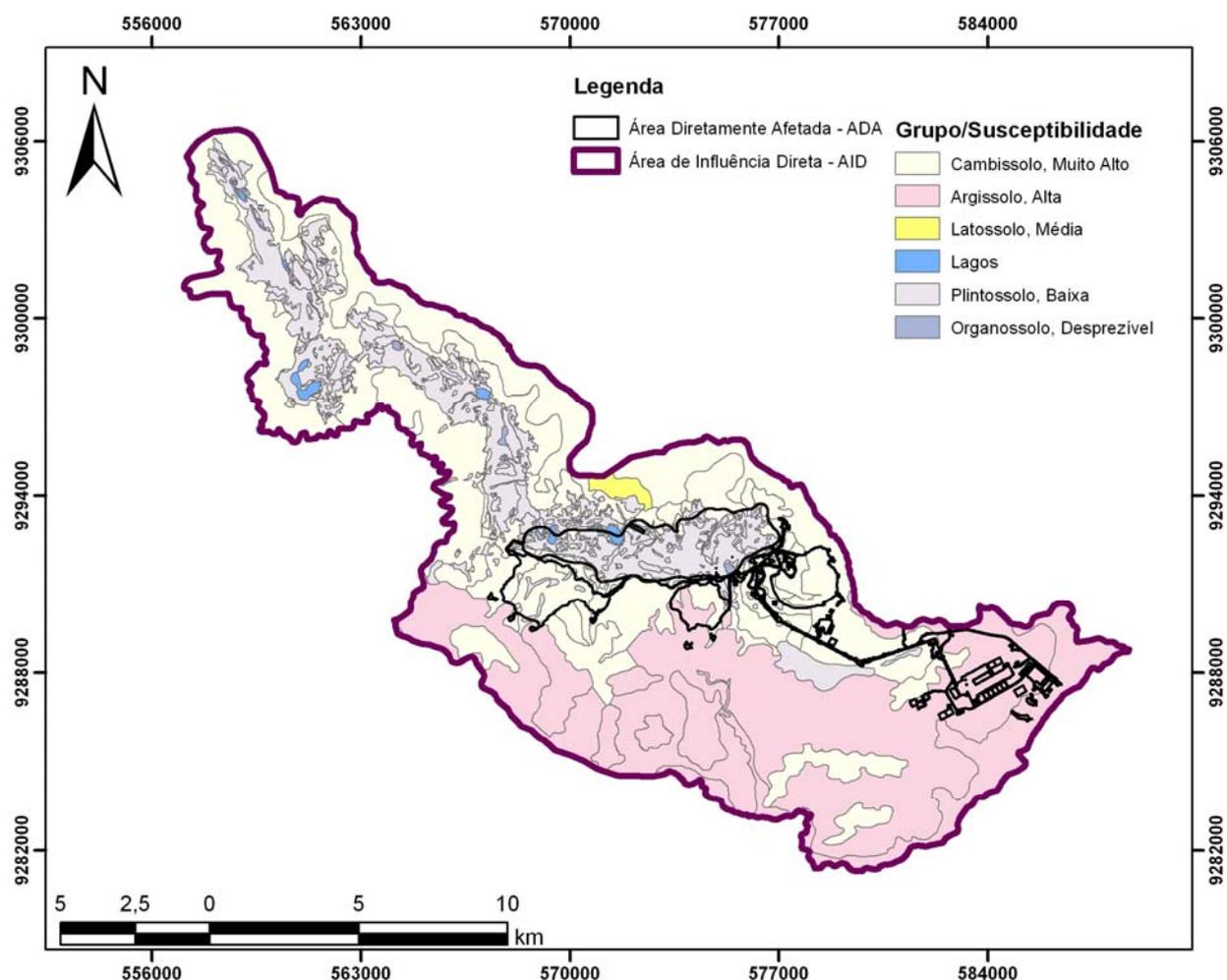


FIGURA 6.1.7.4 – Mapa de solos e susceptibilidade natural à erosão na AID

TABELA 6.1.7.3

DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DOS USOS DO SOLO NA AID.

Tipologia da Cobertura Vegetal e Usos do Solo	Área (ha)	Percentual
Adensamento Populacional	20,53	0,08%
Associação de Floresta Aberta Densa	16973,93	63,95%
Savana Estépica	3643,91	13,73%
Lagos	97,65	0,37%
Pastagem	5805,53	21,87%
Total	26541,55	100,00%

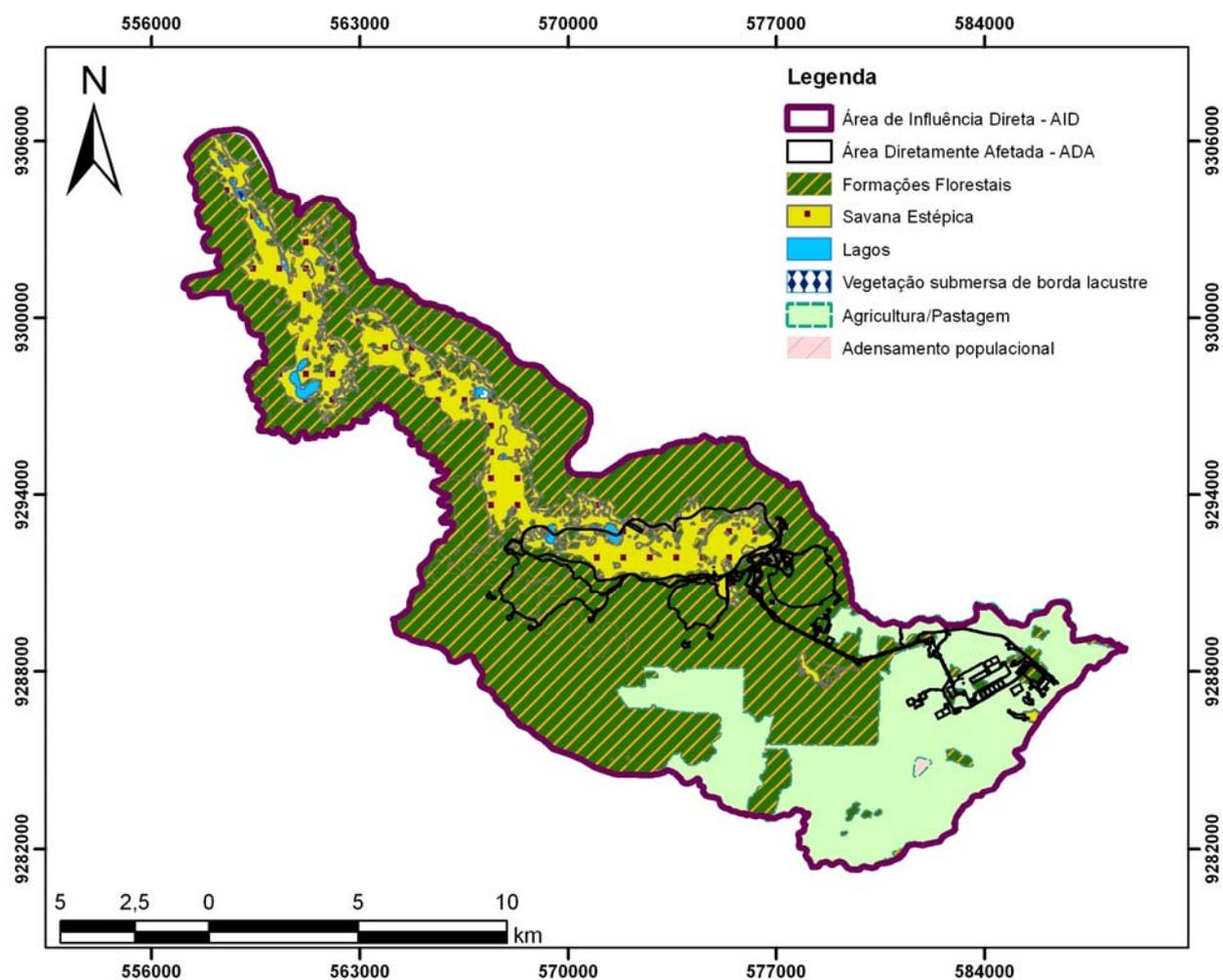


FIGURA 6.1.7.5 – Mapa da cobertura Vegetal e Uso do Solo da AID

b.1) Apresentação do resultado

Após o tratamento de cada um dos temas, os mesmos foram sobrepostos com a utilização do ArcGis, resultando numa combinação dos três atributos (declividades, solos e uso do solo e cobertura vegetal) – vide **Figura 6.1.7.7 – Anexo XI-C**. Após esta operação, foram enquadrados os valores obtidos para cada uma das unidades de mapeamento identificadas (vide **Tabela 6.1.7.4 e Figura 6.1.7.6**).

TABELA 6.1.7.4**DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE SUSCEPTIBILIDADE E RESPECTIVAS ÁREAS NA AID**

Classe de Susceptibilidade a Erosão	Área (ha)	Percentual
Muito Alta	498,20	1,88%
Alta	5715,90	21,61%
Moderada	15537,18	58,74%
Baixa	4573,91	17,29%
Ambiente Lacustre*	125,27	0,47%
TOTAL	26450,47	100,00%

* Ambientes Lacustres não são uma classe de susceptibilidade a erosão, no entanto elas foram contabilizadas no mapeamento uma vez que abrangem 0,47% da área.

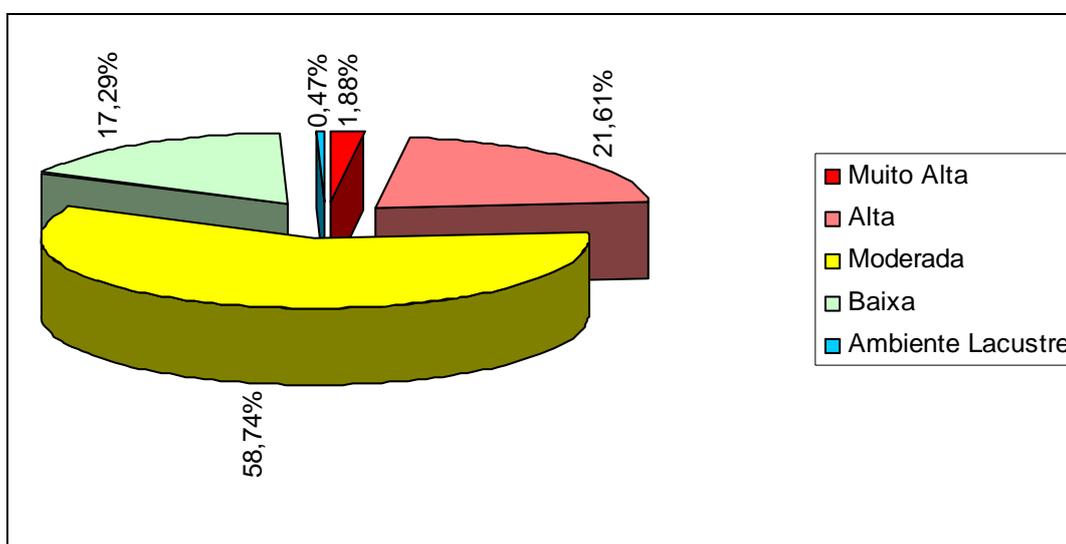


FIGURA 6.1.7.6 – Gráfico de distribuição relativa das classes de susceptibilidade à erosão na AID

6.1.8 Recursos Hídricos

I. Hidrologia

6.1.8.1 Hidrologia da Área de Influência Indireta (AII)

a) Descrição Fisiográfica das Bacias Hidrográficas – AII

O principal curso de água que drena na AII do empreendimento é o rio Itacaiúnas, que é afluente do rio Tocantins em sua margem esquerda, com sua foz no município de Marabá. Na porção central de sua bacia ocorre um grande divisor de águas, representado por diversos segmentos de relevo de direção aproximada NW-SE, que divide a rede de drenagem em duas direções opostas: a oeste para o rio Itacaiúnas e a leste para o rio Parauapebas, principal afluente do rio Itacaiúnas em sua margem direita.

A rede hidrográfica pertencente à bacia do rio Itacaiúnas é fortemente condicionada pela estruturação tectônica do local, consistindo de padrão retangular a subretangular. No interior das áreas de florestas, grande parte das drenagens corre em vales encaixados.

A rede de drenagem é também condicionada principalmente pelo regime de chuvas ocorrente na região. Os cursos de água de primeira ordem, que são aqueles sem afluentes, são geralmente intermitentes, ou seja, só possuem escoamento na estação chuvosa (novembro a abril), permanecendo secos no período de estiagem (junho a setembro). É comum se observar no período de estiagem, sobretudo nas regiões de relevo plano a ondulado, cursos de água com calha úmida ou encharcada, sem apresentar escoamento superficial.

O rio Parauapebas, principal afluente do rio Itacaiúnas, nasce na serra Arqueada e é formado pela junção do ribeirão do Caracol e do igarapé da Onça. Sempre correndo na direção Sul-Norte, conta com os seguintes afluentes pela margem esquerda: córrego da Goiaba, rio Sossego, igarapé do Taboca, igarapé Jacaré e igarapé Cigano ou Mombuca (também conhecido como Gelado). Pela margem direita recebe os rios Plaquê e Verde, igarapé Ilha do Côco e os rios Novo e Caracol.

Na bacia do rio Parauapebas predominam pastagens, matas abertas e agricultura, com exceção da porção noroeste, na faixa preservada da Floresta Nacional de Carajás, onde predominam florestas densas.

Na bacia do rio Itacaiúnas, a montante de sua confluência com o rio Parauapebas, predomina floresta, principalmente nos limites das unidades de conservação. Nas demais áreas predominam pastagens e agricultura.

Diversos empreendimentos e projetos da Vale na região Sul do Pará encontram-se inseridos na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas. A localização relativa dos empreendimentos em relação às principais bacias hidrográficas, assim como a localização do Projeto Ferro Carajás S11D na AII está apresentada na **Figura 6.1.8.1**. No **Anexo XII-A, Figura 6.1.8.2**, apresenta-se o mapa contendo a hidrografia da AII.

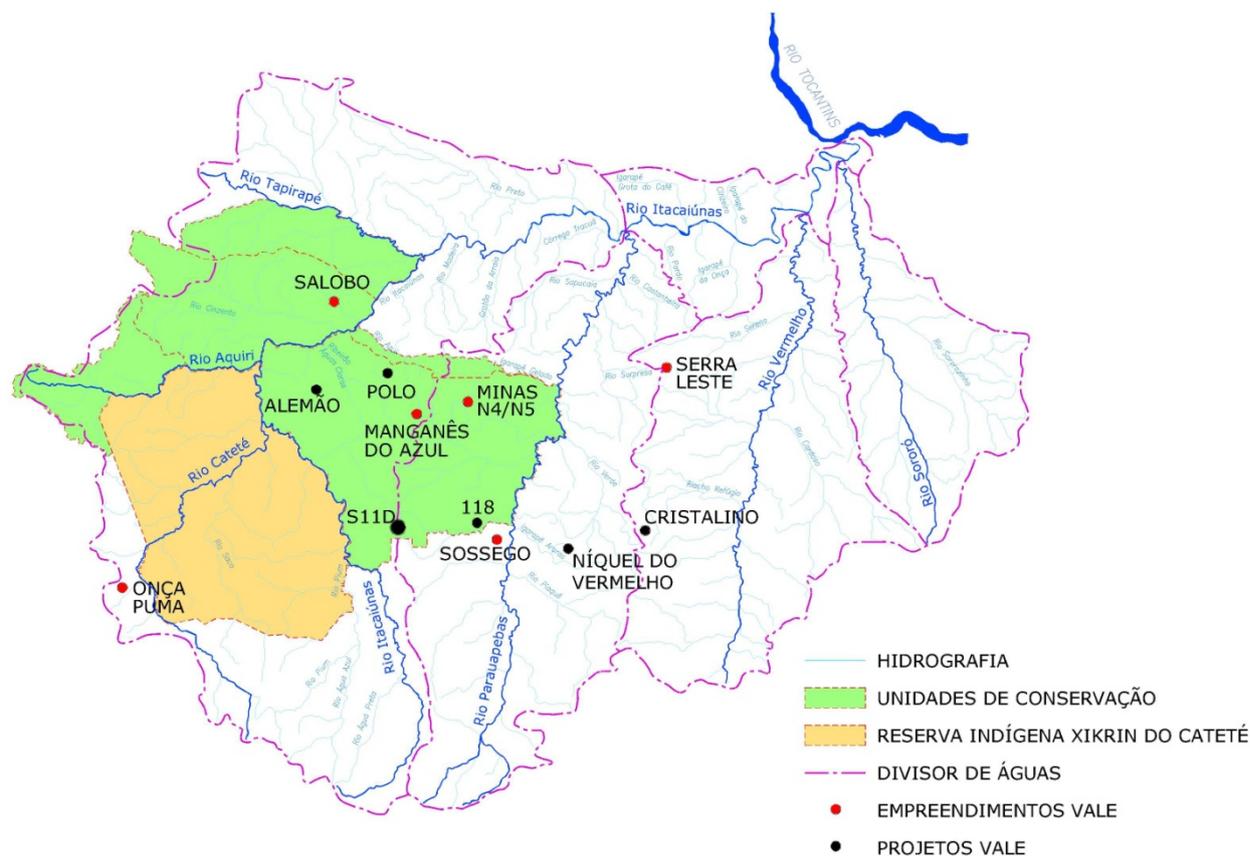


FIGURA 6.1.8.1 – Localização dos Empreendimentos e Projetos da Vale na Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas e suas Sub-Bacias (AII).

Na **Tabela 6.1.8.1** são apresentadas as principais características físicas da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas e de seus principais afluentes.

TABELA 6.1.8.1

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITACAIÚNAS E DE SEUS PRINCIPAIS AFLUENTES

Bacia Hidrográfica	Área de Drenagem (km ²)	Perímetro (km)	Comprimento do Talvegue Principal (km)	Declividade do Talvegue Principal (%)
Rio Itacaiúnas	41.465	1137	505	0,10
Rio Parauapebas	9384	576	263	0,07
Rio Vermelho	7119	325	200	0,05
Rio Sororó	3658	480	147	0,10

b) Caracterização do Sistema Hidrográfico e do Regime Hidrológico da AII

O sistema hidrográfico da AII foi caracterizado no item anterior (**Descrição Fisiográfica das Bacias Hidrográficas – AII**), onde foram identificados os principais afluentes do rio Itacaiúnas. A localização dos postos pluviométricos é apresentada no item “c” do presente capítulo (**Caracterização da Pluviosidade e Evapotranspiração da AII**). A seguir é apresentada a caracterização do regime hidrológico na AII.

– Características do Regime Hidrológico

Seleção das Estações Fluviométricas de Referência

Em escala regional, os registros da ANA indicam 09 estações fluviométricas no entorno da bacia hidrográfica de interesse, sendo 02 no rio Tocantins, 03 no rio Itacaiúnas, 03 no rio Parauapebas e 01 no rio Tapirapé. No entanto, entre essas 09 estações, existe histórico de dados somente em 03 delas: rio Tocantins em Marabá, rio Parauapebas em Fazenda Rio Branco e rio Itacaiúnas em Fazenda Alegria. As características dessas estações são apresentadas na **Tabela 6.1.8.2**.

TABELA 6.1.8.2

ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS REGIONAIS

Código	Nome	Latitude	Longitude	Rio	Período de Observação	Operadora	Área de Drenagem (km²)
29030000	Fazenda São Tomé	-05° 18' 50"	-48° 58' 31"	Tocantins	sem dados	CPRM	690.521
29050000	Marabá	-05° 20' 18"	-49° 07' 27"	Tocantins	Jan/78 a Dez/04	Eletronorte	690.920
29060000	Barra do Cinzento	-05° 52' 59"	-50° 30' 00"	Itacaiúnas	sem dados	DNIT (desativada)	12.140
29061000	Acampamento Caldeirão	-05° 52' 00"	-50° 28' 59"	Itacaiúnas	sem dados	CPRM	12.174
29065000	Jacaré	-05° 37' 00"	-50° 25' 59"	Tapirapé	sem dados	ANA (desativada)	-
29070000	Gelado	-05° 58' 00"	-49° 51' 00"	Parauapebas	sem dados	DNIT (desativada)	7380
29070002	Fazenda Angical	-06° 40' 00"	-50° 01' 00"	Parauapebas	sem dados	ANA (desativada)	7743
29080000	Fazenda Rio Branco	-05° 46' 59"	-49° 48' 00"	Parauapebas	Abr/85 a Ago/95	CPRM (desativada)	9398
29100000	Fazenda Alegria	-05° 30' 50"	-49° 13' 14"	Itacaiúnas	Ago/69 a Dez/08	Eletronorte	37.600

Dessas 03 estações que possuem histórico de dados, a estação instalada no rio Tocantins, em Marabá, registra o regime hidrológico desse curso de água numa bacia com área de drenagem de 690.920 km². Assim, a magnitude dessa bacia requer que seus dados sejam avaliados com cautela para o estudo de bacias com áreas de drenagem menores, por essas não estarem sujeitas às mesmas condicionantes hidrológicas e geológicas presentes na bacia do rio Tocantins.

Restam então para a análise duas estações: a estação Fazenda Rio Branco, no rio Parauapebas, e a estação Fazenda Alegria, no rio Itacaiúnas, ambas próximas à foz desses cursos de água, ou seja, representativas de praticamente todas as suas bacias hidrográficas. A estação Fazenda Alegria, no rio Itacaiúnas, possui histórico de 39 anos de dados (período de 1969 a 2008), ao passo que a estação Fazenda Rio Branco, no rio Parauapebas, possui somente 10 anos de dados (período de 1985 a 1995). Para se obter maior representatividade na análise e utilização dos dados dessas estações, foi considerado o período de dados entre os anos de 1985 e 2004. O histograma de dados para as estações Marabá, Fazenda Rio Branco e Fazenda Alegria é apresentado na **Figura 6.1.8.3**.

Para a uniformização das séries de vazões e o preenchimento de lacunas, foi aplicado um modelo matemático de regressão logarítmica, no qual foram utilizados também os dados da estação Marabá, no rio Tocantins. Os fluviogramas resultantes são apresentados na **Figura 6.1.8.4**.

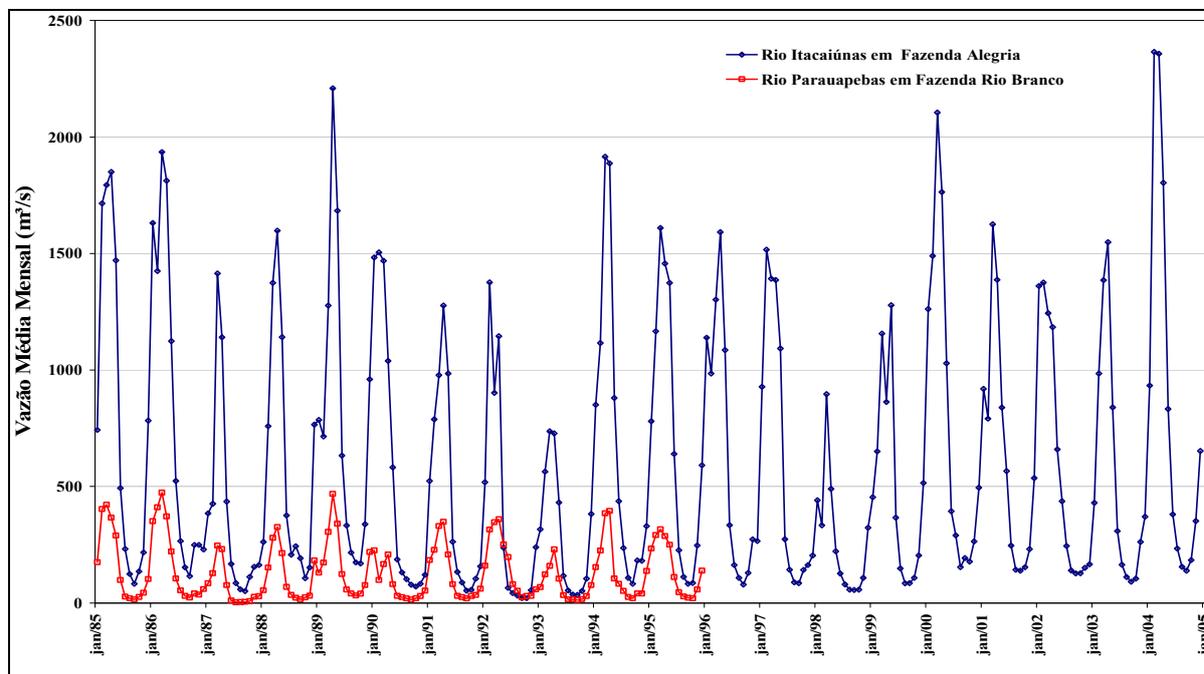


FIGURA 6.1.8.4 – Fluviogramas de vazões médias mensais nas estações fluviométricas de Fazenda Rio Branco e Fazenda Alegria.

A análise dos fluviogramas apresentados na **Figura 6.1.8.4** permite identificar uma marcante proporcionalidade entre eventos máximos e mínimos nas duas seções fluviais. Em termos de vazões médias de longo termo (Q_{MLT}), obtém-se uma vazão de 596 m³/s para o rio Itacaiúnas e de 132 m³/s para o rio Parauapebas, o que corresponde a um rendimento específico médio de 15,9 L/s.km² e de 14,0 L/s.km², respectivamente. Em termos de deflúvio médio anual (D), obtém-se os valores de 500 mm para o rio Itacaiúnas e 444 mm para o rio Parauapebas.

Como as bacias hidrográficas interceptadas por cada um dos empreendimentos da Vale possuem áreas de drenagem muito menores que as bacias desses rios, tendo, portanto, seu potencial hídrico possivelmente afetado por condicionantes geológicas e hidrológicas locais, avaliou-se o regime hidrológico nessas bacias, a partir dos dados registrados na rede de monitoramento fluviométrico da referida empresa nas sub-bacias do rio Itacaiúnas, como forma de incorporar ao estudo regional o reflexo destas condicionantes locais.

Realizando-se uma análise crítica dos dados fluviométricos obtidos no sistema de monitoramento hídrico implantado e operado pela Vale na bacia do rio Itacaiúnas, pode-se observar, de forma geral, que os monitoramentos realizados apresentam histórico de dados inferiores a dez anos de monitoramento. No entanto, nos monitoramentos realizados no Projeto Salobo e Mina do Sossego há um monitoramento sistemático muito representativo do regime hidrológico dos cursos de água monitorados, em que pese o reduzido histórico de dados adquiridos nesses monitoramentos.

A localização dos empreendimentos Salobo e Sossego na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas permite incorporar ao estudo de regionalização características marcantes sobre seu regime hidrológico, tais como as tipologias de relevo, uso do solo e cobertura vegetal, geomorfologia fluvial e regime de precipitação. Assim, procurou-se consistir os dados de monitoramento adquiridos nesses empreendimentos de forma a se estabelecer um cenário de dados fluviométricos que seja representativo para a bacia do rio Itacaiúnas.

O Projeto Salobo encontra-se inserido na bacia hidrográfica do igarapé Salobo, afluente do rio Itacaiúnas em sua margem esquerda. A região do projeto é drenada principalmente por esse igarapé, que recebe em sua margem esquerda dois afluentes mais significativos: o igarapé Mirim e o igarapé Mano.

O sistema de monitoramento de águas superficiais implantado no Projeto Salobo é composto por 04 seções linimétricas no igarapé Salobo, 01 no igarapé Mirim e 01 no igarapé Mano, além de 13 vertedouros instalados em pequenos afluentes dos igarapés principais. Foram também implantados 02 vertedouros em pequenos igarapés afluentes ao rio Cinzento.

De posse das curvas-chaves e das séries de cotas médias diárias observadas nas réguas linimétricas, procedeu-se à geração das séries de vazões nas respectivas seções fluviais. Como resultado, são apresentados na **Figura 6.1.8.5** e na **Tabela 6.1.8.3** os hidrogramas de vazão específica e as vazões médias de longo termo resultantes do monitoramento no Projeto Salobo, respectivamente.

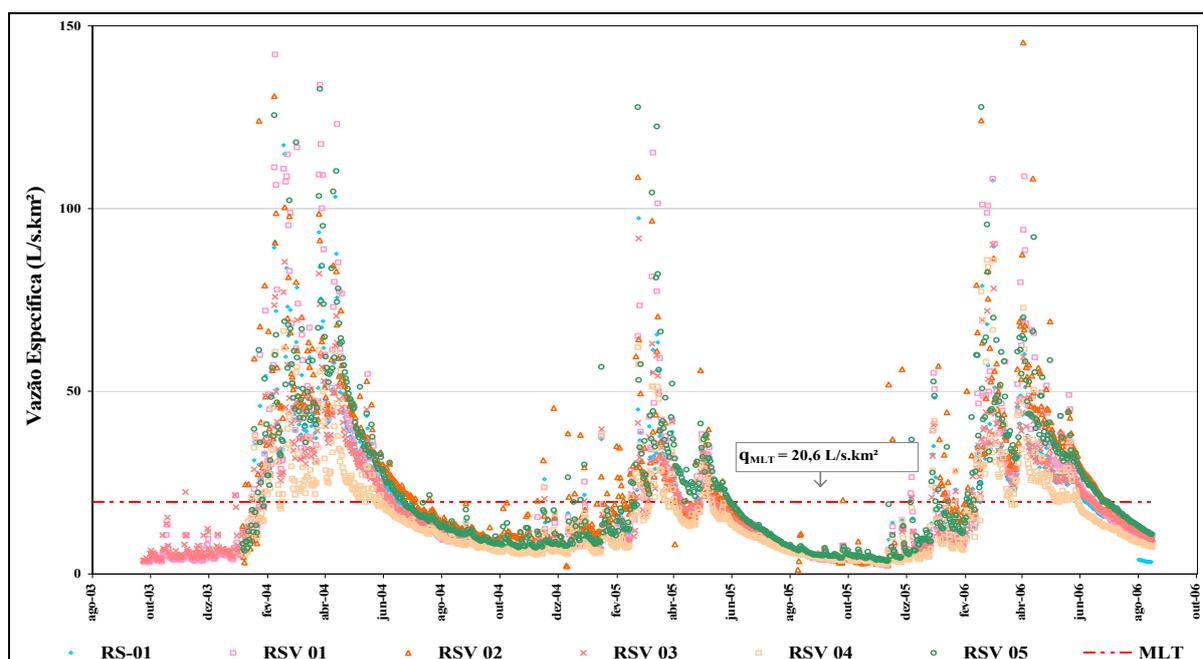


FIGURA 6.1.8.5 – Hidrogramas de vazão específica média diária registrados nas réguas linimétricas instaladas no sítio do Projeto Salobo.

TABELA 6.1.8.3

**VAZÃO MÉDIA DIÁRIA NAS ESTAÇÕES
FLUVIOMÉTRICAS DO PROJETO SALOBO**

Réguas	Curso de Água	Coordenadas UTM		Área de Drenagem (km ²)	Vazão Média ago/03 a ago/06	
					(m ³ /s)	(L/s.km ²)
RS-01	Igarapé Salobo	9.359.673	553.776	186,5	3,76	20,2
RSV-01	Igarapé Salobo	9.356.278	556.354	211,3	4,42	20,9
RSV-02	Igarapé Mirim	9.361.160	552.845	33,1	0,83	25,1
RSV-03	Igarapé Salobo	9.361.208	551.278	147,7	2,57	17,4
RSV-04	Igarapé Salobo	9.362.168	549.603	87,4	1,40	16,0
RSV-05	Igarapé Mano	9.361.920	550.144	55,9	1,35	24,2

Para se avaliar o comportamento na região do Projeto Salobo, em termos de rendimento específico, foi traçada a curva regional de vazão específica, a partir das séries de vazões registradas neste projeto, conforme apresentado na **Figura 6.1.8.6**.

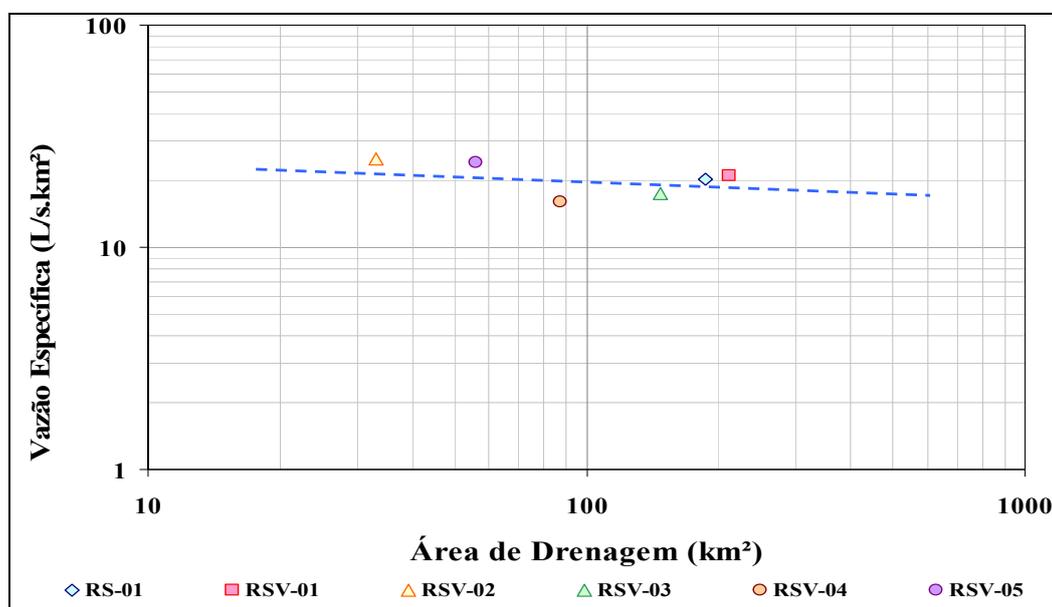


FIGURA 6.1.8.6 – Curva regional de vazão específica média diária no Projeto Salobo.

Analisando-se a curva regional, observa-se que as bacias hidrográficas dos igarapés Mirim e Mano (RSV-02 e RSV-05, respectivamente) apresentam um rendimento específico da ordem de 25 L/s.km². O elevado rendimento dessas bacias se reflete também no rendimento calculado para as seções instaladas no igarapé Salobo, à exceção da seção RSV-04, que apresenta rendimento específico médio de 16,0 L/s.km², uma vez que essa seção encontra-se instalada a montante das confluências com aqueles igarapés. Foi selecionada como representativa do regime hidrológico do igarapé Salobo a estação fluviométrica RSV-03.

A Mina do Sossego encontra-se inserida na sub-bacia hidrográfica do rio Sossego, afluente da margem esquerda do rio Parauapebas, que por sua vez é afluente da margem direita do rio Itacaiúnas. O rio Sossego, principal curso de água na área do empreendimento Mina e Usina Projeto Ferro Carajás S11D, desenvolve-se no sentido oeste – leste desde suas nascentes até sua foz no rio Parauapebas, possui área de drenagem de 527 km² e comprimento total de 51 km. O empreendimento será implantado nas cabeceiras do rio Sossego, o que faz com que esse curso de água se constitua no principal curso de água da região do empreendimento.

O sistema de monitoramento de águas superficiais implantado na Mina do Sossego é constituído por 03 seções linimétricas no rio Parauapebas, 01 seção linimétrica no rio Sossego e 09 vertedouros instalados em pequenos córregos afluentes a esses dois rios de maior porte. A **Tabela 6.1.8.4** apresenta as principais características das seções linimétricas integrantes do sistema de monitoramento instalado.

TABELA 6.1.8.4

CARACTERÍSTICAS DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS DA MINA DO SOSSEGO

Régua	Curso de Água	Coordenadas (UTM)		Área de Drenagem (km ²)
R1	Rio Sossego	9.291.895	605.772	423
R2	Rio Parauapebas	9.292.711	606.640	4354
R3	Rio Parauapebas	9.289.652	606.299	3688
R4	Rio Parauapebas	9.285.363	605.997	3650

Os hidrogramas de vazão específica resultantes do monitoramento na Mina do Sossego são apresentados na **Figura 6.1.8.7**, ao passo que as vazões médias de longo termo são apresentadas na **Tabela 6.1.8.5**.

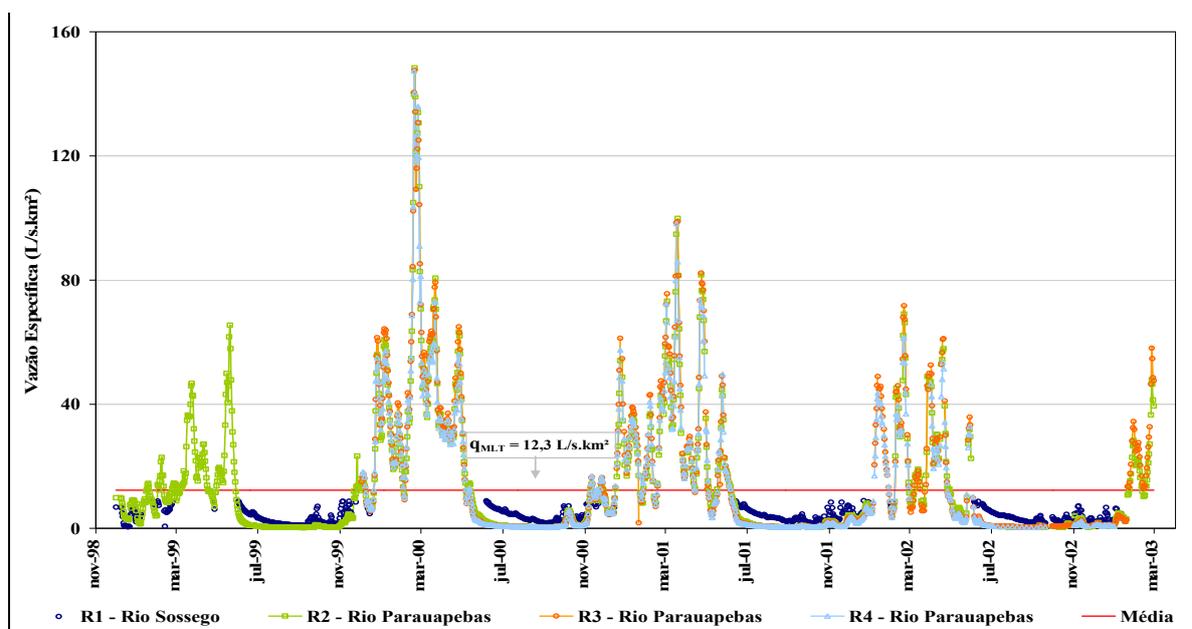


FIGURA 6.1.8.7 – Hidrogramas de vazão específica registrados nas régua linimétricas instaladas no sítio da Mina do Sossego.

TABELA 6.1.8.5

**VAZÃO MÉDIA DIÁRIA NAS ESTAÇÕES
FLUVIOMÉTRICAS DA MINA DO SOSSEGO**

Réguas	Curso de Água	Coordenadas		Área de Drenagem (km ²)	Vazão Média dez/98 a mar/03	
					(m ³ /s)	(L/s.km ²)
R1	Rio Sossego	9.291.895	605.772	423	1,66	3,9
R2	Rio Parauapebas	9.292.711	606.640	4.354	58,8	13,5
R3	Rio Parauapebas	9.289.652	606.299	3.688	57,9	15,7
R4	Rio Parauapebas	9.285.363	605.997	3.650	58,2	15,9

Pode-se observar na **Figura 6.1.8.7**, que a régua R1 instalada no rio Sossego possui registros de vazões apenas no período de estiagem. Isto ocorre porque, no período de chuvas, a seção onde está instalada a régua linimétrica R1 sofre influência do remanso que ocorre na sua confluência com o rio Parauapebas. Como estação fluviométrica representativa para a caracterização do regime hidrológico regional, foi selecionada a seção linimétrica R2, instalada no rio Parauapebas, a jusante de sua confluência com o rio Sossego.

Estabelecimento das Séries de Vazões

Conforme descrito no item anterior, foram selecionadas como referência para os estudos de regionalização de vazões as estações fluviométricas instaladas nos rios Itacaiúnas e Parauapebas e no igarapé Salobo. As características dessas estações estão sintetizadas na **Tabela 6.1.8.6**.

TABELA 6.1.8.6

CARACTERÍSTICAS DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS DE REFERÊNCIA

Estação	Curso de Água	Coordenadas		Área de Drenagem (km ²)
Fazenda Rio Branco (29080000)	Rio Parauapebas	9.360.592	632.821	9398
Fazenda Alegria (29100000)	Rio Itacaiúnas	9.390.192	697.086	37.600
RSV-03	Igarapé Salobo	9.361.208	551.278	148
R2	Rio Parauapebas	9.292.711	606.640	4354

Para a homogeneização das séries de vazões a um período comum de dados, assim como para o preenchimento de lacunas, as séries de Fazenda Rio Branco, RSV-03 e R2 foram correlacionadas com a série de Fazenda Alegria, sendo ajustadas a essas correlações as funções do tipo linear e logarítmica. O ajuste do tipo linear apresenta melhor aderência aos pontos amostrais, exceto no caso da correlação com a estação R2, no rio Parauapebas, melhor descrita segundo uma função logarítmica.

Utilizando-se as funções ajustadas às correlações entre as estações a serem preenchidas e a estação base – Fazenda Alegria – foram geradas as séries de vazões médias mensais para o período comum de 1985 a 2004. As vazões médias obtidas nas séries homogeneizadas estão apresentadas na **Tabela 6.1.8.7**.

TABELA 6.1.8.7

VAZÕES MÉDIAS NAS SÉRIES HOMOGENEIZADAS

Estação	Curso de Água	Área de Drenagem (km ²)	Vazão Média - Q _{MLT}	
			(m ³ /s)	(L/s.km ²)
Fazenda Rio Branco (29080000)	rio Parauapebas	9398	132	14,0
Fazenda Alegria (29100000)	rio Itacaiúnas	37.600	596	15,9
RSV-03	igarapé Salobo	148	2,30	15,5
R2	rio Parauapebas	4354	56,3	12,9

Utilizando-se as séries de vazões homogeneizadas para as estações de referência, foram traçadas as curvas de permanências de vazões, adimensionalizadas em relação à vazão média de longo termo nas respectivas seções fluviais, conforme apresentado na **Figura 6.1.8.8**. Essa concepção decorre do fato de que as estações fluviométricas de referência estão localizadas em bacias com áreas de drenagem de magnitude bastante distintas, sendo adotada a Q_{MLT} como parâmetro de referência por ser essa a variável na qual os fatores intervenientes sobre o regime hidrológico do curso de água são refletidos, tais como a área de drenagem, evapotranspiração e características de armazenamento, ou de regularização.

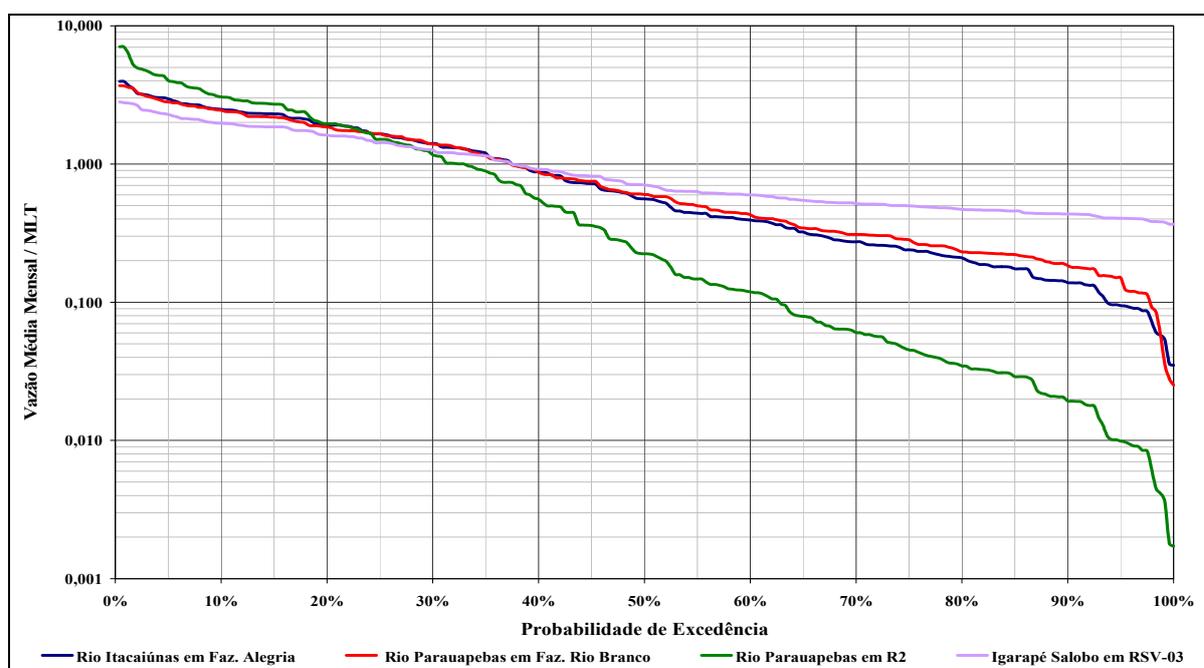


FIGURA 6.1.8.8– Curvas de permanência de vazões médias mensais, adimensionalizadas em relação à vazão média de longo termo.

A análise das curvas de permanência apresentadas na **Figura 6.1.8.8** permite observar que as características das bacias em estudo, tais como as tipologias de relevo, uso do solo e cobertura vegetal, geomorfologia fluvial e regime de precipitação se refletem no regime hidrológico dos cursos de água nas seções fluviais selecionadas.

A curva de permanência de vazões no rio Parauapebas em R2, nas proximidades da confluência com o rio Sossego, está associada ao relevo de reduzidas altitudes, extensas áreas de pastagens, geomorfologia fluvial marcada por cursos de água com seção fluvial de razoável a pouco encaixada e precipitação média anual de cerca de 1700 mm. Como consequência, a curva para essa seção fluvial apresenta uma tendência típica de bacias nas quais predominam escoamentos torrenciais e menor potencial de regularização, ou seja, maior tendência de cursos de água escoando em regime intermitente do que em regime perene, tal como demonstrado nas **Fotos 6.1.8.1 a 6.1.8.3**.

Ressalta-se que a bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas foi dividida em três regiões, com base na similaridade esperada entre os regimes hidrológicos observados nas estações fluviométricas de referência e nas bacias hidrográficas regionais de mesmas características, conforme será descrito a seguir no **item d (vide Figura 6.1.8.14)**.



Fonte: HGM/POTAMOS, 2008.

FOTO 6.1.8.1 – Curso de água típico da Região Hidrológica II (afluente do rio Parauapebas), com escoamento cortado no período de estiagem.



Fonte: HGM/POTAMOS, 2008.

FOTO 6.1.8.2 - Trecho do rio Parauapebas com escoamento cortado durante a estiagem de 2007, em área representativa da Região Hidrológica II (proximidades da Mina do Sossego).



Fonte: HGM/POTAMOS, 2008.

FOTO 6.1.8.3 – Detalhe da calha do rio Parauapebas com escoamento cortado durante a estiagem de 2007, no local de captação da Mina do Sossego.

Analisando-se a curva de permanência de vazões no igarapé Salobo em RSV-03 sob o mesmo enfoque, observa-se que essa se apresenta com tendência mais horizontalizada para vazões com permanência acima de 50%, ou seja, um comportamento típico de bacias nas quais predominam rios perenes, com menor amplitude entre vazões de cheia e de estiagem.

Essa característica é determinada por um maior armazenamento de água nos aquíferos ocorrentes, que sustentam maiores vazões de base nos períodos de estiagem, e é observada nas regiões ocorrentes nas Florestas Nacionais com relevo de elevadas altitudes, associado à geomorfologia fluvial de entalhe, marcada por cursos de água mais bem encaixados, como também à cobertura vegetal por floresta densa. Na **Foto 6.1.8.4**, apresenta-se exemplo de curso de água representativo desta região hidrológica.



Fonte: Golder, 2006

FOTO 6.1.8.4 – Detalhe da calha do rio Itacaiúnas, no trecho entre a Floresta Nacional de Carajás e a Reserva Indígena Xikrin do Cateté, nas proximidades da Mina de Igarapé Bahia/Projeto Alemão, representativo da Região Hidrológica I.

As curvas de permanência de vazões no rio Itacaiúnas em Fazenda Alegria e do rio Parauapebas em Fazenda Rio Branco assumem um comportamento intermediário entre as demais curvas analisadas, haja vista a ocorrência de uma associação dos fatores interferentes sobre o regime hidrológico dos cursos de água acima descritos, conforme exemplo demonstrado na **Foto 6.1.8.5**.



Fonte: Golder, 2006

FOTO 6.1.8.5 – Detalhe de trecho fluvial do rio Parauapebas, nas proximidades do município de Parauapebas, representativo da Região Hidrológica III.

Regime de Estiagem

O estudo de vazões mínimas nos cursos de água tem por objetivo avaliar o regime de estiagem nos mananciais de interesse, com vista à avaliação de sua disponibilidade hídrica para abastecimentos aos diversos fins, resguardados os limites máximos de captação, ou os limites mínimos de vazões residuais a serem garantidas para jusante dos locais de captação ou de implantação de obras hidráulicas que venham a modificar o regime de vazões naturais nos cursos de água em análise.

No Estado do Pará o processo de outorga e implantação dos demais instrumentos de gestão preconizados no Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH está incipiente, ainda sem critérios consolidados, e os cursos de água ainda não estão enquadrados quanto à classe de uso. Não se vislumbra ainda a cobrança pela utilização dos recursos hídricos. O que ocorre atualmente é o cadastramento voluntário de usuários por meio da Secretaria de Meio Ambiente – SEMA (antiga SECTAM), do Governo do Pará.

Uma vez que ainda não se encontra regulamentado o critério a ser utilizado para o cálculo das vazões mínimas residuais a serem garantidas nos cursos de água, para o presente estudo foi adotado como parâmetro definidor das máximas vazões de captação o quantil de referência correspondente a 70% da Q_{95} (vazão permanente em pelo menos 95% do tempo no local da captação), critério atualmente considerado pela ANA – Agência Nacional de Águas. Os resultados obtidos, utilizando-se as curvas de permanência de vazões médias mensais, adimensionalizadas em relação à Q_{MLT} , apresentadas na **Figura 6.1.8.8**, estão sintetizados na **Tabela 6.1.8.8**.

TABELA 6.1.8.8

**SÍNTESE DAS VAZÕES MÍNIMAS NAS ESTAÇÕES
FLUVIOMÉTRICAS DE REFERÊNCIA**

Estação	Curso de Água	Área de Drenagem (km ²)	Vazão Média - Q _{MLT}		Vazões Mínimas de Referência Adimensionalizadas em Relação à Q _{MLT} (Q ₉₅ / Q _{MLT})
			(m ³ /s)	(L/s.km ²)	
Faz. Rio Branco	rio Parauapebas	9398	132	14,0	0,1505 (~15%)
Fazenda Alegria	rio Itacaiunas	37.600	596	15,9	0,0947 (~9,5%)
RSV-03	igarapé Salobo	148	2,30	15,5	0,4056 (~41%)
R2	rio Parauapebas	4354	56,3	12,9	0,0099 (~1%)

Fonte: Golder, 2006

c) Caracterização da Pluviosidade e Evapotranspiração da AII

A seguir, são apresentadas as características do regime pluviométrico na AII. A Evapotranspiração na AII será apresentada no item “d” do presente capítulo (*Apresentação do Balanço Hídrico, bem como Parâmetros Hidrológicos da AII*), uma vez que a evapotranspiração é calculada através da equação do balanço hídrico.

– Características do Regime Pluviométrico

A rede pluviométrica existente na bacia do rio Itacaiúnas é composta de estações operadas pela ANA e estações operadas pela Vale no entorno das áreas de preservação denominadas de Florestas Nacionais. - Flonas. Na rede pertencente à ANA os dados diários de precipitação são coletados, armazenados em banco de dados, consistidos e disponibilizados para consulta no portal de internet www.ana.gov.br.

Além das 20 estações pluviométricas operadas pela ANA na região, existe uma estação climatológica operada pela DEPV – Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Vôo (Ministério da Aeronáutica), instalada no município de Marabá, com registros diários de precipitação. A **Tabela 6.1.8.9** apresenta os dados dessas estações, ao passo que o histórico de dados pluviométricos é apresentado na **Figura 6.1.8.9**.

TABELA 6.1.8.9

ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS OFICIAIS NA AII

Código	Nome	Latitude	Longitude	Período de Observação	Operadora
549001	Marabá	-5° 21' 00"	-49° 09' 00"	a partir de Jul/1956	DEPV
549004	Serra Pelada	-5° 56' 05"	-49° 40' 36"	a partir de Dez/1982	ANA
549005	Vira Sebo	-5° 51' 00"	-49° 06' 00"	Fev/84 a Set/87	ANA
549006	Fazenda Rio Branco	-5° 47' 00"	-49° 48' 00"	Abr/1985 a Ago/1995	ANA
549007	km 60 / PA-150	-5° 48' 11"	-49° 11' 00"	a partir de Jan/1988	ANA
549011	Fazenda Alegria	-5° 30' 43"	-49° 12' 44"	a partir de Set/2004	ANA
552000	Belo Horizonte	-5° 24' 29"	-52° 54' 07"	Abr/1976 a Mar/1988	ANA
649000	Fazenda Surubim	-6° 25' 40"	-49° 25' 11"	a partir de Fev/1984	ANA
649001	Fazenda Santa Elisa	-6° 47' 41"	-49° 32' 55"	a partir de Fev/1984	ANA
649002	Eldorado	-6° 06' 19"	-49° 22' 39"	a partir de Abr/1985	ANA
650000	Fazenda Angical	-6° 40' 00"	-50° 01' 00"	a partir de Set/1980	ANA
650001	Fazenda Caiçara	-6° 48' 55"	-50° 32' 20"	a partir de Fev/1984	ANA
650002	Serra dos Carajás - N5	-5° 56' 05"	-50° 04' 09"	a partir de Abr/1985	ANA
651001	Boa Esperança (Faz. Ometo)	-6° 43' 00"	-51° 47' 00"	a partir de Ago/1976	ANA
651002	Projeto Tucumã	-6° 49' 01"	-50° 32' 16"	a partir de Mar/1984	ANA
652000	Primavera do Xingu	-6° 03' 00"	-52° 36' 00"	a partir de Jun/1976	ANA
749002	Xinguara	-7° 05' 55"	-49° 57' 35"	a partir de Fev/1984	ANA
750001	Posto da Serra	-7° 30' 22"	-50° 02' 41"	a partir de Jun/1997	ANA
750002	Bannach	-7° 21' 04"	-50° 24' 29"	a partir de Jul/1997	ANA
752000	Cocraimoro	-7° 28' 00"	-52° 40' 00"	Jun/1976 a Ago/1983	ANA
752001	Porto Seguro	-7° 20' 00"	-52° 40' 00"	Out/1981 a Jan/1987	ANA

Fonte: Sistema Hidroweb, ANA.

A análise do histograma apresentado na **Figura 6.1.8.9** permite observar que várias estações apresentam histórico de dados inferior a 10 anos ou com considerável ocorrência de falhas, dificultando o seu aproveitamento para a caracterização pluviométrica regional. Assim, a seleção das estações de referência a serem consideradas representativas para os estudos foi realizada adotando-se o seguinte procedimento:

- Obtenção (www.ana.gov.br) e tratamento dos dados de precipitação, inicialmente totais mensais;
- Seleção das estações a partir do descarte daquelas cujos dados não integralizavam ao menos 10 anos ininterruptos, admitidas pequenas falhas para posterior preenchimento;
- Consistência dos dados de totais anuais;
- Homogeneização das séries das estações escolhidas dentro do período 1985-2004, por meio de correlação de dados e preenchimento de falhas.

A aplicação desse procedimento resultou um grupo de 6 estações, com cerca de 20 anos de dados de precipitação completos (1985-2004), cujos totais médios mensais de precipitação são apresentados na **Figura 6.1.8.10**:

- km 60 / PA-150 (549007);
- Fazenda Surubim (649000);
- Fazenda Santa Elisa (649001);
- Eldorado (649002);
- Fazenda Caiçara (650001);
- Serra dos Carajás - N5 (650002).

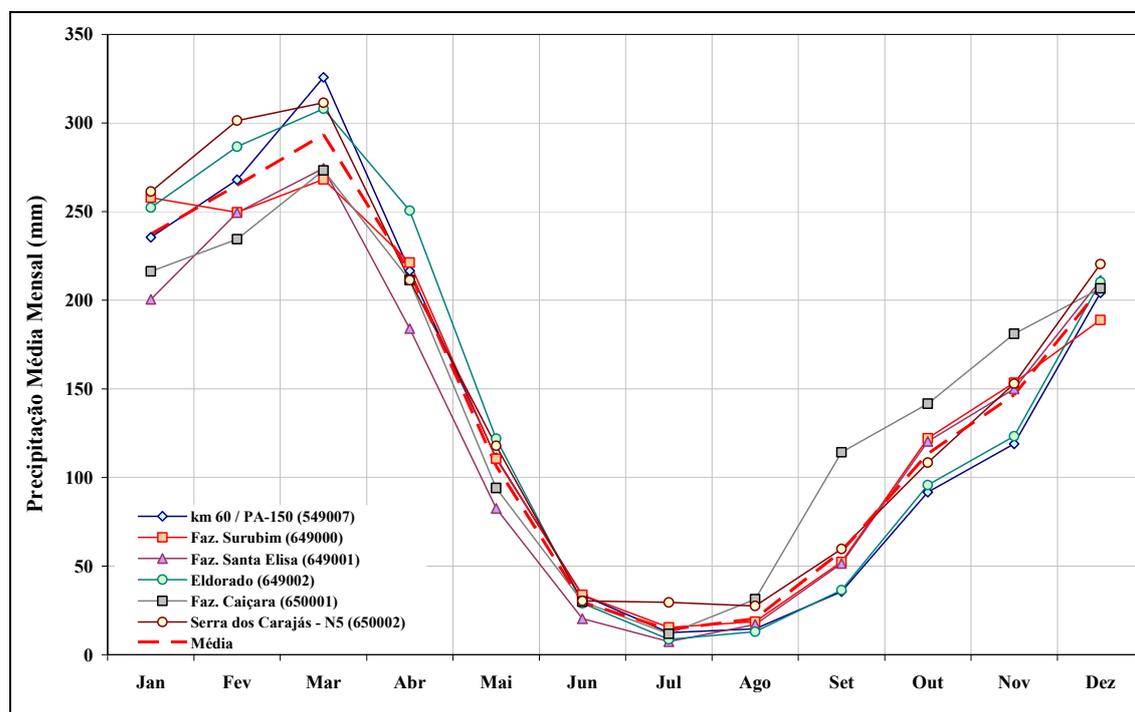


FIGURA 6.1.8.10 – Precipitações Médias Mensais – Estações da ANA – 1985 a 2004.

Pode-se observar que os totais médios mensais registrados nessas estações apresenta um comportamento muito semelhante, sendo identificado um período chuvoso durante o trimestre janeiro-fevereiro-março, que concentra cerca de 50% da precipitação do ano. Os meses mais secos (junho-julho-agosto) concentram juntos menos de 5% da chuva anual.

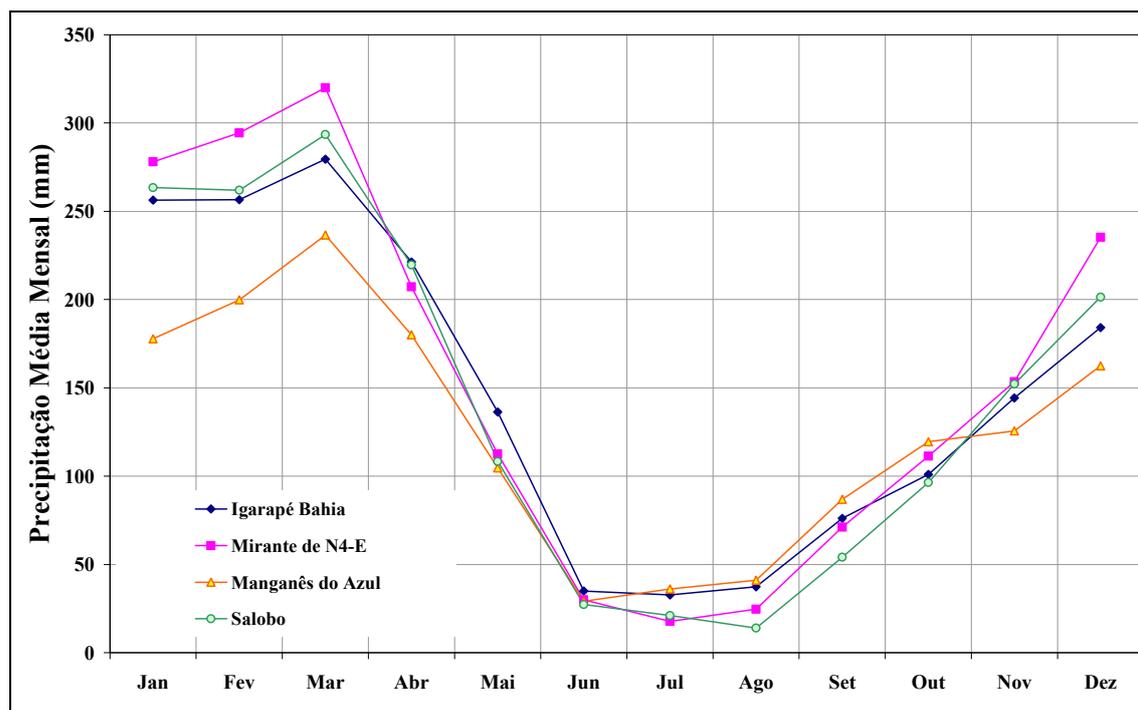


FIGURA 6.1.8.12 – Precipitações Médias Mensais – Estações operadas pela Vale.

Em termos de médias mensais, observa-se que o comportamento dos registros das estações operadas pela Vale é bastante similar, sendo também semelhante àquele apresentado pelas estações operadas pela ANA, o que indica consistência dos dados, à exceção de uma discrepância observada no período chuvoso na estação Manganês do Azul, enquanto que no restante do ano é mantida a regularidade com as outras estações.

A **Figura 6.1.8.13** apresenta os totais anuais relativos às estações da ANA e às estações operadas pela Vale.

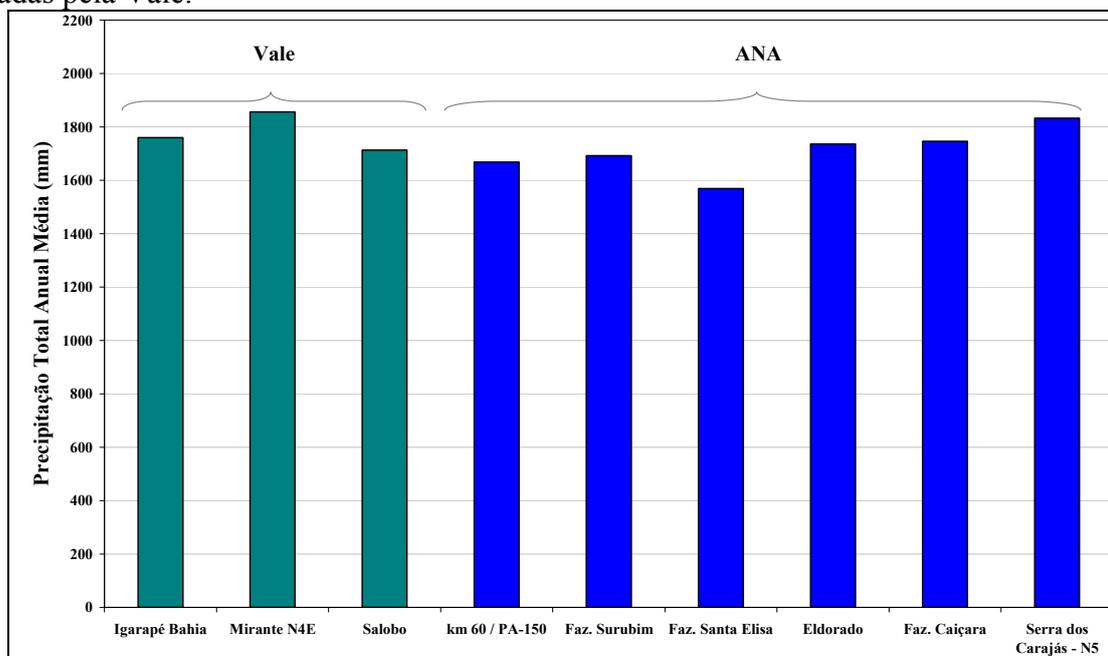


FIGURA 6.1.8.13 – Precipitações Totais Médias Anuais – 1985 a 2004.

A análise da distribuição espacial dos totais médios anuais registrados nas estações selecionadas permite observar uma tendência de crescimento dos totais anuais de precipitação no sentido SE-NW (partindo de 1550mm, próximo à estação Fazenda Santa Eliza - 649001) e outra tendência do sentido NE-SW (partindo de 1650mm, próximo à estação PA-150 - 549007). Essas tendências culminam na formação de um núcleo chuvoso (acima de 1800 mm) na Floresta Nacional de Carajás, coincidente com a região de mais elevadas altitudes (acima de 850 m).

d) Balanço Hídrico e Parâmetros Hidrológicos da AII

Conforme apresentado nos itens anteriores, o regime hidrológico das bacias hidrográficas estudadas foi expresso em termos da variável Q_{MLT} – vazão média de longo termo –, obtida para as estações fluviométricas de referência, permitindo assim a estimativa desse potencial para outras regiões hidrológicamente semelhantes, mediante o conhecimento da Q_{MLT} nos locais para os quais se pretende a transferência dos dados regionais.

Para a estimativa da Q_{MLT} nos demais locais de interesse e a transferência de dados, adotou-se como referência a equação do balanço hídrico, dada pela seguinte expressão:

$$D = P - ETR, \text{ na qual}$$

D = deflúvio médio anual, em mm;

P = precipitação média anual, em mm, e

ETR = evapotranspiração real média anual, em mm.

Considerando-se a distribuição espacial dos totais médios anuais de precipitação ao longo da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, e o deflúvio médio anual calculado para as estações fluviométricas de referência, obtêm-se pelo balanço hídrico os totais médios anuais de evapotranspiração real nesses locais, conforme apresentado na **Tabela 6.1.8.11**.

TABELA 6.1.8.11
EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÉDIA ANUAL NAS ESTAÇÕES
FLUVIOMÉTRICAS DE REFERÊNCIA

Estação	Curso de Água	Área de Drenagem (km ²)	Deflúvio (mm)	Precipitação (mm)	ETR (mm)
Faz. Rio Branco	rio Parauapebas	9398	444	1728	1284
Fazenda Alegria	rio Itacaiunas	37.600	500	1730	1230
RSV-03	igarapé Salobo	148	491	1725	1234
R2	rio Parauapebas	4354	408	1681	1273

Analisando-se os resultados apresentados na **Tabela 6.1.8.11**, pode-se observar que a evapotranspiração na bacia do rio Itacaiúnas oscila entre 1230 mm e 1284 mm, com valor médio de 1255 mm.

Para a generalização regional dessas informações, a bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas foi dividida em três regiões, com base na similaridade esperada entre os regimes hidrológicos observados nas estações fluviométricas de referência e nas bacias hidrográficas regionais de mesmas características, assumindo-se para tanto o valor médio de evapotranspiração de 1255 mm como válido para todas as regiões:

Região I

A Região I é representada pela curva característica obtida para a estação de referência RSV-03, instalada no igarapé Salobo. Caracterizada por bacias nas quais predominam rios perenes, com menor amplitude entre vazões de cheia e de estiagem e com maior potencial de regularização de vazões, é observada nas regiões de Florestas Nacionais e Áreas de Preservação Ambiental ocorrentes na bacia do rio Itacaiúnas, com relevo de elevadas altitudes, associado à geomorfologia fluvial de entalhe, marcada por cursos de água mais bem encaixados, como também à cobertura vegetal por floresta densa.

Região II

A Região II é representada pela curva característica obtida para a estação de referência R2, instalada no rio Parauapebas, a jusante da confluência com o rio Sossego. Está associada ao relevo de reduzidas altitudes, extensas áreas de pastagens e geomorfologia fluvial marcada por cursos de água com seção fluvial de razoável a pouco encaixada. Como consequência, a curva para essa região indica uma tendência típica de bacias nas quais predominam escoamentos torrenciais e menor potencial de regularização, ou seja, maior tendência à ocorrência de cursos de água escoando em regime intermitente do que em regime perene.

Região III

A Região III é representada pela curva característica obtida para a estação de referência Fazenda Alegria, instalada no rio Itacaiúnas, próximo à sua foz no rio Tocantins. Caracteriza-se por um comportamento intermediário entre as demais regiões, haja vista a ocorrência de uma associação dos fatores acima descritos, interferentes sobre o regime hidrológico dos cursos de água. A Região III apresenta um regime hidrológico semelhante ao registrado pela área total da bacia do rio Itacaiúnas.

Na **Figura 6.1.8.14**, é apresentado o Mapa de Regionalização das Informações Hidrológicas, que contém a delimitação das regiões hidrológicamente homogêneas. As curvas de permanência de vazões médias mensais características para essas regiões são apresentadas na **Figura 6.1.8.15**.

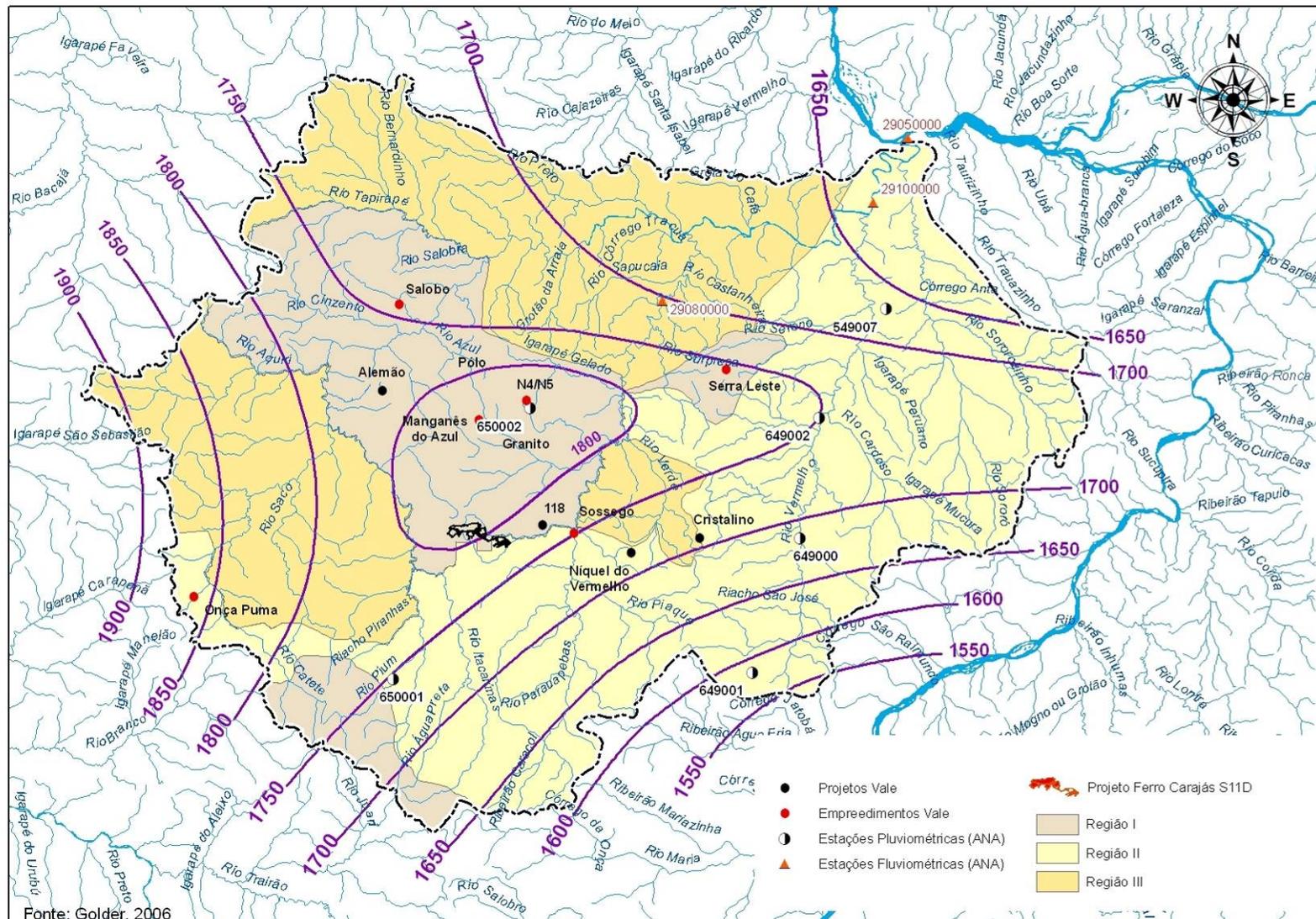


FIGURA 6.1.8.14 – Mapa de regionalização das informações hidrológicas.

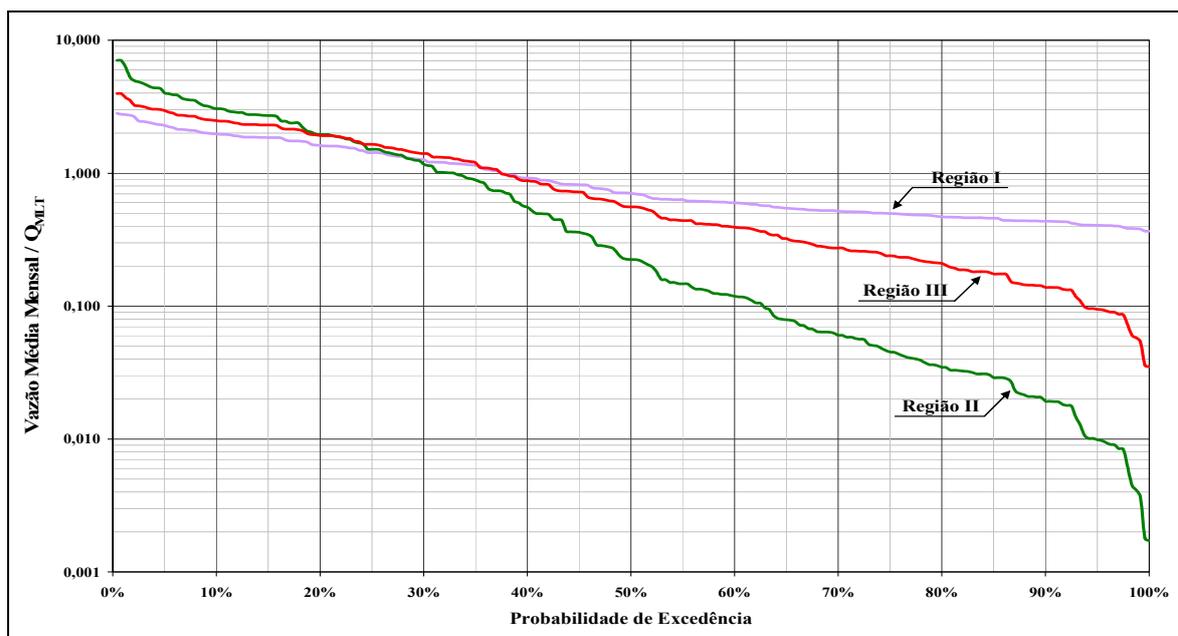


FIGURA 6.1.8.15 – Curvas regionais de permanência de vazões médias mensais.

e) Caracterização do Regime Hidrológico da Bacia Hidrográfica

A caracterização do regime hidrológico da bacia hidrográfica do Itacaiúnas foi apresentada no item “b” do presente capítulo (*Caracterização do Sistema Hidrográfico e do Regime Hidrológico da AII, Calculados Através de Séries Históricas de Dados, Incluindo a Localização dos Postos Pluviométricos e Fluviométricos*), uma vez que a AII do Projeto Ferro Carajás S11D para o tema Meio Físico compreende à bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas.

f) Caracterização dos Ecossistemas Aquáticos da AII

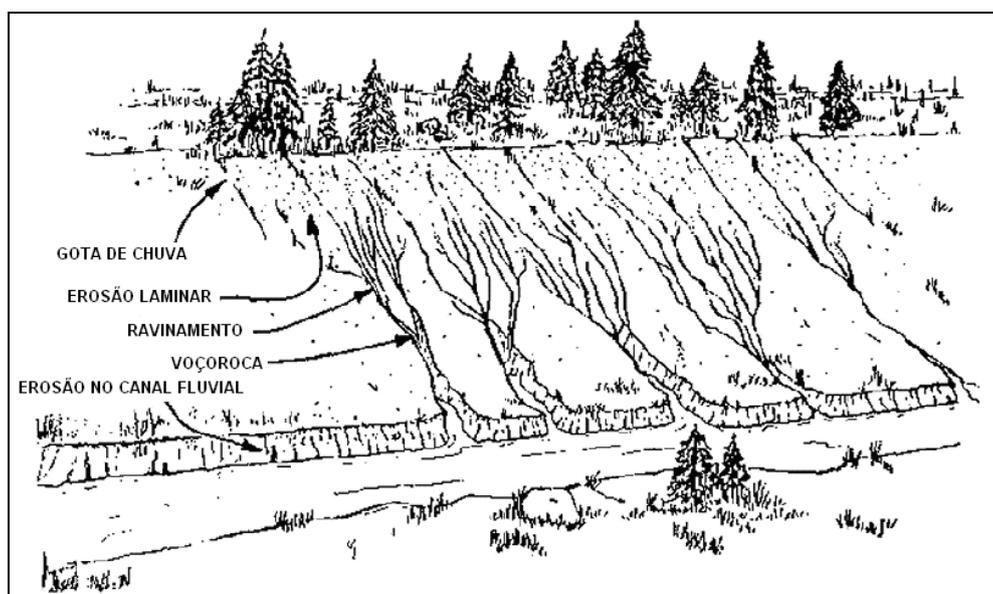
Na AII do Corpo S11 são encontrados campos brejosos (média de 20cm de profundidade), lagos doliniformes e igarapés. Dentro do ciclo de amostragem (chuva e seca), vários cursos de água localizados nas partes superiores do rio Parauapebas puderam ser classificados como intermitentes. Durante as chuvas alguns os rios têm seu volume aumentado, podendo em épocas de seca não apresentar possibilidade de coleta de peixes em alguns pontos.

Trechos intermediários são encontrados em situação biológica mais íntegra se comparados com os trechos mais baixos, que estão próximos da cidade de Parauapebas, e os trechos de cabeceira, que naturalmente não apresentam grande diversidade específica, sem, contudo, descaracterizar sua importância ecológica.

A caracterização dos ecossistemas aquáticos da AII será apresentada detalhadamente no capítulo de caracterização do tema Meio Biótico do EIA (item 6.2 – **Diagnóstico do Meio Biótico**).

g) Características do Regime de Produção de Sedimentos da AII

Sedimento fluvial é um termo que representa a quantidade de partículas minerais transportadas ou depositadas pela ação do escoamento das águas. A erosão, que corresponde à separação e remoção da partícula da rocha e do solo pela ação da água, do vento ou por outro efeito, se constitui no início de todo o processo sedimentológico. Existem duas formas de erosão: a geológica, também chamada de natural, e a acelerada, dita antrópica ou induzida pelo homem. A formação natural de processos erosivos é ilustrada na **Figura 6.1.8.16**.



Fonte: Modificado de *Erosion Control Manual, Colorado Department of Highways, 1978*

FIGURA 6.1.8.16 – Formação de processos erosivos.

A intensidade dos processos de desagregação das partículas de solo e seu transporte pelas calhas fluviais estão associados a diversos fatores, tais como: relevo e declividade das bacias, cobertura vegetal e propriedades dos solos, que definem sua erodibilidade – ou susceptibilidade à erosão –, e ao potencial erosivo das chuvas, função de sua intensidade e duração – ou erosividade.

Esses fatores são potencializados por interferências antrópicas, nos casos em que é removida a cobertura vegetal das bacias ou são implantadas obras hidráulicas que interfiram no regime hidrológico dos cursos de água, pois tais interferências promovem a alteração do estado de equilíbrio morfológico dos cursos de água, favorecendo a remoção e deposição de sedimentos ao longo das calhas fluviais em locais diferentes, ao longo do tempo.

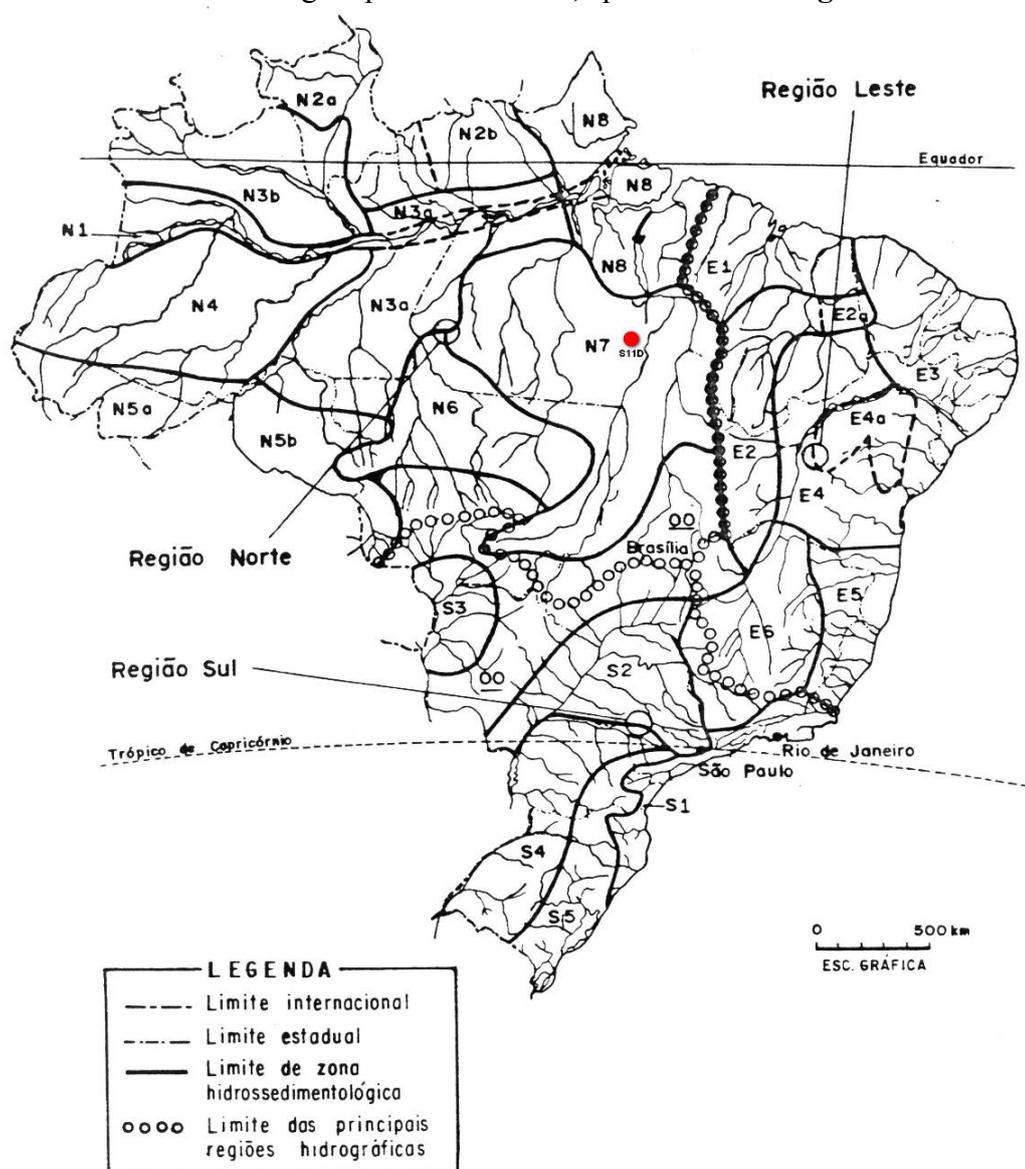
A quantidade de material erodido que consegue completar o percurso, desde a origem até uma estação sedimentométrica, é conhecida como produção de sedimento. Uma estação sedimentométrica ou posto sedimentométrico, é uma determinada seção fluvial na qual é monitorada a descarga sólida, ou a vazão de sedimentos, que ocorre tanto sob a forma de arraste quanto em suspensão, dependendo da velocidade média de escoamento e das dimensões e densidade das partículas de sedimento. Nessas estações, são avaliadas as relações entre a descarga líquida e descarga sólida, bem como as características granulométricas dos sedimentos.

A distribuição longitudinal do sedimento no curso de água é mais bem expressa em termos de produção de sedimentos, considerando um valor médio da descarga sólida em relação à área de drenagem da bacia contribuinte.

O comportamento de uma bacia em relação ao sedimento depende de diversos fatores como os tipos de rochas e de solos, da cobertura vegetal, das declividades do terreno e do regime de chuvas, estando o mesmo susceptível a grande variação. De uma forma geral, a degradação dos solos predomina na alta bacia, enquanto que a agradação predomina na parte baixa.

Na caracterização sedimentológica da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, foram utilizadas as informações disponíveis na publicação “Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros” (ELETROBRÁS, 1992), cuja coleta e processamento dos dados disponíveis de monitoramento das estações sedimentométricas operadas por várias entidades no Brasil permitiram a consolidação da informação sobre descargas sólidas dos rios brasileiros.

Naquela publicação, o uso simultâneo da concentração média anual de sedimentos em suspensão (CMA) e da produção específica de sedimentos em suspensão (PES) levou à identificação de 19 zonas de comportamento hidrossedimentológico homogêneo, o que permitiu a elaboração do Zoneamento hidrossedimentológico prévio do Brasil, apresentado na **Figura 6.1.8.17**.



Fonte: Adaptado de *Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros*. ELETROBRÁS, 1992.

FIGURA 6.1.8.17 – Zoneamento hidrossedimentológico prévio do Brasil.

Conforme o zoneamento apresentado na **Figura 6.1.8.17**, a área do Projeto Ferro Carajás S11D está toda inserida na Amazônia Oriental, classificada pelo código N7.

A Amazônia Oriental é constituída pela quase totalidade das bacias dos rios Xingu e Araguaia e pela bacia média/inferior do rio Tocantins, sendo a CMA média de 65 mg/L e a degradação específica média de 65 t/km².ano em bacias hidrográficas de 120.000 km².

Os valores de CMA referem-se somente a concentração dos sólidos em suspensão, obtidos por meio de análises de consistência de dados de descargas sólidas em suspensão (Qss). Para a determinação da descarga sólida total (Qst), é necessário determinar a descarga sólida por arraste (Qsa). A publicação da ELETROBRÁS (1992), por meio da caracterização física das cargas sólidas e do material de fundo, estabeleceu a seguinte classificação para as estações sedimentométricas, de acordo com a composição provável da descarga sólida total:

<i>Classe 1:</i>		$Qsa/Qss > 1$
<i>Classe 2:</i>	$1 >$	$Qsa/Qss > 0,5$
<i>Classe 3:</i>	$0,5 >$	$Qsa/Qss > 0,1$
<i>Classe 4:</i>		$Qsa/Qss < 0,1$

É importante ressaltar que a classificação apresentada acima foi feita somente para as estações sedimentométricas que possuíam dados de Qss e Qsa, ou seja, sua aplicação para outras bacias hidrográficas deve ser feita de forma cuidadosa, haja vista a elevada variação a que estão submetidos os fatores intervenientes sobre o regime sedimentológico.

A **Tabela 6.1.8.12** apresenta a síntese das informações sedimentológicas das estações sedimentométricas localizadas no município de Marabá, incluindo a estação de Fazenda Alegria, localizada próxima a foz do rio Itacaiúnas, caracterizando o regime de produção de sedimentos desse curso de água.

TABELA 6.1.8.12

**SÍNTESE DE INFORMAÇÕES SEDIMENTOLÓGICAS DISPONÍVEIS
NAS BACIAS QUE DRENAM A ÁREA DO PROJETO FERRO CARAJÁS S11D**

Código	Nome	Curso de Água	Área de Drenagem (km ²)	Coordenadas		CMA (mg/L)	PEMS Anual (*) (t/km ²)	Classe
				Latitude	Longitude			
29050000	Marabá	Rio Tocantins	690.920	-05° 20' 18"	-49° 07' 27"	45,3	28,5	4
29100000	Fazenda Alegria	Rio Itacaiúnas	37.600	-05° 30' 50"	-49° 13' 14"	64	20	-

(*) Produção específica média de sedimentos.

6.1.8.2 Hidrologia da Área de Influência Direta (AID) e Diretamente Afetada (ADA)

a) Descrição Fisiográfica das Bacias Hidrográficas Locais – AID e ADA

A AID e a ADA dividem-se em duas micro-regiões, em termos de recursos hídricos: a porção serrana contida no interior da Floresta Nacional de Carajás, na qual ocorre o Corpo S11, e a região de entorno ao sul e sudeste do Corpo S11, marcada por um relevo plano a ondulado e com malha fluvial dissecada em meio a amplas pastagens.

O Corpo S11 funciona como um importante divisor de águas na bacia do rio Itacaiúnas. Alguns cursos de água de pequeno porte, com nascentes no entorno do Corpo S11, afluem diretamente ao rio Itacaiúnas. No quadrante extremo leste do corpo, onde ocorre o Bloco D (vide **Figura 6.1.8.18**, apresentada no **Anexo XII-B**), formam-se as nascentes do rio Sossego, que por sua vez é afluente do rio Parauapebas em sua margem esquerda.

A localização do Projeto Ferro Carajás S11D em relação aos principais cursos de água que drenam a área do projeto é apresentada na **Figura 6.1.8.19**, e na **Tabela 6.1.8.13** são apresentadas as principais características físicas da bacia hidrográfica desses cursos de água.

FIGURA 6.1.8.19 – Bacia Hidrográfica dos Principais Cursos de Água que Drenam a Área do Projeto Ferro Carajás S11D.

TABELA 6.1.8.13**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS PRINCIPAIS CURSOS DE ÁGUA QUE DRENAM A ÁREA DO PROJETO FERRO CARAJÁS S11D**

Bacia Hidrográfica	Área de Drenagem (km ²)	Perímetro (km)	Comprimento do Talvegue Principal (km)	Declividade do Talvegue Principal (%)
Rio Sossego	528	112	50	1,07
Igarapé Pacu	162	61	30	1,81
Igarapé Serra Sul	376	108	49	1,31
Afluente do Itacaiúnas (Sudoeste do Bloco D)	142	55	19	0,80

b) Caracterização do Sistema Hidrográfico e do Regime Hidrológico da AID e da ADA

De acordo com a descrição realizada nos estudos regionais, na bacia do alto curso do rio Parauapebas, a montante de sua confluência com o rio Sossego, predominam extensas áreas de pastagens, geomorfologia fluvial marcada por cursos de água com seção fluvial de razoável a pouco encaixada e, como consequência, tendência de bacias nas quais predominam escoamentos torrenciais e menor potencial de regularização, ou seja, maior tendência de cursos de água escoando em regime intermitente do que em regime perene.

A partir da confluência com o rio Sossego, o rio Parauapebas passa a drenar, em sua margem esquerda, bacias de seus afluentes contidas na Floresta Nacional de Carajás, inclusive a bacia do próprio rio Sossego, cujas nascentes localizam-se no Bloco D, conforme mencionado anteriormente.

A Floresta Nacional de Carajás apresenta geomorfologia fluvial de entalhe marcada por cursos de água mais bem encaixados. Essa característica ao mesmo tempo condiciona e atesta a ocorrência de um regime hidrológico diferenciado, no qual predominam rios perenes, com menor amplitude entre vazões de cheia e de estiagem e com maior potencial de regularização de vazões, em relação ao regime que se observa no restante do domínio da bacia do rio Itacaiúnas.

Essas peculiaridades observadas em maior escala, analisando-se as bacias dos rios Parauapebas e Itacaiúnas, são também verificadas na bacia do rio Sossego, sobre a qual pretende-se instalar o empreendimento. Ao longo de todo o seu curso, o rio Sossego drena, pela margem esquerda, bacias de afluentes formados no interior da Floresta Nacional de Carajás, que lhe conferem um regime mais regularizado, diferentemente do que se observa ao longo de sua margem direita, sobretudo no trecho entre a confluência com o igarapé Pacu e sua foz no rio Parauapebas, onde ocorrem vários afluentes intermitentes.

A bacia do alto curso do rio Itacaiúnas, a exemplo da bacia do rio Parauapebas, em sua porção a montante da Floresta Nacional de Carajás, também drena uma região marcada por relevo dissecado, com cursos de água pouco encaixados e predominância de extensas áreas de pastagens e cursos de água escoando em regime intermitente. Passa a ter vazões mais regularizadas ao atravessar as fronteiras da Floresta Nacional de Carajás e da Reserva Indígena Xikrin do Cateté.

Nesse percurso por entre a Floresta Nacional de Carajás e a Reserva Indígena Xikrin do Cateté, o rio Itacaiúnas recebe vários afluentes em sua margem direita que encontram-se inseridos na área do empreendimento. Ao se analisar a morfologia fluvial que ocorre entre o Corpo S11 e a margem direita do rio Itacaiúnas, observa-se que esses afluentes nitidamente se constituem em veios desaguadores da reserva subterrânea que ocorre ao longo do platô.

Na porção sudoeste do Corpo S11, várias drenagens surgem nos contrafortes da serra, drenando o espigão preferencialmente na direção sudoeste e alimentando diretamente o rio Itacaiúnas, e apresentam padrão de alinhamento delineado por feições estruturais e dobras de relevo. Na porção nordeste, observa-se um padrão de drenagem mais ramificado, sendo identificadas duas sub-bacias de maior porte: a bacia do rio Sossego, que drena o Bloco D em direção ao rio Parauapebas, a leste, e a bacia do igarapé Serra Sul, cujo leito apresenta alinhamento paralelo ao corpo mineralizado ao longo do pé do Corpo S11 (Blocos A, B e C) e escoar no sentido noroeste, em direção ao rio Itacaiúnas, desaguando neste rio vários quilômetros a jusante da área do empreendimento.

Ao longo de sua passagem pela região do Corpo S11, o rio Itacaiúnas recebe um incremento em sua área de drenagem de 411 km², passando de 2946 km² para 3357 km², o que corresponde a um incremento de 14%. Dessa área incremental, 62% (256 km²) correspondem a afluentes que drenam a área do empreendimento, ou seja, o regime hidrológico do rio Itacaiúnas, nesse trecho, recebe forte influência do potencial hídrico das bacias inseridas na Floresta Nacional de Carajás em cerca de 9% de sua área de drenagem.

O reflexo dessa influência no regime hidrológico do rio Itacaiúnas nesse trecho pode ser avaliado em termos de suas vazões médias e de estiagens características, mediante o emprego da metodologia descrita nos estudos realizados para a AII, que permite a geração de curvas de permanência de vazões médias mensais em quaisquer cursos de água inseridos na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas.

Antes de sua passagem pelo Corpo S11 e pela área onde se pretende instalar o empreendimento, o rio Itacaiúnas apresenta Vazão Média de Longo Termo (Q_{MLT}) igual a 44,8 m³/s e Vazão Mínima com 95% de Permanência¹ (Q_{95}) igual a 0,444m³/s.

Após receber a contribuição direta da bacia incremental e seus afluentes na passagem pela região do Corpo S11, o rio Itacaiúnas passa a apresentar Q_{MLT} igual a 55,5 m³/s e Q_{95} igual a 5,26 m³/s. Observa-se que o potencial de armazenamento das bacias contidas no interior da Floresta Nacional de Carajás contribui significativamente para a regularização de vazões no rio Itacaiúnas, pois, nesse trecho em questão, essa contribuição advinda pela sua margem direita corresponde a 4,45 m³/s sobre a Q_{MLT} e a 1,80 m³/s sobre a Q_{95} . Em termos percentuais, a ADA do empreendimento responde por cerca de 40% nos incrementos observados nas vazões médias e de estiagem, somente considerando-se a drenança que ocorre pela porção sudoeste do Corpo S11.

Ao se analisar a contribuição advinda da porção nordeste do platô, drenada pela bacia do igarapé Serra Sul, cuja área de drenagem contígua à AID e ADA do empreendimento é de 189 km², verifica-se que o alto e médio curso desse igarapé respondem por uma Q_{MLT} de 3,45 m³/s e Q_{95} de 1,40 m³/s, valores próximos daqueles obtidos pela análise da porção sudoeste.

¹ Q_{95} = Vazão mínima permanente em pelo menos 95% do tempo, ou com 95% de probabilidade de excedência. Quantil de vazão adotado pela ANA como vazão de referência para estudo e concessão de outorga de direito de uso da água.

Analisando-se a bacia do rio Itacaiúnas como um todo, tomando-se como referência a Estação Fluviométrica Fazenda Alegria, próxima à foz no rio Tocantins, a qual possui área de drenagem de 37.600 km², observa-se que a AID do empreendimento, cuja área total é de 869 km², exerce influência sobre cerca de 2% da área total de drenagem do rio Itacaiúnas. Essa influência, em termos de vazões características, corresponde aos percentuais de 3% sobre a Q_{MLT} e de 8% sobre a Q_{95} naquela estação, em função do elevado potencial de armazenamento das bacias contidas na AID.

De especial interesse para o diagnóstico dos recursos hídricos superficiais de AID do empreendimento é a bacia hidrográfica do rio Sossego, formado por dois afluentes principais: os igarapés Sossego e Pacu. O igarapé Sossego drena a região do extremo leste do Corpo S11, contida entre este e o divisor de águas com a bacia do igarapé Inferninho, por sua vez afluente do igarapé Águas Claras.

Em quase totalidade de sua área de drenagem, a bacia do igarapé Sossego está contida no domínio da Floresta Nacional de Carajás, cujas características de relevo e cobertura vegetal, associadas às peculiaridades hidrogeológicas daquele domínio, lhe conferem elevada disponibilidade hídrica e vazão bem regularizada, diferentemente da porção da bacia que drena o médio e o baixo curso desse igarapé em sua margem direita, inserida numa região de relevo dissecado, essencialmente plano, no qual predominam pastagens e solos de reduzida espessura, consequentemente, com baixa capacidade de armazenamento.

Essa característica verificada no médio e baixo curso do igarapé Sossego é idêntica àquela verificada no igarapé Pacu, que apresenta regime praticamente intermitente. Os cursos de água afluentes deste igarapé apresentam talvegues mais elevados que o nível de armazenamento da água no solo, resultando na característica marcante deste regime.

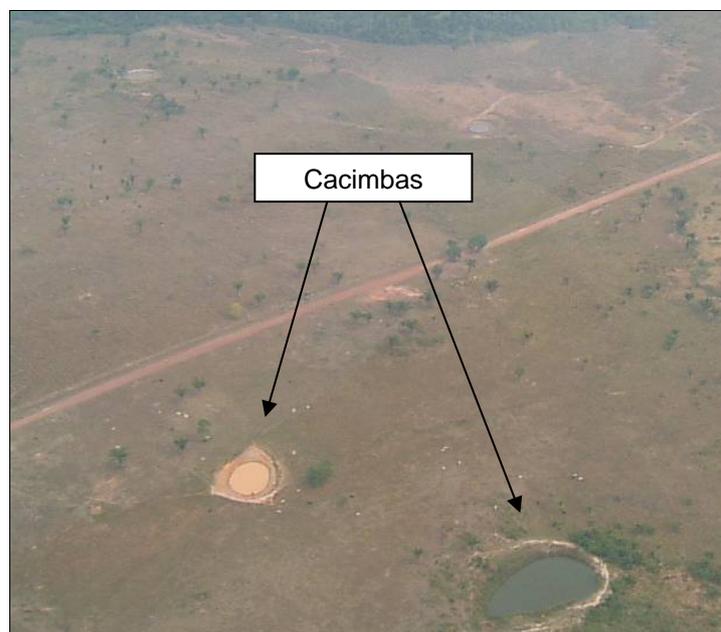
No entanto, deve-se ressaltar que ocorre também na bacia do igarapé Pacu a drenagem de encostas de solos colúviais, com capacidade de armazenamento suficiente para manter um fluxo mínimo nos meses de estiagem (**Foto 6.1.8.6**), embora o relato de moradores da região de Mozartinópolis confirme que em anos de estiagens muito severas o igarapé Pacu já teve seu escoamento cortado, a exemplo dos cursos de água ilustrados anteriormente nas **Fotos 6.1.8.1, 6.1.8.2 e 6.1.8.3**.



Fonte: HGM/POTAMOS, 2008.

FOTO 6.1.8.6 – Detalhe do igarapé Pacu nas proximidades de Mozartinópolis.

Como alternativa para a dessedentação do gado nessa região, é comum a escavação de grandes cacimbas com trator de esteira, que penetram no solo em maior profundidade que os talwegues naturais, permitindo assim o afloramento de água durante os meses de estiagem (HGM/POTAMOS, 2008), conforme ilustrado na **Foto 6.1.8.7**.



Fonte: HGM/POTAMOS, 2008.

FOTO 6.1.8.7 – Cacimbas escavadas em área de pastagem, nas proximidades de Mozartópolis.

A partir da confluência dos igarapés Pacu e Sossego, formando assim o rio Sossego, são nítidas e distintas as tipologias de relevo e de geomorfologia fluvial ao longo das margens desse curso de água, até seu deságüe no rio Parauapebas. Ao longo de sua margem esquerda, o rio Sossego drena região de elevada disponibilidade hídrica, com forte contribuição para sua condição de perenidade, ao passo que ao longo de sua margem direita, conta com tributários escoando em regime tendendo a intermitente, devido à baixa capacidade de armazenamento dos solos por eles drenados.

Em termos de vazões características, a bacia do rio Sossego, cuja área de drenagem é de 528 km², apresenta Q_{MLT} de 8,8 m³/s e Q_{95} de 0,83 m³/s, valores inferiores a 2% daqueles correspondentes à bacia do rio Itacaiúnas.

Ao longo do Corpo S11, observa-se a formação de lagoas sobre a canga de minério de ferro, sendo que algumas apresentam-se como intermitentes. As principais formações são as lagoas do Violão e do Amendoim. A Vale opera uma captação de água na lagoa do Violão, para suprimento do acampamento existente no platô, e realiza monitoramento de níveis na lagoa que, embora esporádicos, conforme apresentado na **Figura 6.1.8.20**, registram que a lagoa do Violão possui caráter perene, contando com o aporte de nascentes que surgem em porções mais elevadas do platô.

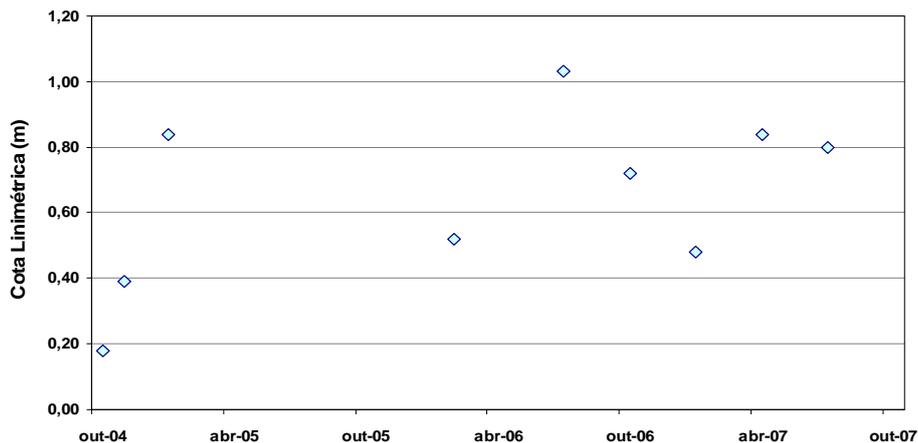


FIGURA 6.1.8.20 - Monitoramento de nível de água na Lagoa do Violão.

Em sequência, apresentam-se nas **Fotos 6.1.8.8 a 6.1.8.21** detalhes dos cursos de água e bacias observadas na ADA do empreendimento.



FOTO 6.1.8.8 – (a) Vista geral da morfologia do Corpo S11, com destaque para lagoa perene. (b) Área encharcada no Bloco D, devido a afluência de nascentes em porções mais elevadas no platô.



FOTOS 6.1.8.9 e 6.1.8.10– Detalhes de áreas encharcadas no Bloco D, devido a afluência de nascentes em porções mais elevadas no platô, formando lagoas quase intermitentes.



FOTO 6.1.8.11 – (a) Vista geral da lagoa do Amendoim. (b) Local de ocorrência de nascente afluinte à lagoa do Violão.



FOTO 6.1.8.12 – (a) Detalhe de nascente (surgência) em área encharcada no platô, Bloco D. (b) Detalhe de afluente do rio Itacaiúnas, formado no Bloco D.



FOTO 6.1.8.13 – (a) Detalhe de nascentes (surgências) no platô. (b) Detalhe de afluente do rio Itacaiúnas, formado no Bloco D.

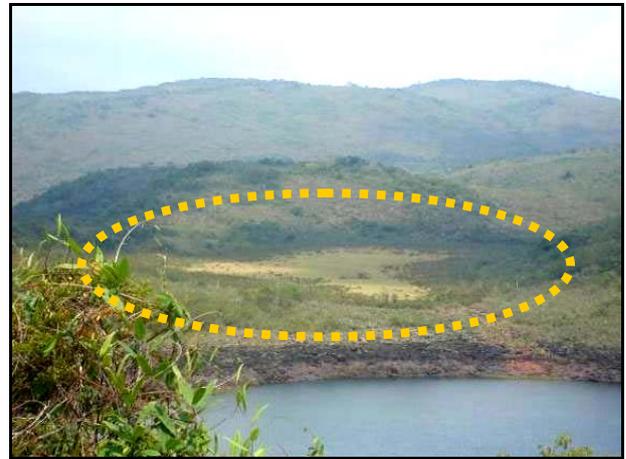


FOTO 6.1.8.14 – (a) Vista geral da Lagoa do Amendoim, Bloco D. (b) Detalhe de lagoa intermitente, adjacente à Lagoa do Amendoim, Bloco D.



FOTO 6.1.8.15 – (a) Vista do vale de igarapé afluente ao igarapé Pacu, na ADA do empreendimento. (b) Detalhe de igarapé perene, afluente ao igarapé Pacu.

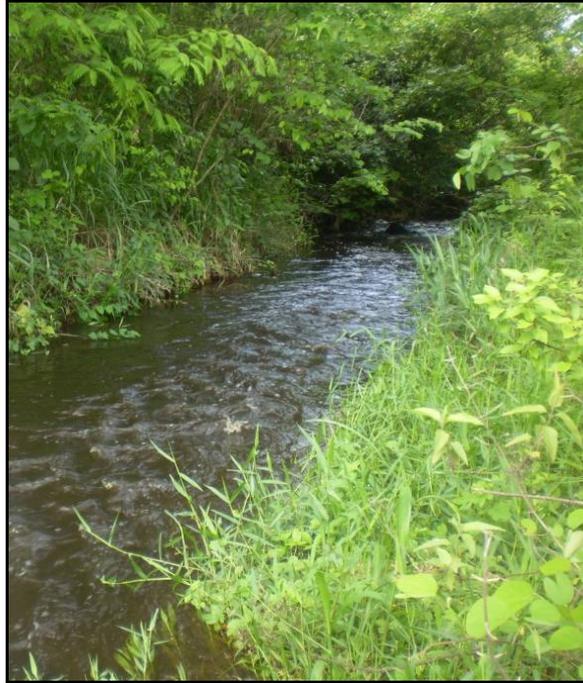


FOTO 6.1.8.16 – Detalhe de igarapé perene, afluente ao igarapé Pacu, na ADA do empreendimento.



FOTOS 6.1.8.17 e 6.1.8.18– Detalhes da morfologia fluvial ocorrente na ADA do empreendimento (drenagens temporárias).

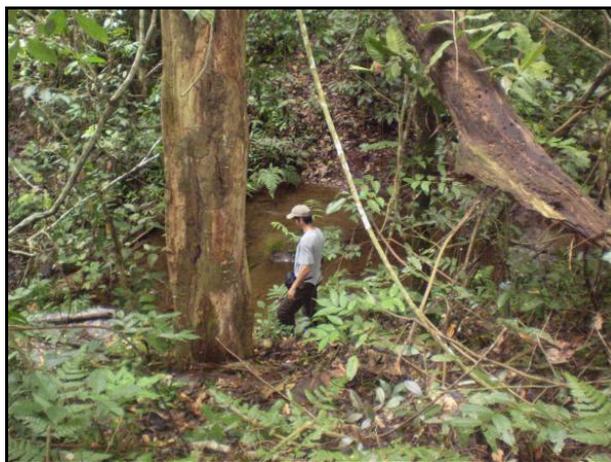


FOTO 6.1.8.19 – (a) Detalhe de lago formado por pequeno açude em afluente do igarapé Pacu, na Fazenda Cantão. (b) Detalhe de igarapé perene, afluente ao igarapé Pacu, no qual é realizada captação a fio de água para o abastecimento da Vila Mozartinópolis.



FOTO 6.1.8.20 – Vista panorâmica da Lagoa do Violão.



FOTO 6.1.8.21 – Vista panorâmica de trecho alagado no Bloco D (lagoa intermitente).

Identificação das Drenagens Temporárias ou Perenes Vinculadas às Diferentes Estruturas do Projeto.

Conforme apresentado no item anterior, referente à caracterização do regime hidrológico na AID, as sub-bacias interferidas pelo empreendimento, pelas diversas estruturas do projeto, localizam-se em distintas tipologias em termos de comportamento hidrológico sazonal.

No domínio da AID, encontram-se inseridas na Região Homogênea I (vide **Figura 6.1.8.14**) as sub-bacias do rio Itacaíúnas, as cabeceiras do igarapé Sossego e toda a porção da bacia do rio Sossego situada à sua margem esquerda, enquanto que a bacia do igarapé Pacu encontra-se quase que totalmente inserida na Região Homogênea II.

Os levantamentos de campo realizados pela Golder (2007 e 2009) e por HGM & Mdgeo (2007), permitiram o mapeamento das drenagens temporárias que ocorrem na AID, conforme apresentado na **Figura 6.1.8.18** no **Anexo XII-B**.

Observou-se em campo que os afluentes do igarapé Pacu escoam sobre o regime de base regional, ou seja, praticamente secam durante estiagens mais severas, sendo verificado que em vários deles a drenagem apresenta-se encharcada, com vazões praticamente nulas, conforme ilustrado nas **Fotos 6.1.8.22, 6.1.8.23 e 6.1.8.24**. Em alguns segmentos, ocorre a drenagem temporária, em regime intermitente – **Fotos 6.1.8.25 e 6.1.8.26**.



FOTOS 6.1.8.22 e 6.1.8.23 – Detalhe de afluente do igarapé Pacu, que apresenta vazão praticamente nula nos períodos de estiagem.



FOTO 6.1.8.24 – Detalhe de afluente do igarapé Pacu – solo encharcado, sem vazão.



FOTOS 6.1.8.25 e 6.1.8.26 – Detalhe de afluente do igarapé Pacu – drenagem seca, intermitente.

As **Fotos 6.1.8.27 e 6.1.8.28** ilustram ocorrência de área encharcada no platô do Bloco D, formando lagoa em regime praticamente intermitente.



FOTOS 6.1.8.27 e 6.1.8.28 – Detalhe de área encharcada no Bloco D, formando lagoa praticamente intermitente.

c) Caracterização da Pluviosidade e Evapotranspiração na AID e na ADA

De acordo com a caracterização realizada nos estudos da AII, na AID e na ADA do Projeto Ferro Carajás S11D a precipitação total média anual, para o período de 1985 a 2004, varia de 1750 a 1800 mm. A estação chuvosa compreende os meses de novembro a abril, e o período de estiagem, com os menores índices pluviométricos, compreende os meses de junho a setembro.

A evapotranspiração média para toda a bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, calculada pela equação do balanço hídrico na caracterização realizada nos estudos da AII, é de 1255 mm.

d) Balanço Hídrico e Parâmetros Hidrológicos da AID e da ADA

Conforme levantamento de estações fluviométricas realizados para a caracterização do regime hidrológico da AII, na AID do projeto só existe apenas uma estação fluviométrica, instalada no rio Sossego, que é a estação R1 da Mina do Sossego. Ainda de acordo com as informações apresentadas na caracterização do regime hidrológico da AII, a estação fluviométrica R1 possui registros de vazões apenas no período de estiagem. Isto ocorre porque, no período de chuvas, a seção onde está instalada a régua linimétrica R1 sofre influência do remanso que ocorre na sua confluência com o rio Parauapebas. Por não possuir um registro contínuo de cotas, e consequentemente de vazão, os dados dessa estação não podem ser utilizados nos estudos hidrológicos e de balanço hídrico da bacia hidrográfica do rio Sossego.

Por não haver estações fluviométricas com dados consistentes instaladas na AID e na ADA do Projeto Ferro Carajás S11D, não é possível apresentar o balanço hídrico e parâmetros hidrológicos exclusivos para as bacias hidrográficas abrangidas por essas áreas. Entretanto, por estarem inseridas na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, o balanço hídrico e os parâmetros hidrológicos apresentados para a AII são válidos para as bacias hidrográficas da AID e da ADA.

e) Caracterização do Regime Hidrológico da Bacia Hidrográfica

Utilizando a metodologia de regionalização das informações hidrológicas descrita nos estudos realizados para a AII, foram regionalizadas as informações hidrológicas para a bacia hidrográfica dos principais cursos de águas que drenam a AID e a ADA do projeto, as quais são apresentadas na **Tabela 6.1.8.14**.

TABELA 6.1.8.14

INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS REGIONALIZADAS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DOS PRINCIPAIS CURSOS DE ÁGUA QUE DRENAM A ÁREA DO PROJETO FERRO CARAJÁS S11D

Bacia Hidrográfica	Região Hidrológica	Área de Drenagem (km ²)	Precipitação Total Média Anual (mm)	Evapotranspiração Média Anual (mm)	Deflúvio Médio Anual (mm)	Q _{MLT} (m ³ /s)	Q ₉₅ (m ³ /s)
Rio Sossego	I e II	528	1781	1255	526	8.8	0.83
Igarapé Pacu	II	162	1787	1255	532	2.7	0.03
Igarapé Serra Sul	I	376	1800	1255	545	6.5	2.63
Afluente do Itacaiúnas (Sudoeste do Bloco D)	I	142	1800	1255	545	2.4	0.99

f) Caracterização dos Ecossistemas Aquáticos da AID e da ADA

Na época das chuvas formam-se as lagoas temporárias ao longo do Corpo S11. Dois lagos permanentes existem no Corpo S11 Bloco D, outro no Corpo S11 Bloco B e mais um conjunto de três lagos unidos no Corpo S11 Bolco A.

Na ADA e AID, cinco tipos de ambientes foram reconhecidos como passíveis de uso por peixes durante as amostragens realizadas nos estudos (Ramal Ferroviário e Estudo de Similaridade) que embasam o EIA do Projeto Ferro Carajás S11D: lagos doliniformes e campos brejosos (lênticos); riachos de platô, de encosta e de baixada (lóticos). Esses ambientes possuem particularidades próprias assim como faunas e flora específicas. Espécies vegetais encontradas nesses ambientes são adaptadas à vida aquática, submersa ou imersa.

A caracterização detalhada dos ecossistemas aquáticos da AID e da ADA encontram-se apresentadas no **capítulo 6.2** de diagnóstico do tema Meio Biótico deste EIA.

II Qualidade dos Corpos de Água

6.1.8.3 Qualidade dos Corpos de Água da Área de Influência Indireta (AII)

a) Identificação, classificação e mapeamento dos corpos de água presentes nas áreas de influência

A área de influência indireta do empreendimento corresponde à bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas. Na **Figura 6.1.8.2** apresentada no **Anexo XII-A** pode ser observado o mapeamento dos corpos de água presentes na referida bacia hidrográfica.

Conforme estabelece o Artigo 42 do Capítulo VI da Resolução CONAMA Nº 375/2005, enquanto não aprovados os enquadramentos, as águas doces devem ser consideradas como Classe 2. Dessa forma, todos os resultados obtidos para as análises de parâmetros físicos, químicos e biológicos, quando pertinente, foram comparados aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº. 357/2005 para águas doces com tal enquadramento.

Ressalta-se que a bacia do rio Itacaiúnas faz parte da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia (RHTA) para qual a Agência Nacional de Águas - ANA elaborou em 2009 o Plano Estratégico da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia - Relatório Síntese. De acordo com este relatório não foi estabelecido para nenhuma das unidades da federação que compõem a RHTA, o enquadramento dos cursos de água.

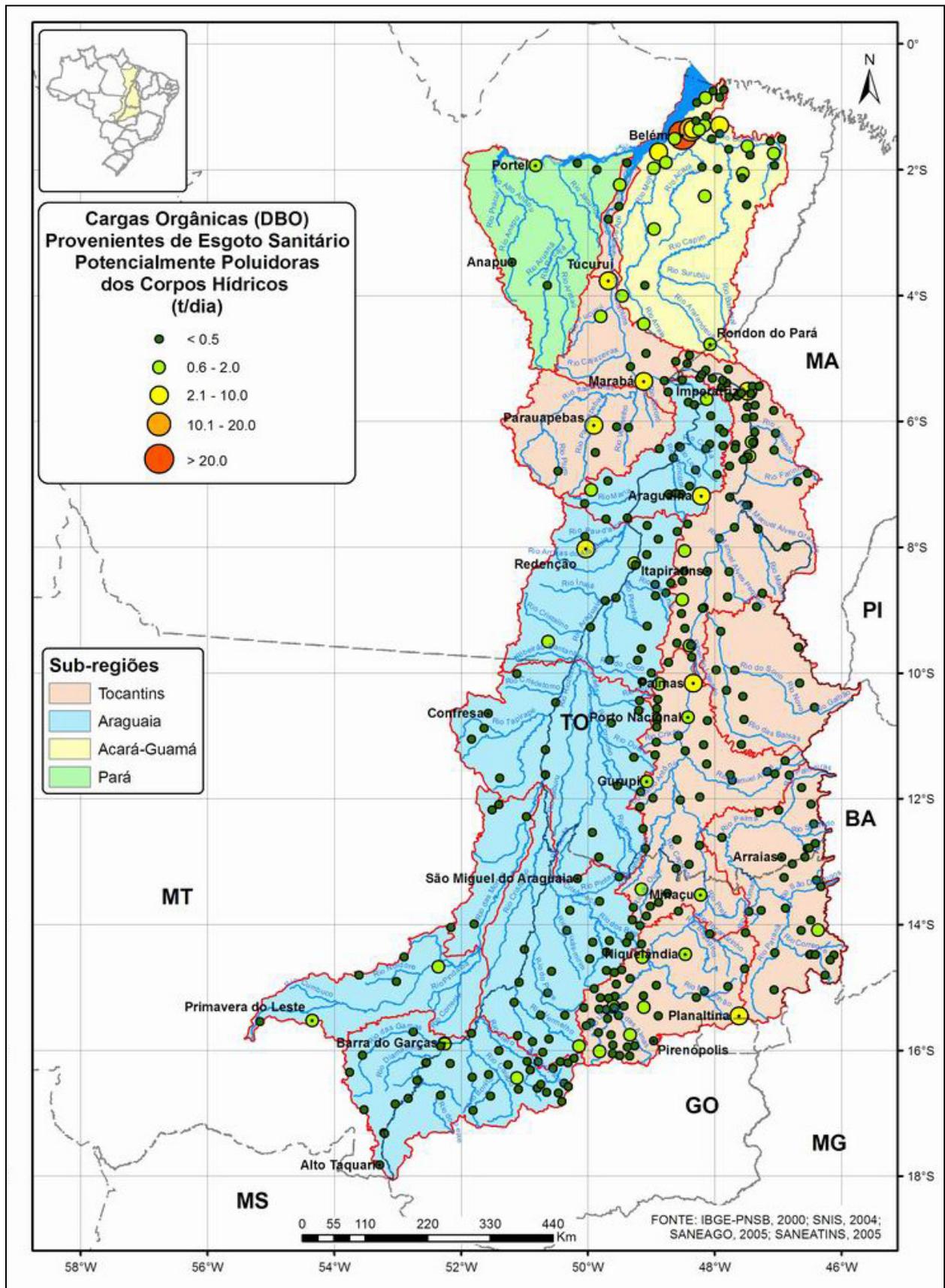
b) Caracterização dos Corpos de Água quanto à Classe e Enquadramento

b.1 Águas Superficiais

Para a caracterização da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Itacaiúnas, foram utilizadas informações da ANA, Agência Nacional de Águas, disponibilizadas no Relatório Síntese do Plano Estratégico da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia e também dados disponibilizadas pela Vale, referentes a monitoramentos realizados nos rios Itacaiúnas e Parauapebas.

Segundo a ANA (2009), em seu relatório do Plano Estratégico da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia, os dados de qualidade das águas existentes para a Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia são restritos espacialmente, considerando as dimensões da região, apresentam pequena série histórica e estão concentrados, na maior parte, nos dois principais rios, o Tocantins e o Araguaia. Ainda conformidade com a ANA (2009), os afluentes dos grandes rios da região e seus tributários apresentam rede de monitoramento muito esparsa. Da mesma forma, os dados de condutividade elétrica relativamente mais elevados na Unidade de Planejamento Itacaiúnas, área de intensa mineração, reforçam a necessidade de ampliação da rede de monitoramento, de modo a subsidiar uma análise mais consistente da condição dos corpos hídricos da RHTA.

As análises dos dados disponíveis neste relatório mostram a distribuição das cargas orgânicas geradas pela produção de esgoto e lixo conforme **Figura 6.1.8.21**, indicando as potenciais regiões impactantes sobre os recursos hídricos. Na sub-bacia do rio Itacaiúnas são indicados pontos com carga menor do que 0,5 t/dia (DBO). Na altura da cidade de Parauapebas é indicada uma carga orgânica entre 2,1 a 10 t/dia (DBO).



Fonte: ANA, 2009

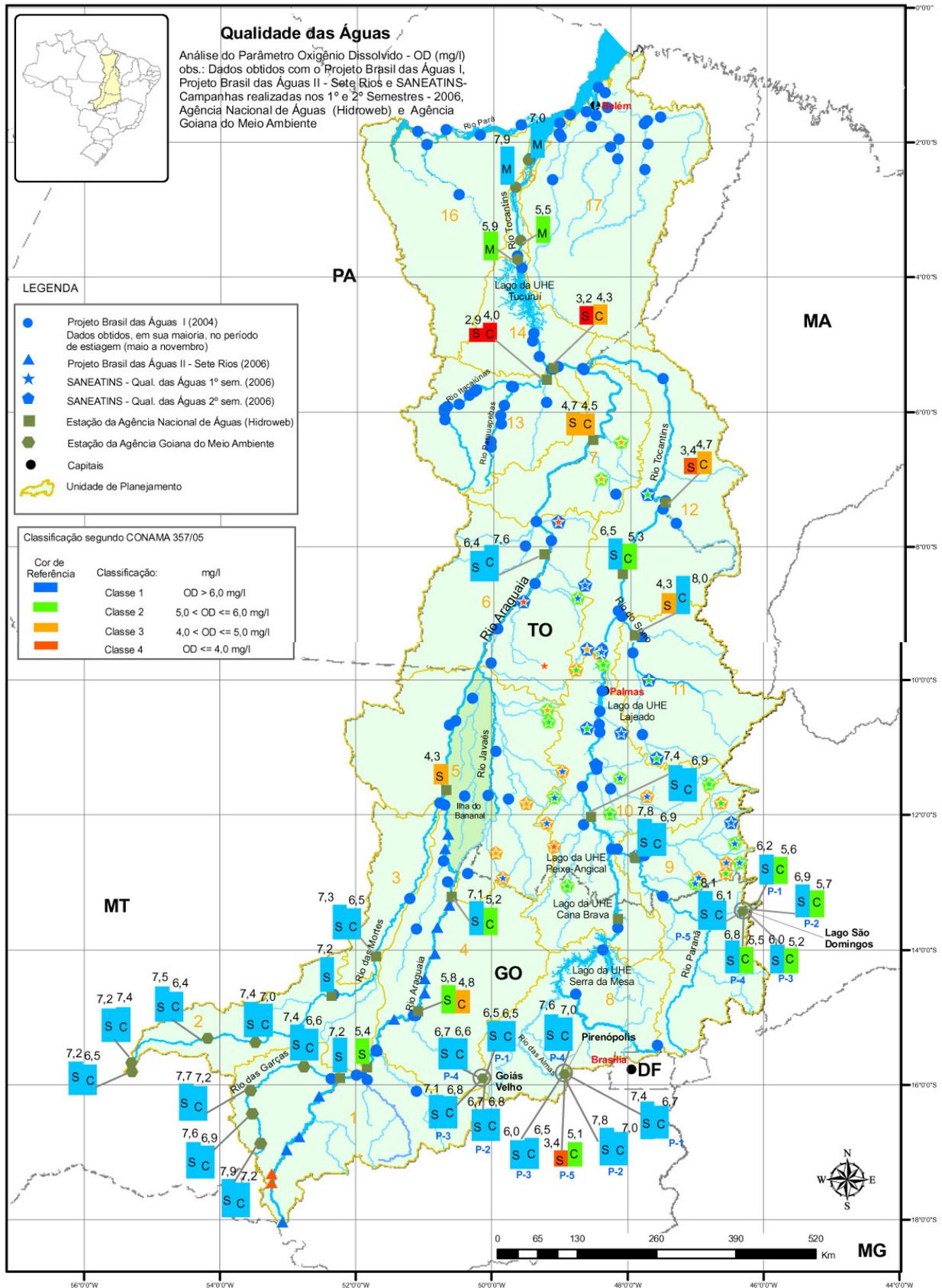
FIGURA 6.1.8.21 – Distribuição de Cargas Orgânicas

Segundo a ANA (2009), os parâmetros oxigênio dissolvido (**Figura 6.1.8.22**), condutividade elétrica (**Figura 6.1.8.23**) e índice do estado trófico (**Figura 6.1.8.24**) são representativos das condições da água na RHTA - Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia, pois indicam que, de maneira geral, as águas superficiais nos rios Tocantins e Araguaia são de boa qualidade (classes 1 e 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 – Brasil, 2005). Todavia, na parte inferior (baixa) do rio Araguaia, a montante da confluência com o rio Tocantins, há valores de oxigênio dissolvido de classe 3 e, após a confluência entre os rios, de classe 4 (próximo a Marabá).

Analisando-se o mapa da (**Figura 6.1.8.22**), na sub-bacia do rio Itacaiúnas são indicados pontos com OD – Oxigênio Dissolvido maiores do que 6mg/L, tanto no rio Itacaiúnas, quanto no rio Parauapebas.

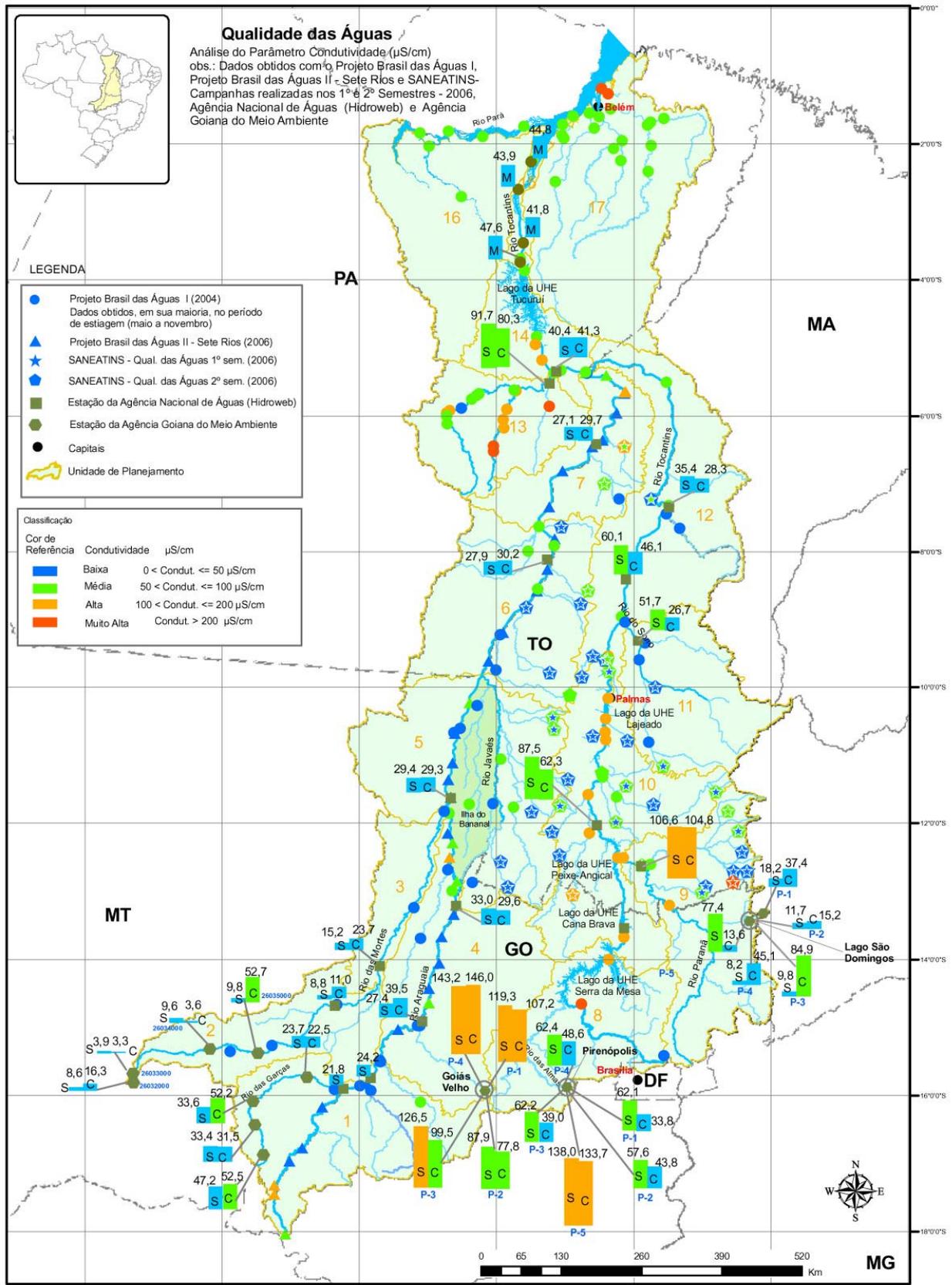
De acordo com o mapa da (**Figura 6.1.8.23**) na sub-bacia do rio Itacaiúnas estão indicados pontos com medidas de CE – Condutividade Elétrica. No rio Itacaiúnas são indicados valores de CE médios (50 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$), um valor alto (100 a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e um valor baixo (menor do 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$). No rio Parauapebas são indicados valores de CE altos (100 a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e muito altos (> 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Na sub-bacia do rio Itacaiúnas são indicados os índices do estado trófico, de acordo com a **Figura 6.1.8.24**. Para o rio Itacaiúnas são encontrados índices abaixo de 47 (ultraoligotrófico). No rio Parauapebas no geral os índices estão abaixo de 47 (ultraoligotrófico). Mas há um ponto com índice entre 47 e 52 (oligotrófico) e um ponto com índice entre 52 e 59 (mesotrófico).



Fonte: ANA, 2009

FIGURA 6.1.8.22– Oxigênio Dissolvido – OD (mg/L).



Fonte: ANA, 2009

FIGURA 6.1.8.23 - Condutividade Elétrica ($\mu\text{S/cm}$).

Os dados de análises disponibilizados pela Vale correspondem a 02 pontos localizados no rio Itacaiúnas, a montante e a jusante da confluência do rio Cinzento e 01 ponto, localizado no rio Parauapebas, a jusante da confluência do igarapé Gelado. As tabelas que apresentam os resultados sendo comparados aos limites legais encontram-se no **Anexo XIII-A**.

A **Tabela 6.1.8.15** apresenta as identificações dos pontos de amostragem, suas coordenadas em UTM e respectivas descrições. A **Figura 6.1.8.25 (Anexo XIII-E)** apresenta a localização destes pontos.

TABELA 6.1.8.15

COMPOSIÇÃO DA REDE DE AMOSTRAGEM

Ponto de amostragem	Coordenadas		Corpo de Água	Descrição
	E	N		
ITA 01	553.228	9.350.075	Rio Itacaiúnas	A montante da confluência do rio Cinzento e a jusante do empreendimento
ITA02	558.249	9.350.660	Rio Itacaiúnas	A jusante da confluência do rio Cinzento e do empreendimento
P09	621.595	9.336.312	Rio Parauapebas	A jusante da confluência do igarapé Gelado e da área urbana da cidade de Parauapebas

- **Rio Itacaiúnas**

O diagnóstico da qualidade das águas superficiais do rio Itacaiúnas foi elaborado com base nos resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas de 04 campanhas de amostragens, ocorridas nos anos de 2008 e 2009 e é apresentado a seguir.

- pH

As Figuras 6.1.8.26 e 6.1.8.27 mostram os valores de pH obtidos, sendo comparados aos limites legais inferior e superior, de 6 a 9, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

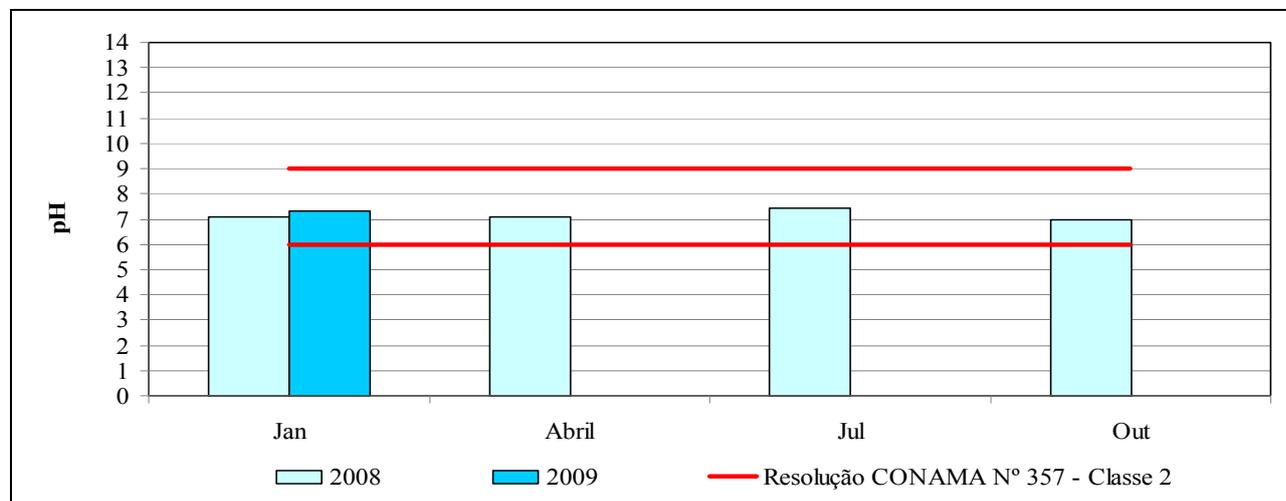


FIGURA 6.1.8.26 – Resultados das análises de pH – Ponto ITA 01 – rio Itacaiúnas.

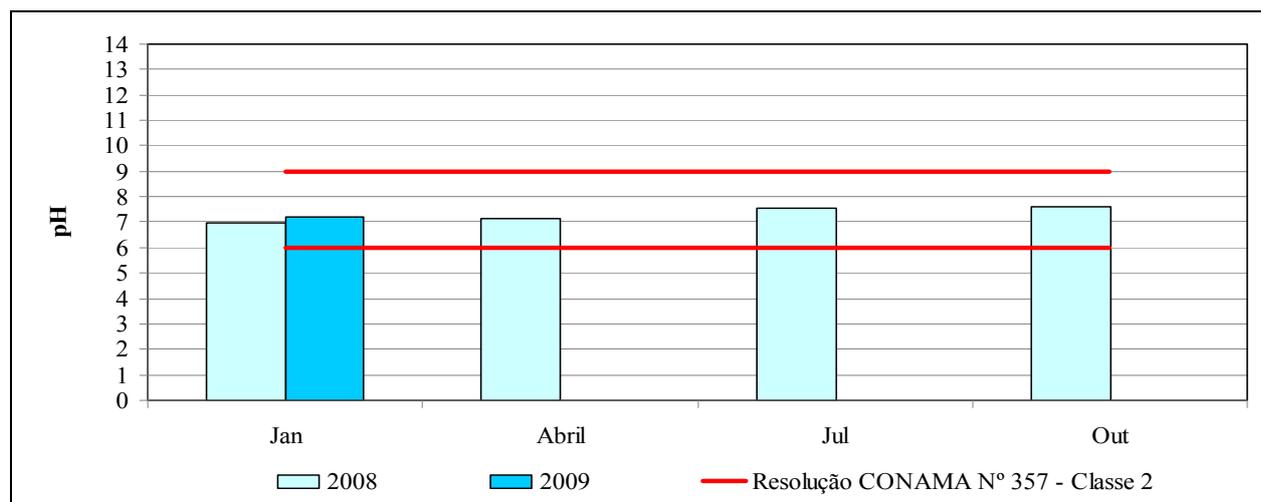


FIGURA 6.1.8.27– Resultados das análises de pH – Ponto ITA 02 – rio Itacaiúnas.

Os resultados das análises de pH variaram entre 6,98 e 7,52 e, portanto todos os resultados estão em conformidade com os limites superior e inferior estabelecido na referida Resolução. Os resultados das análises caracterizam águas neutras.

– Oxigênio Dissolvido (OD)

As Figuras 6.1.8.28 e 6.1.8.29 mostram as concentrações de oxigênio dissolvido no rio Itacaiúnas comparadas ao limite legal inferior de 5 mg/L de O₂, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

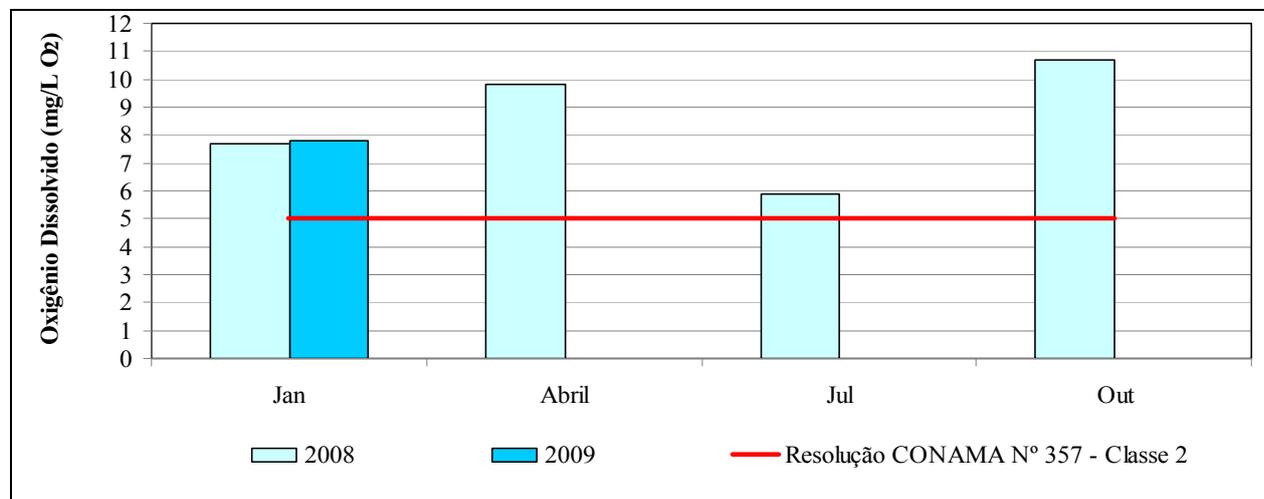


Figura 6.1.8.28 – Resultados das análises de oxigênio dissolvido – Ponto ITA 01 – rio Itacaiúnas.

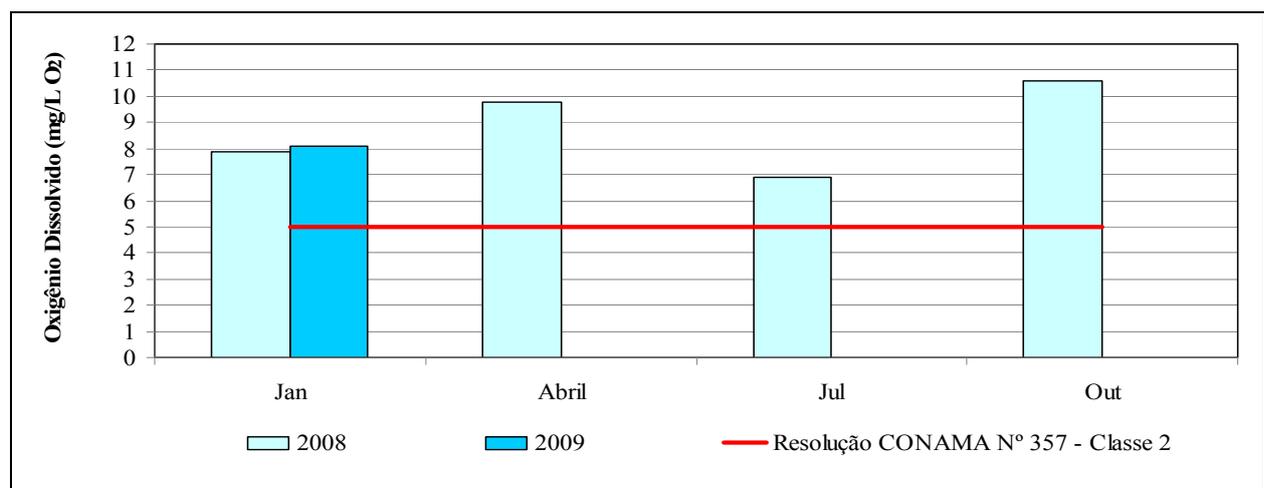


FIGURA 6.1.8.29 – Resultados das análises de oxigênio dissolvido – Ponto ITA 02 – rio Itacaiúnas.

As concentrações de oxigênio dissolvido variaram entre 5,9 mg/L O₂ e 10,7 mg/L O₂ e, portanto, acima do limite mínimo estabelecido pela referida Resolução.

– Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

As **Figuras 6.1.8.30 e 6.1.8.31** mostram as concentrações de DBO no rio Itacaiúnas comparadas ao limite legal superior de 5 mg/L de O₂, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

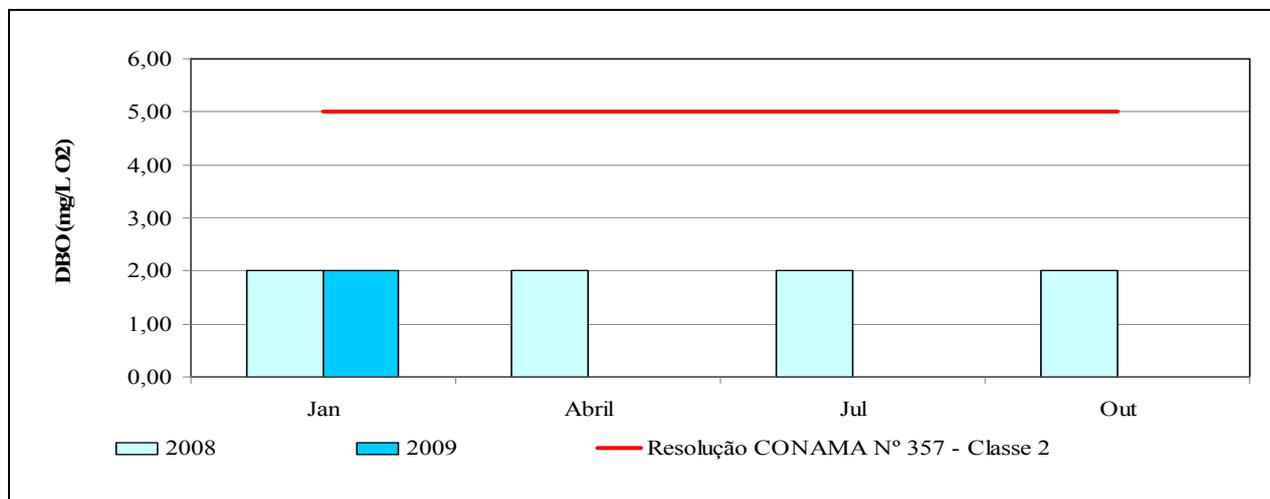


FIGURA 6.1.8.30 – Resultados das análises de demanda bioquímica de oxigênio – Ponto ITA 01 – rio Itacaiúnas.

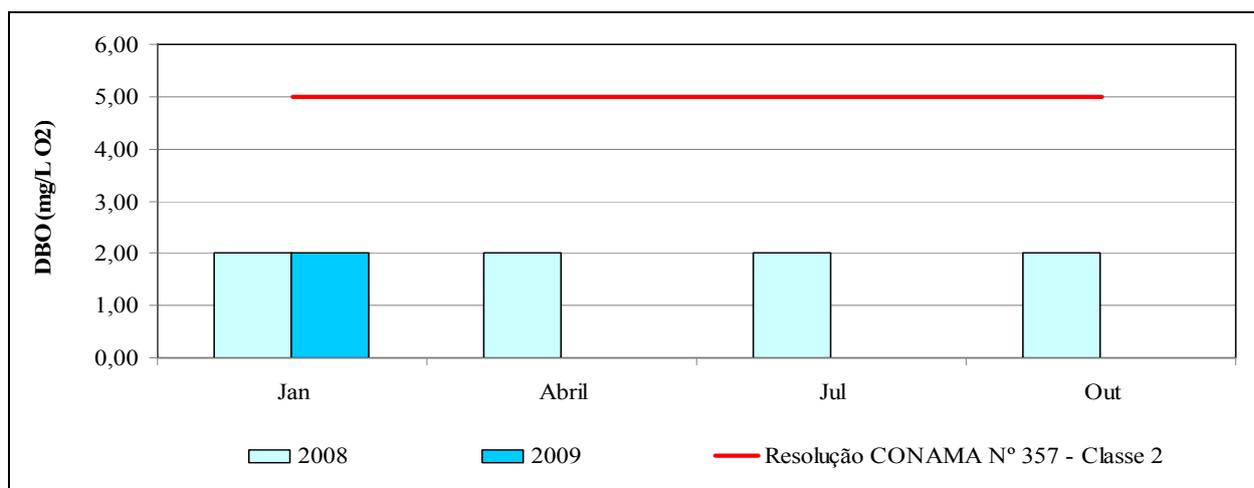


FIGURA 6.1.8.31 – Resultados das análises de demanda bioquímica de oxigênio – Ponto ITA 02 – rio Itacaiúnas.

Não houve variação nas concentrações de DBO e todos os resultados obtidos foram menor o limite de quantificação do método analítico de 2,0 mg/L O₂, portanto, todos os resultados obtidos atenderam ao limite máximo estabelecido na referida Resolução.

– Sólidos Dissolvidos Totais

Nas **Figuras 6.1.8.32 e 6.1.8.33** são apresentadas as concentrações de sólidos dissolvidos totais obtidas, comparadas ao limite legal superior de 500 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

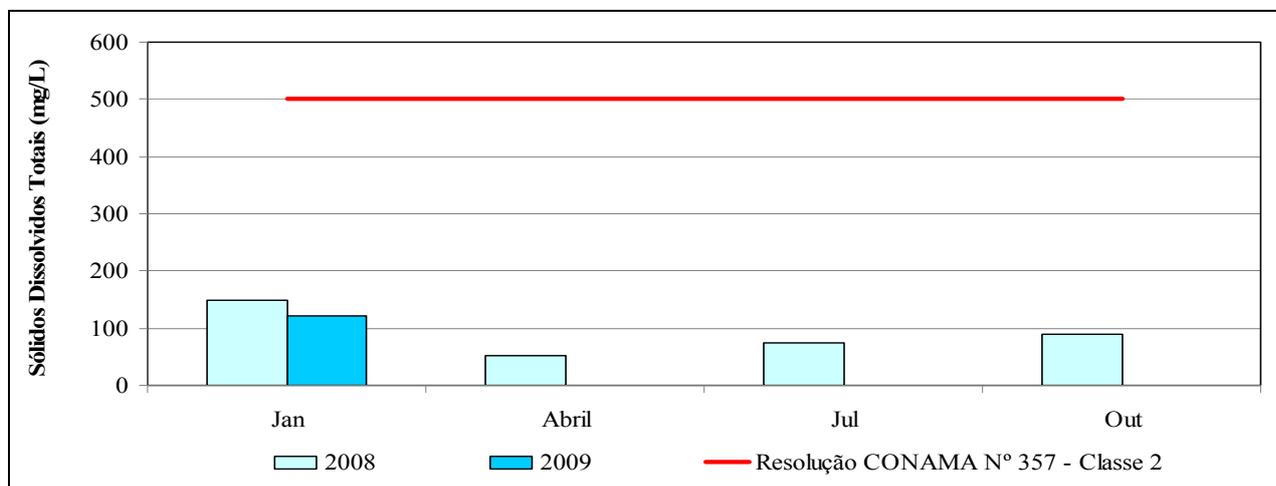


FIGURA 6.1.8.32– Resultados das análises de sólidos dissolvidos totais – Ponto ITA 01 – rio Itacaiúnas.

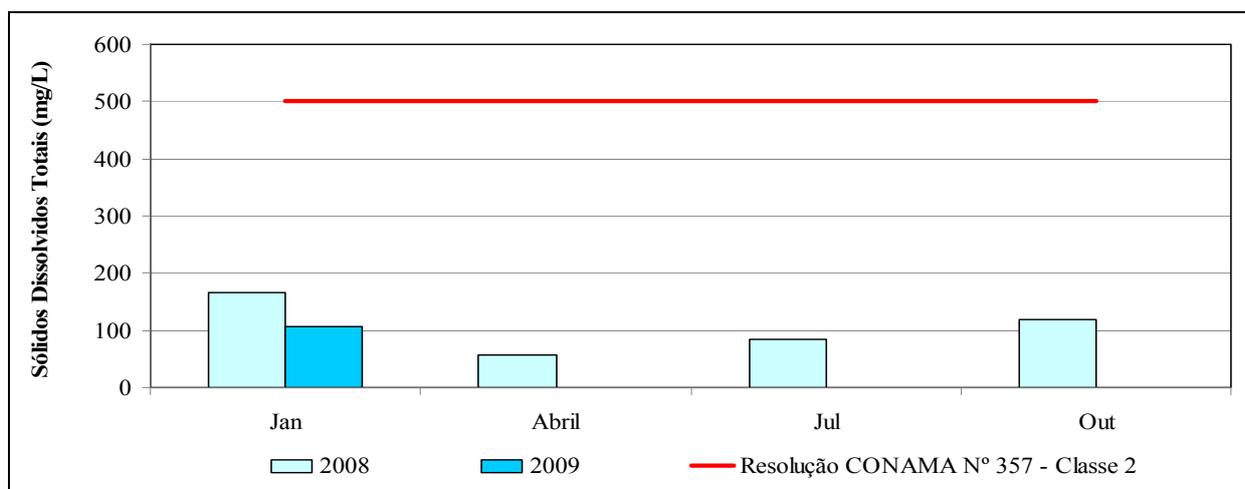


FIGURA 6.1.8.33 – Resultados das análises de sólidos dissolvidos totais – Ponto ITA 02 – rio Itacaiúnas.

As concentrações de sólidos dissolvidos variaram entre menor que 52 mg/L e 165 mg/L. Portanto, todos os resultados obtidos atenderam ao padrão estabelecido na referida Resolução.

– Cor Verdadeira

As **Figura 6.1.8.34** e **6.1.8.35** mostram as concentrações de cor verdadeira no rio Itacaiúnas comparadas ao limite legal superior de 75 mgPt/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

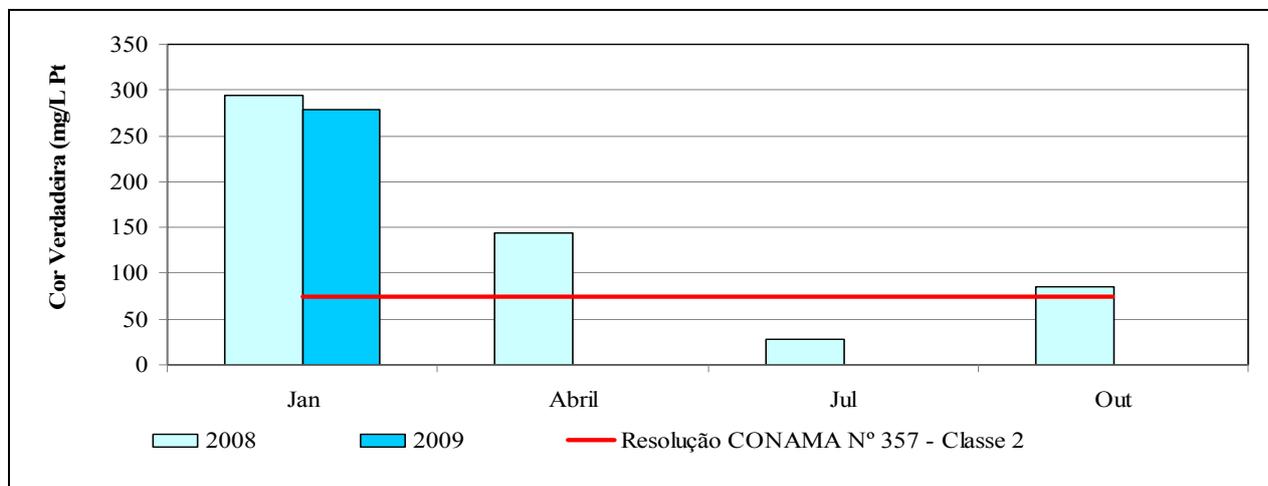


FIGURA 6.1.8.34 – Resultados das análises de cor verdadeira – Ponto ITA 01 – rio Itacaiúnas.

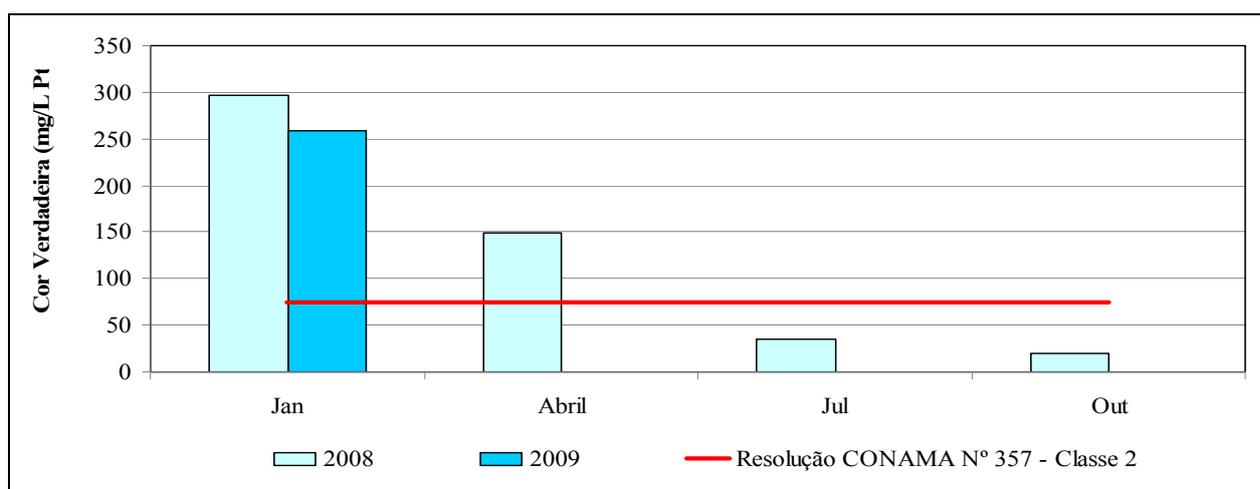


FIGURA 6.1.8.35 – Resultados das análises de cor verdadeira – Ponto ITA 02 – rio Itacaiúnas.

As concentrações de cor verdadeira variaram entre 20 mgPt/L e 297 mgPt/L. Os resultados das análises das amostragem de janeiro (2008-2009) e abril (2008) apresentaram-se acima dos padrões, tendo em vista a ocorrência de chuvas no período.

– Fósforo Total

As **Figuras 6.1.8.36 e 6.1.8.37** mostram as concentrações de fósforo total no rio Itacaiúnas comparadas ao limite legal superior de 0,1 mg/L (ambientes lóticos) estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

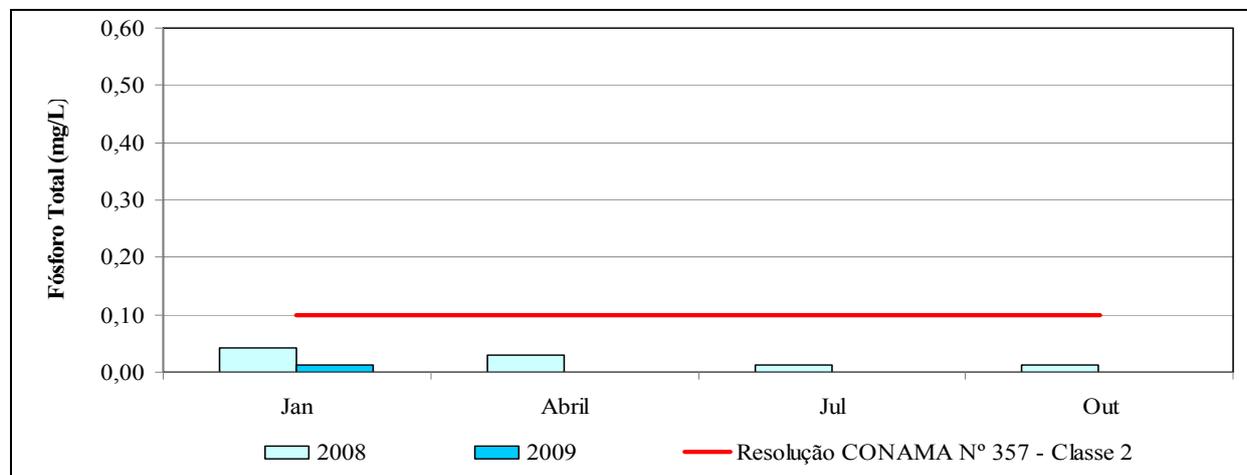


FIGURA 6.1.8.36 – Resultados das análises de fósforo total – Ponto ITA 01 – rio Itacaiúnas.

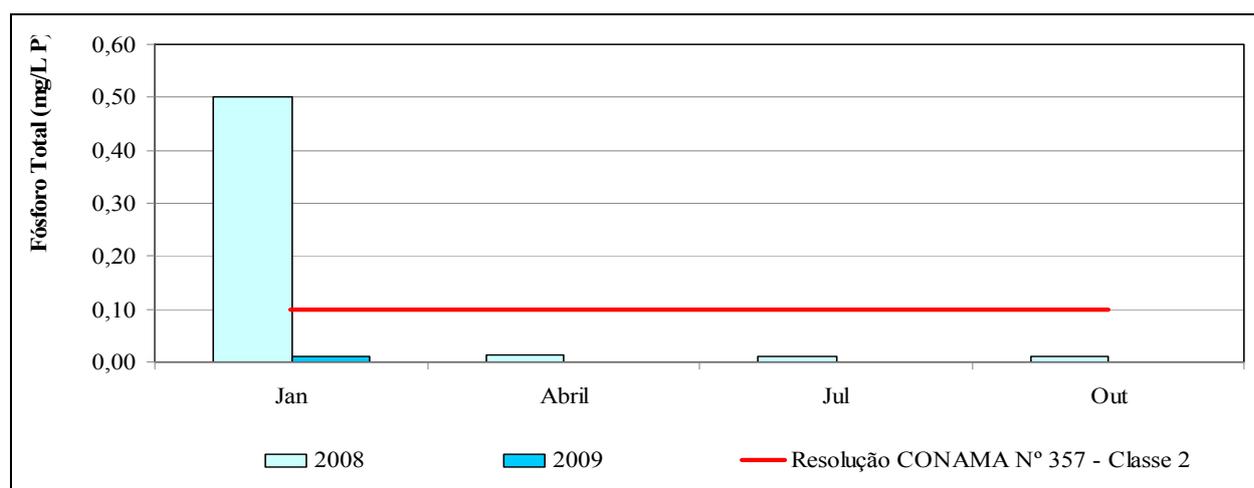


FIGURA 6.1.8.37 – Resultados das análises de fósforo total – Ponto ITA 02 – rio Itacaiúnas.

As concentrações de fósforo total variaram entre menor que 0,012 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 0,50 mg/L. Apenas o ponto ITA 02, na campanha de janeiro de 2008, apresentou-se acima do limite máximo estabelecido na referida Resolução, em função de chuvas neste período.

- Metais

Dentre os metais analisados, os que excederam ao limite superior determinado pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2, foram o ferro e o alumínio dissolvidos.

As **Figuras 6.1.8.38 e 6.1.8.39** mostram as concentrações de ferro dissolvido no rio Itacaiúnas comparadas ao limite legal máximo de 0,3 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

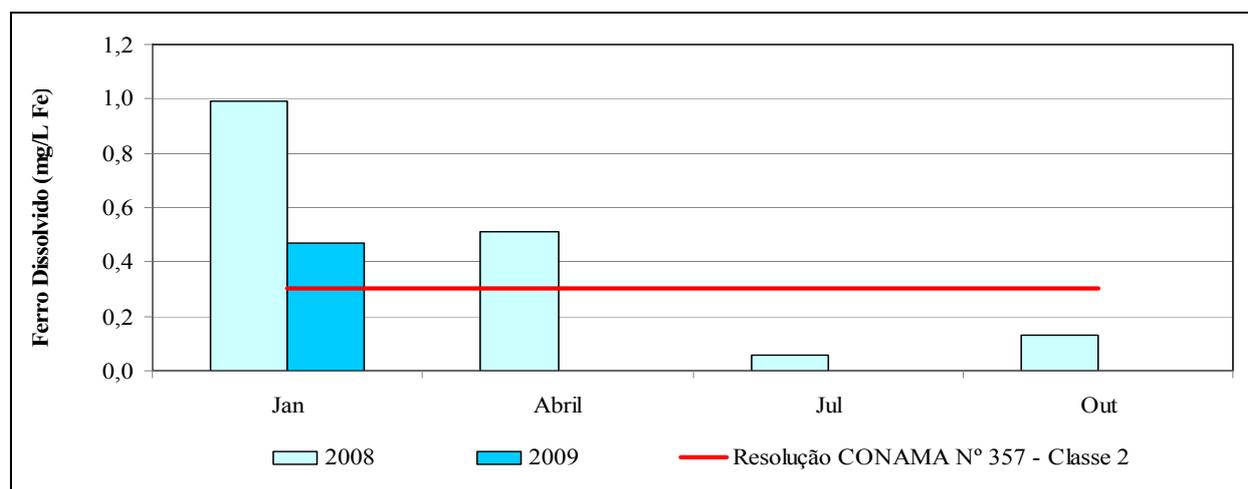


FIGURA 6.1.8.38 - Resultados das análises de ferro dissolvido – Ponto ITA 01 – rio Itacaiúnas.

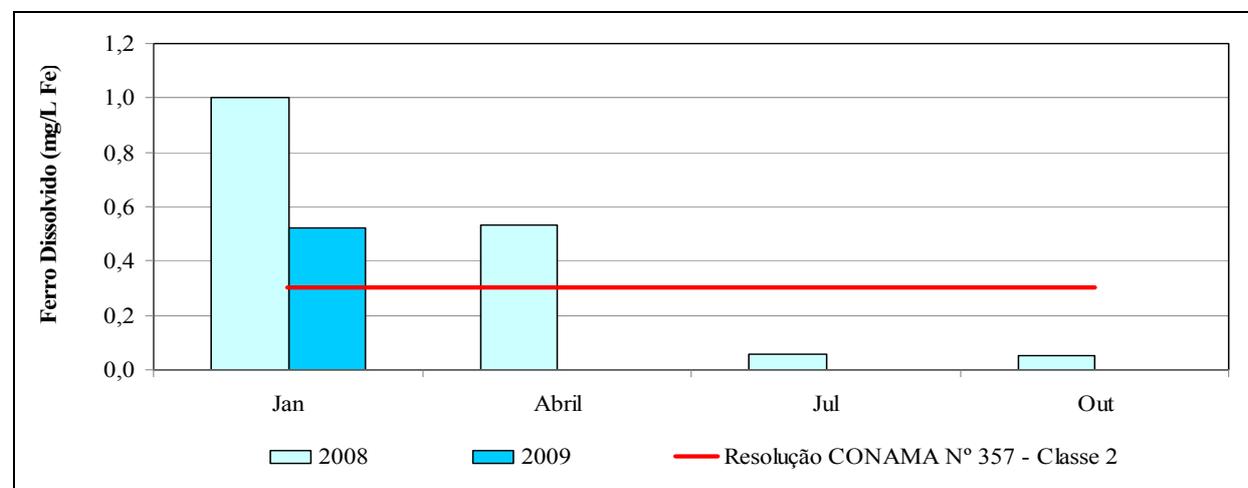


FIGURA 6.1.8.39 - Resultados das análises de ferro dissolvido – Ponto ITA 02 – rio Itacaiúnas.

As concentrações de ferro dissolvido variaram entre menor que 0,05 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 1,52 mg/L. Nas campanhas de janeiro e abril de 2008, nos dois pontos analisados, foram detectadas concentrações acima dos padrões em função da ocorrência de chuvas.

As **Figuras 6.1.8.40 e 6.1.8.41** mostram as concentrações de alumínio dissolvido no rio Itacaiúnas comparadas ao limite legal superior de 0,1 mg/L, estabelecido pela referida Resolução.

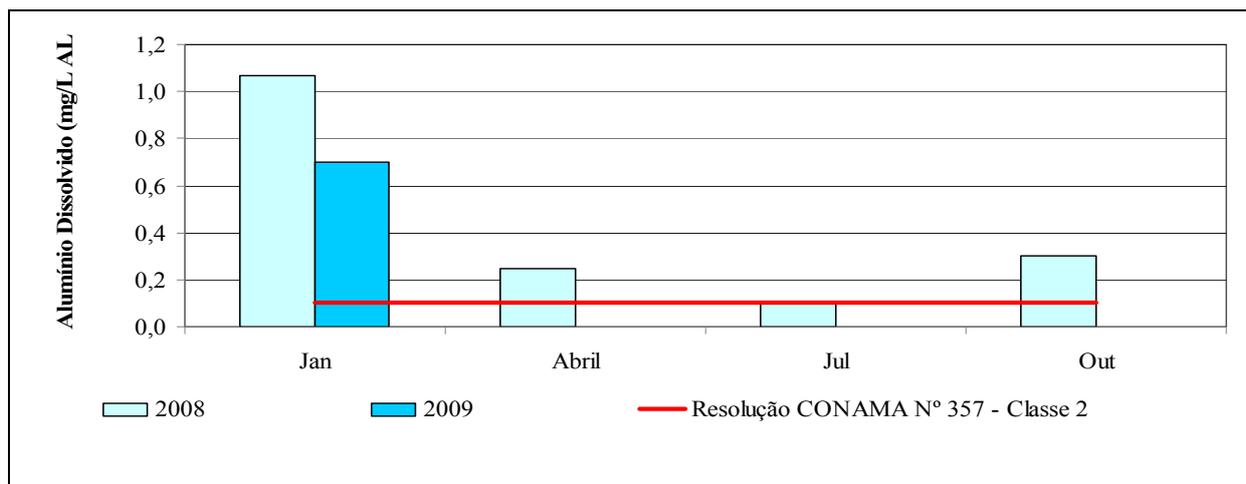


FIGURA 6.1.8.40 – Resultados das análises de alumínio dissolvido – Ponto ITA 01 – rio Itacaiúnas.

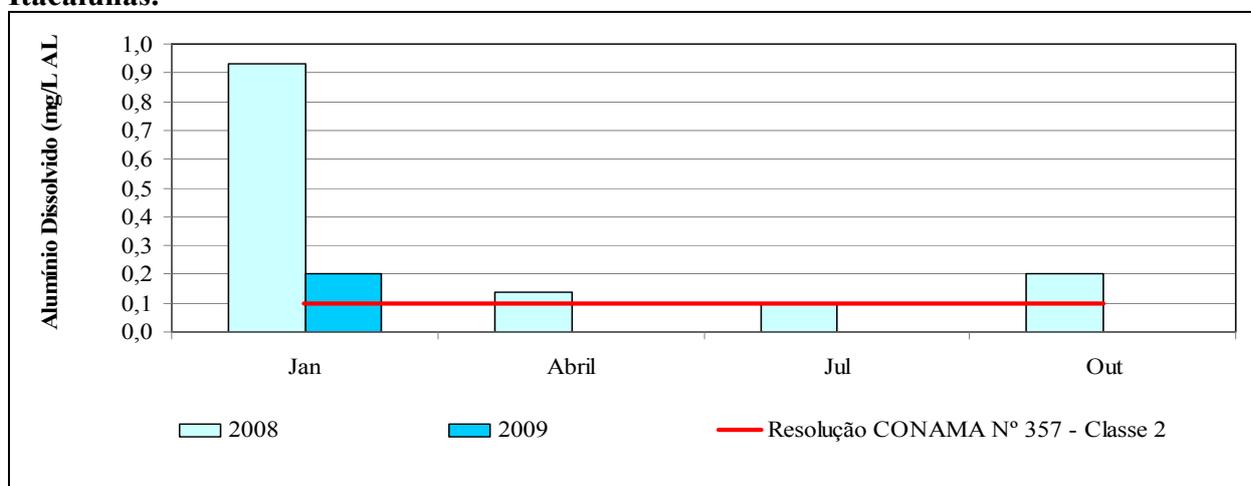


FIGURA 6.1.8.41 – Resultados das análises de alumínio dissolvido – Ponto ITA 02 – rio Itacaiúnas.

As concentrações de alumínio dissolvido variaram entre menor que 0,1 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 1,07 mg/L. Nas campanhas de janeiro, abril e outubro de 2008, nos dois pontos analisados, foram detectadas concentrações acima do padrão estabelecido.

– Coliformes Termotolerantes (Fecais)

As **Figuras 6.1.8.42 e 6.1.8.43** mostram as concentrações de coliformes termotolerantes no rio Itacaiúnas comparadas ao limite legal superior de 1000 UFC/100mL, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

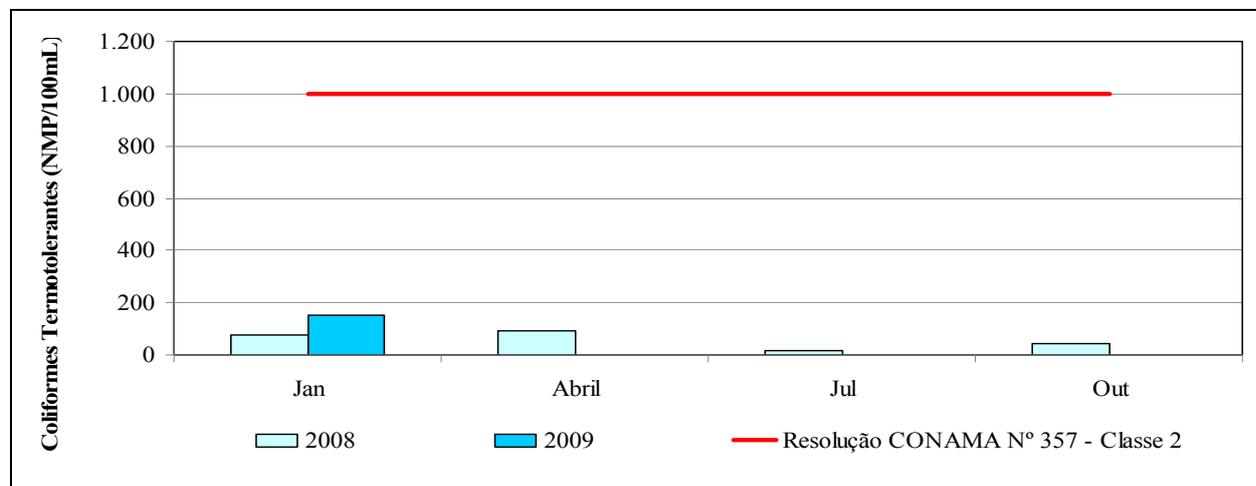


FIGURA 6.1.8.42 – Resultados das análises de coliformes termotolerantes – Ponto ITA 01 – rio Itacaiúnas.

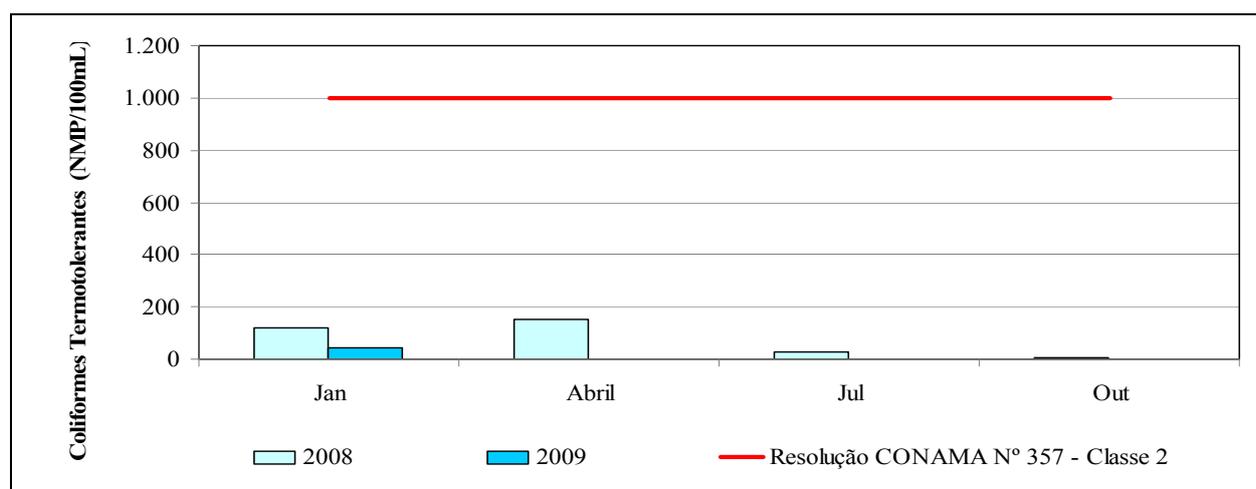
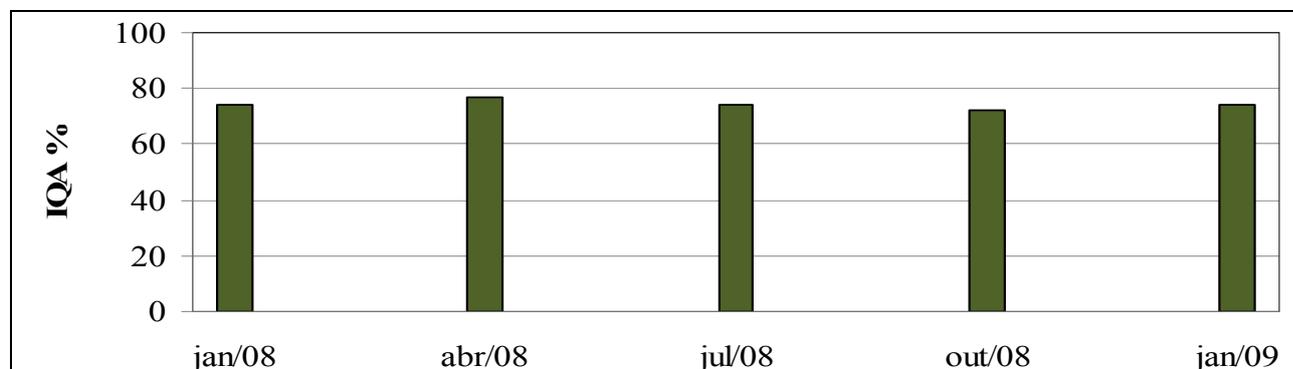


FIGURA 6.1.8.43 – Resultados das análises de coliformes termotolerantes – Ponto ITA 02 – rio Itacaiúnas.

As concentrações de coliformes termotolerantes variaram entre 4,0 UFC/100mL e 150 UFC/100mL e, portanto todas as campanhas apresentaram resultados que atenderam ao padrão estabelecido na referida Resolução.

– Índice de Qualidade das Águas

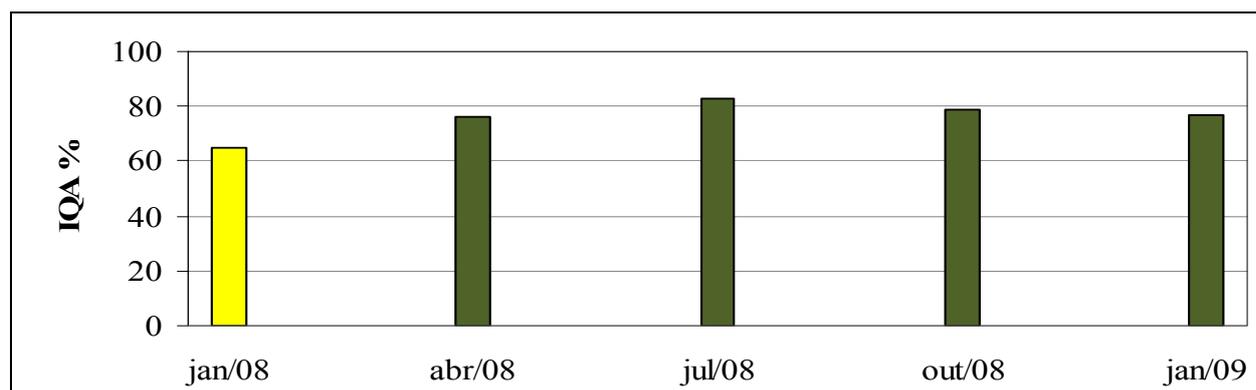
As Figuras 6.1.8.44 e 6.1.8.45 mostram os resultados de IQA obtidos para os pontos estudados no rio Itacaiúnas.



Legenda

Nível de Qualidade	Muito Ruim	Ruim	Médio	Bom	Excelente
Faixa	$0 \leq IQA \leq 25$	$25 < IQA \leq 50$	$50 < IQA \leq 70$	$70 < IQA \leq 90$	$90 < IQA \leq 100$

FIGURA 6.1.8.44 – Resultados do índice de qualidade das águas – Ponto ITA 01 – rio Itacaiúnas.



Legenda

Nível de Qualidade	Muito Ruim	Ruim	Médio	Bom	Excelente
Faixa	$0 \leq IQA \leq 25$	$25 < IQA \leq 50$	$50 < IQA \leq 70$	$70 < IQA \leq 90$	$90 < IQA \leq 100$

FIGURA 6.1.8.45 – Resultados do índice de qualidade das águas – Ponto ITA 02 – rio Itacaiúnas.

Os resultados de IQA variaram entre 72% e 77%, sendo registrados valores que indicam águas com nível e qualidade bom para o ponto ITA 01.

Já os valores de IQA encontrados para o ponto ITA 02 variaram entre 65% e 83% indicando águas de qualidade boa a média. Ressalta-se que apenas em janeiro de 2008 o nível de qualidade foi médio devido principalmente a concentrações mais elevadas de coliformes fecais, fosfatos e turbidez.

• Rio Parauapebas

O diagnóstico da qualidade das águas superficiais do rio Parauapebas foi elaborado com base nos resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas, em período quinzenal, no ano de 2005.

– pH

A **Figura 6.1.8.46** mostra os valores de pH obtidos para os dois pontos, sendo comparados aos limites legais mínimo e máximo, de 6 a 9, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

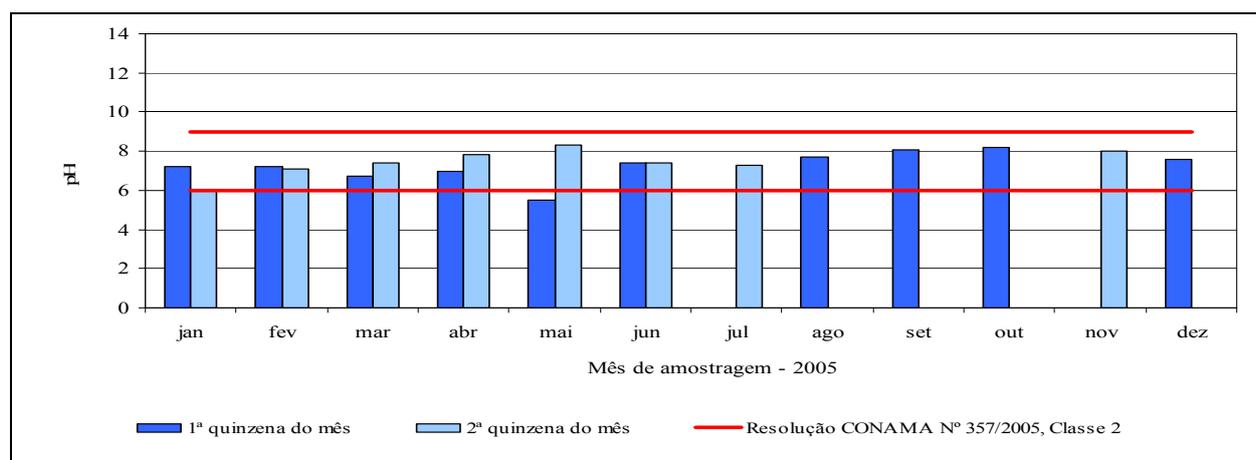


FIGURA 6.1.8.46 – Resultados das análises de pH – Ponto P09 – rio Parauapebas.

Os resultados das análises de pH variaram entre 5,50 e 8,30. Apenas um resultado, referente à amostragem de maio 2005, não atendeu ao limite mínimo estabelecido na referida Resolução. Com exceção deste resultado, os demais caracterizam águas neutras, tendendo a condições levemente alcalina em alguns pontos.

– Oxigênio Dissolvido (OD)

A **Figura 6.1.8.47** mostra as concentrações de oxigênio dissolvido no rio Parauapebas comparadas ao limite legal mínimo de 5 mg/L de O₂, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

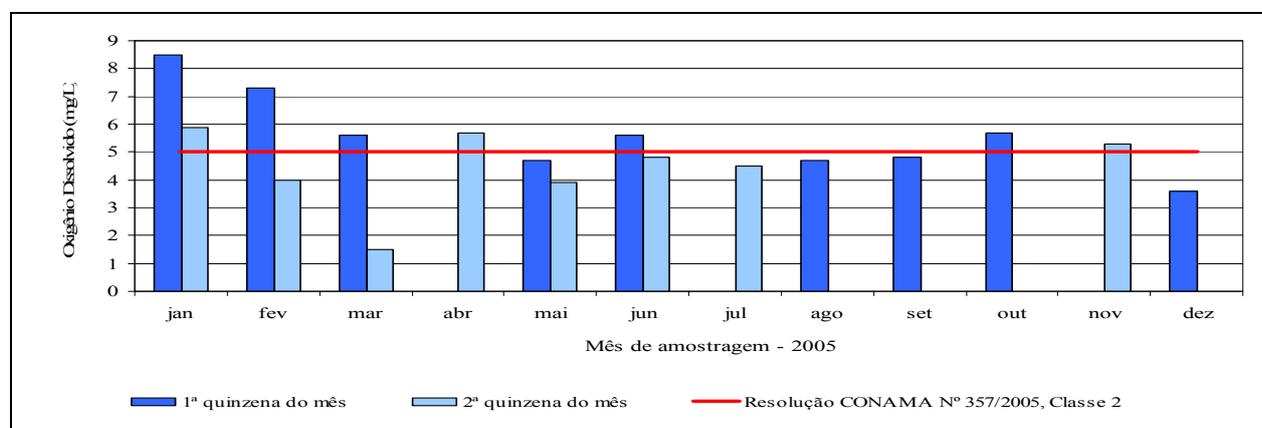


FIGURA 6.1.8.47– Resultados das análises de oxigênio dissolvido – Ponto P09 – rio Parauapebas.

As concentrações de oxigênio dissolvido variaram entre 1,5 mg/L O₂ e 8,5 mg/L O₂. Das amostras analisadas, 53 % não atenderam ao limite inferior estabelecido na referida Resolução demonstrando que as águas do rio Parauapebas neste local apresentam baixo nível de oxigenação.

– Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A **Figura 6.1.8.48** mostra os valores de DBO no rio Parauapebas comparadas ao limite legal máximo de 5 mg/L de O₂, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

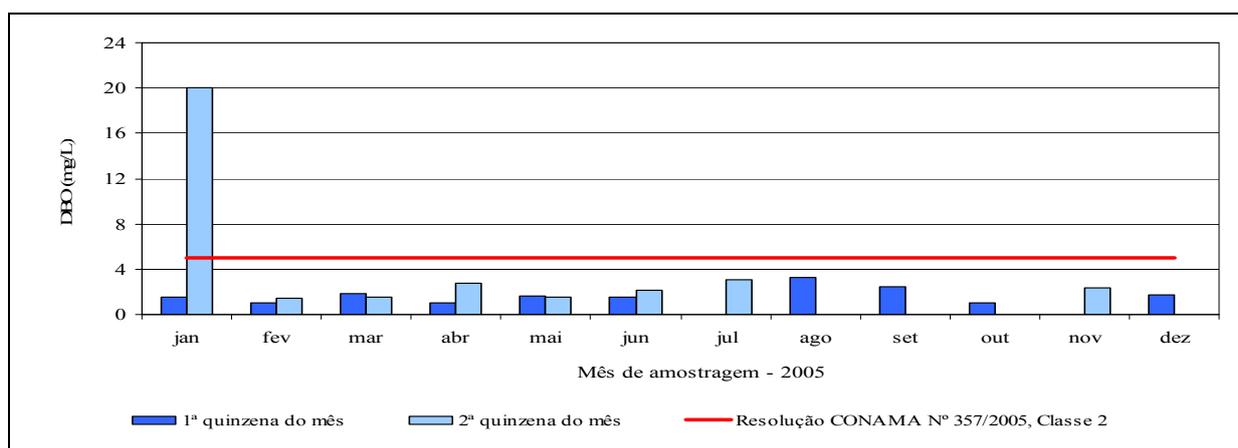


FIGURA 6.1.8.48 – Resultados das análises de demanda bioquímica de oxigênio – Ponto P09 – rio Parauapebas.

Os valores de DBO variaram entre 1,0 mg/L O₂ e 20,0 mg/L O₂, ocorrendo registros em relação ao padrão ambiental estabelecido apenas na campanha de janeiro, 2005, em função das chuvas neste período.

– Sólidos Dissolvidos Totais

A **Figura 6.1.8.49** mostra a concentrações de sólidos dissolvidos totais no rio Parauapebas comparadas ao limite legal máximo de 500 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

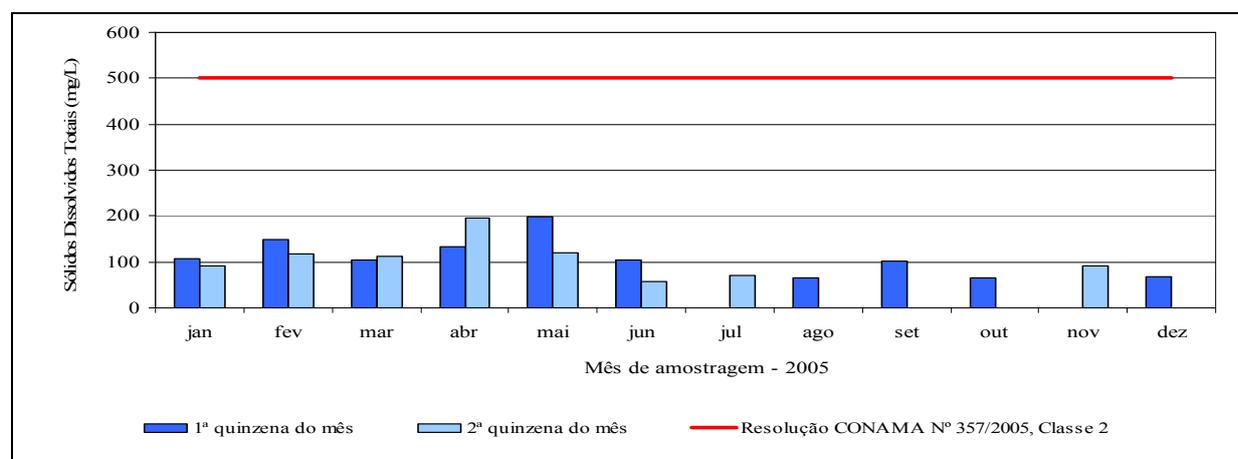


FIGURA 6.1.8.49– Resultados das análises de sólidos dissolvidos totais – Ponto P09 – rio Parauapebas.

As concentrações de sólidos dissolvidos variaram entre menor que 58 mg/L e 198 mg/L, portanto, todos os resultados obtidos atenderam aos limites estabelecidos na referida Resolução.

– Metais

Dentre os metais analisados, os que excederam aos limites máximos determinados pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2, foram o ferro e o cobre dissolvidos e o mercúrio e o cádmio totais.

A **Figura 6.1.8.50** mostra as concentrações de ferro dissolvido no rio Parauapebas comparadas ao limite legal superior de 0,3 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

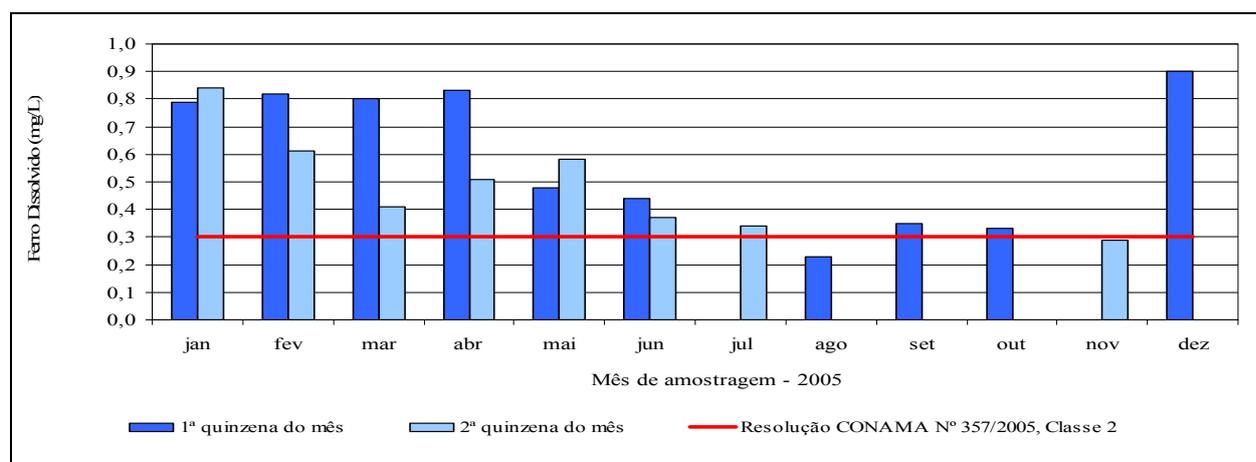


FIGURA 6.1.8.50 - Resultados das análises de ferro dissolvido – Ponto P09 – rio Parauapebas.

As concentrações de ferro dissolvido variaram entre menor que 0,23 mg/L e 0,90 mg/L. Os registros de concentrações acima do limite legal ocorreram em quase todas as campanhas. As exceções foram os resultados das análises das campanhas de agosto e novembro.

A **Figura 6.1.8.51** mostra as concentrações de cobre dissolvido no rio Parauapebas comparadas ao limite legal superior de 0,009 mg/L, estabelecido pela referida Resolução.

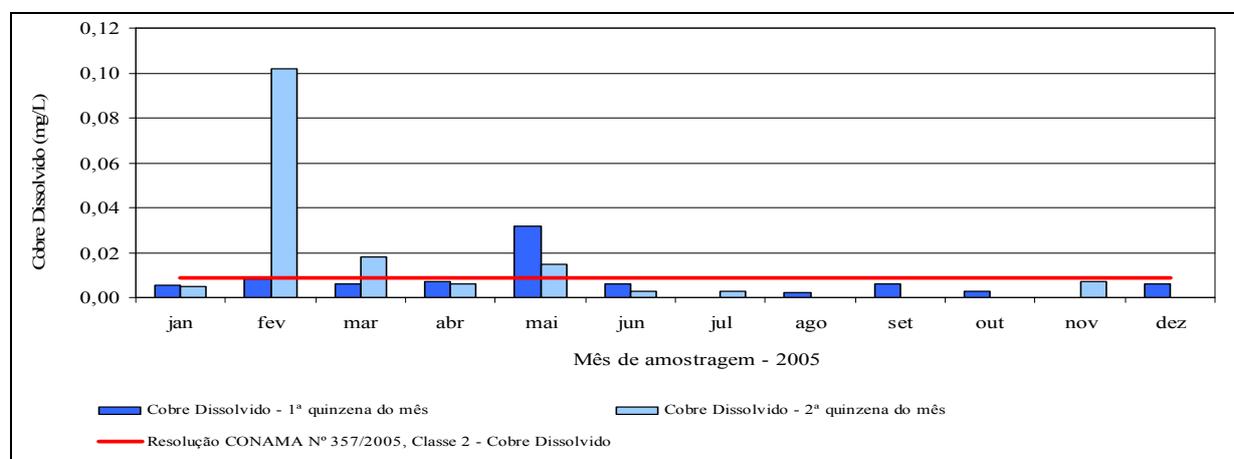


FIGURA 6.1.8.51 – Resultados das análises de cobre dissolvido – Ponto AS 09 – rio Parauapebas.

As concentrações de cobre dissolvido variaram entre menor que 0,001 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 0,102 mg/L. Os registros de concentrações acima do padrão ambiental ocorreram nas campanhas de fevereiro e março e, maio, ano de 2005.

– Coliformes Termotolerantes (Fecais)

A **Figura 6.1.8.52** mostra as concentrações de coliformes termotolerantes no rio Parauapebas comparadas ao limite legal superior de 1000 UFC/100mL, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

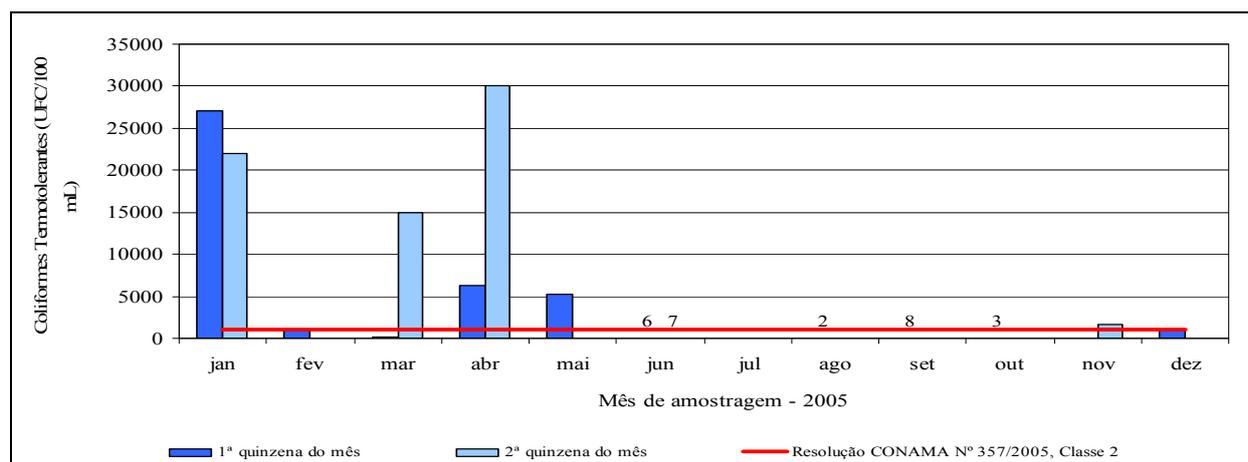


FIGURA 6.1.8.52 – Resultados das análises de coliformes termotolerantes – Ponto P09 – rio Parauapebas.

As concentrações de coliformes termotolerantes variaram entre Ausente e 3600 UFC/100mL. As concentrações acima do limite legal ocorreram nas campanhas de janeiro, março, abril, maio e novembro, ano de 2005.

Quanto à qualidade das águas do rio Itacaiúnas, não foram observadas variações significativas entre os resultados dos pontos ITA01 e ITA02. As águas apresentaram valores de pH predominantemente neutros e resultados pouco significativos de sólidos dissolvidos totais.

Os teores de oxigênio dissolvido atenderam ao padrão legal, com resultados de até 10,7 mg/L (ponto ITA02 – outubro 2007) indicando águas com boa oxigenação. Condizendo com os valores encontrados para OD, a DBO apresentou-se abaixo do limite máximo estabelecido na referida Resolução em todos os meses analisados.

Em ambos os pontos a ocorrência de teores fora do padrão, como ferro e alumínio dissolvidos, cor verdadeira e fósforo total foram nas campanhas de janeiro (2008-2009), abril e outubro (2008) devido à ocorrência de chuvas neste período. Destaca-se que todos os resultados de coliformes fecais atenderam ao padrão legal.

Em todas as campanhas analisadas, em ambos os pontos do rio Itacaiúnas, o IQA indicou águas com nível de qualidade bom. A exceção foi à campanha de janeiro de 2008, ponto ITA02, que indicou águas com nível de qualidade média devido ao número elevado de coliformes fecais e um aumento na turbidez devido ao período de chuvas.

Os resultados das análises de pH do rio Parauapebas apresentaram águas com características neutras levemente alcalinas. A exceção foi o resultado da campanha de maio de 2005 que foi inferior ao limite mínimo de 6,0 estabelecido na Resolução CONAMA357/2005, classe 2.

Todos os resultados de demanda bioquímica de oxigênio – DBO - foram menores que 4,0 mg/L O₂ e, portanto, abaixo do padrão máximo de 5,0 mg/L de O₂ da referida Resolução. A exceção foi a amostra da campanha de janeiro que apresentou concentração de 20,0 mg/L O₂. Contudo os teores de oxigênio dissolvido estiveram abaixo do padrão legal em várias amostras indicando águas com níveis de oxigenação inadequados para a proteção das comunidades aquáticas em função da localização do ponto de amostragem, a jusante da área urbana da cidade de Parauapebas.

Os resultados de sólidos dissolvidos foram poucos expressivos não ultrapassando a concentração de 200mg/L. Foram detectadas concentrações de ferro dissolvido sistematicamente acima do padrão de qualidade da Classe 2 e o cobre dissolvido em três amostras nos meses de fevereiro e maio.

Foi observado expressivo aumento nas contagens de coliformes fecais / termotolerantes nos meses de janeiro, março, abril e maio denotando possível contribuição do lançamento de esgotos domésticos e/ou escoamento superficial das áreas de pastagens, em função das ocorrências de chuvas no período mencionado.

b.2 Águas Subterrâneas

Em conformidade com a ANA – Agência Nacional de Águas (2009), o conhecimento físico-químico e bacteriológico da qualidade das águas subterrâneas da RHTA - Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia é bastante limitado não sendo possível, com estes dados, classificar hidroquimicamente as águas subterrâneas.

Os dados disponíveis mostram que as águas dos domínios Poroso e Fraturado são de boa qualidade. De 143 amostras analisadas, 95% apresentam parâmetros físico-químicos dentro dos padrões de potabilidade, segundo o Ministério da Saúde por meio da Portaria nº 518/2004 (Brasil, 2004a; *in* ANA, 2009).

De acordo com ANA (2009), uma caracterização geral mostra que as águas da região se caracterizam pela baixa salinidade e, em alguns sistemas aquíferos, foram identificadas altas concentrações de ferro total e nitrato. O primeiro apresenta origem natural e ocorre, principalmente, nos poços dos sistemas aquíferos do domínio Poroso. Os teores elevados podem produzir problemas como gosto metálico, manchas em roupas e em instalações hidráulicas e redução de vazões e da vida útil dos poços.

Em alguns casos é necessário o tratamento prévio da água para seu aproveitamento. A presença de teores elevados de nitrato, por outro lado, evidencia contaminação possivelmente relacionada à deficiência de saneamento básico (fossas e baixo nível de cobertura por esgotos) e falta de proteção sanitária na construção dos poços (ANA, 2009).

Cabe destacar que os sistemas aquíferos das coberturas cenozóicas, além dos poços tubulares profundos, são explorados por meio de poços rasos (cacimbas, poços amazonas e cacimbões) normalmente situados nas áreas urbanas e ao longo dos rios. Devido à má construção desses poços, ao saneamento básico precário e a uma condição de vulnerabilidade à contaminação elevada associada a um nível freático geralmente raso, é comum a contaminação bacteriológica e por nitratos dessas águas (ANA, 2009).

c) Classificação Hidroquímica das Águas Superficiais e Subterrâneas

c.1 Águas Superficiais

De acordo com os esclarecimentos do IBAMA nas reuniões dos dias 18 e 19 de agosto de 2009, frente às dúvidas do TR expostas pela Vale, a caracterização da águas superficiais deverá seguir a Resolução CONAMA 357/2005 (vide ATA de reunião que consta no **Anexo I**).

c.2 Águas Subterrâneas

Conforme descrito no item de metodologia, a caracterização da qualidade das águas superficiais e subterrâneas da AII foi elaborada por meio da análise de dados secundários (ANA e Vale). Porém, não existem até o momento dados regionais para elaboração da classificação hidroquímica regional das águas subterrâneas.

d) Estudo de capacidade de suporte de carga dos corpos de água da AII receptores dos efluentes do empreendimento

Uma vez que a alteração na qualidade das águas devido ao lançamento de efluentes caracteriza-se como de abrangência local nas três etapas do empreendimento (implantação, operação e fechamento), o estudo da capacidade de suporte de carga do corpo de água receptor dos efluentes não foi considerado no estudo da AII.

Esse fato é comprovado pelos resultados obtidos no trecho final simulado do rio Sossego quando da elaboração do estudo de autodepuração que considerou os trechos dos corpos receptores contidos na AID. Esses resultados evidenciaram que as alterações na qualidade das águas, devido aos lançamentos de efluentes do empreendimento, não alcançam a área de influência indireta (AII).

e) Substâncias, entre aquelas previstas na Resolução CONAMA 357/05 para padrões de qualidade de água, que poderão estar contidas no efluente lançado

Como todos os lançamentos de efluentes do empreendimento acontecerão na ADA, esse tópico será descrito no item de caracterização da qualidade das águas da AID.

f) Substâncias presentes no efluente lançado, não contempladas na Resolução CONAMA 357/05, porém de conhecimento do empreendedor

Conforme já mencionado, como todos os lançamentos de efluentes do empreendimento acontecerão na ADA, esse tópico será descrito no item de caracterização da qualidade das águas da AID.

g) Situação da área diretamente afetada pelo empreendimento em relação aos corpos receptores

Conforme mencionado no presente tópico, essa descrição será apresentada no item de caracterização da qualidade das águas da AID.

h) Metodologias utilizadas e critérios de escolha dos pontos e datas de amostragem

Para a caracterização da AII foram utilizadas informações da ANA - Agência Nacional de Águas – disponibilizadas no relatório do Plano Estratégico da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia (2009) e dados disponibilizados pela Vale referentes aos monitoramentos realizados em dois pontos no rio Itacaiúnas e em um ponto no rio Parauapebas.

As metodologias utilizadas para o estudo de qualidade das águas na Área de Influência Indireta estão apresentadas no **item 1.3.1 (Metodologia - Qualidade dos Corpos de Água)**.

i) Mapeamento das nascentes e vazão das mesmas situadas dentro da área de influência direta pelo empreendimento

Conforme mencionado no presente tópico, essa descrição será apresentada no item de caracterização da qualidade das águas da AID.

j) Localização de fontes potenciais poluidoras

A descrição das fontes potenciais poluidoras do empreendimento em licenciamento encontra-se apresentada no item de caracterização da qualidade das águas da AID.

k) Mapa com a localização dos pontos de amostragem

A **Figura 6.1.8.25** com a localização dos pontos de monitoramento da AII encontra-se apresentada no **Anexo XIII-E**.

l) Identificação de Pontos de Assoreamento na AII

De acordo com os esclarecimentos do IBAMA nas reuniões dos dias 18 e 19 de agosto de 2009, frente às dúvidas do TR expostas pela Vale, nesse item devem ser identificadas todas as drenagens temporárias ou permanentes vinculadas às estruturas do projeto, caracterizando-as quanto à sua susceptibilidade à acumulação e formação de bancos de areia ou à sua estabilidade morfodinâmica, estabelecendo pontos de monitoramento (vide ATA de reunião que consta no **Anexo I**). Por isso, esse item encontra-se descrito na caracterização da águas da AID, apresentado a seguir.

6.1.8.4 Qualidade dos Corpos de Água da Área Indiretamente Afetada (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA)

a) Identificação e mapeamento dos corpos de água presentes nas AID e ADA

Na **Figura 6.1.8.18** apresentada no **Anexo XII-B** pode ser observado o mapeamento dos corpos de água presentes na AID.

Conforme estabelece o Artigo 42 do Capítulo VI da Resolução CONAMA N° 375/2005, enquanto não aprovados os enquadramentos, as águas doces devem ser consideradas como Classe 2. Dessa forma, todos os resultados obtidos para as análises de parâmetros físicos, químicos e biológicos, quando pertinente, foram comparados aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA N°. 357/2005 para águas doces com tal enquadramento.

Há que se ressaltar que a amostra coletada no reservatório da água que abastece a Vila de Mozartinópolis também foi comparada aos limites determinados pela Portaria N° 518/2004 do Ministério da Saúde, que estabelece em seu Art.15 o padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam riscos para a saúde, uma vez que essa água é utilizada para consumo humano.

b) Caracterização dos corpos de água quanto à classe e enquadramento

b.1. Águas Superficiais

O diagnóstico da qualidade das águas superficiais da AID e ADA foi elaborado com base nos resultados das análises de parâmetros físicos, químicos e biológicos obtidos em duas campanhas de amostragem realizadas em dois períodos distintos. Estes resultados foram comparados, quando pertinente, aos limites máximos ou mínimos estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, águas de classe 02, situação atual dos corpos de águas inseridos na AID e ADA do empreendimento.

Os procedimentos metodológicos com as definições da rede, períodos, parâmetros, métodos de amostragem, métodos de análises e avaliação dos resultados obtidos estão apresentados **no item 1.3.1** (“*Metodologia - Qualidade dos Corpos de Água*”).

Os laudos com os resultados analíticos encontram-se no **Anexo XIII-C** e as tabelas que apresentam os resultados analíticos comparados aos limites legais estão no **Anexo XIII-D**.

As **Figuras 6.1.8.53a e 6.1.8.53b** apresentadas no **Anexo XIII-E** mostram a rede de amostragem identificando a localização dos pontos de coleta, as delimitações das bacias, o plano diretor do empreendimento e as áreas de influência do mesmo. No **Anexo XIII-B** estão apresentados os formulários de campo com informações registradas *in loco* e o registro fotográfico de cada ponto amostrado.

A **Tabela 6.1.8.16** apresenta a composição da rede de amostragem com as bacias hidrográficas, os pontos de coleta, suas coordenadas geográficas, o corpo de água no qual cada um está inserido.

TABELA 6.1.8.16

COMPOSIÇÃO DA REDE DE AMOSTRAGEM

Bacia Hidrográfica/ N° Área no Mapa	Pontos de Amostragem	Coordenadas (UTM)		Corpo de Água
		X	Y	
Rio Sossego - 1	PM23	571.257	9.294.410	Cabeceira do rio Sossego
	MU05	572.895	9.292.476	Afluente margem direita - cabeceira do rio Sossego
	PM24	573.170	9.293.130	Afluente margem direita - cabeceira do rio Sossego
	MU14	575.157	9.293.053	Afluente margem direita
	PM03	577.058	9.294.639	Rio Sossego
	MU34	576.562	9.292.183	Afluente margem direita rio Sossego-lagoa de altitude
	MU18	577.024	9.292.222	Afluente margem direita
	MU17	575.990	9.291.777	Afluente margem direita
	MU21	581.335	9.289.540	Rio Sossego
F04	592.525	9.289.139	Rio Sossego	
igarapé Pacu - 2	MU16	574.542	9.290.702	Afluente margem esquerda - cabeceira do igarapé Pacu
	MU23	573.887	9.287.992	Igarapé Pacu
	MU24	573.885	9.287.989	Afluente margem esquerda - igarapé Pacu
	MU33	573.903	9.287.984	Igarapé Pacu
	MU22	574.578	9.288.038	Afluente margem esquerda - igarapé Pacu
	MU26	575.270	9.286.349	Igarapé Pacu
	MU25	575.283	9.286.345	Afluente margem direita - igarapé Pacu
	MU27	575.920	9.285.512	Igarapé Pacu
	MU28	573.081	9.284.467	Afluente margem direita - igarapé Pacu
	F20	575.298	9.283.370	Afluente margem direita - igarapé Pacu
	MU32	576.888	9.282.960	Afluente margem direita - igarapé Pacu
	F19	577.737	9.282.280	Igarapé Pacu
	F01	578.690	9.281.509	Igarapé Pacu
MU35	578.354	9.287.006	Afluente margem esquerda - igarapé Pacu	
igarapé Serra Sul -3	MU03	569.799	9.293.739	Igarapé Serra Sul - cabeceira
	MU01	567.981	9.294.400	Igarapé Serra Sul - cabeceira
Afluente Alto Itacaiúnas, porção sudoeste do Bloco D-4	MU13	569.235	9.287.208	Afluente Alto Itacaiúnas, porção sudoeste do Bloco D
	MU04	571.716	9.292.567	Lagoa do Violão
	MU02	567.957	9.293.103	Afluente Alto Itacaiúnas, porção sudoeste do Corpo S11 Bloco D
	PM31	567.762	9.292.161	Afluente Alto Itacaiúnas, porção sudoeste do Corpo S11 Bloco D
	PM12	566.034	9.290.843	Afluente Alto Itacaiúnas, porção sudoeste do Corpo S11 Bloco D
rio Parauapebas - 5	F07	607.648	9.291.066	Rio Parauapebas
	F21	606.760	9.293.852	Rio Parauapebas

– Bacia do Rio Sossego

Nesta bacia foram alocados 10 pontos de amostragem sendo eles, PM23, MU05, PM24, MU14, MU34, MU18, MU17, PM03, MU21 e F04 que foram distribuídos conforme apresentado no diagrama unifilar, **Figura 6.1.8.54**.

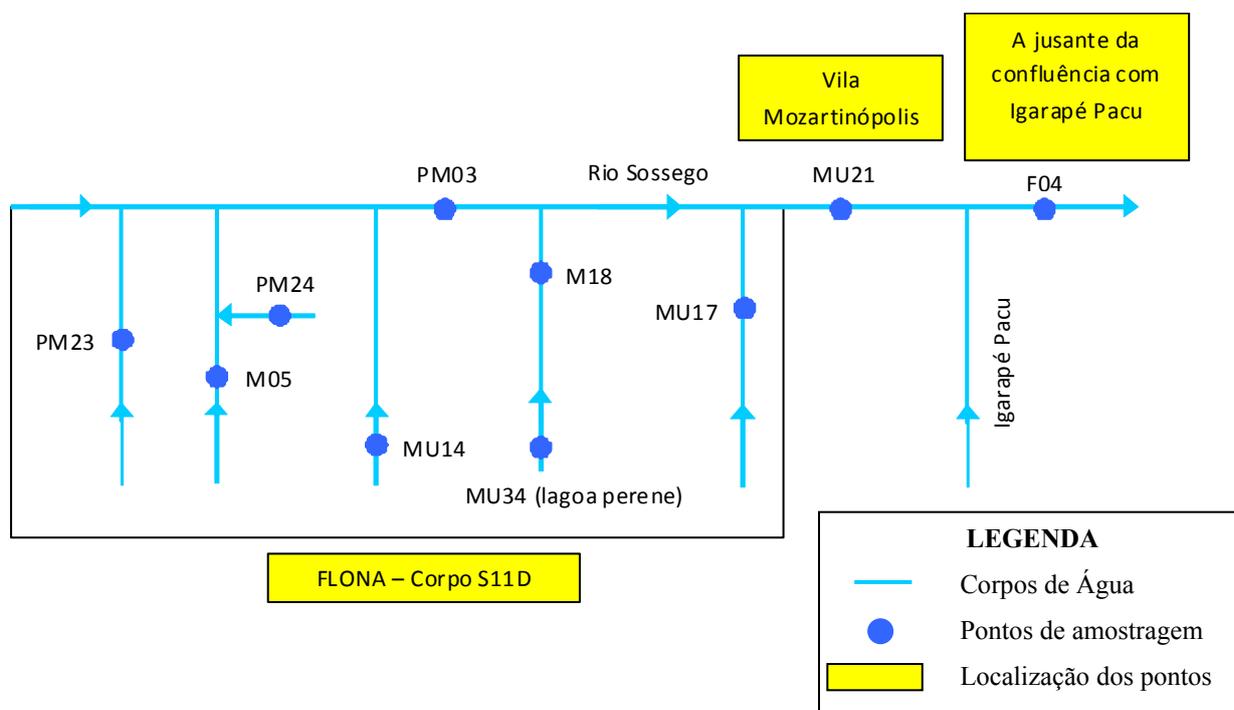


FIGURA 6.1.8.54 – Diagrama Unifilar com a Localização dos Pontos de Qualidade das Águas Superficiais da Bacia do rio Sossego na AID e ADA.

Destes pontos, 05 estão localizados no Bloco D, na cabeceira e afluentes da margem direita do rio Sossego, no interior da Flona Carajás. Dos outros 05 pontos, 02 encontram-se em afluentes da margem direita do rio Sossego e 03 estão situados no próprio rio Sossego, todos em trechos externos a área do Bloco D. Ressalta-se que o ponto MU34, trata-se de uma lagoa perene.

As **Fotos 6.1.8.29 a 6.1.18.40**, a seguir ilustram estes pontos, com exceção dos pontos PM23, PM24 e PM03, onde não houve registro fotográfico.



FOTO 6.1.8.29 – Ponto MU05 – Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.30 – Ponto MU05 – Amostragem em fevereiro/2008.



FOTO 6.1.8.31 – Ponto MU14 – Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.32 – Ponto MU14 – Amostragem em fevereiro/2008.



FOTO 6.1.8.33 – Ponto MU34 – Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.34 – Ponto MU34 – Amostragem em fevereiro/2008.



FOTO 6.1.8.35 – Ponto MU18 - Amostragem em março/2008.



FOTO 6.1.8.36 – Ponto MU17 - Amostragem em fevereiro/2008.



FOTO 6.1.8.37 – Ponto MU21 - Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.38 – Ponto MU21 - Amostragem em fevereiro/2008.



FOTO 6.1.8.39 – Ponto F04 - Amostragem em julho/2007.



FOTO 6.1.8.40 – Ponto F04 - Amostragem em maio/2007.

Analisando-se os resultados obtidos, apresentados nas tabelas do **Anexo XIII-D** do presente relatório, observa-se que em todos os pontos de amostragem os parâmetros alumínio dissolvido, arsênio total, cádmio total, chumbo total, cianeto livre, cloreto total, cobre dissolvido, cromo total, níquel total, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal total, sólidos dissolvidos totais, sulfato total, substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno, turbidez, óleos e graxas e zinco total apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos pelas determinações da Resolução CONAMA 357/2005 para águas Classe 2.

– pH

A **Figura 6.1.8.55** mostra os valores de pH obtidos, sendo comparados aos limites legais mínimo e máximo, de 6 a 9, estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 357/2005, classe 2.

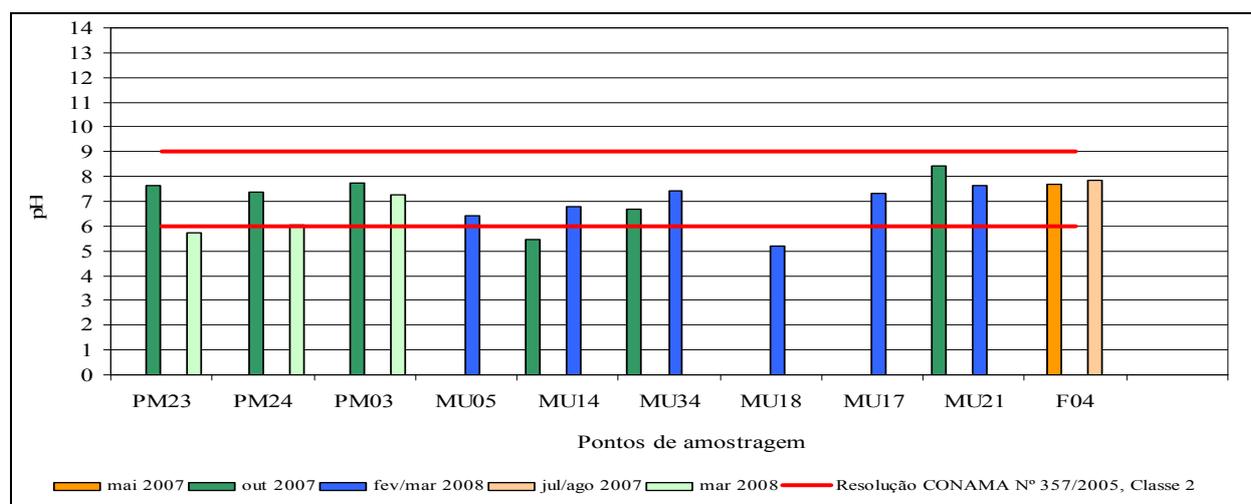


FIGURA 6.1.8.55 – Resultados das análises de pH – Bacia do rio Sossego na AID e ADA.

Os resultados das análises de pH desta bacia variaram entre 5,18 e 8,43. Os resultados das análises dos pontos localizados no Bloco D indicaram a tendência de águas ácidas a neutras. Já os resultados das análises dos pontos com localização externa ao Bloco D, apresentaram resultados que caracterizam águas neutras, tendendo a condições alcalinas.

Conforme mostra a **Figura 6.1.8.55** os valores fora do padrão mínimo estabelecido pela referida Resolução foram registrados nos pontos MU14, MU18 e PM23, porém nenhum resultado foi inferior a 5.

Como foi dito anteriormente, o ponto MU14 está localizado no Bloco D, e possui seu leito de drenagem sobre canga laterítica conforme mostra a **Foto 6.1.8.41**. Este fato, associada a ocorrência de uma visível redução de vazão, observada em campo, no período de estiagem, provavelmente corroboram para obtenção de um pH ligeiramente ácido neste período.



FOTO 6.1.8.41 – Ponto MU14 - Amostragem em outubro/2007

Já os pontos MU18 e PM23, que estão localizados em área de vegetação mais densa, a presença de folhas e galhos no leito de drenagem pode levar a formação de ácidos húmicos o que contribuiria para a redução nos valores de pH. A **Foto 6.1.8.42**, acima, mostra o leito drenagem e as margens do ponto MU18.



FOTO 6.1.8.42 – Ponto MU18 - Amostragem em outubro/2007

– Oxigênio Dissolvido (OD)

A **Figura 6.1.8.56** mostra as concentrações de oxigênio dissolvido obtidas, sendo comparadas ao limite legal mínimo de 5 mg/L de O₂, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

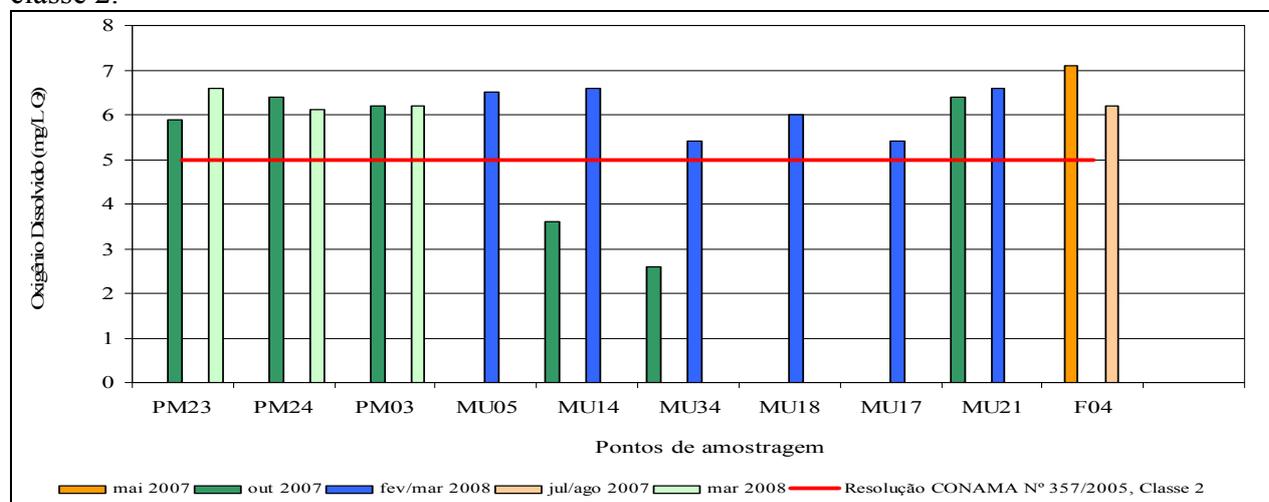


FIGURA 6.1.8.56 – Resultados das análises de oxigênio dissolvido – Bacia do rio Sossego na AID e ADA.

As concentrações de oxigênio dissolvido variaram entre 2,6 mg/L O₂ e 7,1 mg/L O₂. Apenas os pontos MU14 e MU34, ambos na 1ª campanha, período de estiagem, apresentaram concentrações abaixo de 5,0 mg/L O₂ e, portanto, abaixo do limite mínimo estabelecido pela referida Resolução.

Na 1ª campanha do ponto MU14, período em que o local de coleta encontrava-se mais seco, a baixa velocidade de suas águas poderia estar influenciando no valor reduzido de oxigênio dissolvido, conforme mostra a **Foto 6.1.8.43**.

No ponto MU34, foi detectada concentração de DBO bem elevada (**Figura 6.1.8.57**) indicando a ocorrência de uma concentração maior de matéria orgânica, cuja degradação pode estar contribuindo para a baixa concentração oxigênio dissolvido registrada neste ponto.

Ressalta se também que o ponto MU 34 esta situado em um corpo de água de ambiente lântico com concentrações de OD naturalmente inferiores as encontradas para ambientes lóticos.



Local de coleta, águas com baixa velocidade de escoamento

FOTO 6.1.8.43– Ponto MU14 - Amostragem em outubro/2007

– Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A **Figura 6.1.8.57** mostra as concentrações de DBO obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 5 mg/L de O₂, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

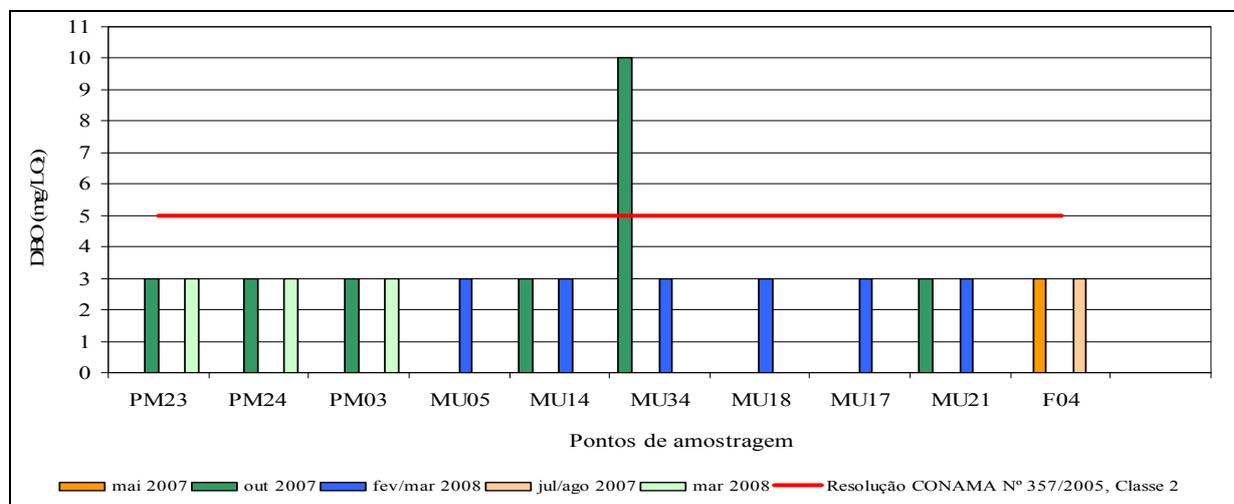


FIGURA 6.1.8.57 – Resultados das análises de demanda bioquímica de oxigênio – Bacia do rio Sossego na AID e ADA.

As concentrações de DBO variaram entre menor que 3,0 (limite de quantificação do método analítico) e 10,0 mg/L O₂. Apenas o resultado obtido para o ponto MU34, na 1ª campanha, apresentou-se fora do padrão. Ressalta-se que os demais resultados foram inferiores ao limite de quantificação do método analítico utilizado.

O ponto MU34 está situado em lagoa perene, localizada em área de depressão. Isto pode acarretar em um aporte de materiais como galhos e folhas do entorno para seu interior, elevando desta forma a concentração de matéria orgânica e conseqüentemente a concentração de DBO. As **Fotos 6.1.8.44** e **6.1.8.45** mostram a área de depressão na qual está situada a lagoa e a coloração escura da amostra coletada.



FOTO 6.1.8.44 – Ponto MU34 - Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.45 – Amostra MU34 - Amostragem em outubro/2007.

– Sólidos Dissolvidos Totais

A **Figura 6.1.8.58** mostra as concentrações de sólidos dissolvidos totais obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 500 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

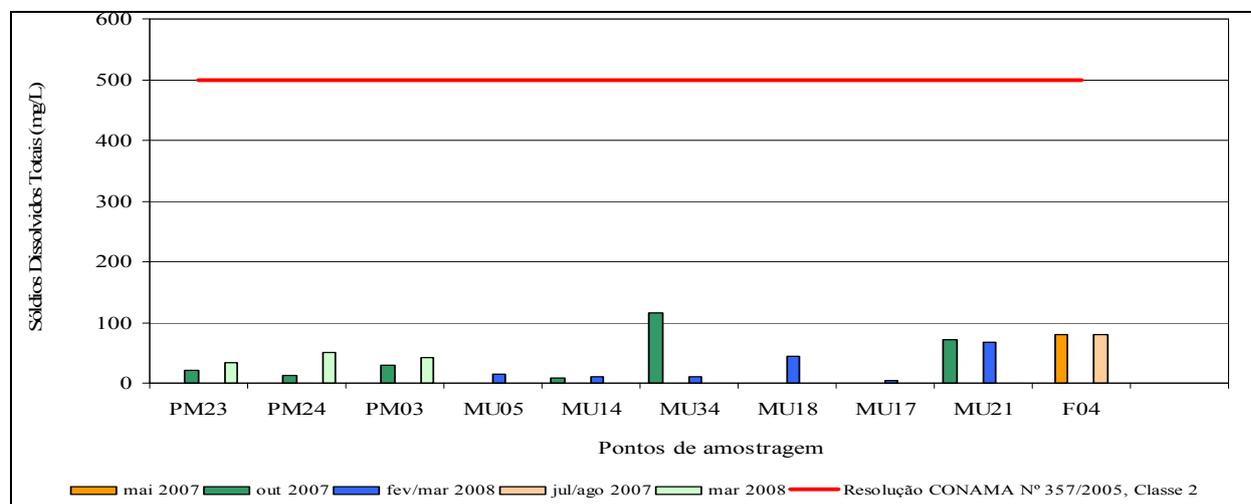


FIGURA 6.1.8.58– Resultados das análises de sólidos dissolvidos totais – Bacia do rio Sossego na AID e ADA.

As concentrações de sólidos dissolvidos variaram entre menor que 5,0 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 115 mg/L, portanto, todos os resultados obtidos atenderam a referida Resolução.

Os resultados da série de sólidos analisada (**Anexo XIII-D**) constituída pelas frações de sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais e sólidos sedimentáveis totais, mostram que ocorre a predominância da forma dissolvida em todos os pontos, com exceção do ponto MU34, onde se verificou uma concentração de sólidos suspensos praticamente igual à concentração de sólidos dissolvidos.

– Cor Verdadeira

A **Figura 6.1.8.59** mostra as concentrações de cor verdadeira obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 75 Pt/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

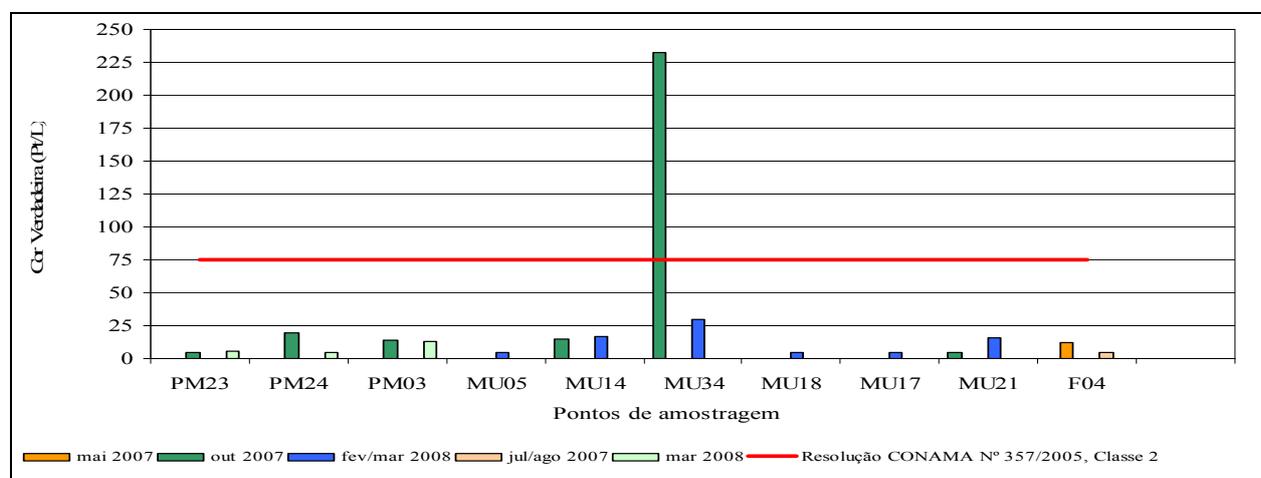


FIGURA 6.1.8.59 – Resultados das análises de cor verdadeira – Bacia do rio Sossego na AID e ADA.

As concentrações de cor verdadeira variaram entre menor que 5,0 Pt/L (limite de quantificação do método analítico) e 232 Pt/L. Apenas o ponto MU34 apresentou concentração superior ao limite legal.

A cor verdadeira é um parâmetro que está diretamente relacionado à concentração de sólidos dissolvidos totais condizendo, portanto com uma concentração mais elevada de sólidos dissolvidos obtida para as águas amostradas neste ponto.

– Metais

Dentre os metais analisados, o único que excedeu o limite máximo permitido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2, foi o ferro dissolvido.

A **Figura 6.1.8.60** mostra as concentrações de ferro dissolvido obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 0,3 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

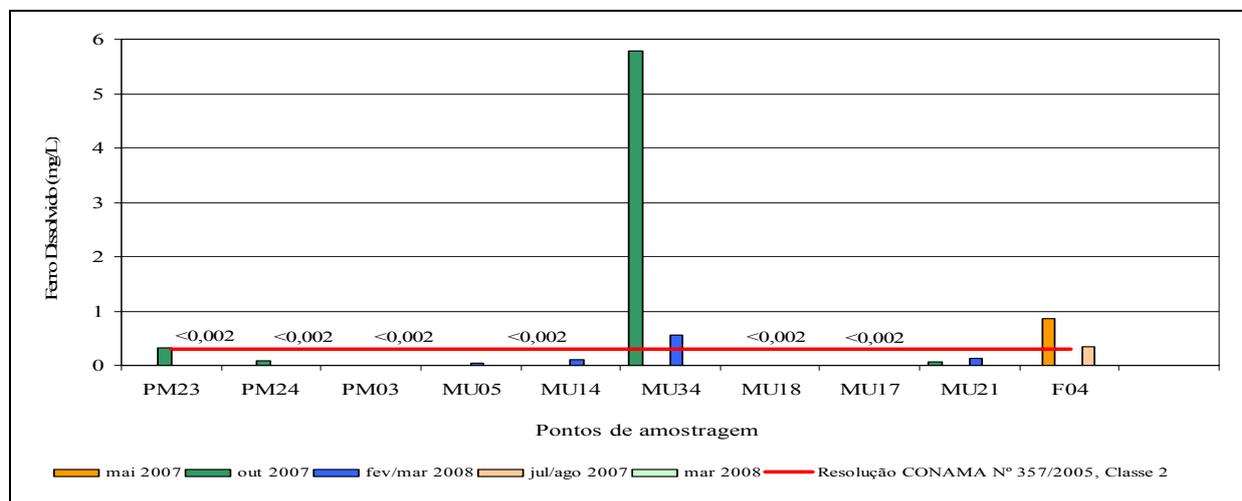


FIGURA 6.1.8.60 - Resultados das análises de ferro dissolvido – Bacia do rio Sossego na AID e ADA.

As concentrações de ferro dissolvido variaram entre menor que 0,002 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 5,79 mg/L. Os registros de concentrações fora do padrão ocorreram nos pontos PM23, na 1ª campanha, MU34 e F04 em ambas as campanhas.

Como mostra a **Foto 6.1.8.44** apresentada acima, a lagoa onde foram coletadas as amostras do ponto MU34 localiza-se em uma área de depressão o que favorece o aporte de materiais (sólidos, galhos e folhas) do seu entorno para seu interior. No período de estiagem, com a ocorrência de uma redução na vazão, ocorre possivelmente um aumento na concentração do parâmetro ferro dissolvido, constituinte das rochas locais. Chama-se a atenção para a coloração bem amarelada da amostra coletada *in natura* como pode ser observado na **Foto 6.1.8.45** apresentada acima. Como mencionado no item anterior, o ponto MU34 também apresentou concentração elevada de cor verdadeira neste período. As origens naturais da cor em águas superficiais são a decomposição da matéria orgânica (ácidos húmicos e fúlvicos) e a presença de ferro e manganês (von Sperling, 2005).

O ponto F04, situado no rio Sossego, está após a confluência com o igarapé Pacu. Na **Figura 6.1.8.71**, apresentada no item seguinte, referente à bacia do igarapé Pacu, pode ser observado que praticamente todas as amostradas coletadas nesta bacia apresentaram concentrações de ferro dissolvido superiores ao padrão legal. Possivelmente as águas do igarapé Pacu, que drenam áreas de pastagem, estejam contribuindo para aumentar a concentração de ferro dissolvido no rio Sossego detectadas no ponto F04.

– Fósforo total

A **Figura 6.1.8.61** mostra as concentrações de fósforo total obtidas, sendo comparadas aos limites legais superiores de 0,03 mg/L (ambientes lênticos) e 0,1 (ambientes lóticos), estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2. Salienta-se que o ponto MU34, situado em ambiente lêntico, está sendo comparado ao limite de 0,03 mg/L, e os demais pontos a 0,1 mg/L, por estarem em ambientes lóticos.

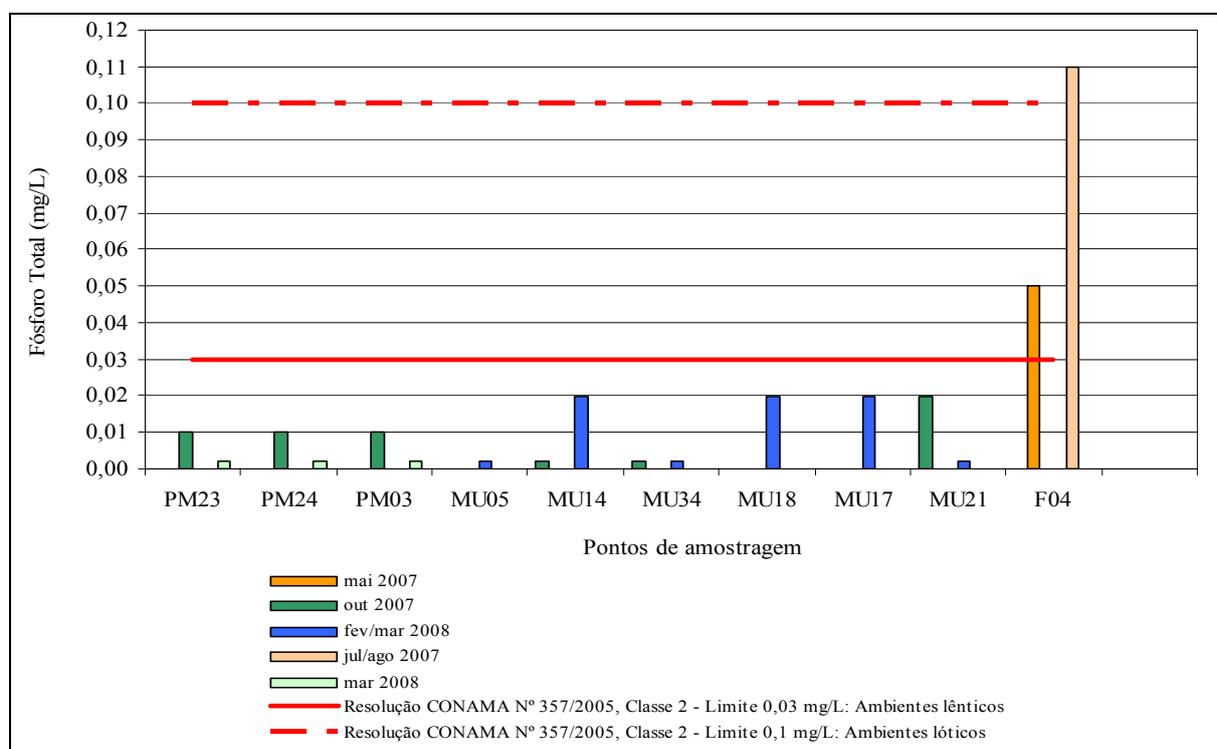


FIGURA 6.1.8.61 – Resultados das análises de fósforo total – Bacia do rio Sossego na AID e ADA.

As concentrações de fósforo total variaram entre menor que 0,002 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 0,11 mg/L. Apenas o ponto F04, na 2ª campanha, apresentou-se acima do padrão legal.

A presença de fósforo nas águas pode ter origem na dissolução de compostos do solo (escala muito pequena), despejos domésticos e/ou industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes. O rio Sossego, antes de chegar ao ponto F04, passa por várias fazendas e pela Vila de Mozartínópolis, recebendo contribuições de esgoto doméstico, excrementos de animais, detergentes, fertilizantes. Todos estes fatores, provavelmente estão contribuindo para a elevação da concentração de fósforo em suas águas neste local.

Ressalta-se, porém, que a concentração encontrada, de 0,11 mg/L, é bem próxima ao limite máximo estabelecido para ambientes lóticos de 0,1 mg/L.

– Sulfetos

A **Figura 6.1.8.62** mostra as concentrações de sulfeto total obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 0,002 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

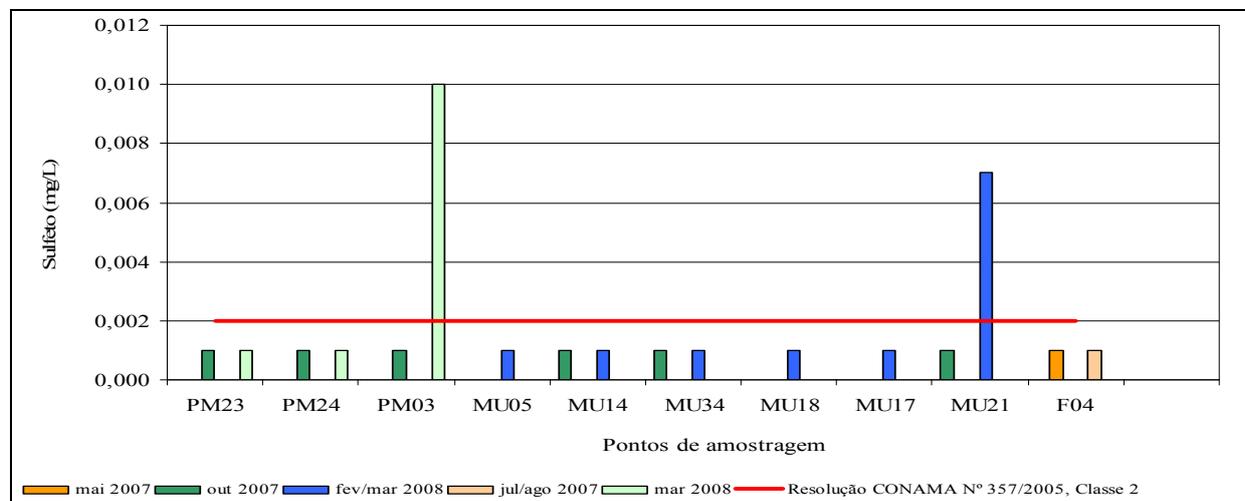


FIGURA 6.1.8.62 – Resultados das análises de sulfeto – Bacia do rio Sossego na AID e ADA

As concentrações de sulfeto variaram entre menor que 0,001 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 0,01 mg/L.

Apenas dois pontos apresentaram concentrações acima do padrão (PM03 e MU21), ambas na 2ª campanha, no período chuvoso, e possivelmente estão associadas a algum carregamento de matéria orgânica para essas águas.

– Coliformes Termotolerantes (Fecais)

A **Figura 6.1.8.63** mostra as concentrações de coliformes termotolerantes obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 1000 UFC/100mL, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

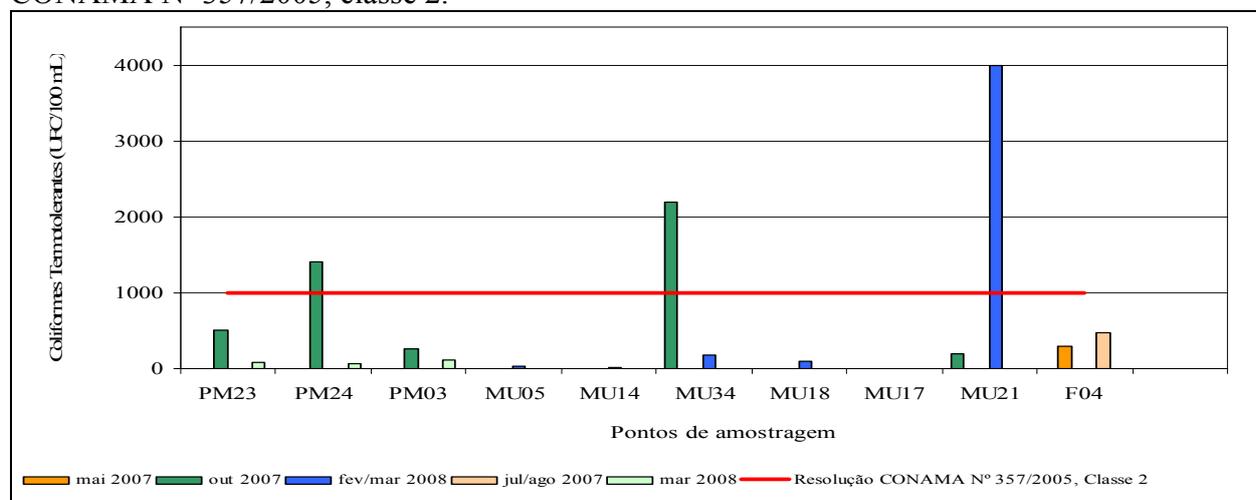


FIGURA 6.1.8.63 – Resultados das análises de coliformes termotolerantes – Bacia do rio Sossego na AID e ADA.

As concentrações de coliformes termotolerantes variaram entre 5,0 UFC/100mL e 4000 UFC/100mL. Os registros de concentrações acima do padrão legal ocorreram nas amostras coletadas nos pontos PM24 e MU34, ambos na 1ª campanha, e F21, na 2ª campanha.

A relação entre os valores de coliformes termotolerantes (fecais) e estreptococos fecais (CF/EF) sugerem contaminação de origem humana nos pontos PM24, MU18 e MU34, porém estes pontos estão localizados no Bloco D, onde não se identificou a existência de descargas de efluentes sanitários. Ressalta-se que a relação (CF/EF) deve ser usada apenas como um indicativo da poluição fecal.

Em ambas as amostras dos pontos PM23, PM03, MU21 e F04 a relação indicou origem animal, como mostra a **Tabela 6.1.8.17**, onde são apresentados os valores obtidos para esta relação e a origem da contaminação sugerida por tal, para cada ponto amostrado.

TABELA 6.1.8.17
RESULTADOS DA RELAÇÃO ENTRE COLIFORMES FECAIS
(TERMOTOLERANTES) E ESTREPTOCOCOS FECAIS (CF/EF)

Ponto de amostragem	Relação coliformes fecais/ estreptococos fecais		Origem da Contaminação Fecal	
	1ª Campanha	2ª Campanha	1ª Campanha	2ª Campanha
PM23	0,70	0,18	Animal	Animal
MU05	*	1,20	*	Duvidosa
PM24	4,12	3,25	Humana	Duvidosa
MU14	1,00	0,33	Duvidosa	Animal
MU34	31,43	22,50	Humana	Humana
MU18	*	5,00	*	Humana
MU17	*	0,04	*	Animal
PM03	0,17	0,42	Animal	Animal
MU21	0,42	0,58	Animal	Animal
F04	0,61	0,48	Animal	Animal

Legenda:

Menor que 1	Origem Animal
Entre 1 e 4	Duvidosa
Maior que 4	Origem Humana
*	Não houve amostragem

– Índice de Qualidade das Águas

A **Figura 6.1.8.64** mostra os resultados de IQA obtidos para os pontos estudados na bacia do rio Sossego.

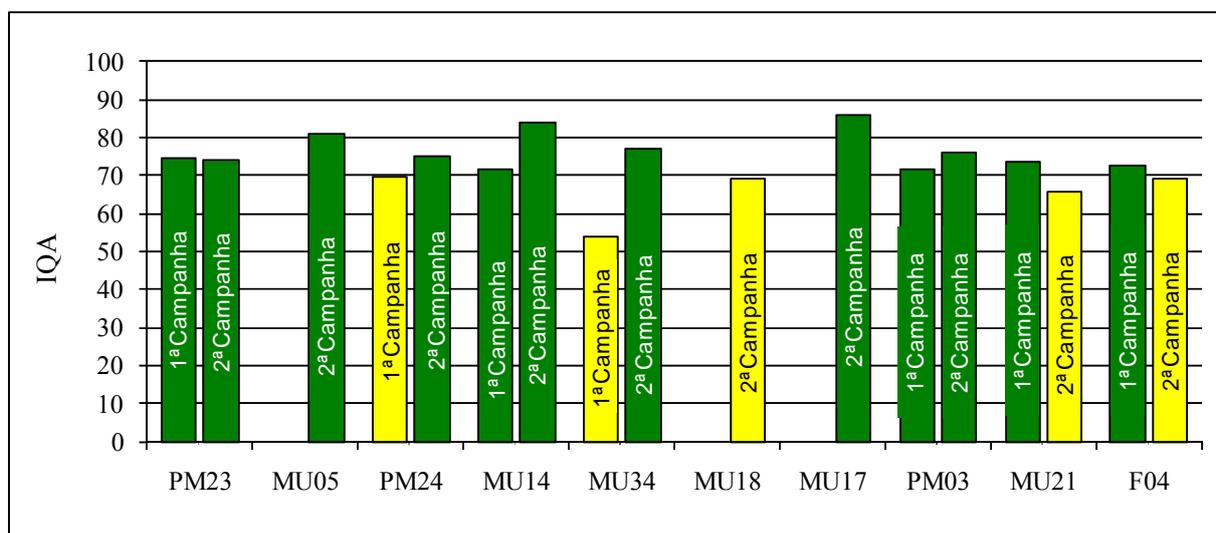


FIGURA 6.1.8.64– Resultados do índice de qualidade das águas – Bacia do rio Sossego na AID e ADA.

Os resultados de IQA variaram entre 54 e 86, sendo registrados valores que indicam águas com nível de qualidade médio e bom.

Nas amostras em que o IQA indicou nível de qualidade médio, verificaram-se valores elevados de coliformes termotolerantes na 1ª campanha dos pontos MU34 e PM24 e na 2ª campanha do ponto MU21. Já na única amostra do ponto MU18, o nível médio se deve ao baixo valor de pH obtido. No ponto F04, 2ª campanha, os parâmetros que influenciaram negativamente no resultado de IQA foram o fosfato e os coliformes termotolerantes.

– Bacia do Igarapé Pacu

Nesta bacia foram alocados 14 pontos de amostragem sendo eles: MU16, MU23, MU24, MU33, MU22, MU26, MU25, MU27, MU28, F20, MU32, F19, F01 e MU35, que foram distribuídos conforme apresentado no diagrama unifilar, **Figura 6.1.8.65**.

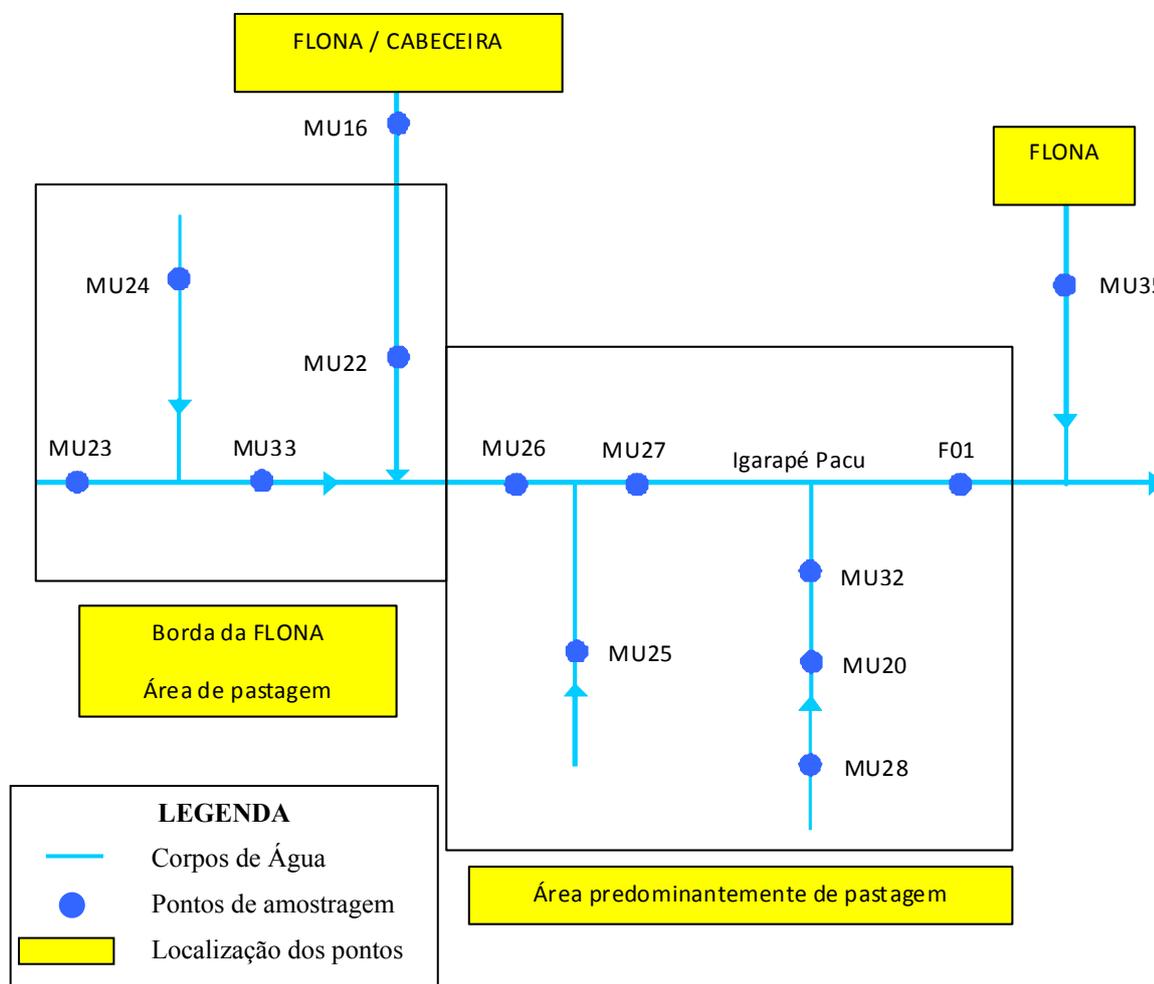


FIGURA 6.1.8.65– Diagrama Unifilar com a Localização dos Pontos de Qualidade das Águas Superficiais da Bacia do Igarapé Pacu na AID e ADA.

Destes pontos, 01 está localizado na região de cabeceira, no interior da Flona de Carajás, 04 estão localizados em sua borda, em área de pastagem, 07 se encontram em área predominantemente de pastagem e, por último, o ponto MU35 localizado também no interior da Flona de Carajás, em um afluente da margem esquerda do Igarapé Pacu onde é feita a captação de água para abastecimento da vila de Mozartinópolis.

As amostras do ponto MU35 foram coletadas na entrada da caixa de água que abastece a vila de Mozartinópolis, para facilitar a logística da coleta. Destaca-se que esta água é direcionada desde a sua captação até o reservatório completamente protegida por meio de tubulação. As **Fotos 6.1.8.46 a 6.1.8.69**, a seguir ilustram estes pontos.



FOTO 6.1.8.46 - Ponto MU16 - Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.47 - Ponto MU16 - Amostragem em fevereiro/2008.



FOTO 6.1.8.48 - Ponto MU24 - Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.49 - Ponto MU24 - Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.50 - Confluência das drenagens em que se encontram os pontos MU24 (a esquerda) e MU23 (a direita) - Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.51 - Ponto MU33 - Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.52 – Ponto MU22 - Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.53 – Ponto MU22 - Amostragem em fevereiro/2008.



FOTO 6.1.8.54 – Ponto MU25 - Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.55 – Ponto MU25 - Amostragem em fevereiro/2008.



FOTO 6.1.8.56 – Confluência das drenagens em que se encontram os pontos MU26 (a esquerda) e MU25 (a direita) em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.57 – Ponto MU27 - Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.58 – Ponto MU28 - Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.59– Ponto MU28 - Amostragem em fevereiro/2008.



FOTO 6.1.8.60 – Ponto F20 - Amostragem em maio/2007.



FOTO 6.1.8.61 – Ponto F20 - Amostragem em junho/2007.



FOTO 6.1.8.62 – Ponto MU32 - Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.63 – Ponto MU32 - Amostragem em fevereiro/2008.



FOTO 6.1.8.64 – Ponto F19 - Amostragem em junho/2007.



FOTO 6.1.8.65 – Ponto F19 - Amostragem em maio/2007.



FOTO 6.1.8.66 – Ponto F01 - Amostragem em junho/2007.



FOTO 6.1.8.67 – Ponto F01 - Amostragem em maio/2007.



FOTO 6.1.8.68 – Ponto MU35, caixa de água da Vila Mozartinópolis – Local de coleta - Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.69 – Ponto MU35 - Local da captação de água - Amostragem em fevereiro/2008.

Analisando-se os resultados obtidos, apresentados nas tabelas do **Anexo XIII-D** do presente relatório, observa-se que em todos os pontos de amostragem os parâmetros arsênio total, cádmio total, chumbo total, cianeto livre, cloreto total, cobre dissolvido, cromo total, demanda bioquímica de oxigênio, densidade de cianobactérias, fenóis totais, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal total, sólidos dissolvidos totais, sulfato total, pH, substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno, turbidez, óleos e graxas e zinco total apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos pelas determinações da Resolução CONAMA 357/2005 para águas Classe 2.

Destaca-se que o único parâmetro que apresentou fora dos limites estabelecidos na Portaria 518 do padrão de potabilidade, nas amostras do ponto de amostragem MU35, foram os coliformes totais e coliformes termotolerantes (fecais) como também é apresentado nas tabelas do **Anexo XIII-D**.

- pH

A **Figura 6.1.8.66** mostra os valores de pH obtidos, sendo comparados aos limites legais mínimo e máximo, de 6 a 9, estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 357/2005, classe 2.

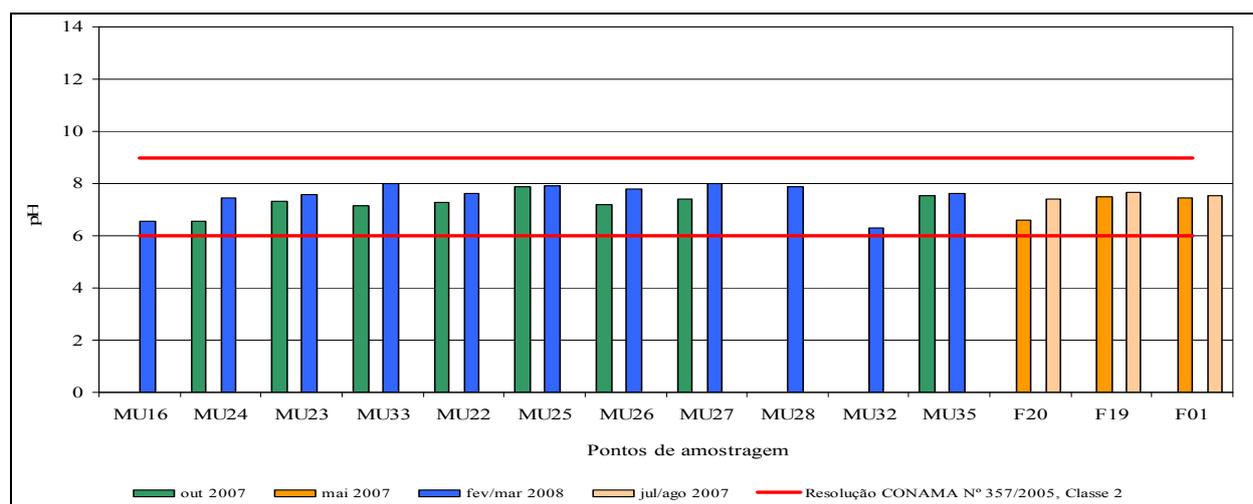


FIGURA 6.1.8.66 – Resultados das análises de pH – Bacia do Igarapé Pacu na AID e ADA.

Os resultados das análises de pH variaram entre 6,28 e 8,01, portanto, todos atenderam aos limites inferior e superior da referida Resolução. Os resultados das análises de pH indicaram que as águas dessa bacia tendem a neutralidade com uma ligeira característica alcalina em alguns pontos.

- Oxigênio Dissolvido (OD)

A **Figura 6.1.8.67** mostra as concentrações de oxigênio dissolvido obtidas, sendo comparadas ao limite legal mínimo de 5 mg/L de O₂, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

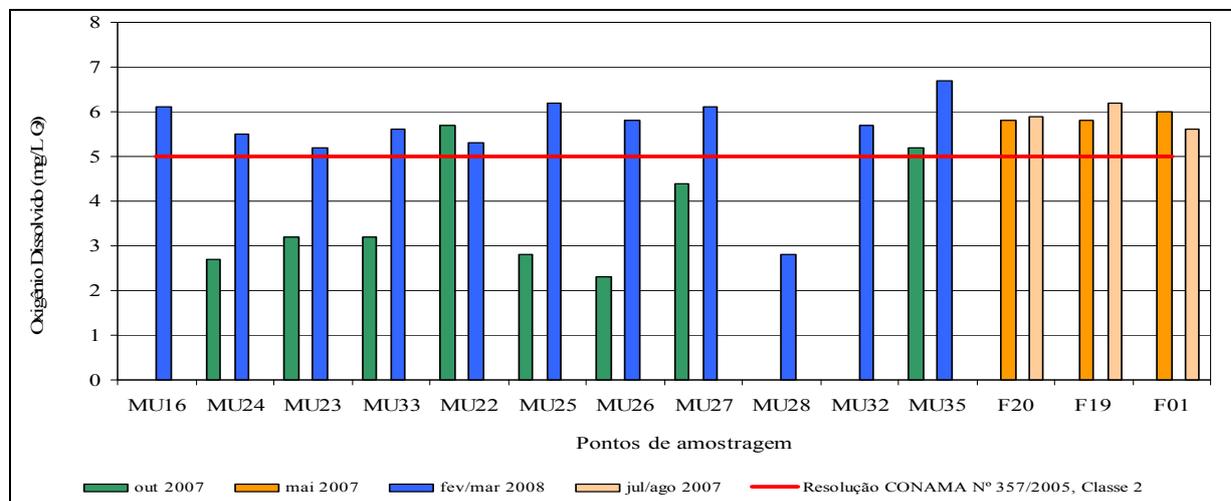


FIGURA 6.1.8.67 – Resultados das análises de oxigênio dissolvido – Bacia do Igarapé Pacu na AID e ADA.

As concentrações de oxigênio dissolvido variaram entre 2,3 mg/L O₂ e 6,7 mg/L O₂. Os registros fora do padrão ocorreram nos pontos, MU24, MU23, MU33, MU25, MU26 e MU27 ambos na 1ª campanha e MU28, na 2ª campanha.

Na 1ª campanha verificou-se, visualmente, que estes cursos de água apresentavam vazão reduzida e baixa velocidade de corrente, o que pode proporcionar reduzida capacidade de aeração destas águas e conseqüentemente redução nos níveis de OD.

Em relação ao ponto MU28, sua localização em área de pastagem e brejo, com a velocidade das águas praticamente nula, pode estar contribuindo para a baixa concentração de oxigênio dissolvido.

Além disso, em ambas as campanhas, a ocorrência de elevado volume de folhas e galhos existentes nos leitos da maioria destas drenagens sugere a ocorrência de consumo de oxigênio dissolvido devido à decomposição de matéria orgânica.

- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A **Figura 6.1.8.68** mostra as concentrações de DBO obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 5 mg/L de O₂ estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

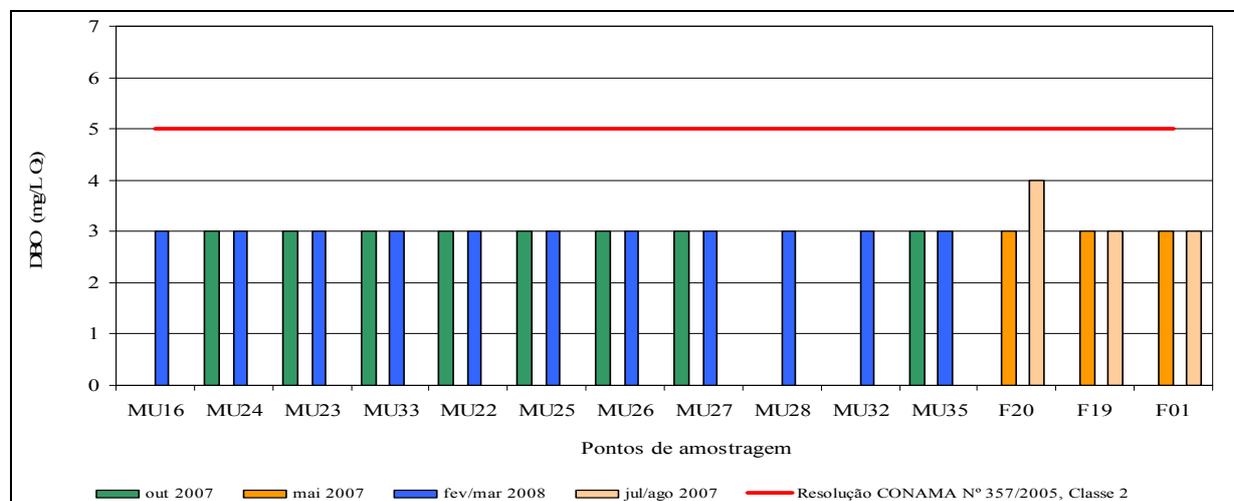


FIGURA 6.1.8.68– Resultados das análises de DBO – Bacia do igarapé Pacu na AID e ADA.

As concentrações de DBO variaram entre menor que 3,0 (limite de quantificação do método analítico) e 4,0 mg/L O₂, portanto, todos os resultados obtidos atenderam ao limite estabelecido pela referida Resolução.

Sólidos Dissolvidos Totais

A **Figura 6.1.8.69** mostra as concentrações de sólidos dissolvidos totais obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 500 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

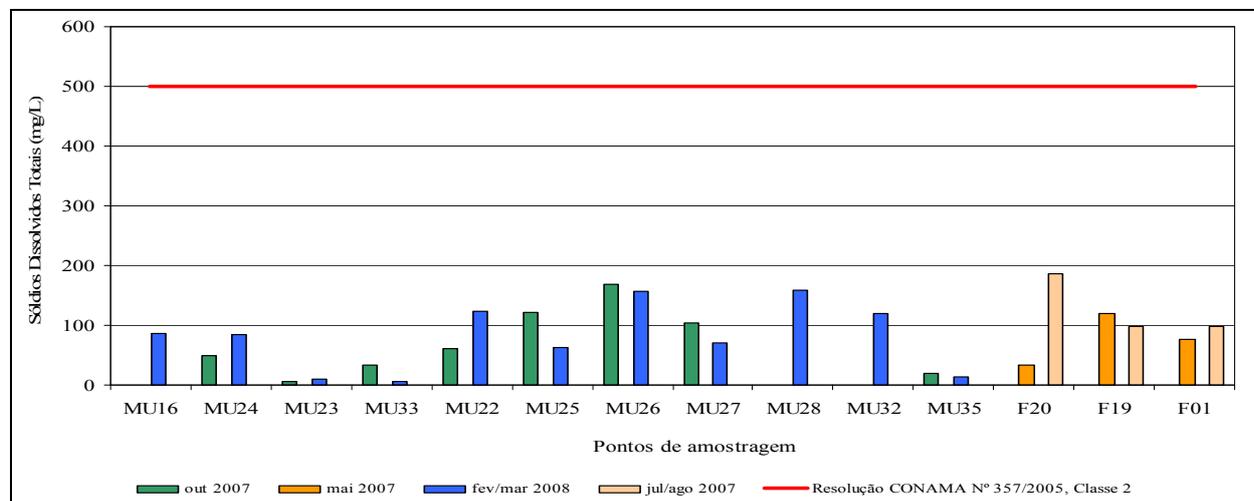


FIGURA 6.1.8.69 – Resultados das análises de sólidos dissolvidos totais – Bacia do Igarapé Pacu na AID e ADA.

As concentrações de sólidos dissolvidos variaram entre menor que 5,0 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 187 mg/L, portanto, todos os resultados obtidos atenderam a referida Resolução.

Os resultados da série de sólidos analisada (**Anexo XIII-D**) constituída pelas frações de sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais e sólidos sedimentáveis totais, mostram que ocorre a predominância da forma dissolvida em todos os pontos amostrados.

- Cor Verdadeira

A **Figura 6.1.8.70** mostra as concentrações de cor verdadeira obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 75 Pt/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

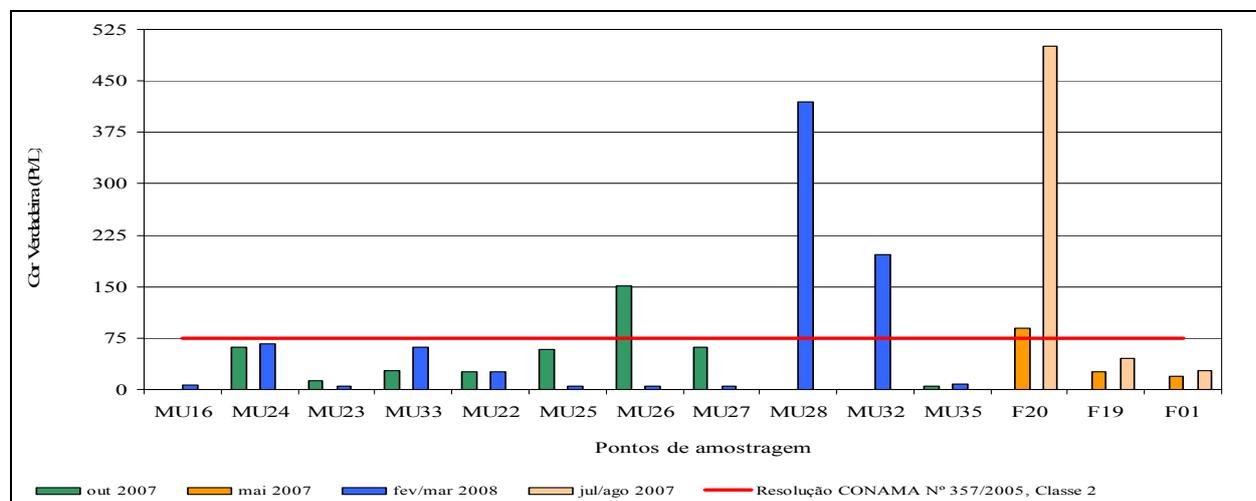


FIGURA 6.1.8.70– Resultados das análises de cor verdadeira – Bacia do igarapé Pacu na AID e ADA.

As concentrações de cor verdadeira variaram entre menor que 5,0 Pt/L (limite de quantificação do método analítico) e >500 Pt/L. Os registros fora do padrão ocorreram nos pontos MU26, na 1ª campanha, MU28 e MU32, na 2ª campanha e F20 nas duas campanhas amostradas .

Destaca-se que nestes pontos, as concentrações de sólidos dissolvidos, foram superiores a 100 mg/L conforme **Figura 6.1.8.69** apresentada acima.

- Metais

Dentre os metais analisados, os que excederam ao limite máximo permitido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2, foram o ferro dissolvido, alumínio dissolvido, níquel total e mercúrio total.

A **Figura 6.1.8.71** mostra as concentrações de ferro dissolvido obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 0,3 mg/L, estabelecido pela referida Resolução.

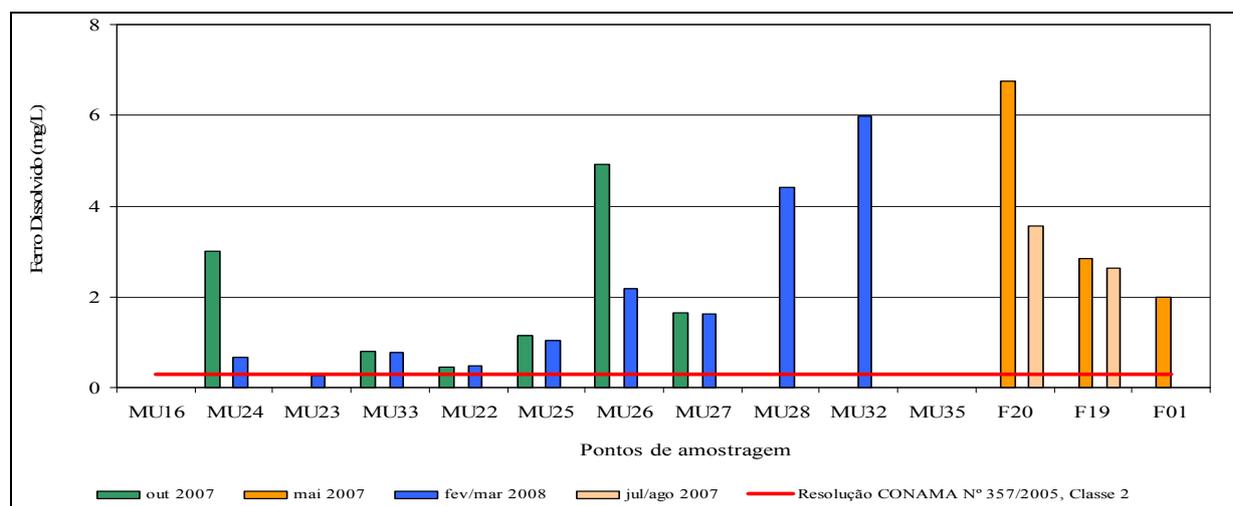


FIGURA 6.1.8.71 – Resultados das análises de ferro dissolvido – Bacia do igarapé Pacu na AID e ADA.

As concentrações de ferro dissolvido variaram entre menor que 0,002 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 6,75 mg/L. As concentrações encontradas acima do limite legal foram registradas em quase todas a bacia: MU24, MU33, MU22, MU25, MU26, MU27, F20 e F19, nas duas campanhas amostradas, e MU28, MU32, na 2ª campanha e F01, na 1ª campanha.

As exceções foram àquelas observadas nos pontos MU16 e MU35, localizados no interior da Flona de Carajás, e ao ponto MU23, localizado em sua borda em área mais preservada.

As concentrações fora do padrão para o parâmetro ferro dissolvido, provavelmente estão associadas à geologia local e ao uso e ocupação do solo. Destaca-se que as atividades de pecuária, com a retirada da cobertura vegetal, intensificam através do escoamento superficial o carreamento deste elemento para os cursos de águas.

A **Figura 6.1.8.72** mostra as concentrações de alumínio dissolvido obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 0,1 mg/L, estabelecido pela referida Resolução.

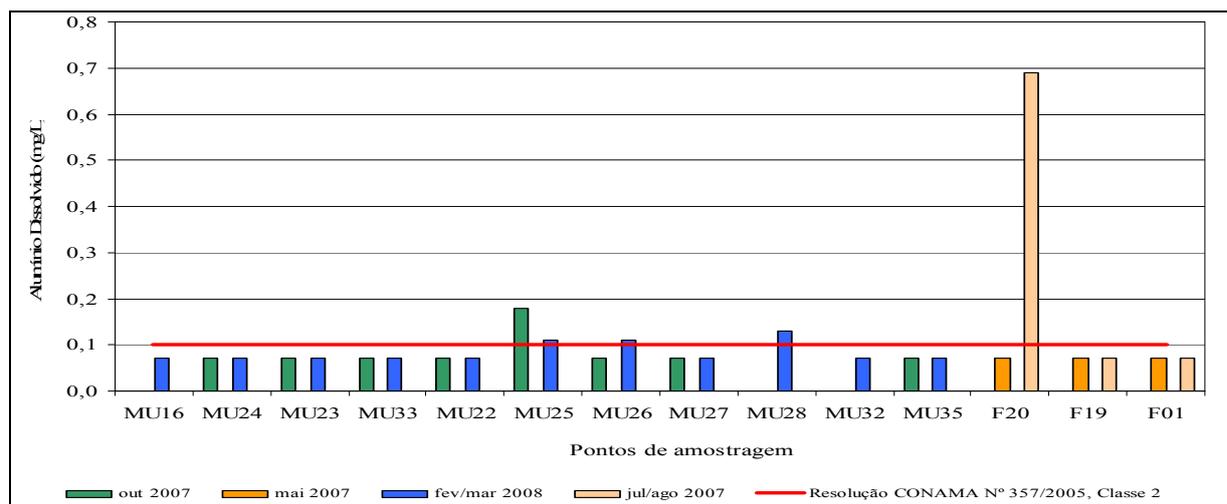


FIGURA 6.1.8.72 – Resultados das análises de alumínio dissolvido – Bacia do Igarapé Pacu na AID e ADA.

As concentrações de alumínio dissolvido variaram entre menor que 0,07 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 0,69 mg/L. As ocorrências fora do padrão foram registradas nos pontos MU25, nas duas campanhas amostradas, e MU26, MU28 e F20, na 2ª campanha.

As concentrações fora do padrão para o parâmetro alumínio dissolvido podem estar associadas à utilização de defensivos agrícolas.

A **Figura 6.1.8.73** mostra as concentrações de níquel total obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 0,025 mg/L, estabelecido pela referida Resolução.

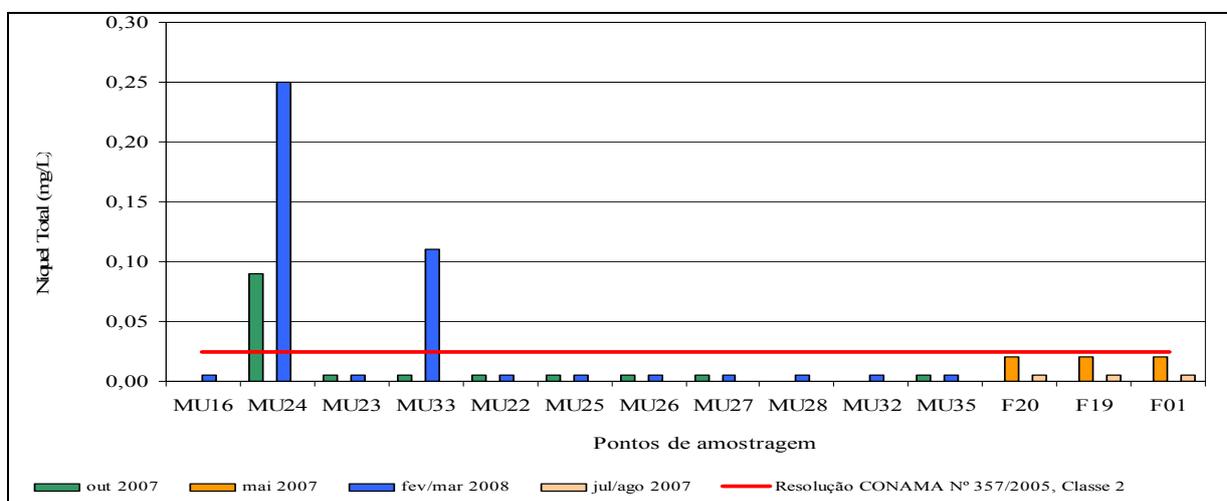


FIGURA 6.1.8.73 – Resultados das análises de níquel total – Bacia do Igarapé Pacu na AID e ADA.

As concentrações de níquel total variaram entre menor que 0,005mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 0,25 mg/L. As ocorrências acima do limite legal foram registradas nos pontos MU24, nas duas campanhas amostradas, e MU33, apenas na 2ª campanha.

As concentrações fora do padrão para o parâmetro alumínio dissolvido e níquel podem estar associadas a utilização de defensivos agrícolas utilizados na agricultura de subsistência local.

A **Figura 6.1.8.74** mostra as concentrações de mercúrio total obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 0,0002 mg/L, estabelecido pela referida Resolução.

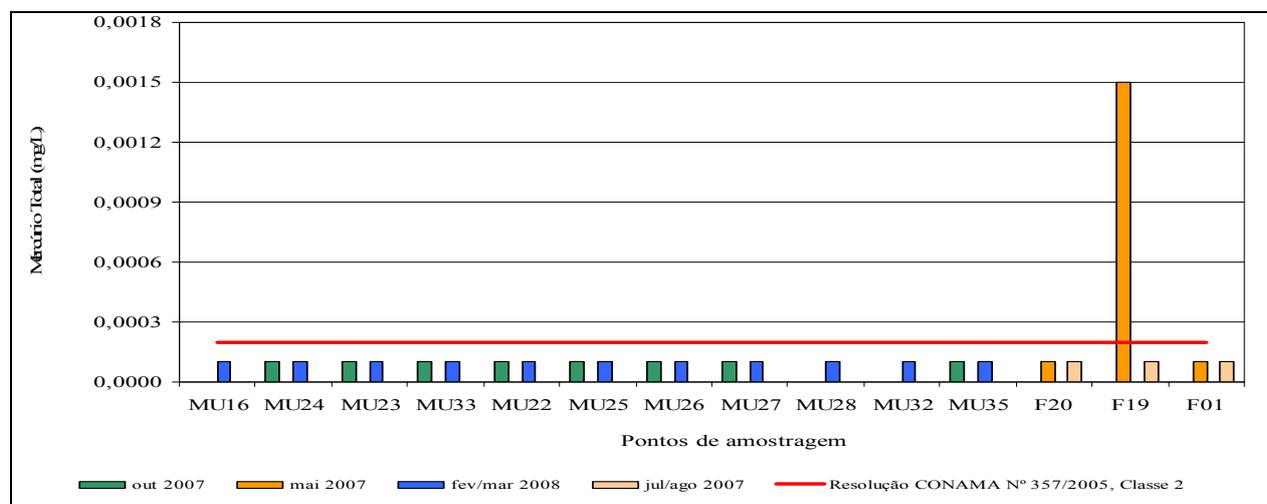


FIGURA 6.1.8.74 – Resultados das análises de mercúrio total – Bacia do igarapé Pacu na AID e ADA.

As concentrações de mercúrio total variaram entre menor que 0,0001 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 0,0015 mg/L. Apenas o ponto F19, na 1ª campanha apresentou concentração superior ao padrão legal.

Este foi o único ponto, de todas as bacias, no qual foi detectada a concentração acima do padrão (75 vezes), não sendo descartada, portanto, a possibilidade de erro de processamento da análise e/ou uma contaminação da amostra no laboratório.

- Fósforo total

A **Figura 6.1.8.75** mostra as concentrações de fósforo total obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 0,1 (ambientes lóticos) estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

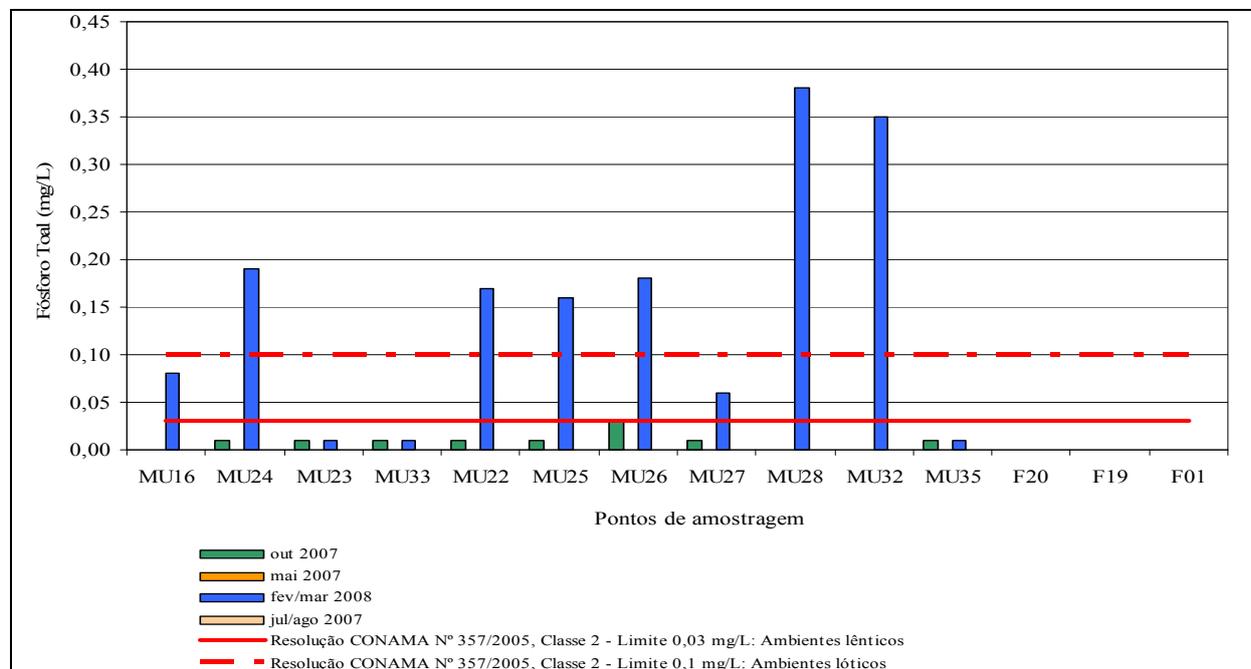


FIGURA 6.1.8.75 – Resultados das análises de fósforo total – Bacia do igarapé Pacu na AID e ADA.

As concentrações de fósforo total variaram entre menor que 0,01 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 0,38 mg/L. As ocorrências fora do padrão ambiental foram registradas nos pontos MU24, MU22, MU25, MU26, MU28 e MU32, apenas na 2ª campanha.

É observada uma correlação entre as ocorrências de coliformes termotolerantes elevadas e o fósforo total, o que sugere que esta fonte seja de excrementos de animais, acentuada com o período de chuva. Outra fonte pode ser o uso de defensivos agrícolas uma vez que foi identificada a existência de agricultura de subsistência no local.

Destaca-se que na 1ª campanha todos os resultados obtidos de fósforo total foram inferiores ao limite legal.

- Sulfetos

A **Figura 6.1.8.76** mostra as concentrações de sulfeto total obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 0,002 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

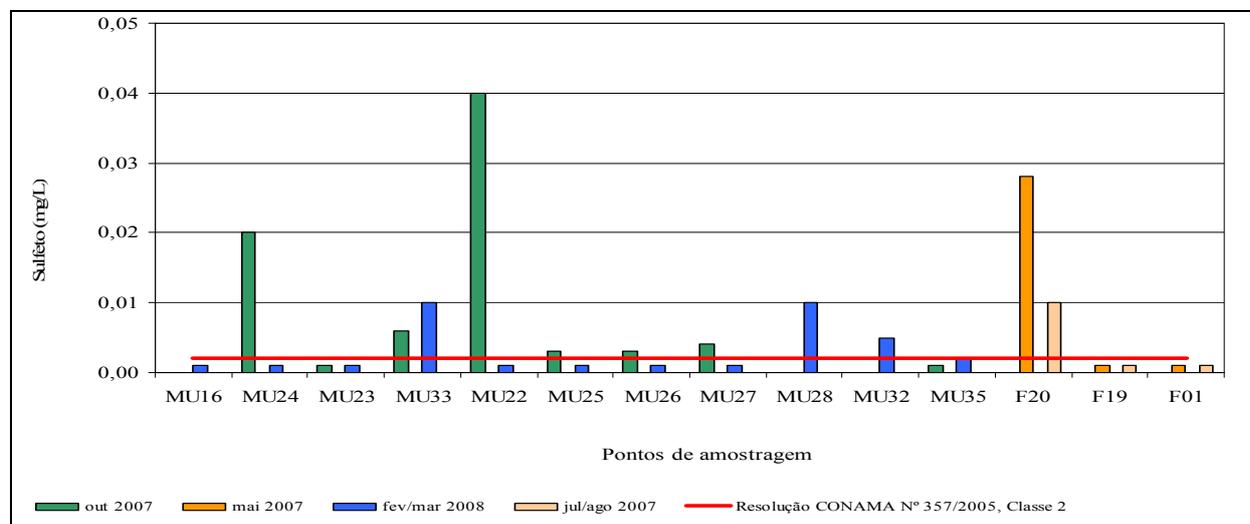


FIGURA 6.1.8.76 – Resultados de sulfeto – Bacia do igarapé Pacu na AID e ADA.

As concentrações de sulfeto variaram entre menor que 0.001 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 0,04 mg/L. As ocorrências acima do limite legal foram registradas nos pontos MU24, MU22, MU25, MU26 e MU27, apenas na 1ª campanha, e nos pontos MU28 e MU32, apenas na 2ª campanha. Nos pontos MU33 e F20 as ocorrências foram nas duas campanhas amostradas. As concentrações acima do padrão possivelmente estão associadas a algum carreamento de matéria orgânica para essas águas, tendo em vista a localização destes pontos em área de pastagem.

Ressalta-se que os dois pontos (MU16 e MU 35) localizados no interior da Flona, sem presença de pastos, apresentaram concentrações atendendo aos limites legais.

- Fluoreto Total

A **Figura 6.1.8.77** mostra as concentrações de sulfeto total obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 1,4 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

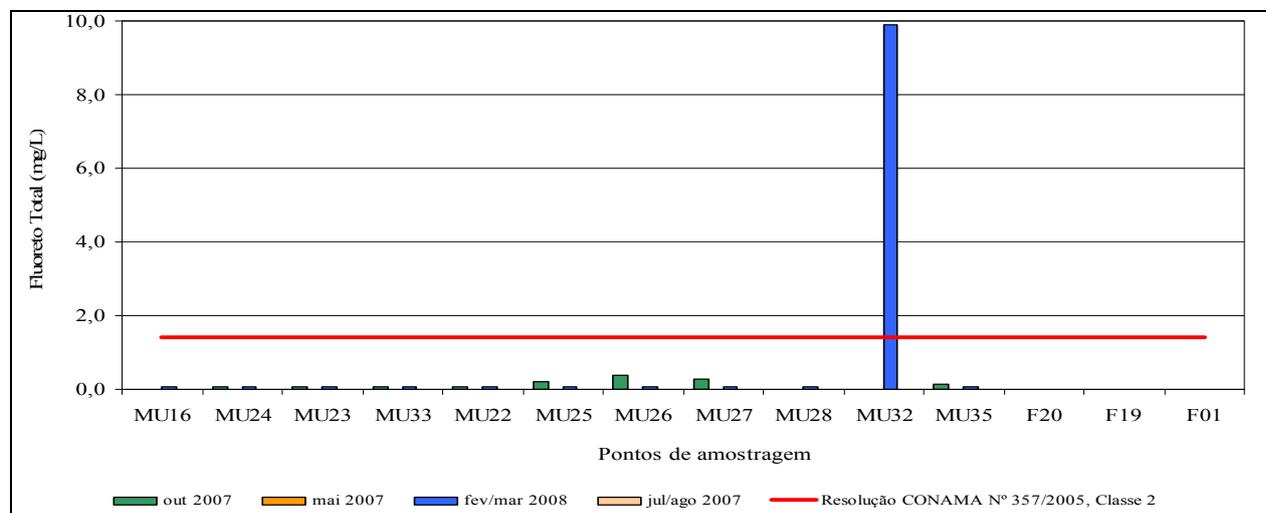


FIGURA 6.1.8.77 - Resultados das análises de fluoreto total – Bacia do Igarapé Pacu na AID e ADA.

As concentrações de fluoreto total variaram entre menor que 0,07 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 9,89 mg/L. Apenas o ponto MU32, na única campanha amostrada, apresentou-se acima do limite legal.

A elevada concentração encontrada (9,89 mg/L F) juntamente com o fato desta ter sido detectada apenas neste ponto, dentre todas as outras bacias estudadas, sugerem a possibilidade de um erro no processamento da análise.

- Coliformes Termotolerantes (Fecais)

A **Figura 6.1.8.78** mostra as concentrações de coliformes termotolerantes obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 1000 UFC/100mL, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

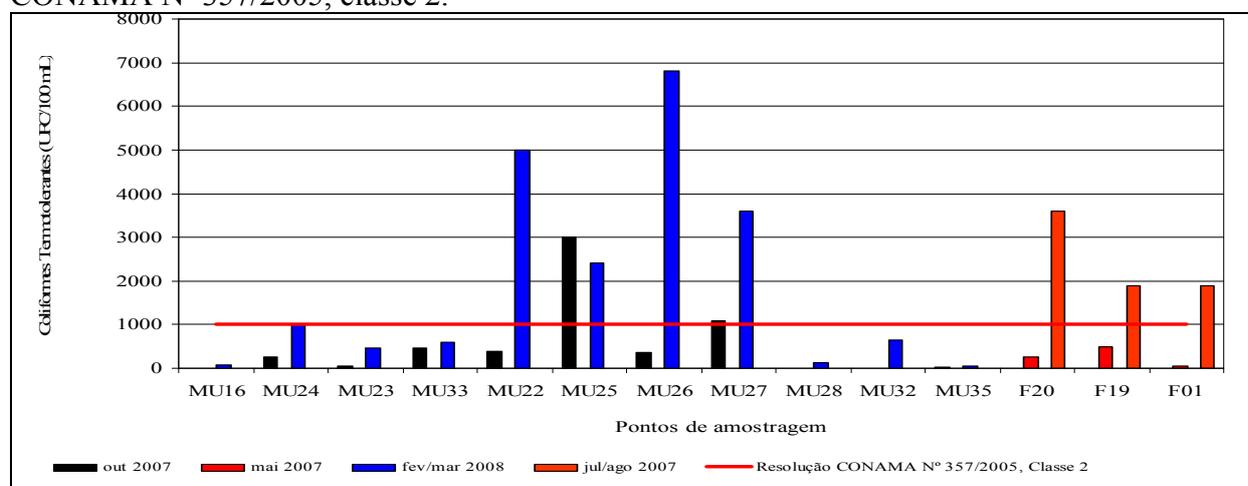


FIGURA 6.1.8.78 – Resultados das análises de coliformes termotolerantes – Bacia do Igarapé Pacu na AID e ADA.

As concentrações de coliformes termotolerantes variaram entre 15,0 UFC/100mL e 6800 UFC/100mL. Os registros de concentrações acima do limite legal ocorreram nos pontos MU22, MU25, MU26, MU27, F20, F19 e F01, em pelo menos um dos períodos amostrados.

A relação entre os valores de coliformes termotolerantes (fecais) e estreptococos fecais (CF/EF) sugerem a predominância de contaminação de animal, o que é condizente com o uso predominante destas águas para dessedentação dos animais, verificado em campo.

Na **Tabela 6.1.8.18** são apresentados os valores obtidos para esta relação e a origem da contaminação sugerida por tal relação para cada ponto amostrado.

TABELA 6.1.8.18
RESULTADOS DA RELAÇÃO ENTRE COLIFORMES FECALIS
(TERMOTOLERANTES) E ESTREPTOCOCOS FECALIS (CF/EF)

Ponto de amostragem	Relação coliformes fecais/ estreptococos fecais		Origem da Contaminação Fecal	
	1ª Campanha	2ª Campanha	1ª Campanha	2ª Campanha
MU16	*	0,26	*	Origem Animal
MU24	0,50	0,59	Origem Animal	Origem Animal
MU23	1,00	0,29	Duvidoso	Origem Animal
MU33	0,07	0,33	Origem Animal	Origem Animal
MU22	0,47	1,02	Origem Animal	Duvidoso
MU25	0,79	0,83	Origem Animal	Origem Animal
MU26	0,37	1,33	Origem Animal	Duvidoso
MU27	0,32	0,55	Origem Animal	Origem Animal
MU28	*	0,13	*	Origem Animal
F20	0,60	3,60	Origem Animal	Duvidoso
MU32	*	0,60	*	Origem Animal
F19	0,63	0,79	Origem Animal	Origem Animal
F01	0,06	0,95	Origem Animal	Origem Animal
MU35	0,09	0,47	Origem Animal	Origem Animal

Legenda

Menor que 1	Origem Animal
Entre 1 e 4	Duvidoso
Maior que 4	Origem Humana
*	Não houve amostragem

- Índice de Qualidade das Águas

A **Figura 6.1.8.79** mostra os resultados de IQA obtidos para os pontos estudados na bacia do igarapé Pacu.

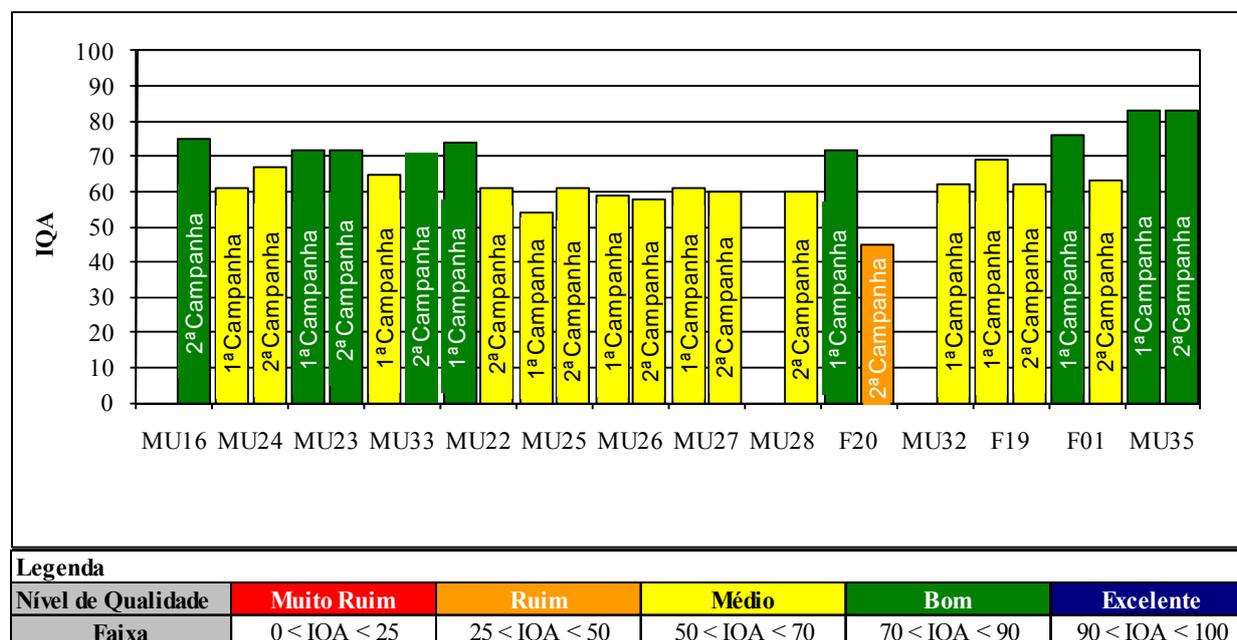


FIGURA 6.1.8.79 – Resultados do índice de qualidade das águas – Bacia do igarapé Pacu na AID e ADA.

Os resultados de IQA variaram entre 45% e 83%, sendo registrados valores que indicam águas com níveis de qualidade entre ruim e bom. Ressalta-se que na maioria dos pontos nível obtido foi médio.

A qualidade ruim foi encontrada apenas no ponto F20, na campanha em que houve significativa redução da vazão e na época da coleta o local de amostragem era utilizado como bebedouro para gado. As concentrações elevadas de coliformes termotolerantes e a reduzida oxigenação das águas são responsáveis pela maioria dos resultados de IQA que indicaram níveis médios de qualidade. Destaca-se a qualidade boa para os dois pontos inseridos no interior da Flona de Carajás.

Comparando se também os resultados obtidos pelas análises das águas do ponto MU35, utilizadas para o abastecimento de Mozartinópolis, com os padrões de potabilidade definidos pela Portaria N° 518/2004 do Ministério da Saúde, verificou-se que apenas a quantidade de coliformes termotolerantes excedeu ao seu limite máximo permitido. A referida Portaria define como padrão microbiológico para águas utilizadas para o consumo humano a ausência de coliformes termotolerantes em 100mL, parâmetro que obteve o resultado de 46 UFC/100mL nas análises das águas do reservatório de abastecimento de Mozartinópolis.

– Bacia do Igarapé Serra Sul

Nesta bacia foram alocados 02 pontos de amostragem MU03 e MU01, ambos afluentes da margem esquerda do Igarapé Serra Sul, região de cabeceira desta bacia.

Ressalta-se que nestes pontos foi realizada amostragem apenas na 2ª campanha, pois na ocasião da 1ª campanha o local de coleta se encontrava seco.

As Fotos 6.1.8.70 a 6.1.8.73 ilustram estes pontos.



FOTO 6.1.8.70 – Ponto MU03 – Amostragem em outubro/2007.

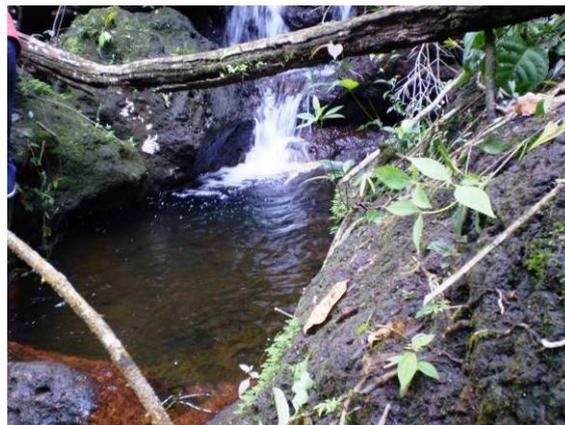


FOTO 6.1.8.71 – Ponto MU03 – Amostragem em fevereiro/2008.



FOTO 6.1.8.72 – Ponto MU01 – Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.73 – Ponto MU01 – Amostragem em fevereiro/2008.

Analisando-se os resultados obtidos, apresentados nas tabelas do **Anexo XIII-D** do presente relatório, observa-se que em todos os pontos de amostragem os parâmetros arsênio total, alumínio dissolvido, cádmio total, chumbo total, cianeto livre, cloreto total, cobre dissolvido, cromo total, demanda bioquímica de oxigênio, densidade de cianobactérias, fenóis totais, ferro dissolvido, fluoreto total, fósforo total, manganês total, mercúrio total, níquel total, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal total, sólidos dissolvidos totais, oxigênio dissolvido, sulfato total, pH, substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno, turbidez, óleos e graxas e zinco total apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos pelas determinações da Resolução CONAMA 357/2005 para águas Classe 2.

Destaca-se que os resultados obtidos nestes pontos apresentaram-se bem similares e a maioria abaixo do limite de detecção do método analítico.

- pH

A **Figura 6.1.8.80** mostra os valores de pH obtidos, sendo comparados aos limites legais mínimo e máximo, de 6 a 9, estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

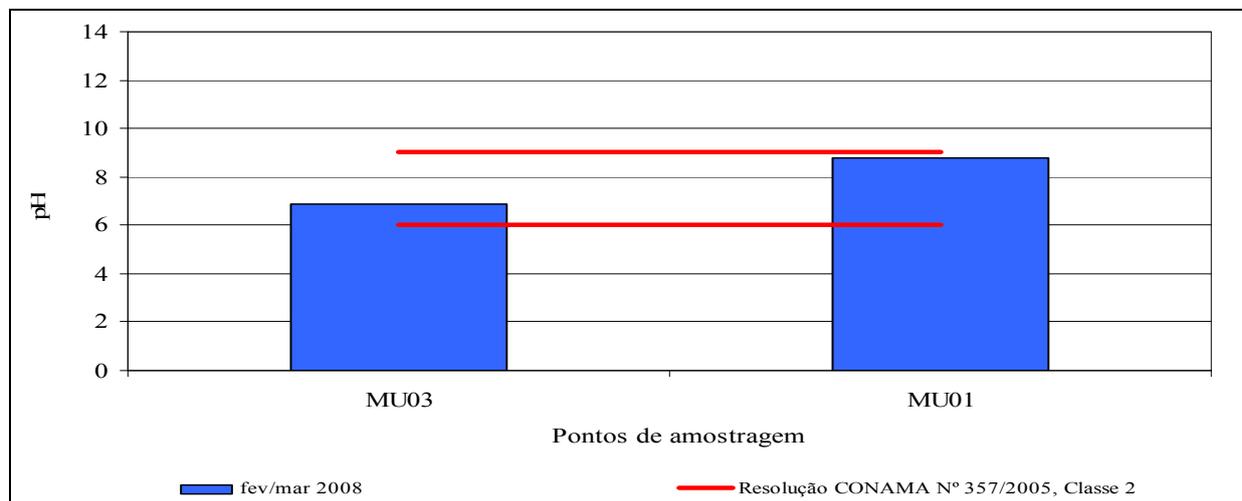


FIGURA 6.1.8.80– Resultados das análises de pH – Bacia do Igarapé Serra Sul na AID e ADA.

Os resultados das análises de pH desta bacia variaram entre 6,89 e 8,81, portanto, em conformidade com os limites estabelecidos na legislação.

- Oxigênio Dissolvido (OD)

A **Figura 6.1.8.81** mostra as concentrações de oxigênio dissolvido obtidas, sendo comparadas ao limite legal mínimo de 5 mg/L de O₂, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

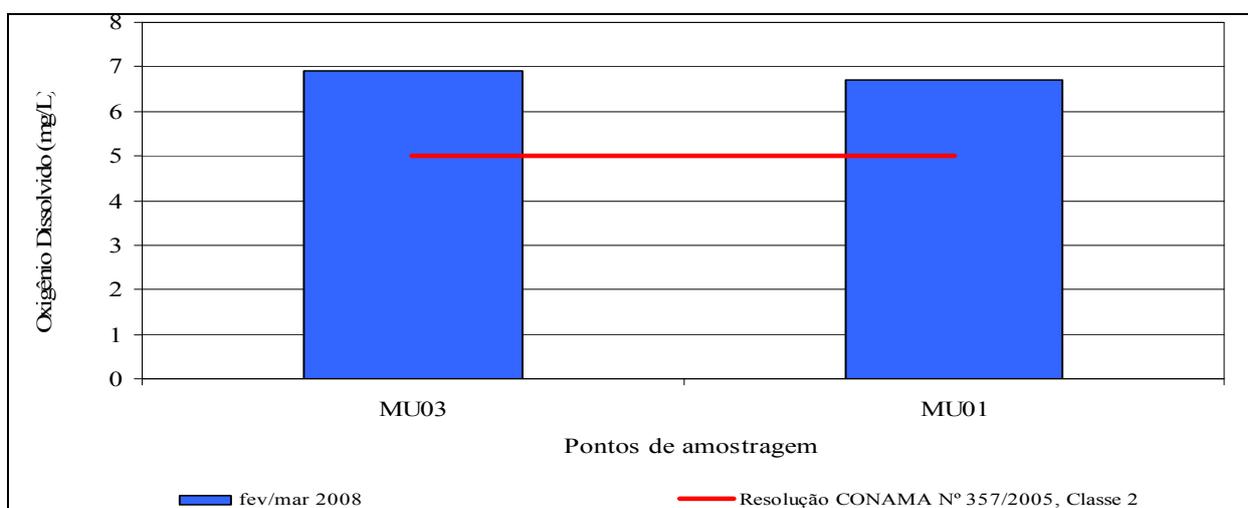


FIGURA 6.1.8.81 – Resultados das análises de oxigênio dissolvido – Bacia do Igarapé Serra Sul na AID e ADA.

As concentrações de oxigênio dissolvido variaram entre 6,7 mg/L O₂ e 6,9 mg/L O₂ e, portanto, em conformidade com os limites estabelecidos na referida Resolução e mostram o bom nível de oxigenação destas águas.

- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A **Figura 6.1.8.82** mostra as concentrações de DBO obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 5 mg/L de O₂, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

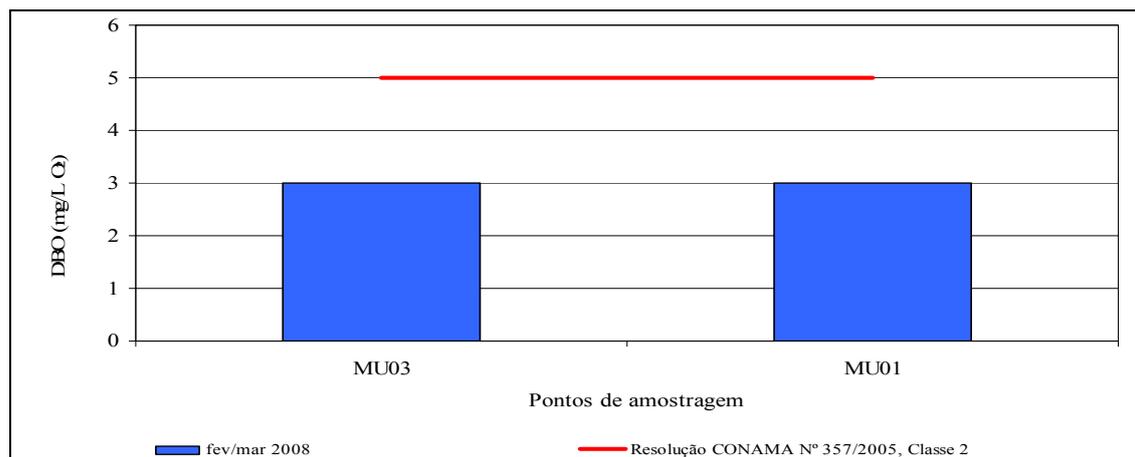


FIGURA 6.1.8.82 – Resultados das análises DBO – Bacia do Igarapé Serra Sul na AID e ADA.

As concentrações de DBO foram inferiores ao limite 3,0 mg/L (limite de quantificação do método analítico), portanto, todos os resultados obtidos atenderam ao limite estabelecido na referida Resolução.

- Sólidos Dissolvidos Totais

A **Figura 6.1.8.83** mostra as concentrações de sólidos dissolvidos totais obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 500 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

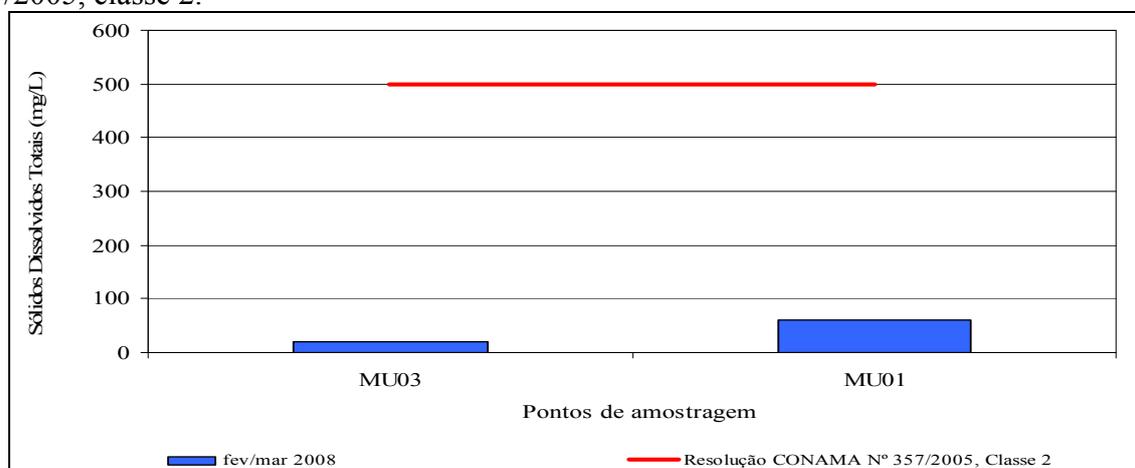


FIGURA 6.1.8.83 – Resultados das análises de sólidos dissolvidos totais – Bacia do Igarapé Serra Sul na AID e ADA.

As concentrações de sólidos dissolvidos variaram entre menor que 21 mg/L e 60 mg/L, e portanto, todos os resultados obtidos atenderam ao estabelecido na referida Resolução.

Os resultados da série de sólidos analisada (**Anexo XIII-D**) constituída pelas frações de sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais e sólidos sedimentáveis totais, mostram que ocorre a predominância da forma dissolvida nos dois pontos amostrados.

- Cor Verdadeira

A **Figura 6.1.8.84** mostra as concentrações de cor verdadeira obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 75 Pt/L estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

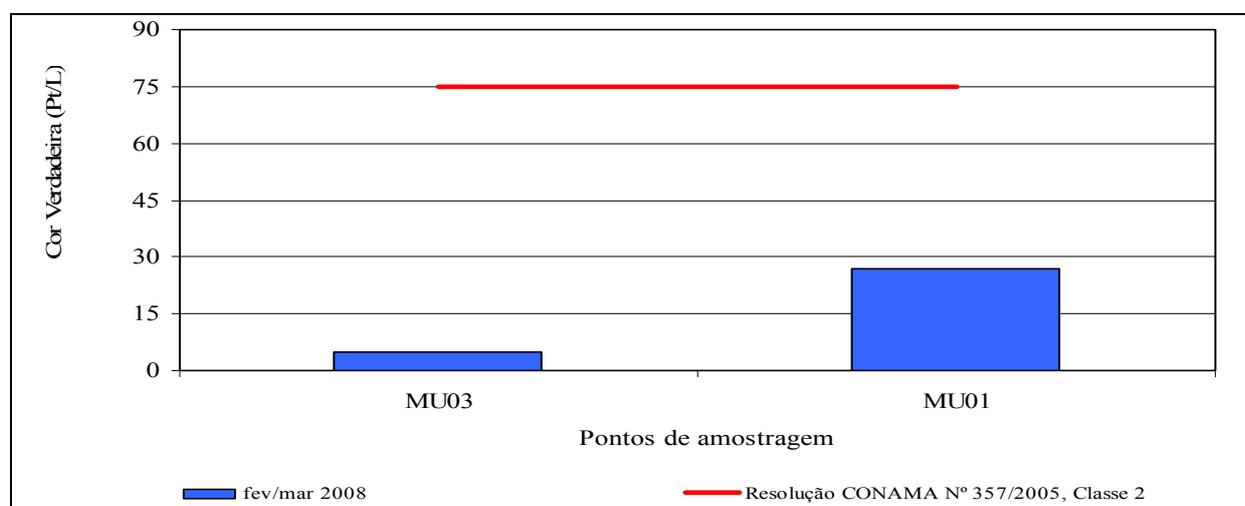


FIGURA 6.1.8.84 – Resultados das análises de cor verdadeira – Bacia do Igarapé Serra Sul na AID e ADA.

As concentrações de cor verdadeira variaram entre menor que 5,0 Pt/L (limite de quantificação do método analítico) e 27 mg/L, e portanto, todos os resultados obtidos atenderam ao estabelecido na referida Resolução.

- Metais

Todos os metais analisados nestes pontos, e que possuem padrão estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, atenderam a todos os limites legais.

- Sulfetos

A **Figura 6.1.8.85** mostra as concentrações de sulfeto total obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 0,002 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

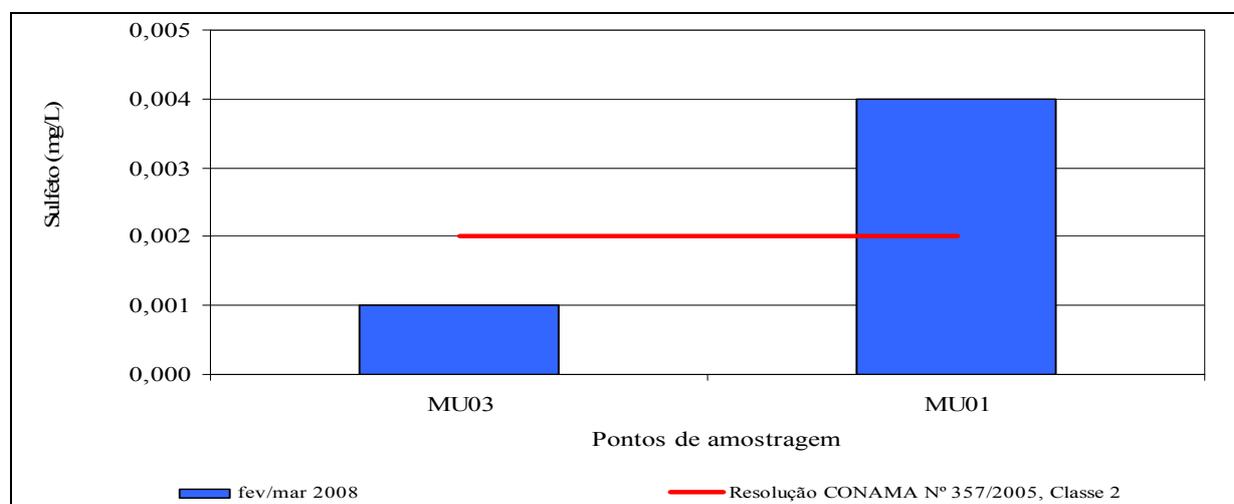


FIGURA 6.1.8.85 – Resultados das análises de sulfeto (H_2S não dissociado) – Bacia do igarapé Serra Sul na AID e ADA.

As concentrações de sulfeto variaram entre menor que 0,001 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 0,004 mg/L. Apenas o ponto MU01 apresentou concentração fora do padrão ambiental, certamente em função de algum carreamento de matéria orgânica gerada em função de vegetação a montante do ponto de coleta.

- Coliformes Termotolerantes (Fecais)

A **Figura 6.1.8.86** mostra as concentrações de coliformes termotolerantes obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 1000 UFC/100mL, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

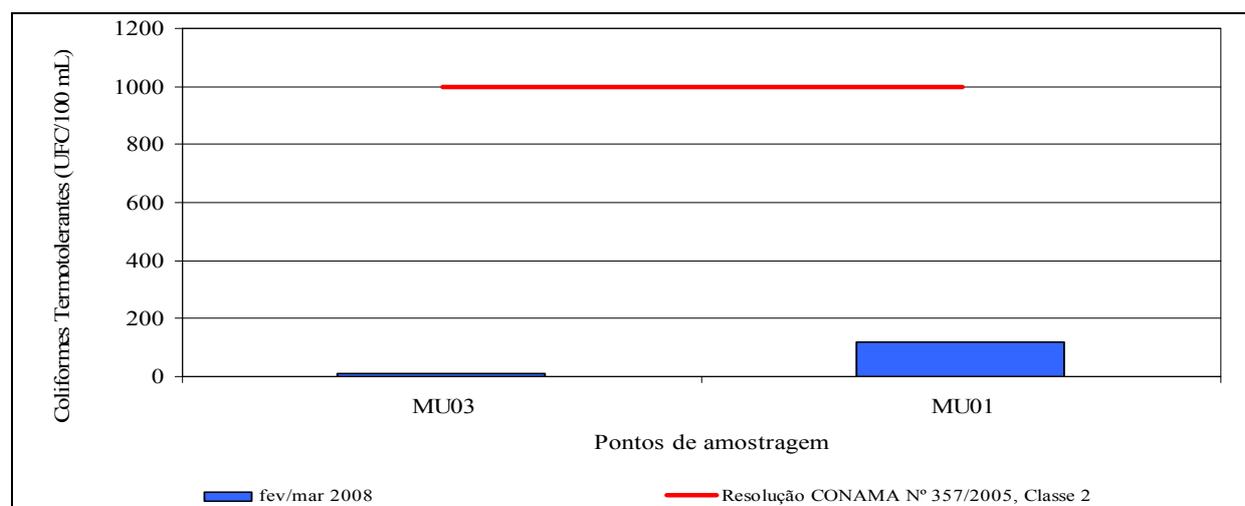


FIGURA 6.1.8.86 – Resultados das análises de coliformes termotolerantes – Bacia do igarapé Serra Sul na AID e ADA.

As concentrações de coliformes termotolerantes variaram entre 10,0 UFC/100mL e 120 UFC/100mL, e portanto, todos os resultados obtidos atenderam ao limite estabelecido na referida Resolução.

A relação entre os coliformes termotolerantes e estreptococos fecais indica origem duvidosa da contaminação fecal no ponto MU01 e origem animal no ponto MU03. A **Figura 6.1.8.86** mostra as concentrações de coliformes termotolerantes encontradas, comparadas ao estabelecido na referida resolução e a **Tabela 6.1.8.19** mostra a relação CF/EF.

TABELA 6.1.8.19

**RESULTADOS DA RELAÇÃO ENTRE COLIFORMES FECAIS
(TERMOTOLERANTES) E ESTREPTOCOCOS FECAIS (CF/EF)**

Ponto de amostragem	Relação coliformes fecais/ estreptococos fecais		Origem da Contaminação Fecal	
	1ª campanha	2ª campanha	1ª campanha	2ª campanha
MU03	*	1,50	*	Duvidoso
MU01	*	0,13	*	Origem Animal

Legenda

Menor que 1	Origem Animal
Entre 1 e 4	Duvidoso
Maior que 4	Origem Humana
*	Não houve amostragem

- Índice de Qualidade das Águas

A **Figura 6.1.8.87** mostra os resultados de IQA obtidos para os pontos estudados na bacia do igarapé Serra Sul.

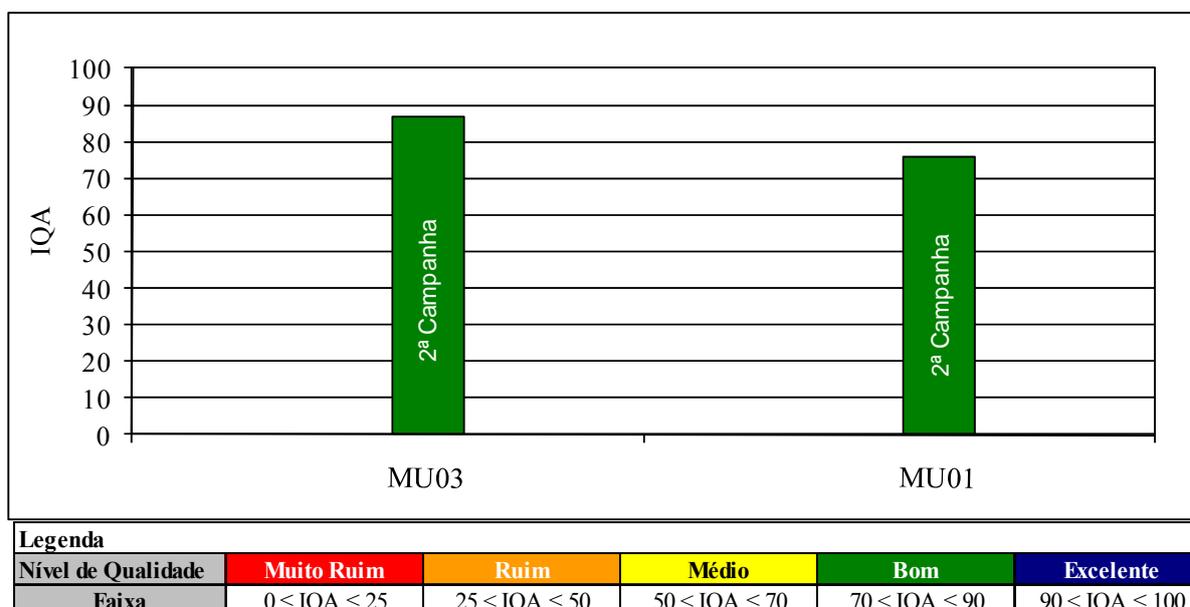


FIGURA 6.1.8.87 – Resultados do índice de qualidade das águas – Bacia do igarapé Serra Sul na AID e ADA.

Os resultados de IQA variaram entre 87% e 76%, sendo registrados valores que indicam águas com nível de qualidade boa, condizentes com os demais resultados registrados nesta bacia.

– **Bacia dos Afluentes Alto Itacaiúnas, Porção sudoeste ao Bloco D**

Nesta bacia foram alocados 05 pontos de amostragem, sendo eles: MU13, MU04, MU02, PM31 e PM12.

Ressalta-se que nos pontos MU13 localizado no interior da Flona de Carajás e MU02 foram realizadas amostragens apenas na 2ª campanha, pois na ocasião da 1ª campanha o local de coleta encontrava se seco.

Destaca-se também que o ponto MU04 encontra-se situado em uma lagoa perene de altitude, também conhecida como lagoa do Violão.

As **Fotos 6.1.8.74 a 6.1.8.79** ilustram estes pontos.



FOTO 6.1.8.74 – Ponto MU13- Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.75 – Ponto MU13 - Amostragem em fevereiro/2008.



FOTO 6.1.8.76 - Ponto MU04, lateral esquerda - Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.77 – Ponto MU04, na lateral direita - Amostragem em fevereiro/2008.



FOTO 6.1.8.78 – Ponto MU02 - Amostragem em outubro/2007.



FOTO 6.1.8.79 – Ponto MU02 - Amostragem em fevereiro/2008.

Analisando-se os resultados obtidos, apresentados nas tabelas do **Anexo XIII-D** do presente relatório, observa-se que em todos os pontos de amostragem os parâmetros arsênio total, cádmio total, chumbo total, cianeto livre, cloreto total, cobre dissolvido, cromo total, densidade de cianobactérias, fenóis totais, fluoreto total, fósforo total, manganês total, mercúrio total, níquel total, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal total, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos totais, sulfato total, substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno, turbidez, óleos e graxas e zinco total apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos pelas determinações da Resolução CONAMA 357/2005 para águas Classe 2.

- pH

A **Figura 6.1.8.88** mostra os valores de pH obtidos, sendo comparados aos limites legais mínimo e máximo, de 6 a 9, estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 357/2005, classe 2.

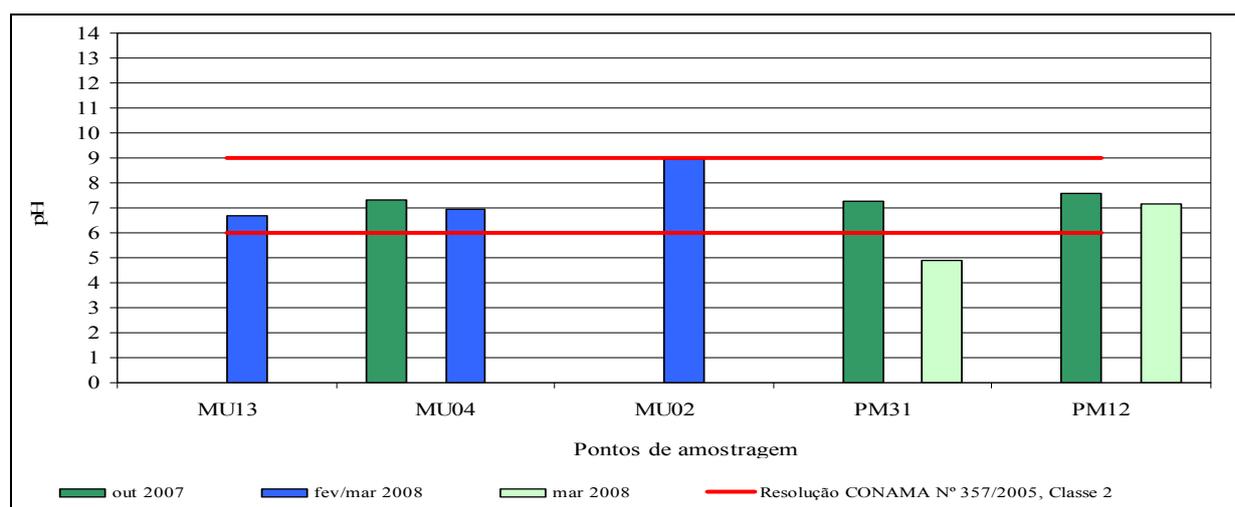


FIGURA 6.1.8.88 – Resultados das análises de pH – Bacia dos Afluentes Alto Itacaiúnas, Porção sudoeste ao Bloco D na AID e ADA.

No geral, os resultados das análises de pH variaram entre 4,89 e 7,6, indicando águas neutras tendendo a águas ligeiramente ácidas. A única concentração registrada fora do padrão ambiental foi para as águas amostradas no ponto PM31, com um resultado de 4,89. Provavelmente esta acidez é de fonte natural e deve-se a degradação da matéria orgânica.

- Oxigênio Dissolvido (OD)

A **Figura 6.1.8.89** mostra as concentrações de oxigênio dissolvido obtidas, sendo comparadas ao limite legal mínimo de 5 mg/L de O₂, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

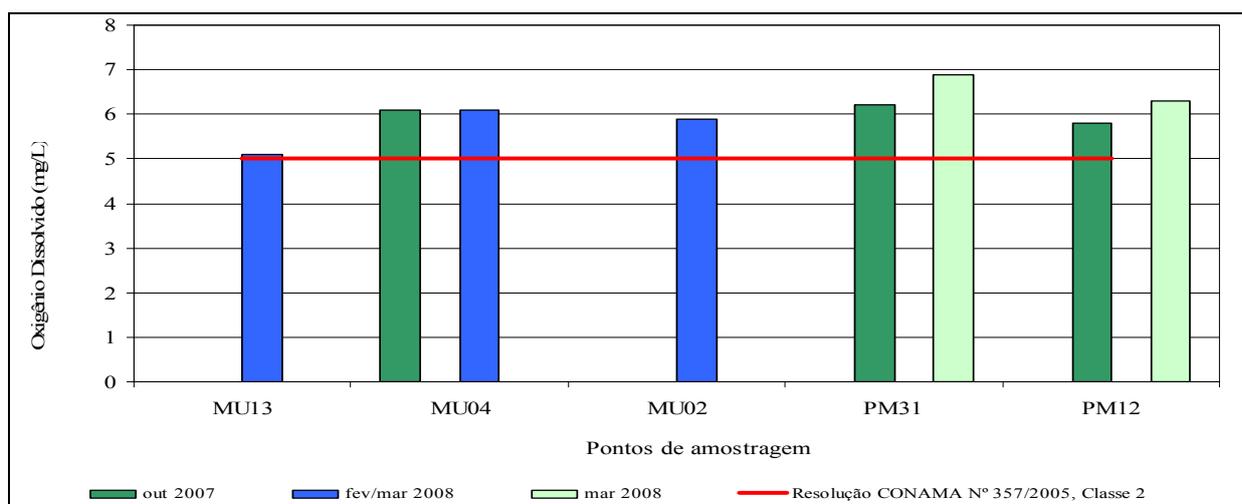


FIGURA 6.1.8.89 – Resultados das análises de oxigênio dissolvido – Bacia dos Afluentes Alto Itacaiúnas, Porção sudoeste ao Bloco D na AID e ADA.

As concentrações de oxigênio dissolvido variaram entre 5,1 mg/L O₂ e 6,9 mg/L O₂, e portanto, todos os pontos atenderam o limite mínimo estabelecido pela referida Resolução.

- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A **Figura 6.1.8.90** mostra as concentrações de DBO obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 5 mg/L de O₂, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

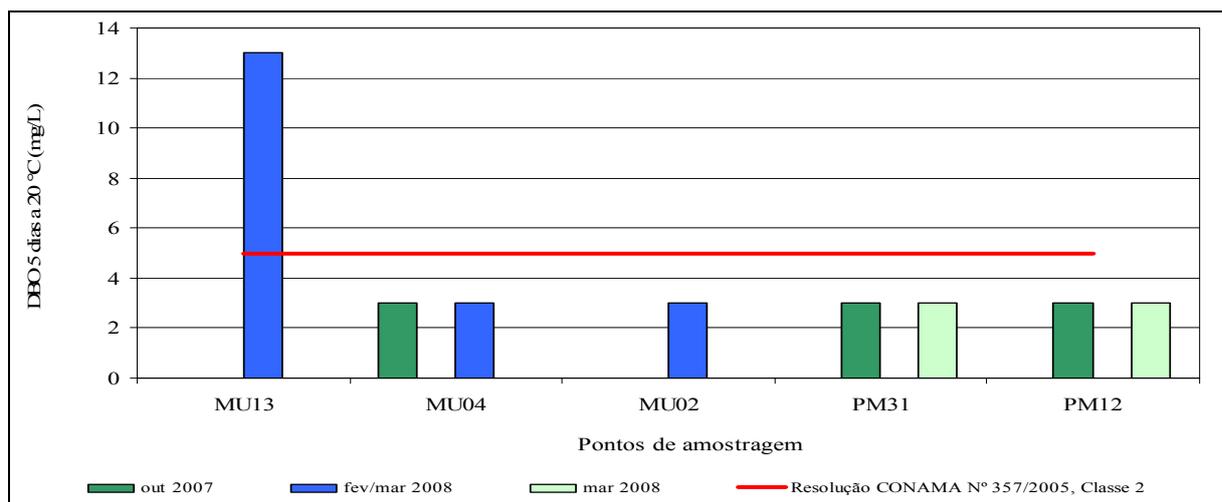


FIGURA 6.1.8.90 – Resultados das análises de demanda bioquímica de oxigênio – Bacia dos Afluentes Alto Itacaiúnas, Porção sudoeste ao Bloco D na AID e ADA.

As concentrações de DBO variaram entre menor que 3,0 (limite de quantificação do método analítico) e 13,0 mg/L O₂. Apenas o resultado obtido para o ponto MU13, na 1ª campanha, apresentou-se fora do padrão legal.

O ponto MU13, localizado no interior da Flona de Carajás, encontra-se em uma drenagem com elevada quantidade de galhos e folhas em seu leito, pois está localizado no interior da Flona de Carajás, o que pode estar contribuindo para que a sua concentração esteja acima do limite legal.

Ressalta-se que os demais resultados foram inferiores ao limite de quantificação do método analítico utilizado.

- Sólidos Dissolvidos Totais

A **Figura 6.1.8.91** mostra as concentrações de sólidos dissolvidos totais obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 500 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 357/2005, classe 2.

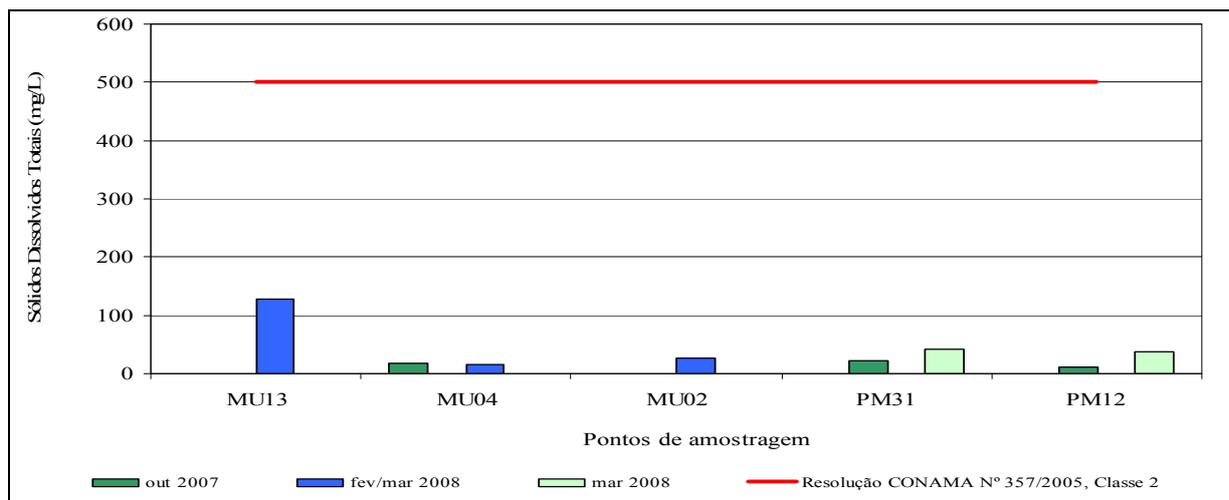


FIGURA 6.1.8.91 – Resultados das análises de sólidos dissolvidos totais – Bacia dos Afluentes Alto Itacaiúnas, Porção sudoeste ao Bloco D na AID e ADA.

As concentrações de sólidos dissolvidos variaram entre menor que 5,0 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 127 mg/L, portanto, todos os resultados obtidos atenderam ao limite máximo estabelecido na referida Resolução.

Os resultados da série de sólidos analisada (**Anexo XIII-D**) constituída pelas frações de sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais e sólidos sedimentáveis totais, mostram que ocorre a predominância da forma dissolvida em todos os pontos.

- Cor Verdadeira

A **Figura 6.1.8.92** mostra as concentrações de cor verdadeira obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 75 Pt/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

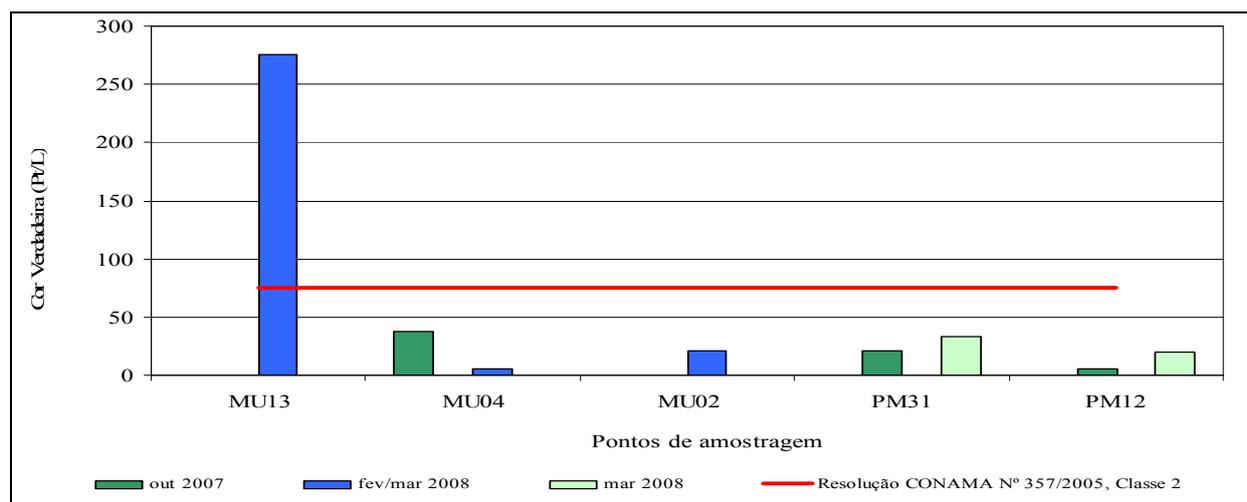


FIGURA 6.1.8.92 – Resultados das análises de cor verdadeira – Bacia dos Afluentes Alto Itacaiúnas, Porção sudoeste ao Bloco D na AID e ADA.

As concentrações de cor verdadeira variaram entre menor que 5,0 Pt/L (limite de quantificação do método analítico) e 276 Pt/L. Apenas o ponto MU13 apresentou concentração fora do padrão ambiental.

Destaca-se que neste ponto foi detectada uma concentração mais elevada de sólidos dissolvidos, que provavelmente está contribuindo para elevação da concentração de cor verdadeira.

- Metais

Dentre os metais analisados, os que excederam aos limites superiores estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2, foram o ferro e o alumínio dissolvidos.

A **Figura 6.1.8.93** mostra as concentrações de ferro dissolvido obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 0,3 mg/L, estabelecido pela referida Resolução.

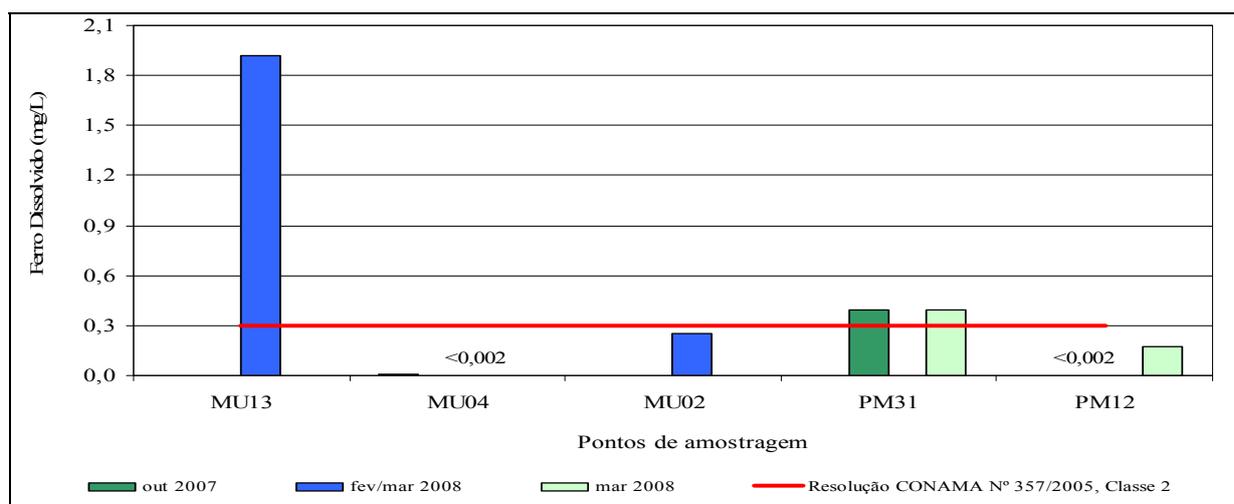


FIGURA 6.1.8.93 – Resultados das análises de ferro dissolvido – Bacia dos Afluentes Alto Itacaiúnas, Porção sudoeste ao Bloco D na AID e ADA.

As concentrações de ferro dissolvido variaram entre menor que 0,002 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 1,92 mg/L. Os registros de concentrações acima do limite legal ocorreram nos pontos MU13, no único período amostrado, e PM31 em ambas as campanhas amostradas. Provavelmente em decorrência da geologia local.

A **Figura 6.1.8.94** mostra as concentrações de alumínio dissolvido obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 0,1 mg/L, estabelecido pela referida Resolução.

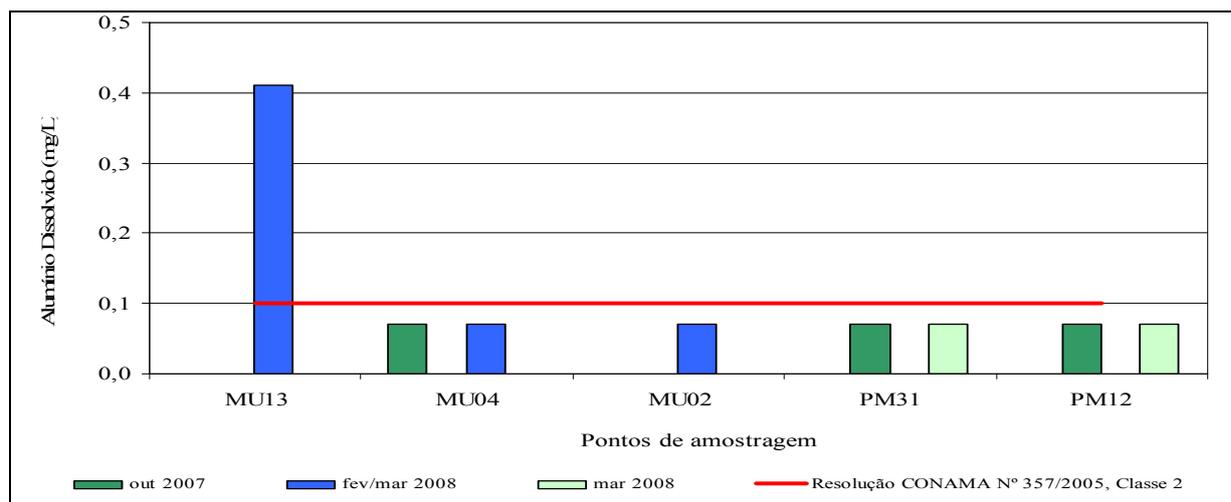


FIGURA 6.1.8.94 – Resultados das análises de alumínio dissolvido – Bacia dos Afluentes Alto Itacaiúnas, Porção sudoeste ao Bloco D na AID e ADA.

As concentrações de alumínio dissolvido variaram entre menor que 0,07 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 0,41 mg/L. Apenas o ponto MU13 apresentou- acima do limite legal.

A **Figura 6.1.8.95** mostra as concentrações de sulfeto total obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 0,002 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

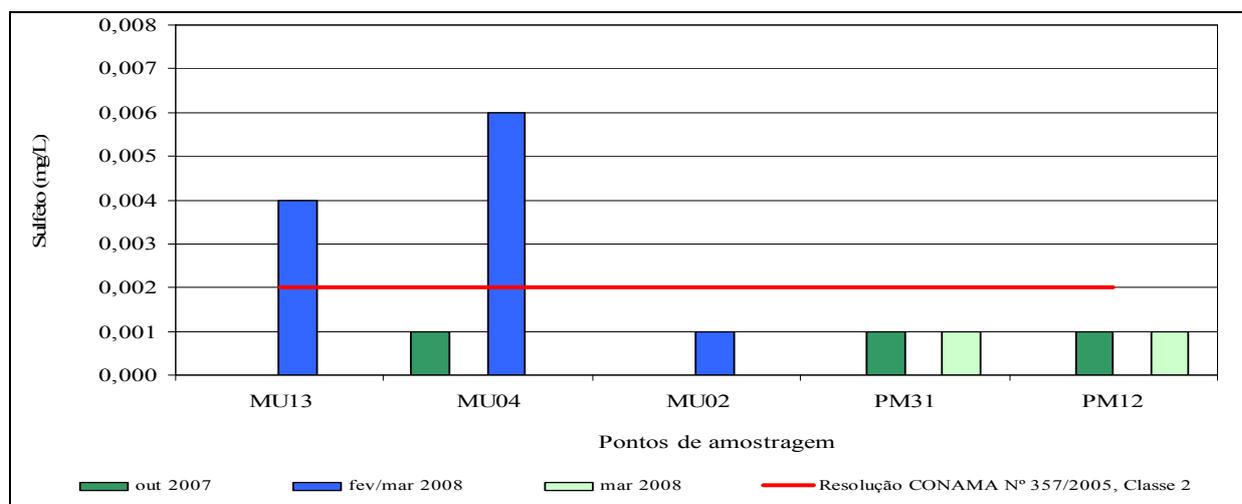


FIGURA 6.1.8.95 – Resultados das análises de sulfeto (H₂S não dissociado) – Bacia dos Afluentes Alto Itacaiúnas, Porção sudoeste ao Bloco D na AID e ADA.

As concentrações de sulfeto variaram entre menor que 0,001 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 0,006 mg/L. Apenas dois pontos apresentaram concentrações acima do padrão (MU13 e MU04), ambas na 2ª campanha, no período chuvoso, e possivelmente estão associadas a algum carreamento de matéria orgânica para essas águas.

- Coliformes Termotolerantes (Fecais)

A **Figura 6.1.8.96** mostra as concentrações de coliformes termotolerantes obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 1000 UFC/100mL, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

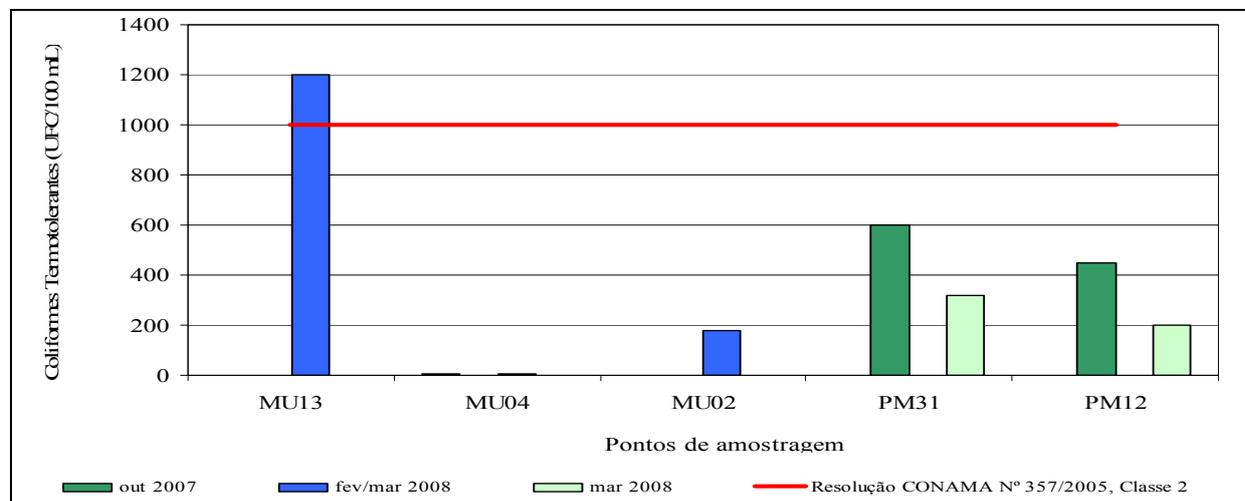


FIGURA 6.1.8.96 – Resultados das análises de coliformes termotolerantes – Bacia dos Afluentes Alto Itacaiúnas, Porção sudoeste ao Bloco D na AID e ADA.

As concentrações de coliformes termotolerantes variaram entre menor que 5,0 UFC/100mL (limite de quantificação do método analítico) e 1200 UFC/100mL. Apenas o ponto MU13 apresentou-se acima do padrão ambiental.

Provavelmente isto se deve à presença de animais silvestres que habitam a floresta. A relação entre os coliformes fecais (termotolerantes) e estreptococos fecais (CF/EF) também indica origem animal para a contaminação fecal neste ponto e no ponto PM12. Nos pontos MU02, MU04 e PM31 a mesma relação indicou uma contaminação fecal de origem duvidosa, como mostra a **Tabela 6.1.8.20**.

TABELA 6.1.8.20

RESULTADOS DA RELAÇÃO ENTRE COLIFORMES FECAIS (TERMOTOLERANTES) E ESTREPTOCOCOS FECAIS (CF/EF)

Ponto de amostragem	Relação coliformes fecais/ estreptococos fecais		Origem da Contaminação Fecal	
	1ª campanha	2ª campanha	1ª campanha	2ª campanha
MU13	*	0,3	*	Animal
MU04	1,0	1,0	Duvidosa	Duvidosa
MU02	*	1,2	*	Duvidosa
PM31	1,18	1,07	Duvidosa	Duvidosa
PM12	0,09	0,50	Animal	Animal

Legenda

Menor que 1	Origem Animal
Entre 1 e 4	Duvidoso
Maior que 4	Origem Humana
*	Não houve amostragem

- Índice de Qualidade das Águas

A **Figura 6.1.8.97** mostra os resultados de IQA obtidos para os pontos estudados na bacia dos Afluentes Alto Itacaiúnas, Porção sudoeste ao Bloco D.

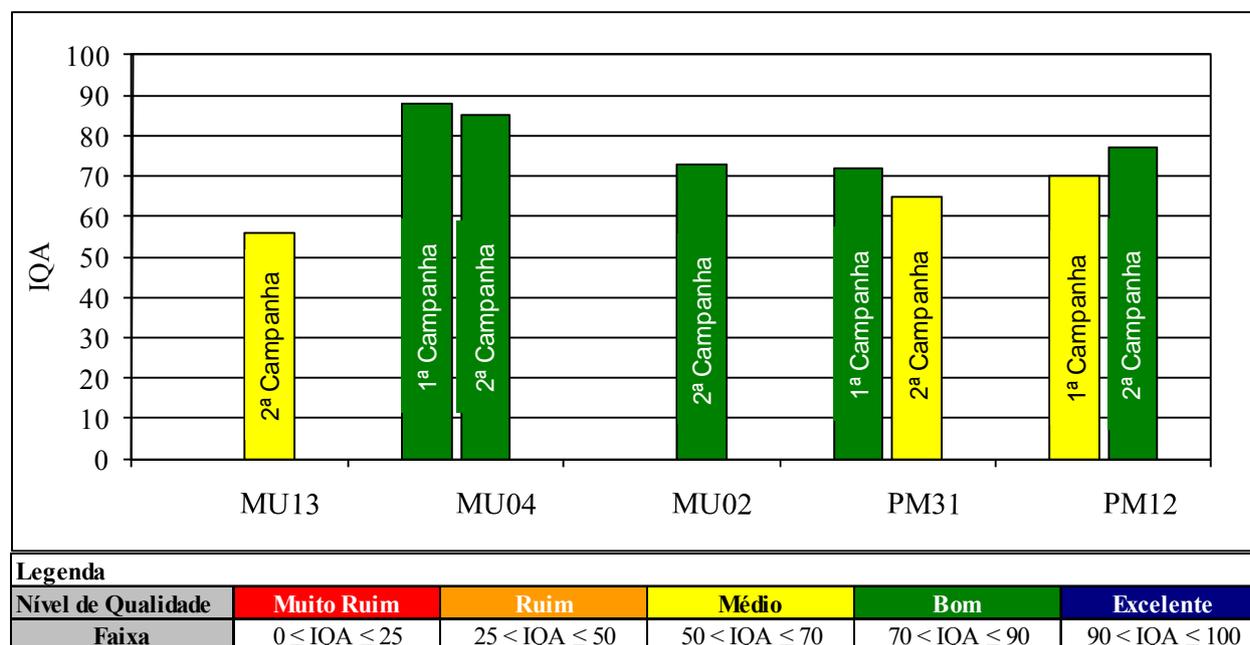


FIGURA 6.1.8.97 – Resultados do índice de qualidade das águas – Bacia dos Afluentes Alto Itacaiúnas, Porção sudoeste ao Bloco D na AID e ADA.

Os resultados de IQA variaram entre 56% e 88%, sendo registrados valores que indicam águas com nível de qualidade médio e bom.

Observa-se que a diferença entre o nível de qualidade médio do ponto MU13 para os demais pontos, com nível de qualidade boa, ocorreu em função das altas concentrações de coliformes termotolerantes e DBO encontradas nas amostras deste ponto.

Já nos pontos PM31 e PM12 este nível se deve aos baixos resultados obtidos para as análises de pH e oxigênio dissolvido.

Destaca-se que os três pontos: MU13, PM31 e PM12 encontram-se localizados dentro da Flona de Carajás sem nenhuma interferência antrópica.

– **Bacia do rio Parauapebas**

Nesta bacia foram alocados 02 pontos de amostragem, F07 e F19, localizados respectivamente a montante e jusante do rio Sossego. As **Fotos 6.1.8.80 a 6.1.8.85** ilustram estes pontos.



FOTO 6.1.8.80 – Ponto F07 – Amostragem em junho/2007.



FOTO 6.1.8.81 – Ponto F07 - Amostragem em maio/2007.



FOTO 6.1.8.82 – Ponto F07 - Amostragem em junho/2007.



FOTO 6.1.8.83 – Ponto F07 - Amostragem em maio/2007.



FOTO 6.1.8.84 – Confluência do rio Sossego (esquerda) e rio Parauapebas (direita) - Amostragem em junho/2007.



FOTO 6.1.8.85 – Confluência do rio Sossego e rio Parauapebas – Amostragem em junho/2007

Analisando-se os resultados obtidos, apresentados nas tabelas do **Anexo XIII-D** do presente relatório, observa-se que em todos os pontos de amostragem os parâmetros alumínio dissolvido, cádmio total, cloreto total, coliformes termotolerantes (fecais), cor verdadeira, demanda bioquímica de oxigênio, fenóis totais, fósforo total, mercúrio total, níquel total, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal total, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos totais, sulfato total, substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno, óleos e graxas e turbidez apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos pelas determinações da Resolução CONAMA 357/2005 para águas Classe 2.

- pH

A **Figura 6.1.8.98** mostra os valores de pH obtidos, sendo comparados aos limites legais mínimo e máximo, de 6 a 9, estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 357/2005, classe 2.

Os resultados das análises de pH desta bacia variaram entre 7,65 e 8,14, indicando as águas neutras tendendo ligeiramente a condições básicas e, portanto, em conformidade aos limites legais inferiores e superiores estabelecidos na referida Resolução.

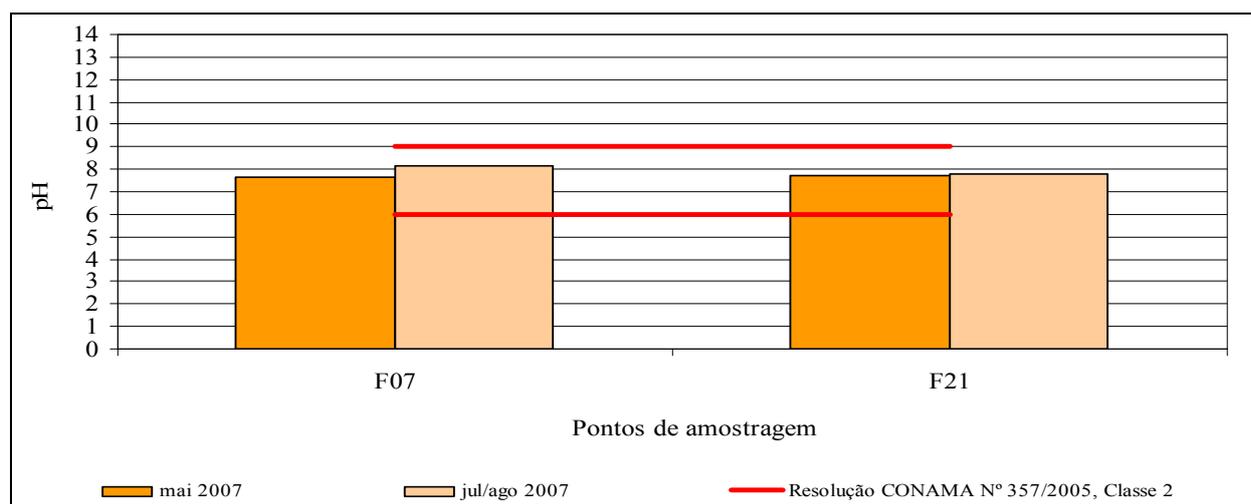


FIGURA 6.1.8.98 – Resultados das análises de pH – Bacia do rio Parauapebas na AID e ADA.

- Oxigênio Dissolvido

A **Figura 6.1.8.99** mostra as concentrações de oxigênio dissolvido obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 5 mg/L de O₂, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

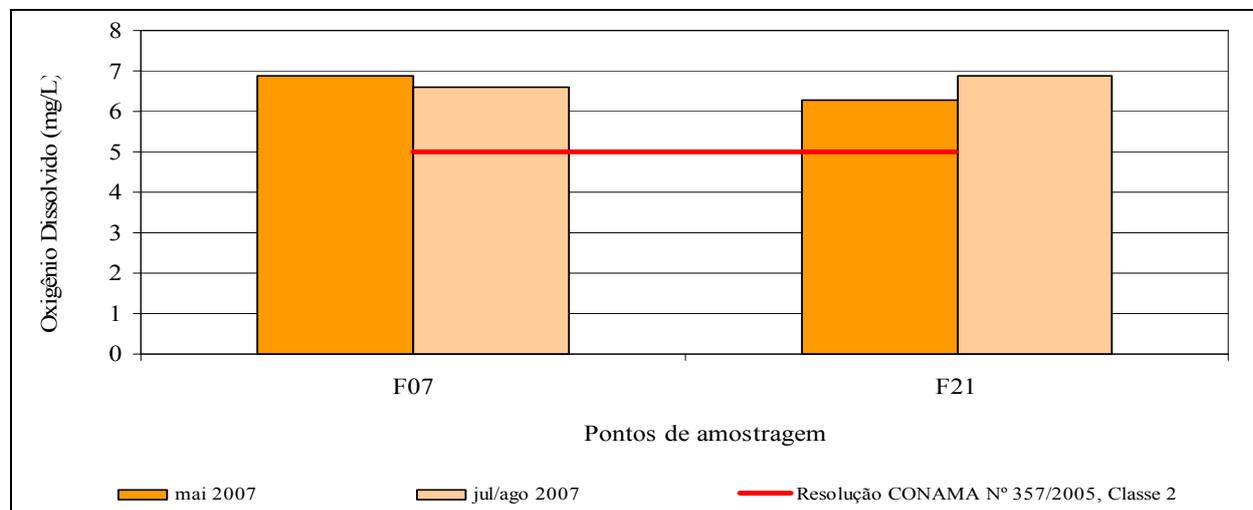


FIGURA 6.1.8.99 – Resultados das análises de oxigênio dissolvido – Bacia do rio Parauapebas na AID e ADA.

As concentrações de oxigênio dissolvido variaram entre 6,3 mg/L O₂ e 6,9 mg/L O e, portanto, em conformidade com o limite mínimo estabelecido na referida Resolução, mostrando o bom nível de oxigenação destas águas.

- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A **Figura 6.1.8.100** mostra as concentrações de DBO obtidas, sendo comparadas ao limite legal mínimo de 5 mg/L de O₂, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

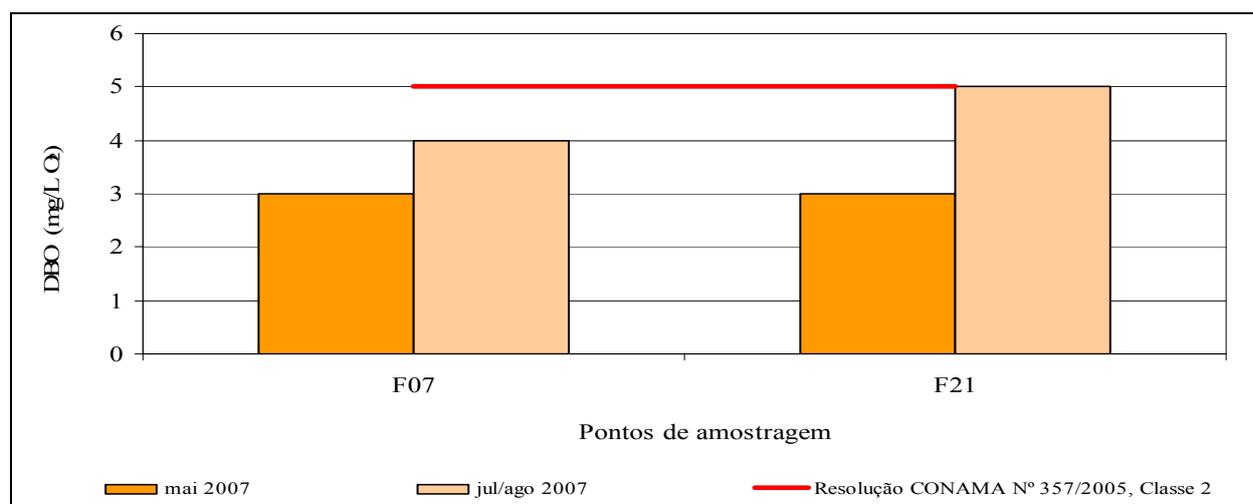


FIGURA 6.1.8.100 – Resultados das análises de DBO – Bacia do rio Parauapebas na AID e ADA.

As concentrações de DBO variaram entre menor que 3,0 (limite de quantificação do método analítico) e 5,0 mg/L O₂ estando portando todos os resultados obtidos dentro do limite máximo estabelecido pela referida Resolução.

- Sólidos Dissolvidos Totais

A **Figura 6.1.8.101** mostra as concentrações de sólidos dissolvidos totais obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 500 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

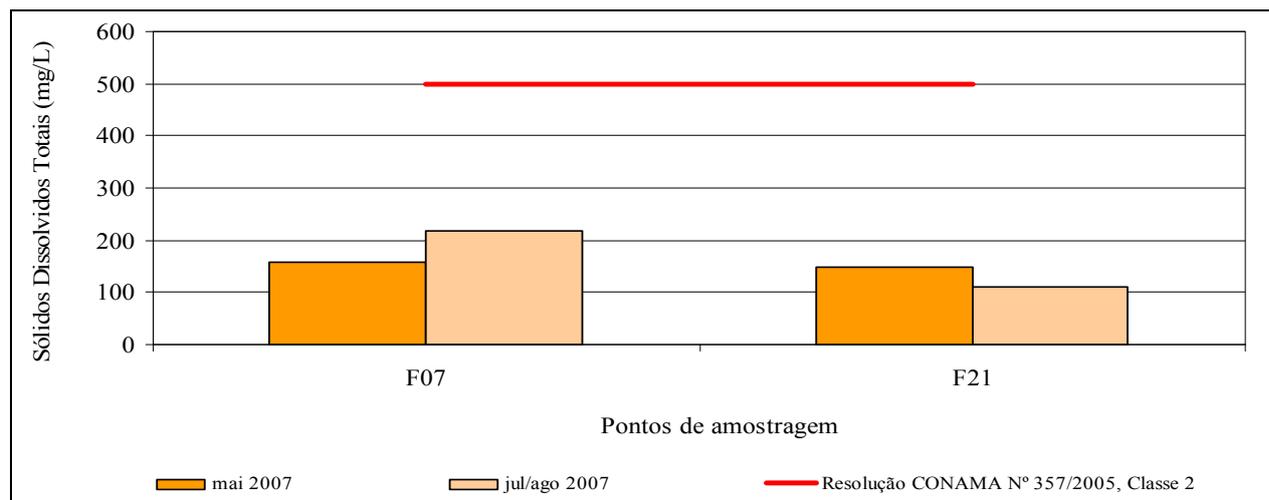


FIGURA 6.1.8.101 – Resultados das análises de sólidos dissolvidos – Bacia do rio Parauapebas na AID e ADA.

As concentrações de sólidos dissolvidos variaram 110 mg/L e 217mg/L e, portanto, todos os resultados obtidos atenderam ao limite máximo estabelecido na a referida Resolução.

Os resultados da série de sólidos analisada (**Anexo XIII-D**) constituída pelas frações de sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais e sólidos sedimentáveis totais, mostram que ocorre a predominância da forma dissolvida em todos os pontos.

- Cor Verdadeira

A **Figura 6.1.8.102** mostra as concentrações de cor verdadeira obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 75 Pt/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

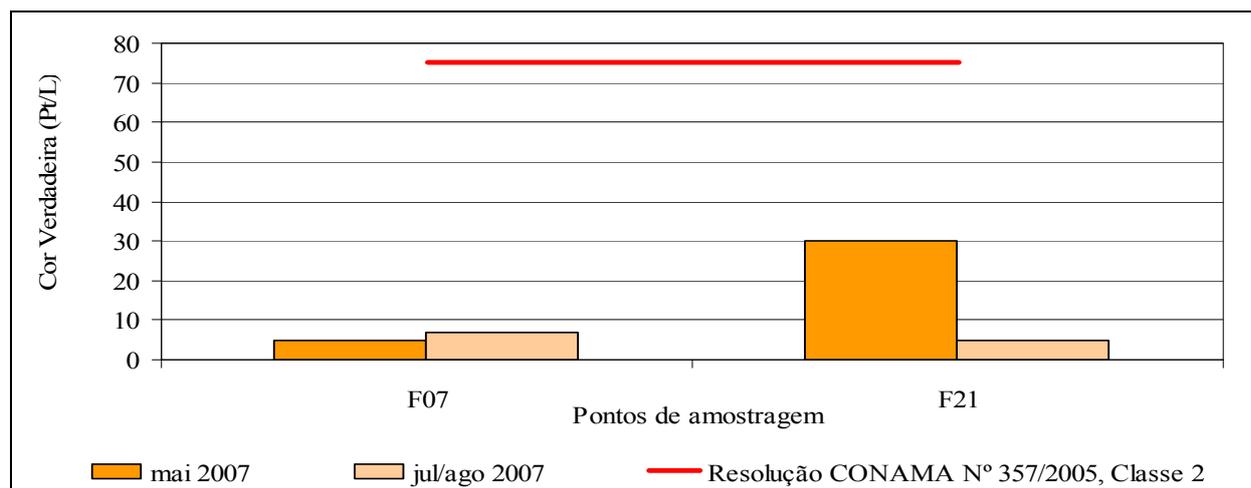


FIGURA 6.1.8.102 – Resultados das análises de cor verdadeira – Bacia do rio Parauapebas na AID e ADA.

As concentrações de cor verdadeira variaram entre menor que 5,0 (limite de quantificação do método analítico) e 30 Pt/L, portanto, todos os resultados obtidos atenderam ao limite máximo estabelecido na a referida Resolução.

- Metais

Dentre os metais analisados, excederam ao limite máximo permitido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2, o ferro e o cobre dissolvidos e o manganês total.

A **Figura 6.1.8.103** mostra as concentrações de ferro dissolvido obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 0,3 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

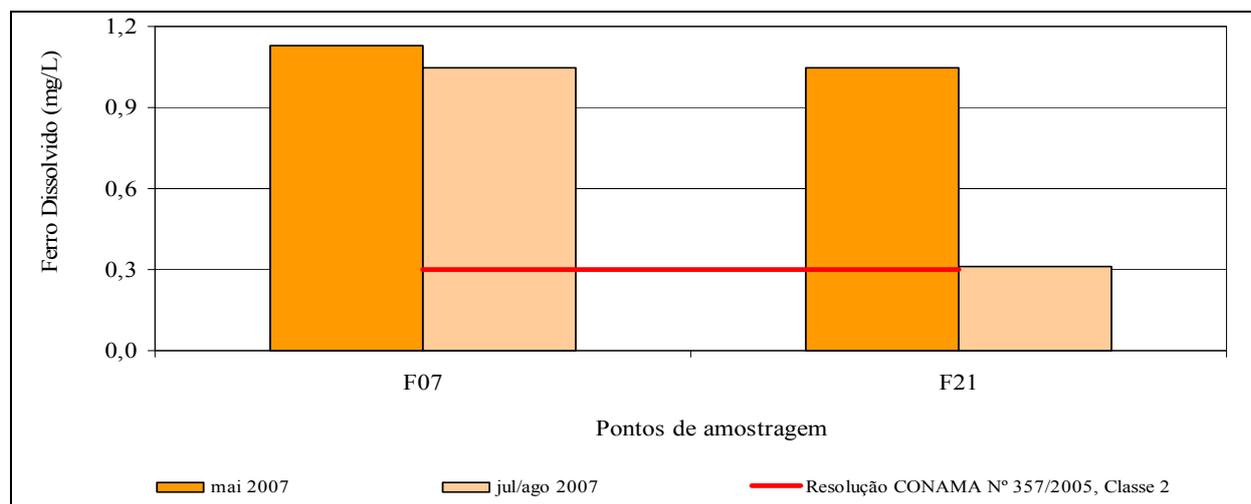


FIGURA 6.1.8.103 – Resultados das análises de ferro dissolvido – Bacia do rio Parauapebas na AID e ADA.

As concentrações de ferro dissolvido variaram entre menor que 0,31 mg/L e 1,13 mg/L estando todos os resultados acima do limite máximo estabelecido na referida Resolução.

A **Figura 6.1.8.104** mostra as concentrações de cobre dissolvido obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 0,18 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

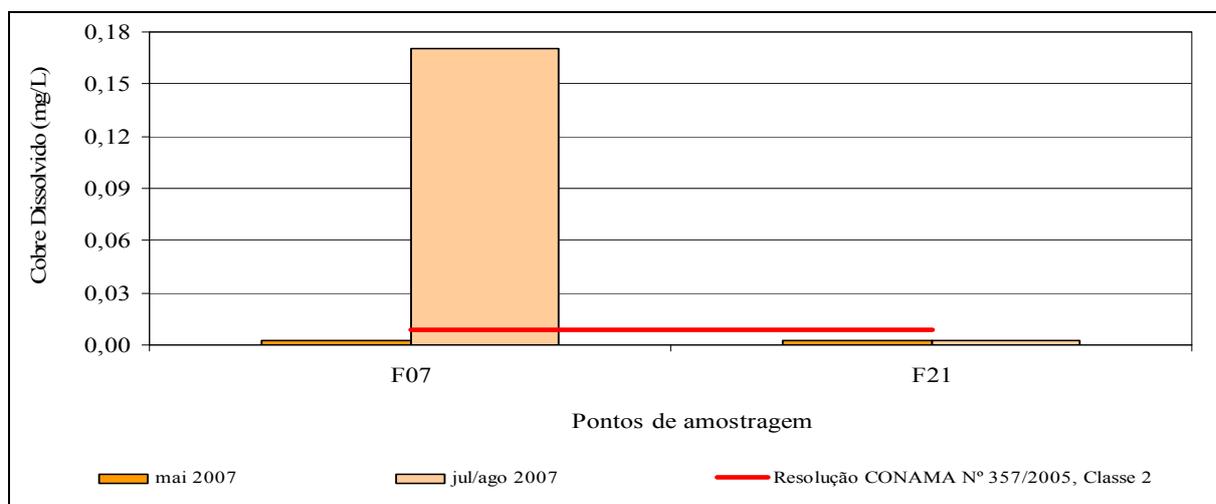


FIGURA 6.1.8.104 – Resultados das análises de cobre dissolvido – Bacia do rio Parauapebas na AID e ADA.

As concentrações de cobre dissolvido variaram entre menor que 0,003 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 0,17 mg/L. Apenas o ponto F07, na 2ª campanha, apresentou concentração acima do limite máximo estabelecido na referida Resolução.

A **Figura 6.1.8.105** mostra as concentrações de manganês total obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 0,10 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

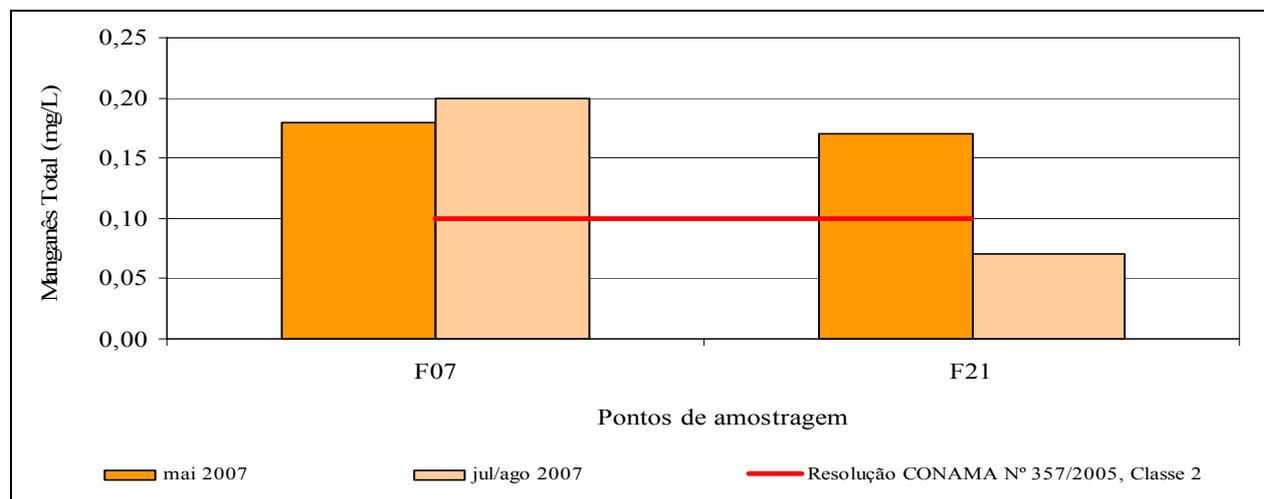


FIGURA 6.1.8.105 – Resultados das análises de manganês total – Bacia do rio Parauapebas na AID e ADA.

As concentrações de manganês total variaram entre 0,07 mg/L e 0,20 mg/L. Os registros de concentrações acima do limite legal ocorreram no ponto F07, em ambas as campanhas, e F21, apenas na 1ª campanha.

Todas as não conformidades desta bacia em relação aos metais podem estar associadas a geologia local e às atividades minerárias da mina de cobre do Sossego, tendo em vista que estes pontos se encontram a jusante deste empreendimento.

Porém, destaca-se que:

- no ponto F04, localizado na bacia do rio Sossego a montante da mina de cobre do Projeto Sossego, também foram detectadas concentrações de ferro dissolvido superiores ao limite legal, que também podem estar contribuindo para a elevação deste mesmo elemento no rio Parauapebas,
- a elevada concentração de cobre dissolvido foi encontrada apenas no ponto F07 e na 2ª campanha. Ressalta-se também que este valor é muito superior ao encontrado na 1ª campanha.

- Fósforo Total

A **Figura 6.1.8.106** mostra as concentrações de fósforo total obtidas, sendo comparadas ao limite legal superior de 0,03 mg/L (ambientes lênticos), estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

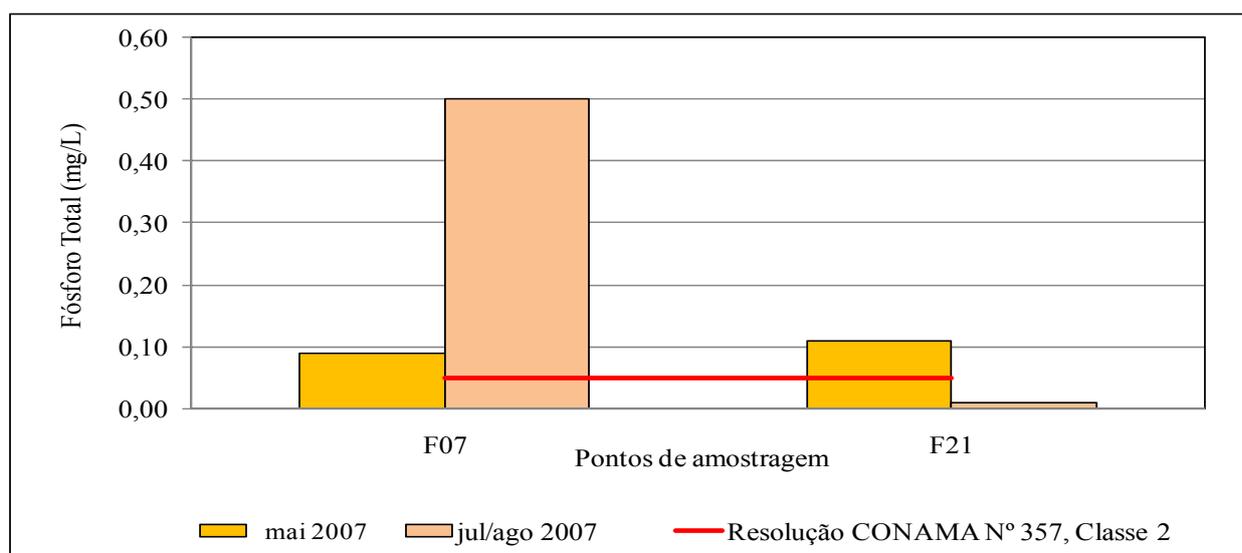


FIGURA 6.1.8.106 – Resultados das análises de fósforo total – Bacia do rio Parauapebas na AID e ADA.

As concentrações de fósforo total variaram entre menor que 0,01 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 0,5 mg/L. Apenas o ponto F07, na 2ª campanha, apresentou-se fora do padrão ambiental.

Na ocasião da 2ª campanha de amostragem foi registrada a presença de uma elevada quantidade de lixo doméstico nas proximidades do ponto F07, conforme mostra a **Foto 6.1.8.86**, o que pode contribuir para elevação da concentração de fósforo total neste ponto.



FOTO 6.1.8.86 – Ponto F07 - Amostragem em junho/2007.

- Sulfetos

A **Figura 6.1.8.107** mostra as concentrações de sulfeto total obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 0,002 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

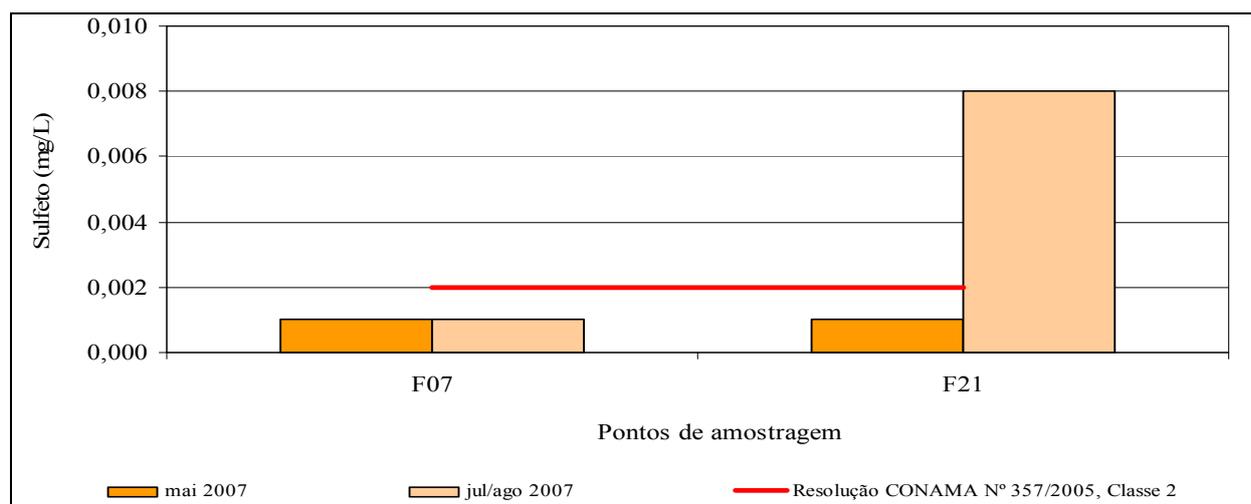


FIGURA 6.1.8.107– Resultados das análises de sulfeto – Bacia do rio Parauapebas na AID e ADA.

As concentrações de sulfeto variaram entre menor que 0,001 mg/L (limite de quantificação do método analítico) e 0,008 mg/L. Apenas o ponto F21, 2ª campanha, apresentou-se acima do limite legal.

Foi verificada, em campo, a existência de um garimpo extinto de ouro a montante deste ponto. Esta atividade, mesmo que extinta, poderia ser a causa da possível fonte de sulfeto, uma vez que ele foi identificado na campanha de estiagem, quando o volume de água reduziu significativamente.

– Coliformes Termotolerantes (Fecais)

A **Figura 6.1.8.108** mostra as concentrações de coliformes termotolerantes obtidas, sendo comparadas ao limite legal máximo de 1000 UFC/100mL, estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, classe 2.

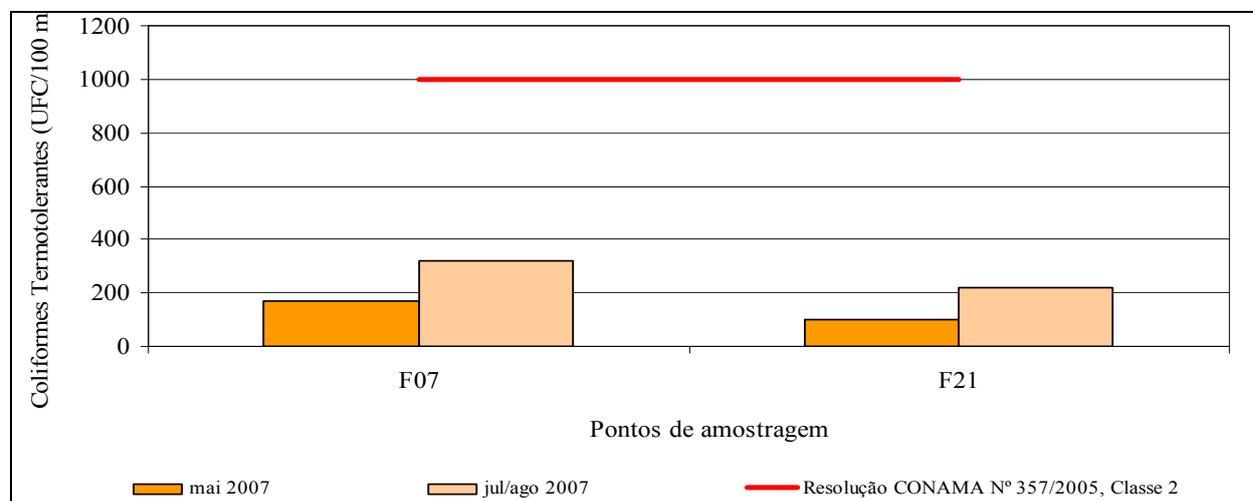


FIGURA 6.1.8.108 – Resultados das análises de coliformes termotolerantes – Bacia do rio Parauapebas na AID e ADA.

As concentrações de coliformes termotolerantes variaram entre 100 UFC/100mL e 320 UFC/100mL e, portanto, todos os resultados atenderam ao limite máximo estabelecido pela referida Resolução.

A relação entre os coliformes fecais (termotolerantes) e estreptococos fecais (CF/EF) indicou origem animal em todas as campanhas, conforme mostra **Tabela 6.1.8.21**.

TABELA 6.1.8.21

RESULTADOS DA RELAÇÃO ENTRE COLIFORMES FECAIS (TERMOTOLERANTES) E ESTREPTOCOCOS FECAIS (CF/EF)

Ponto de amostragem	Relação coliformes fecais/ estreptococos fecais		Origem da Contaminação Fecal	
	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
F07	0,77	0,29	Origem animal	Origem animal
F21	0,34	0,96	Origem animal	Origem animal

Legenda

Menor que 1	Origem Animal
Entre 1 e 4	Duvidoso
Maior que 4	Origem Humana
*	Não houve amostragem

– Índice de Qualidade das Águas

A **Figura 6.1.8.109** mostra os resultados de IQA obtidos para os pontos estudados na bacia do rio Sossego.

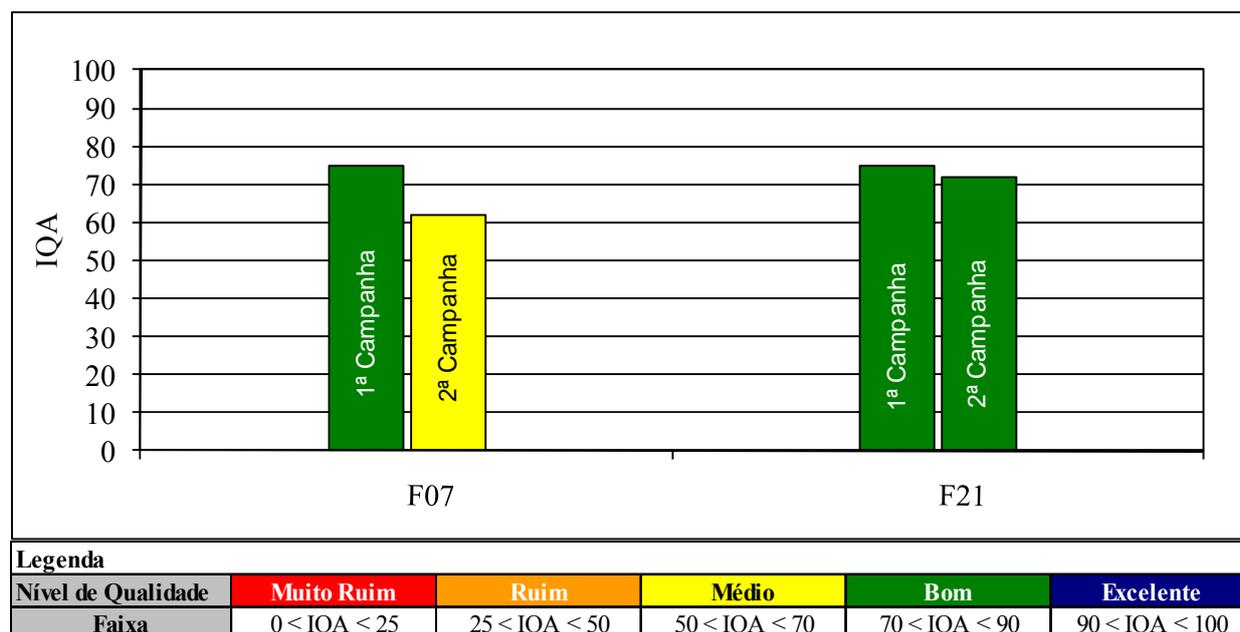


FIGURA 6.1.8.109 - Resultados do índice de qualidade das águas – Bacia do rio Parauapebas na AID e ADA.

Os resultados de IQA variaram entre 62% e 75%, sendo registrados valores que indicam águas com nível de qualidade médio e bom.

Apenas o ponto F07, 2ª campanha, apresentou qualidade média devido a concentração mais elevada de nitrato e coliformes termotolerantes encontradas neste período.

Com relação ao parâmetro óleos e graxas, para o qual a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N° 01/2008 estabelece o padrão para águas doces de classe 2 como virtualmente ausente, ou seja, não perceptível pela visão, olfato ou paladar, observou-se, seguindo tal definição e pelo campo de amostragem, que este parâmetro atende ao limite legal em todas as amostradas coletadas.

Considerações Finais

De maneira geral os resultados das análises físicas, químicas e bacteriológicas das amostras coletadas na área de influência direta (AID) mostram que a interferência antrópica mais significativa na qualidade das águas é da atividade de pecuária desenvolvida na bacia do igarapé Pacu.

Os pontos localizados na área do Bloco D e interior da Flona de Carajás apresentaram nível de qualidade melhor que os pontos localizados em área externa, sujeita ao ambiente de pastagens.

Das 24 amostras que apresentaram IQA médio, 15 amostras são de pontos localizados na bacia do igarapé Pacu, onde também foi obtido o único nível de qualidade ruim. O igarapé Pacu nasce no interior da Flona de Carajás, porém, tem a maior parte da sua área de drenagem constituída por pastagem, o que provavelmente está contribuindo para o comprometimento da qualidade dessas águas.

Na bacia do rio Parauapebas, no ponto F07, foi registrado um IQA bom na 1ª campanha e médio na 2ª campanha. A montante do ponto F07, o rio Parauapebas recebe como afluente o córrego Araras, cuja bacia hidrográfica drena parte da região urbana do município de Canaã dos Carajás. Há que se ressaltar que o rio Parauapebas, no trecho a montante do rio Sossego, apresenta regime hidrológico praticamente intermitente, conforme observado em levantamentos de campo. Assim, esse curso de água não possui boa capacidade de diluição (no período de estiagem), o que acarreta uma redução nos índices de qualidade de suas águas principalmente neste período.

Já no ponto F21, após a confluência com o rio Sossego, o rio Parauapebas drena ao longo de sua margem esquerda, a Floresta Nacional de Carajás, recebendo das micro-bacias hidrográficas nela contidas, importantes contribuições para o seu regime de vazões. Essas contribuições de vazão associadas a baixa densidade demográfica na margem direita resultam em um valor de IQA que indica nível bom de qualidade das águas nos dois períodos analisados.

Os índices de qualidade da água (IQA) encontrados apresentaram valores que indicam águas com nível de qualidade bom em 56,1% das amostras, médio em 42,9% das amostras, e ruim em 1,8% das amostras analisadas conforme é representado no croqui, **Figura 6.1.8.110**.

FIGURA 6.1.8.110- Índices de Qualidade das Águas – IQAs –

c) Classificação hidroquímica das águas superficiais e subterrâneas

c.1 Águas Superficiais

De acordo com os esclarecimentos do IBAMA nas reuniões dos dias 18 e 19 de agosto de 2009, frente às dúvidas do TR expostas pela Vale, a caracterização das águas superficiais deverá seguir a Resolução CONAMA 357/2005 (vide ATA de reunião que consta no **Anexo I**), apresentada anteriormente no **item b**.

c.2 Águas Subterrâneas

Os resultados apresentados a seguir correspondem à compilação dos levantamentos destinados à caracterização hidroquímica das águas subterrâneas em torno do Bloco D em serra Sul, realizados por HGM e Mdgeo (2008), intitulado Hidrogeologia do Bloco “D” – Corpo S11, serra Sul de Carajás – Vale, Canaã dos Carajás – PA.

Estes dados foram obtidos através de uma campanha de amostragem realizada pela HGM e Mdgeo, em outubro de 2007, considerando a coleta de amostras de água em nascentes e cursos de água localizados no domínio de estudo. Dentre os pontos amostrados, foram selecionados os resultados de análise de 09 pontos distribuídos na AID conforme é apresentado na **Figura 6.1.8.111 do Anexo XIII-F**.

O estudo realizado teve por objetivos caracterizar as propriedades químicas dos aquíferos da região e de parte das águas superficiais, a fim de conhecer a evolução hidrogeoquímica, ou seja, a relação entre os parâmetros hidroquímicos e o meio aquífero. Os resultados obtidos para os pontos amostrados em nascentes também foram comparados aos Valores Máximos Permitidos (VMP) estabelecidos na Resolução CONAMA 396 de fevereiro de 2008 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

Os resultados das análises foram tratados na forma de tabelas, gráficos, diagramas e figuras. A interpretação foi feita a partir do agrupamento e classificação das amostras, com base nos dados hidroquímicos e nos dados disponíveis sobre o contexto geológico/hidrogeológico dos pontos de coleta.

Na **Tabela 6.1.8.22** são apresentados os resultados das análises hidroquímicas. Ressalta-se que os pontos que estão localizados em nascentes foram comparados a sendo comparados aos Valores Máximos Permitidos (VMP) estabelecidos na Resolução CONAMA 396/2008.

TABELA 6.1.8.22

RESULTADOS DE ANÁLISES HIDROQUÍMICAS – OUTUBRO 2007

Parâmetro	Unidade	Resolução CONAMA Nº 396/2008	PM-21*	PM-22*	PM-29	PM-25*	PM-26*	PM-27*	PM-01	PM-02	PM17
Temperatura da água	°C	-	25,20	23,00	22,80	22,0	23	23,30	24	24	31
Alumínio dissolvido	mg/L Al	-	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7
Arsênio dissolvido	mg/L Ar	-	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Alcalinidade Bicarbonato	mg/L CaCO ₃	-	<5,0	<5,0	9,93	<5,0	<5,0	<5,0	11,9	<5,0	<5,0
Cádmio Solúvel	mg/L Cd	-	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cálcio	mg/L CaCO ₃	-	0,08	0,45	0,36	0,68	0,92	0,67	3,49	1,64	<0,002
Alcalinidade Carbonato	mg/L CaCO ₃	-	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Chumbo dissolvido	mg/L Pb	-	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,03
Cloreto	mg/L Cl	250	2,85	3,16	<2,0	2,36	<2,0	2,95	2,39	<2,0	<2,0
Cobre dissolvido	mg/L Cu	-	<0,003	<0,003	0,003	<0,003	0,006	0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Condutividade Elétrica	µS/cm	-	4,8	3,6	31	8,3	8,6	13	33,4	16,1	3,2
Cromo dissolvido	mg/L Cr	-	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Ferro dissolvido	mg/L Fe	-	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Ferro total	mg/L Fe	0,3	0,22	0,20	0,10	<0,002	<0,002	0,18	0,19	0,03	<0,002
Fluoreto	mg/L F	1,5	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	0,11	0,10	<0,7
Fosfato	mg/L Pb	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Magnésio total	mg/L Mg	-	0,060	0,190	1,880	0,660	0,530	0,710	3,040	1,270	<0,002
Manganês dissolvido	mg/L Mn	-	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Manganês total	mg/L Mn	0,1	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Mercurio	mg/L Hg	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Níquel dissolvido	mg/L Ni	-	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Nitrato	mg/L N	10	0,10	0,10	0,70	0,20	0,30	0,30	0,10	<0,1	<0,1
Nitrito	mg/L N	1,0	<0,002	0,009	0,10	0,007	0,01	0,01	0,002	<0,002	0,002
Oxigênio Dissolvido	mg/L O ₂	-	6,60	6,70	5,80	6,30	6,20	6,50	5,40	5,70	5,20
pH	-	-	6,10	7,39	5,80	7,62	7,62	7,49	7,83	7,89	5,51

Continua...

...continuação

Parâmetro	Unidade	Resolução CONAMA Nº 396/2008	PM-21*	PM-22*	PM-29	PM-25*	PM-26*	PM-27*	PM-01	PM-02	PM17
Potássio dissolvido	mg/L K	-	0,11	0,28	1,59	0,35	0,22	0,75	0,99	0,51	<0,002
Sódio dissolvido	mg/L Na	-	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,51	<0,002	<1,0
Sulfato	mg/L SO ₄	250	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,1
Sulfeto	mg/L SO ₂	-	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002
Turbidez	UNT	-	0,44	4,04	3,24	1,15	0,44	7,46	1,26	1,43	0,51
Zinco total	mg/L ZN	5,0	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006

Legenda:

* Pontos de amostragem que estão localizados em nascentes e que estão sendo comparados a Resolução CONAMA 396/2008.

– Resultados das Análises Hidroquímicas

Na **Tabela 6.1.8.22** apresentada anteriormente, observa-se que os resultados obtidos para os parâmetros cloreto, ferro total, fluoreto, manganês total, mercúrio, nitrato, nitrito, sulfato e zinco total para as amostras coletadas nos pontos de amostragem PM21, PM22, PM25, PM26 e PM27 apresentaram valores menores que os Valores Máximos Permitidos (VMP) estabelecidos na Resolução CONAMA 396 de fevereiro de 2008 para águas subterrâneas.

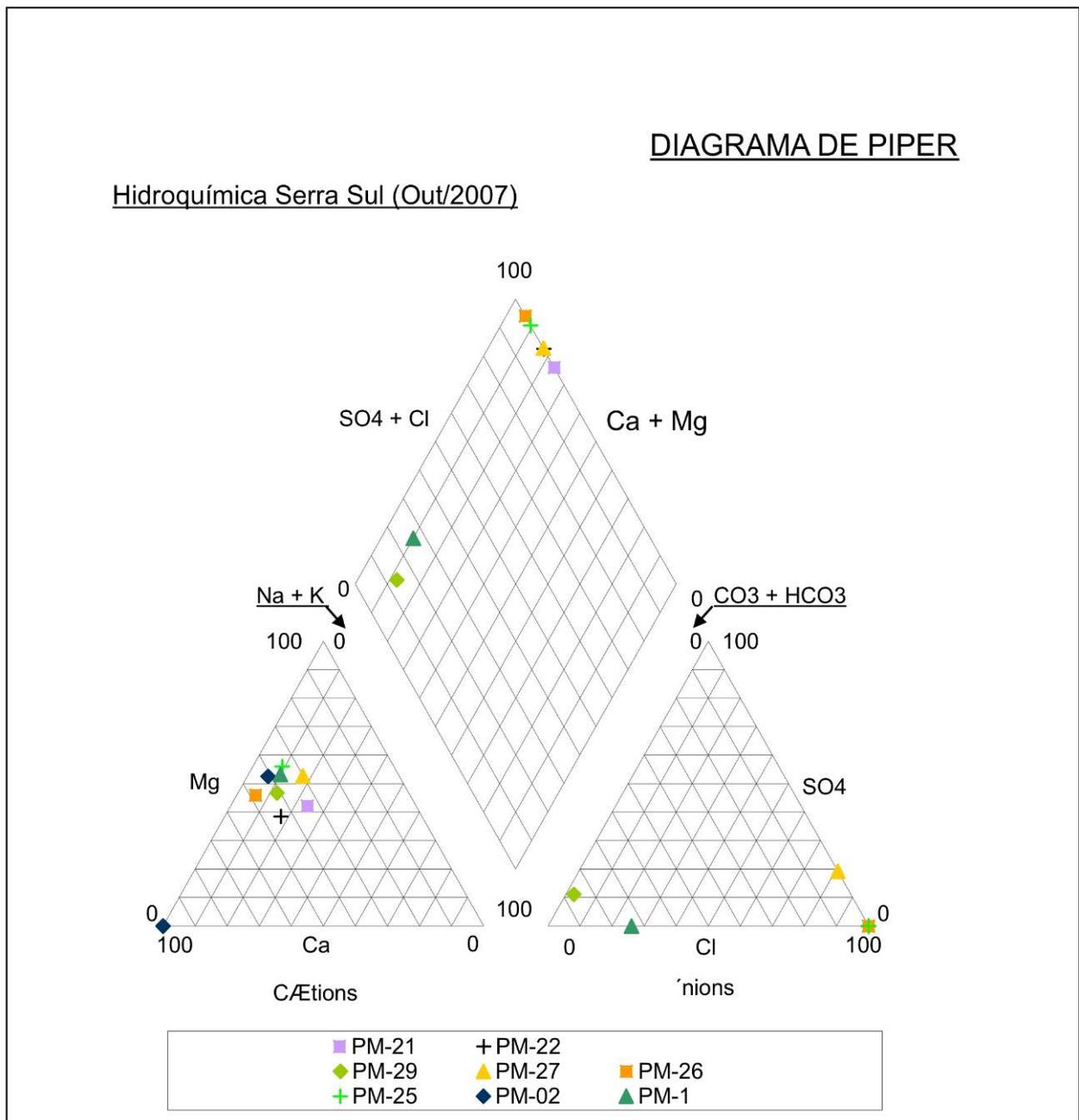
O balanço iônico calculado para os resultados dos cátions e ânions, pela Mdgeo em 2007, verificou a consistência dos resultados obtidos conforme citado em Custodio & Lhamas (1976). Segundo publicação da UNESCO/WHO/UNEP (1992) para os resultados abaixo do limite de detecção, pode-se utilizar 3 valores alternativos para cálculo do balanço iônico: (1) valor igual a zero; (2) metade do valor limite de detecção ou (3) valor limite de detecção. Como os cálculos para fechamento do balanço iônico apresentaram resultados semelhantes para as três opções citadas, optou-se em utilizar à alternativa (1).

– Diagramas Hidroquímicos

HGM e Mdgeo (2008) elaboraram os diagramas hidroquímicos com a utilização do software Achaquem, versão 3.7, e Easy Quim 4.0, para classificação das amostras de acordo com a proporção de cátions e ânions.

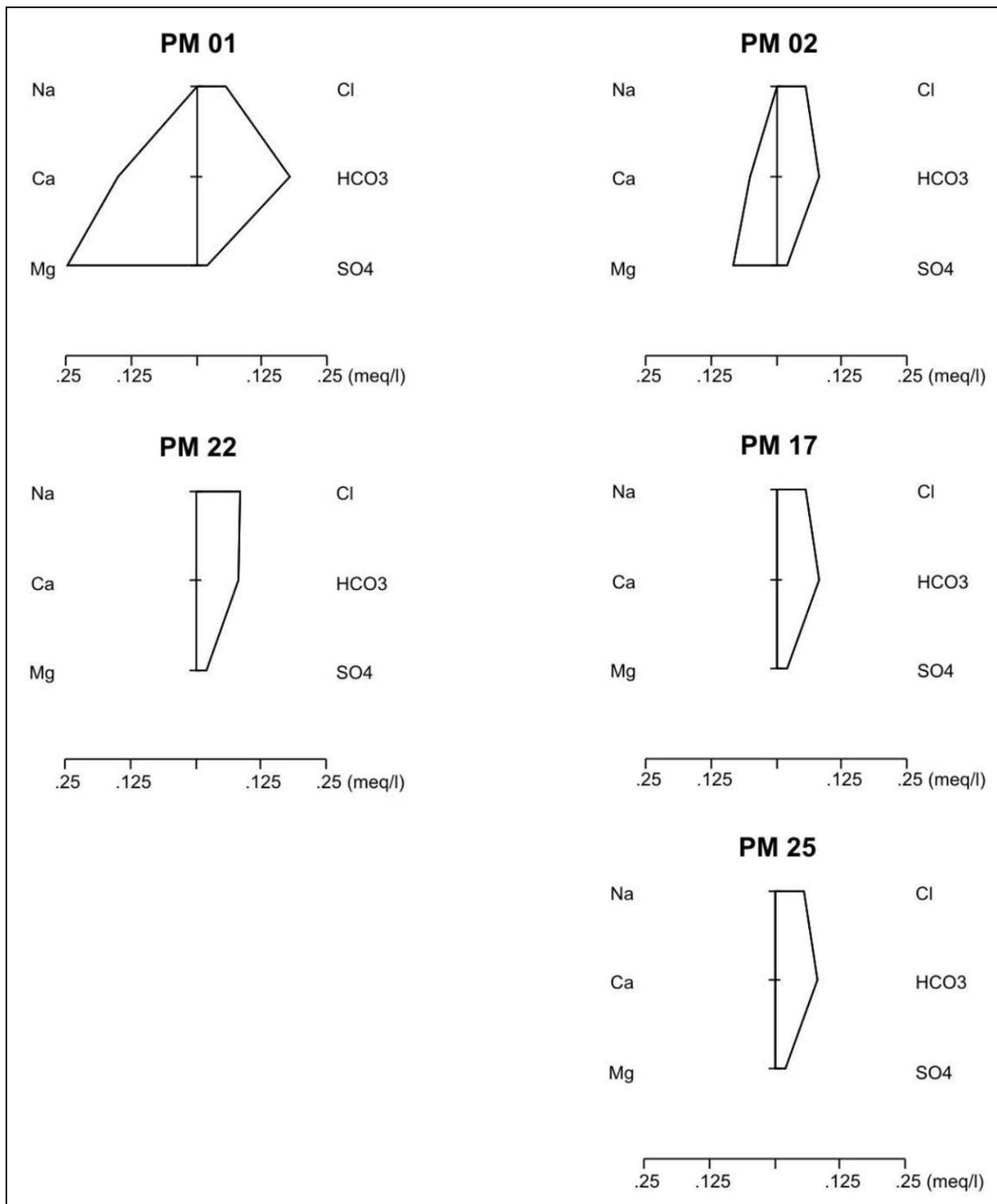
O Diagrama de Piper Hill Langelier (**Figura 6.1.8.112**) indica a proporção percentual entre os principais cátions e ânions em cada análise e permite a rápida comparação da concentração desses íons nas diversas amostras, a fim de identificar a composição geral das amostras analisadas.

Os Diagramas de Stiff (**Figuras 6.1.8.113 e 6.1.8.114**) indicam a magnitude e a proporção dos principais íons. Quando confeccionados na mesma escala e comparados entre si, também permitem a rápida identificação do resultado geral das análises. Esses diagramas indicam também a concentração em meq/L relativa de íons dissolvidos nas amostras.



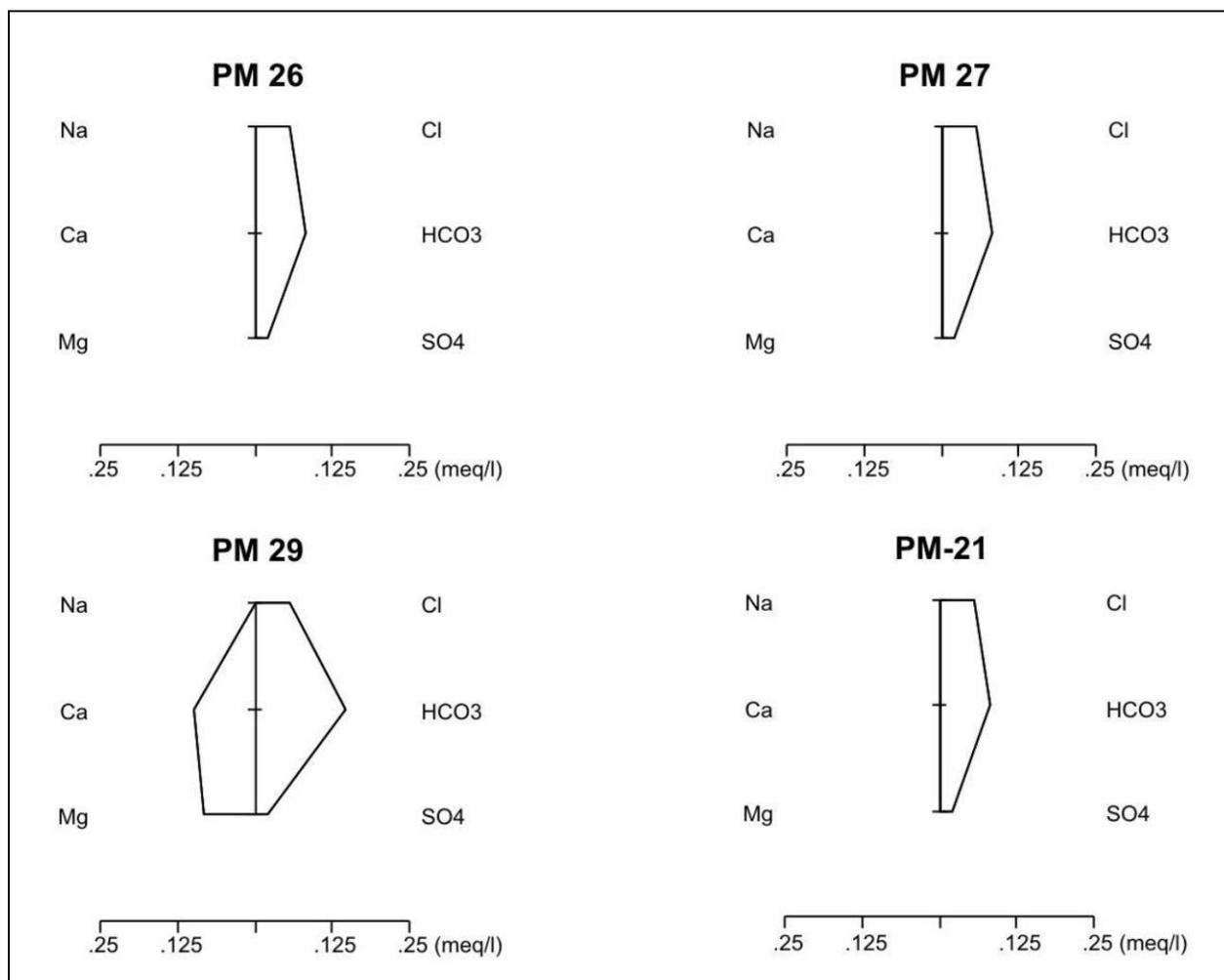
Fonte: Adaptado de HGM e Mdego, 2008.

FIGURA 6.1.8.112 - Diagrama de Piper dos pontos amostrados.



Fonte: Adaptado de HGM e Mdgeo, 2008

FIGURA 6.1.8.113 - Diagramas de Stiff dos pontos amostrados.



Fonte: Adaptado de HGM e Mdgeo, 2008

FIGURA 6.1.8.114 - Diagramas de Stiff dos pontos amostrados.

De acordo com os diagramas gerados pode-se classificar as águas como cloretadas cálcicas e magnesianas a bicarbonatadas cálcicas e magnesianas, predominantemente. A **Tabela 6.1.8.23** apresenta a classificação hidroquímica dos pontos amostrados. Ressalta-se que estas águas apresentaram salinidade muito baixa e que esta classificação pode ser encarada com reservas, em função dos limites de detecção das análises.

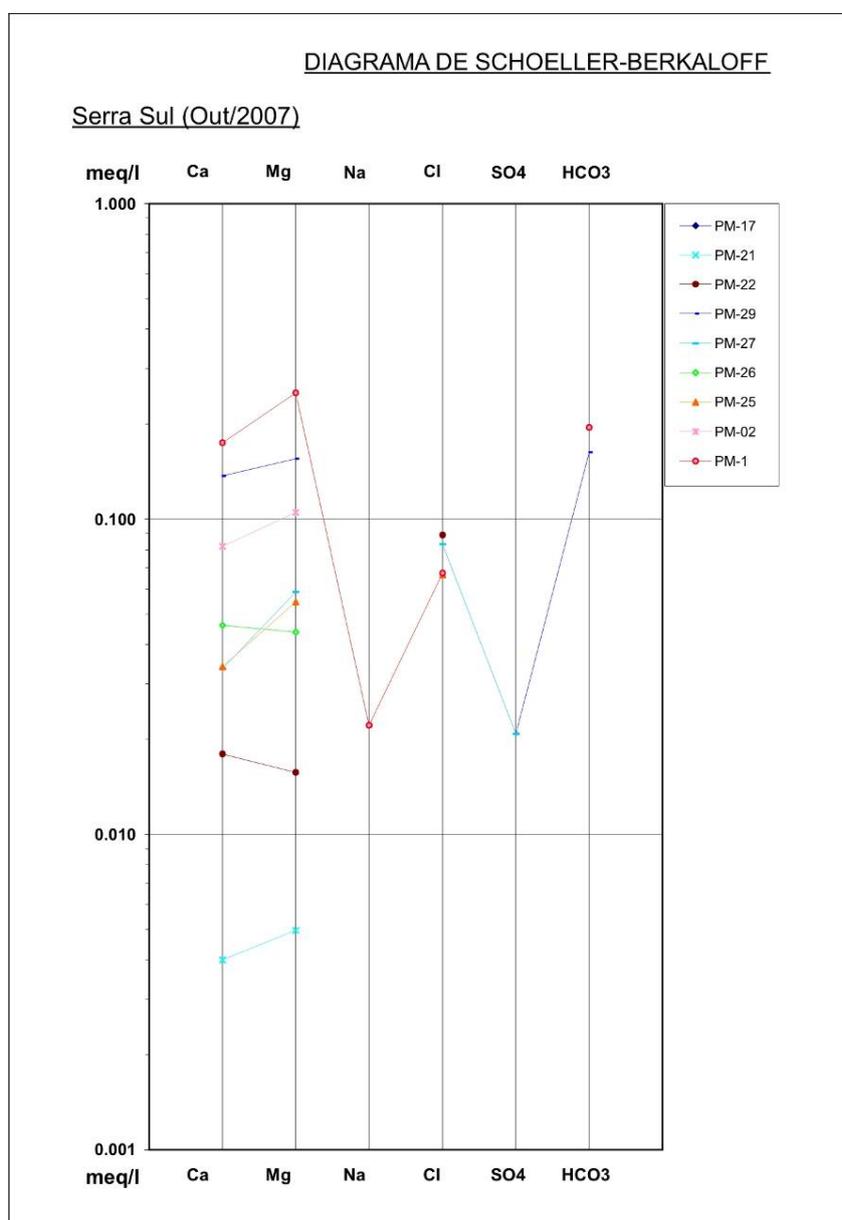
TABELA 6.1.8.23
CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA DAS AMOSTRAS COM A ANÁLISE DO
DIAGRAMA DE PIPER

Cloretadas Cálcicas e Magnesianas			
PM-21	PM-22	PM-25	PM-27
PM-26	PM-02	PM-17	
Bicarbonatadas Cálcicas e Magnesianas			
PM-01	PM-29		

Fonte: Adaptado de HGM e Mdgeo, 2008

A concentração de íons dissolvidos é variável entre as amostras, o que é indicado pela comparação entre os Diagramas de Stiff (**Figura 6.1.8.113 e 6.1.8.114**). Os diagramas mais largos representam as amostras mais salinas (mais mineralizadas) e os diagramas mais estreitos representam as amostras menos salinas (menos mineralizadas).

A **Figura 6.1.8.115** apresenta um diagrama de Schoeller-Berkaloff para as amostras da área. Neste diagrama os elementos analisados são representados nas abscissas e as concentrações em meq/l nas ordenadas, trata-se de um diagrama útil pra avaliar a variação das concentrações dos parâmetros nas amostras. Nesta figura é notável a variação do cálcio e do magnésio, enquanto que parâmetros como cloreto apresentou pouca variação. Também se observa na maioria das amostras uma maior concentração em meq/l de magnésio em relação ao cálcio. Dentre as amostras nota-se que as amostras dos pontos PM-01 e PM-29 apresentaram as maiores concentrações em relação às demais, dado a maior salinidade das mesmas.



Fonte: Adaptado de HGM e Mdgeo, 2008.

FIGURA 6.1.8.115- Diagramas de Schoeller-Berkaloff dos Pontos Amostrados.

– Caracterização Hidroquímica

Conforme citado em HGM e Mdgeo (2008) a composição química das águas reflete a composição mineral das rochas, as condições de armazenamento, bem como fatores climáticos a qual pode incluir um ou mais litotipos.

A maioria das águas é classificada como cloretada cálcicas magnesianas ou cloretada, com uma concentração de íons muito baixa. Tal fato pode ser confirmado pela baixa salinidade das amostras, onde se observam valores baixos de condutividade elétrica, inferiores a $33\mu\text{S}/\text{cm}$.

Esta baixa salinidade pode estar relacionada a diversos fatores envolvendo as relações água/rocha e a relação entre a velocidade de infiltração pela taxa de evaporação. Essa salinidade indica a baixa interação água/rocha, como no caso da formação ferrífera e coberturas lateríticas, que se deve tanto pela constituição mineralógica da rocha (baixa dissolução/lixiviação de minerais), como pelo tempo de trânsito (quanto maior o tempo de trânsito maior a dissolução). Também é possível inferir que a relação entre a velocidade de infiltração e a evaporação não seja favorável a concentração de sais. No caso das surgências associadas a coberturas, os valores de condutividade baixos também podem ser indicativos de um curto tempo de trânsito, ou seja, indicam regiões de circulação rasa.

As amostras que apresentaram concentrações de íons mais elevados referem-se aos pontos situados mais a jusante nas bacias, principalmente nas vertentes sul da serra (PM-01 e PM-29). Os pontos amostrados na vertente norte, extremo leste e sudoeste da serra apresentaram concentrações mais baixas em relação às demais.

Esta variação na concentração de íons, ainda que pequena, pode ser indicativa de aporte de água da formação ferrífera aos cursos de água da vertente norte e sudoeste, uma vez que se pressupõe que as águas provenientes da formação ferrífera apresentem salinidades muito baixas. Esta hipótese condiz com o modelo hidrogeológico conceitual, pois foi interpretado que os principais pontos de descarga da formação ferrífera encontram-se na vertente norte, leste e sudoeste da serra.

d) Estudo de capacidade de suporte de carga do corpo de água receptor dos efluentes

– Introdução

Este item apresenta o estudo da capacidade de suporte de carga dos corpos de água receptores dos efluentes do empreendimento, conforme preconizado pela Resolução CONAMA n°. 357/2005. Para tanto, foi utilizado um modelo computacional denominado QUAL-UFMG, que tem como base o programa QUAL2E (*Enhanced Stream Water Quality Model – QUAL2E – Environmental Protection Agency – EPA*), um dos modelos de qualidade da água em sistemas fluviais mais conhecidos, devido à sua versatilidade.

O modelo QUAL-UFMG é uma ferramenta empregada para analisar a autodepuração nos cursos de água onde existem lançamentos de despejos, captações, aporte de tributários e fluxos incrementais, representando, em maior profundidade, os ciclos de oxigênio, nitrogênio e fósforo na água.

Desta forma, foi avaliada a capacidade de assimilação dos cursos de água que receberão os efluentes do empreendimento em estudo, de forma a prevenir o lançamento acima da capacidade que o corpo de água possa suportar ou acima dos limites legais permitidos.

Inicialmente foi realizada a simulação da qualidade das águas considerando a situação atual, isto é, sem o lançamento de efluentes provenientes do Projeto Ferro Carajás S11D, o que permitiu a calibração do modelo. Em seguida, foi realizada a simulação da situação futura, considerando o lançamento de efluentes do empreendimento, para as etapas de implantação, operação e fechamento.

Adotando os procedimentos metodológicos para o estudo de autodepuração, apresentados no **item 1.4.3 no Capítulo de Metodologia**, é apresentado a seguir o estudo de autodepuração realizado no âmbito do Projeto Ferro Carajás S11D e os resultados obtidos nas simulações.

É importante ressaltar que, para os parâmetros não considerados na modelagem de qualidade das águas, com possibilidade de estarem presentes nos efluentes do projeto e com padrões estabelecidos para corpos de água Classe 2, foi aplicada a equação da mistura, com o objetivo de verificar a capacidade de assimilação dos efluentes pelos cursos de água.

– **Estudo de Autodepuração**

Este item apresenta o estudo de autodepuração realizado nas bacias dos igarapés Sossego e Pacu e no rio Sossego, no âmbito do Projeto Ferro Carajás S11D.

Conforme já mencionado, o fenômeno da autodepuração está vinculado ao restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, após as alterações induzidas pelos despejos afluentes. O presente estudo tem como objetivo avaliar a capacidade de assimilação de efluentes pelas bacias dos igarapés Sossego e Pacu, provenientes do futuro empreendimento, de forma a evitar consequências ambientais futuras e prevenir o lançamento de despejos acima da capacidade que o curso de água possa suportar ou acima dos limites legais permitidos. Além da simulação das bacias dos igarapés Sossego e Pacu, a simulação da qualidade das águas foi realizada com uma extensão de aproximadamente 5 km no rio Sossego, após a confluência dos referidos igarapés até o ponto de monitoramento F04, para fins de calibração do modelo.

Foram assim modelados o igarapé Sossego, o igarapé Pacu, sendo este afluente do primeiro e um trecho do rio Sossego. Inicialmente foi realizada uma simulação da situação atual, sem o lançamento de efluentes provenientes do futuro empreendimento, para calibração do modelo de qualidade das águas. Em seguida, foram realizadas simulações para as situações futuras, isto é, considerando o lançamento de efluentes do empreendimento, para três cenários: implantação, operação e fechamento.

Para a determinação da qualidade das águas no trecho simulado foram utilizados os dados obtidos nas campanhas de monitoramento que subsidiaram o diagnóstico da qualidade das águas do presente estudo, a saber:

- Dados das campanhas de monitoramento realizadas para o presente estudo, identificadas com a sigla MU, significando Mina Usina do Projeto Ferro Carajás S11D;
- Dados das campanhas de monitoramento realizadas para o Estudo de Impacto Ambiental do Ramal Ferroviário do Sudeste do Pará, identificadas com a sigla F; e

- Dados das campanhas do estudo de Caracterização de Hidrogeologia Preliminar, do departamento de Hidrogeologia e Geotecnia da Vale, identificados com a sigla PM.

Considerando que as condições mais desfavoráveis para assimilação e autodepuração de um curso de água ocorrem na época de estiagem, a simulação foi realizada para a vazão Q_{95} , correspondente à vazão com 95% de permanência no tempo. Da mesma forma, para uma correta correlação dos dados, para a determinação da qualidade das águas, foram utilizados os resultados obtidos no período de estiagem das campanhas de monitoramento mencionadas, isto é, as campanhas realizadas no período de maio a novembro.

Para o cálculo das vazões de referência utilizou-se a metodologia apresentada no estudo referente ao diagnóstico de recursos hídricos superficiais da Área de Influência Indireta, que classifica o regime hidrológico dos cursos de água integrantes da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas por meio de três regiões homogêneas. Conforme descrito no **item 1.4.3**, referente aos procedimentos metodológicos, as áreas de estudo estão localizadas nas Regiões I e III.

Nas **Tabelas 6.1.8.24 e 6.1.8.25** são apresentados os dados utilizados para a obtenção das vazões adotadas na simulação, para os igarapés Sossego e Pacu, respectivamente, apresentando as áreas de drenagem (Ad), precipitação, evapotranspiração (ETP), deflúvio, vazões médias de longo termo (Q_{MLT}) e vazões com 95% de permanência (Q_{95}), sendo esta última a vazão adotada no modelo de qualidade das águas.

TABELA 6.1.8.24

VAZÕES ADOTADAS NO PROGRAMA – IGARAPÉ/RIO SOSSEGO

Trecho	Descrição	Ad (km ²)	Precipitação (mm)	ETP (m m)	Deflúvio (mm)	Q_{MLT} (m ³ /s)	Q_{95} (m ³ /s)
1	Início da Simulação - PM 03	34,16	1800	125 5	545	0,59	0,23 9
2	Bacia Afluente 01 - ME	7,85	1800	125 5	545	0,13 6	0,05 5
3	Bacia Afluente 02 - MD	1,97	1800	125 5	545	0,03 4	0,01 4
4	Bacia Afluente 03 - MD	10,74	1800	125 5	545	0,18 6	0,07 5
5	Bacia Afluente 04 - ME	34,17	1797,5	125 5	542,5	0,58 8	0,23 8
-	Vazão distribuída no trecho – até a confluência com Ig. Pacu	38,82	1790	125 5	535	0,65 9	0,26 7
-	Vazão Distribuída no Trecho – a partir da confluência com Ig. Pacu	61,40	1790	125 5	535	1,04 2	0,42 2
		7,15	1785	125 5	530	0,12	0,01 1

MD – margem direita;

ME – margem esquerda.

TABELA 6.1.8.25

VAZÕES ADOTADAS NO PROGRAMA – IGARAPÉ PACU

Trecho	Descrição	Ad (km ²)	Precipitação (mm)	ETP (mm)	Deflúvio (mm)	Q _{MLT} (m ³ /s)	Q ₉₅ (m ³ /s)
1	Início da Simulação – F01	21,84	1787,5	1255	532,5	0,369	0,15
		64,46	1787,5	1255	532,5	1,088	0,103
2	Bacia Afluente 01 - MD	14,52	1772,5	1255	517,5	0,238	0,023
3	Bacia Afluente 02 - ME	6,26	1780	1255	525	0,104	0,010
4	Bacia Afluente 03 - ME	15,79	1785	1255	530	0,265	0,025
5	Bacia Afluente 04 - ME	4,50	1782,5	1255	527,5	0,075	0,007
-	Vazão distribuída no trecho	34,49	1785	1255	530	0,58	0,055

MD – margem direita;

ME – margem esquerda.

Situação Atual e Calibração do Modelo

Conforme mencionado, a modelagem da qualidade das águas da situação atual considerou o igarapé Sossego, o igarapé Pacu e um trecho do rio Sossego, sem a implantação do empreendimento.

No igarapé Sossego, o marco inicial da simulação do modelo de qualidade das águas, correspondente ao km 0, localiza-se na estação de monitoramento PM 03. Foi simulado um trecho de aproximadamente 24 km, sendo que a confluência com o igarapé Pacu ocorre a 17,8 km do ponto inicial da simulação. Até a confluência com o igarapé Pacu foram identificados quatro afluentes com uma vazão significativa, que entraram no modelo como vazão pontual. As demais contribuições entraram distribuídas no trecho simulado, como vazão incremental. A vazão incremental corresponde à contribuição difusa que o curso de água recebe ao longo do percurso simulado, isto é, a contribuição por drenagem direta, sem serem oriundas de tributários definidos.

Para a calibração do modelo foram considerados os resultados obtidos nas campanhas de monitoramento dos pontos MU21 e F04, período de estiagem, sendo este último após a confluência com o igarapé Pacu.

Na **Figura 6.1.8.116**, mostrada a seguir, é apresentado um diagrama unifilar do trecho do igarapé/ rio Sossego simulado, considerando a situação atual, onde está identificada a localização dos pontos notáveis e as distâncias entre os mesmos. A espacialização do referido diagrama é apresentado na **Figura 6.1.8.118** que consta no **Anexo XIII-G**.

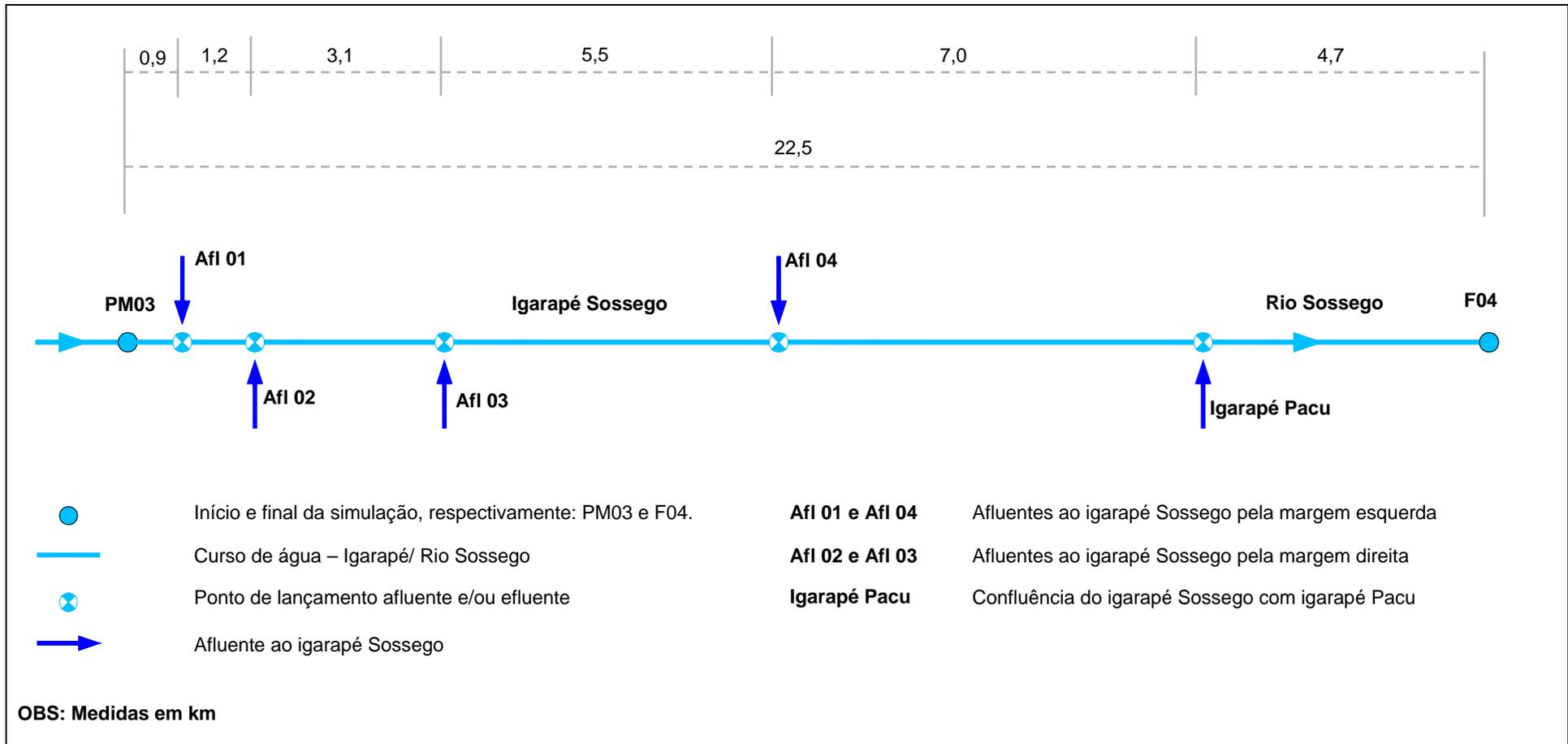


FIGURA 6.1.8.116 – Diagrama unifilar do trecho simulado – Igarapé/ Rio Sossego – situação atual.

No igarapé Pacu, o marco inicial da simulação do modelo de qualidade das águas, correspondente ao km 0, localiza-se na estação de monitoramento F01. Foi simulado um trecho de 14,4 km, sendo que a partir deste ponto o igarapé Pacu deságua no igarapé Sossego, pela margem direita. Até a confluência com o igarapé Sossego foram identificados quatro afluentes com uma vazão significativa, que entraram no modelo como vazão pontual. As demais contribuições entraram distribuídas no trecho simulado.

No km 6,8 o igarapé Pacu recebe, em sua margem esquerda, a contribuição proveniente da Vila de Mozartinópolis. A referida contribuição foi considerada como carga pontual no modelo.

Na **Figura 6.1.8.117** é apresentado um diagrama unifilar do trecho do igarapé Pacu simulado, considerando a situação atual, onde estão identificadas a localização dos pontos notáveis e as distâncias entre os mesmos. A espacialização do referido diagrama é apresentado na **Figura 6.1.8.118** que consta no **Anexo XIII-G**.

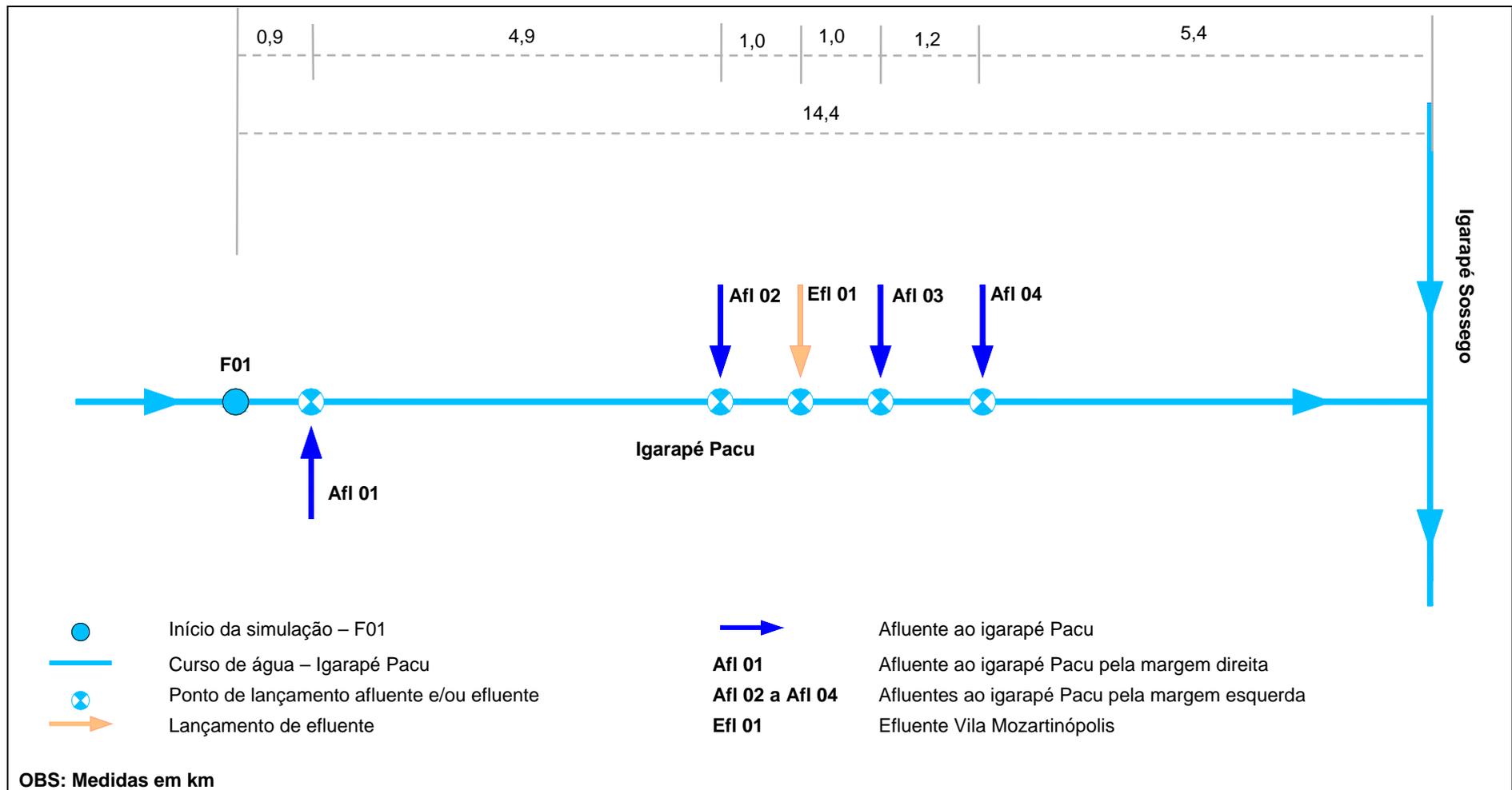


FIGURA 6.1.8.117 – Diagrama unifilar do trecho simulado – Igarapé Pacu – situação atual.

Coeficientes Utilizados no Modelo

Os coeficientes utilizados no modelo foram obtidos em literatura específica (Bowie *et al*, 1985; Brown e Barnwell, 1987, Thomann e Mueller, 1987; Chapra, 1997; *apud* von Sperling, 2007), sendo analisados em conjunto com as características predominantes nos trechos em análise, de forma a buscar a obtenção de parâmetros que melhor representassem o trecho estudado.

Devido à faixa de aplicabilidade das equações, o coeficiente de reaeração (K_2) foi calculado utilizando as equações de Tsvoglou e Wallace, apresentadas por Thomann e Mueller (1987 *apud* von Sperling, 2007), em função da velocidade e declividade dos corpos de água.

Para os coeficientes de desoxigenação (K_1), decomposição da DBO (K_D) e remoção de DBO por sedimentação (K_S) foram adotados os valores que se encontram dentro da faixa de valores típicos de corpos de água com águas limpas.

Na **Tabela 6.1.8.26**, apresentada a seguir, são mostrados os principais dados de entrada do modelo de qualidade das águas.

TABELA 6.1.8.26

DADOS DE ENTRADA NO MODELO – IGARAPÉ SOSSEGO E IGARAPÉ PACU

Parâmetro	Igarapé Sossego	Igarapé Pacu
Dados a montante (cabeceira ou headwater)		
Vazão – Q_{95} (m ³ /s)	0,239	0,253
Vazão Incremental (m ³ /s)	0,701	0,055
OD (mg/L)	6,2	5,6
DBO (mg/L)	3	3
Nitrogênio orgânico (mg/L)	1,20	0,81
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	0,22	0,29
Nitrito (mg/L)	0,01	0,005
Nitrato (mg/L)	0,20	0,70
Fósforo orgânico (mg/L)	0,001	0,005
Fósforo inorgânico (mg/L)	0,001	0,005
Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)	270	1900
Temperatura (°C)	23	28
Dados físicos do rio		
Distância do trecho (km)	24	14,4
Altitude acima do nível do mar (m)	420	270
Velocidade (m/s)	0,45	0,28
Profundidade (m)	0,18	0,21
Coeficientes do modelo		
Reaeração: Coefic reaeração (1/d) – K_2	2,75	1,53

Continua...

...continuação

Coeficientes do modelo (iguais para os dois cursos de água):		
	Coef. Reação	Coef. Temperatura (θ)
Desoxigenação:		
Coef. desoxigenação (1/d) – K_1	0,12	1,047
Coef. decomposição DBO (1/d) - K_d	0,12	1,047
Coef. sedimentação DBO (1/d) - K_s	0,0	1,024
Nitrogênio:		
Coef. sedimentação Norg (1/d) – K_{so}	0,05	1,024
Coef. conversão Norg-Namon (1/d) – K_{oa}	0,20	1,047
Coef. conversão Namon-Nnitrito (1/d) – K_{an}	0,20	1,080
Coef. conversão Nnitrito-Nnitrito (1/d) – K_{nn}	0,75	1,047
O_2 equiv. conversão Namon-Nnitrito (mg O_2 /mgNamon)	3,30	1,074
O_2 Namon		
O_2 equiv. conversão Nnitrito-Nnitrito (mg O_2 /mgNnitri)	1,10	-
O_2 Nnitri		
Coef. inibição da nitrificação por baixo OD - K_{nitri}	0,60	-
pH (para cálculo NH_3 livre)	7,0	-
Fósforo:		
Coef. sedimentação Porg (1/d) – K_{spo}	0,02	1,024
Coef. conversão Porg-Pinorg (1/d) – K_{oi}	0,27	1,047
Coliformes		
Coef. decaimento de coliformes (1/d) - K_b	1,00	1,07

Efluentes Provenientes da Vila de Mozartópolis

A Vila de Mozartópolis, também conhecida como Racha Placa, está localizada próximo ao local de implantação do empreendimento.

De acordo com o estudo realizado pela Diagonal Urbana (Diagnóstico Econômico e Social de Canaã dos Carajás, 2007), a Vila de Mozartópolis possui uma população total de 342 pessoas. Ainda segundo o referido estudo, o esgotamento sanitário na região é realizado da seguinte forma:

- Fossa séptica: 22,6%;
- Fossa negra: 67%;
- Outros: 0,9%;
- Não tem (a céu aberto): 9,4%.

Para a modelagem da qualidade das águas e estudo de autodepuração realizados no âmbito do presente estudo, foi considerado o aporte de efluentes proveniente da Vila de Mozartópolis no Igarapé Pacu, de modo a representar a realidade o mais próximo possível e permitir uma correta calibração do modelo.

Foi considerado um consumo *per capita* de água de 120 L/hab.dia (dentro da faixa típica aplicada para povoado rural, fonte: von Sperling, 2005) e contribuição de esgoto de 80% do consumo de água, isto é, a contribuição *per capita* de esgoto considerada foi de 100 L/hab.dia (conforme residência de padrão baixo, fonte: NBR 7229).

Considerando que os esgotos provenientes da Vila de Mozartínópolis irão infiltrar no solo para depois atingir o curso de água, foram utilizadas as porcentagens de tratamento de infiltração rápida (von Sperling, 2005).

Na **Tabela 6.1.8.27** são apresentadas as cargas estimadas para os parâmetros do efluente proveniente da Vila de Mozartínópolis e as concentrações finais de cada parâmetro, que foram utilizadas no modelo. Ressalta-se que o efluente da Vila de Mozartínópolis entrou no modelo como carga pontual no igarapé Pacu, conforme apresentado no diagrama unifilar, **Figura 6.1.8.117**.

TABELA 6.1.8.27

CARGAS E CONCENTRAÇÕES DO EFLUENTE, ESTIMADAS PARA A VILA DE MOZARTÍNÓPOLIS

Parâmetros do Esgoto	Carga per capita (g/hab.dia)	Carga (kg/dia)	Eficiência de remoção*	Carga após tratamento (kg/dia)	Concentração final – Efluente Tratado (mg/L)
DBO	50	17,10	90%	1,71	50
OD	0	-	-	-	0
Nitr. Orgânico	3,5	1,20	65%	0,42	12
Nitr. Amoniacal	4,5	1,54	65%	0,54	16
Nitrito	0	-	-	-	0
Nitrato	0	-	-	-	0
Fósf. Orgânico	0,3	0,10	50%	0,05	1,5
Fósf. Inorgânico	0,7	0,24	50%	0,12	3,5
Coliformes Termotolerantes (org/hab.dia)	10^{10}	$3,4 \times 10^9$	3 – 5 (unid. log)	$3,4 \times 10^5$	$9,9 \times 10^5$ NMP/100 mL

* Eficiência de remoção considerando infiltração rápida (von Sperling, 2005).

Qualidade dos corpos de água adotada na simulação

Nas **Tabelas 6.1.8.28 e 6.1.8.29** são apresentados os dados básicos de entrada utilizados no modelo de qualidade das águas do igarapé/ rio Sossego e igarapé Pacu, respectivamente, a saber: distância do trecho simulado, local de entrada dos afluentes, vazão (Q_{95}), ponto de monitoramento utilizado como referência para cada trecho e concentrações utilizadas.

É importante destacar que para a definição dos pontos de monitoramento utilizados como referência em cada trecho buscou-se a identificação de características similares nas bacias como, por exemplo, as mesmas condições em termos de uso do solo.

TABELA 6.1.8.28

DADOS DA QUALIDADE DOS CORPOS DE ÁGUA UTILIZADOS NO MODELO – IGARAPÉ/ RIO SOSSEGO

Item	Descrição	Distância acumulada (km)	Vazão (m³/s)	Ponto de Referência *	Concentração (mg/L)								
					DBO	OD	Nitr. Orgânico	Nitr. Amoniacal	Nitrito	Nitrato	Fósforo Orgânico	Fósforo Inorgânico	Coliformes Termot.
1	Início da Simulação - PM 03	0	0,239	PM 03	3	6,2	1,2	0,22	0,01	0,20	0,001	0,001	270
2	Afluente 01 – ME	0,9	0,055	PM 23	3	5,9	0,83	0,23	0,008	0,10	0,001	0,001	510
3	Afluente 02 – MD	2,1	0,014	PM 01	3	5,4	0,34	0,62	0,002	0,10	0,005	0,005	140
4	Afluente 03 – MD	5,23	0,075	PM 01	3	5,4	0,34	0,62	0,002	0,10	0,005	0,005	140
5	Afluente 04 – ME	10,75	0,238	PM 23	3	5,9	0,83	0,23	0,008	0,10	0,001	0,001	510
6	Confluência com o Ig. Pacu (Afluente MD)	17,8	0,373	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	F04	22,5	-	F04	3	6,2	**	0,1	0,004	0,5	0,055	0,055	480
-	Vazão Distribuída no Trecho – até a confluência com Ig. Pacu	-	0,267	PM 23	3	5,9	0,83	0,23	0,008	0,10	0,001	0,001	510
-	Vazão Distribuída no Trecho – a partir da confluência com Ig. Pacu	-	0,434	PM 23	3	5,9	0,83	0,23	0,008	0,10	0,001	0,001	510

MD – margem direita; ME – margem esquerda.

* Ponto de Monitoramento utilizado como referência para o trecho.

** Parâmetro não analisado na campanha de monitoramento.

TABELA 6.1.8.29

DADOS DA QUALIDADE DOS CORPOS DE ÁGUA UTILIZADOS NO MODELO – IGARAPÉ PACU

Item	Descrição	Distância acumulada (km)	Vazão (m³/s)	Ponto de Referência*	Concentração (mg/L)								
					DBO	OD	Nitr. Orgânico	Nitr. Amoniacal	Nitrito	Nitrato	Fósf. Orgânico	Fósf. Inorgânico	Coliformes Termot.
1	Início da Simulação - F 01	0,0	0,253	F 01 e MU 27	3	5,6	0,81	0,29	0,005	0,70	0,005	0,005	1.900
2	Afluente 01 – MD	0,9	0,023	MU 35	3	5,2	0,11	0,46	0,003	0,30	0,005	0,005	15
3	Afluente 02 – ME	5,8	0,01	MU 35	3	5,2	0,11	0,46	0,003	0,30	0,005	0,005	15
4	Efluente Vila Mozartinópolis	6,8	0,0004	-	50	0	12	16	0	0	1,5	3,5	9,9E+05
5	Afluente 03 – ME	7,8	0,025	MU 35	3	5,2	0,11	0,46	0,003	0,30	0,005	0,005	15
6	Afluente 04 – ME	9,0	0,007	MU 35	3	5,2	0,11	0,46	0,003	0,30	0,005	0,005	15
7	Ponto final da simulação – ig. Pacu deságua no ig. Sossego	14,4	0,373 **	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	Vazão Distribuída no Trecho - Ig. Pacu	-	0,055	F 01 e MU 27	3	5,6	0,81	0,29	0,005	0,10	0,005	0,005	1.900

* Ponto de Monitoramento utilizado como referência para o trecho.

** Vazão final do igarapé Pacu, imediatamente a montante da confluência com o igarapé Sossego.

Situação Modificada – Etapa de Implantação

A partir do modelo calibrado para a situação atual, foi realizado o estudo de autodepuração considerando os efluentes previstos para a etapa de implantação do empreendimento. A seguir, nas **Figuras 6.1.8.119 e 6.1.8.120**, na forma de diagrama unifilar, são apresentadas a localização dos pontos notáveis, as distâncias entre os mesmos e os pontos de lançamento dos efluentes da etapa de implantação no igarapé/ rio Sossego e no igarapé Pacu, respectivamente. A espacialização dos referidos diagramas é apresentado na **Figura 6.1.8.121** que consta no **Anexo XIII-G**.

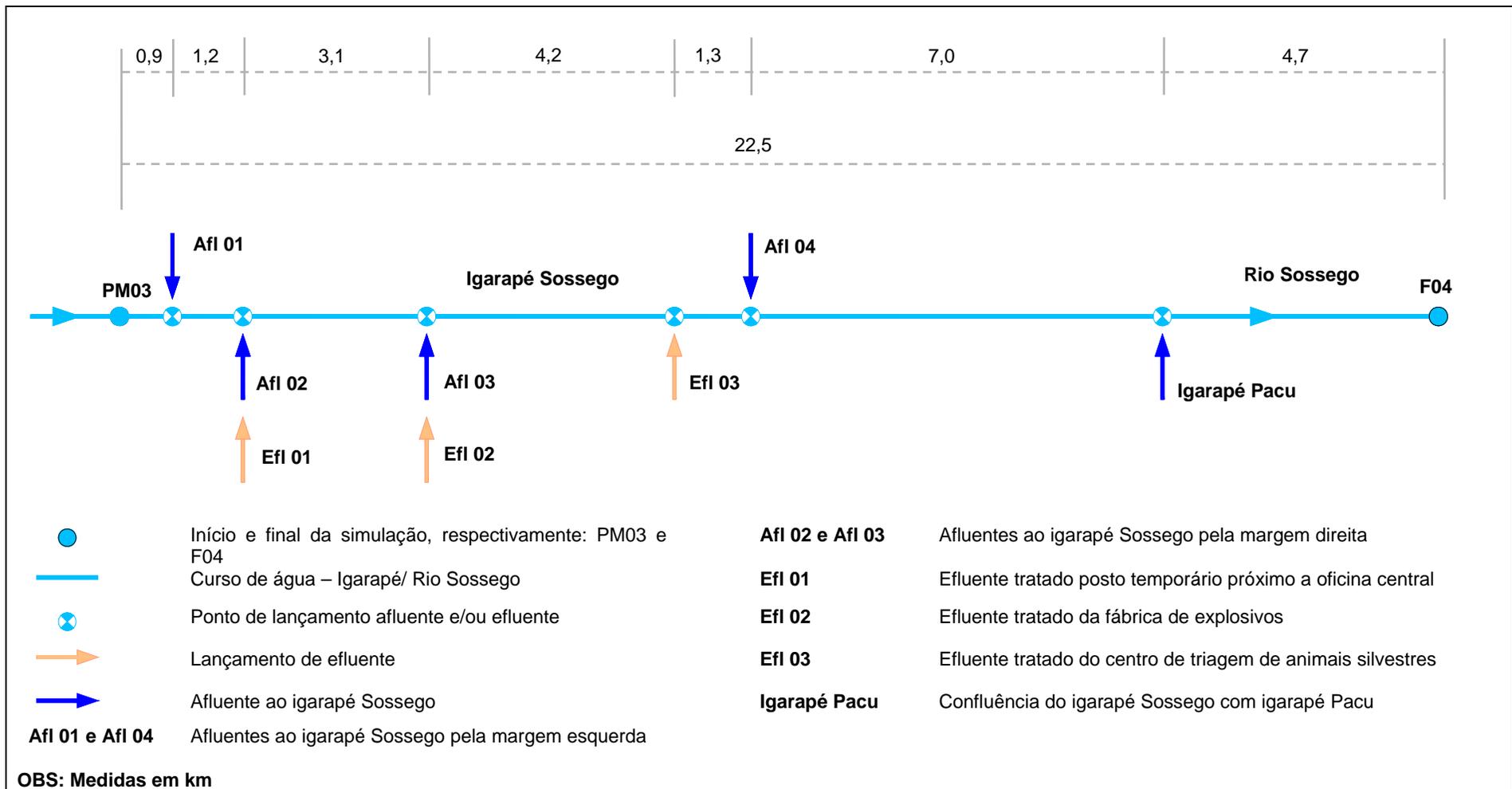


FIGURA 6.1.8.119 – Diagrama unifilar do trecho simulado – Igarapé/ Rio Sossego – situação modificada: implantação

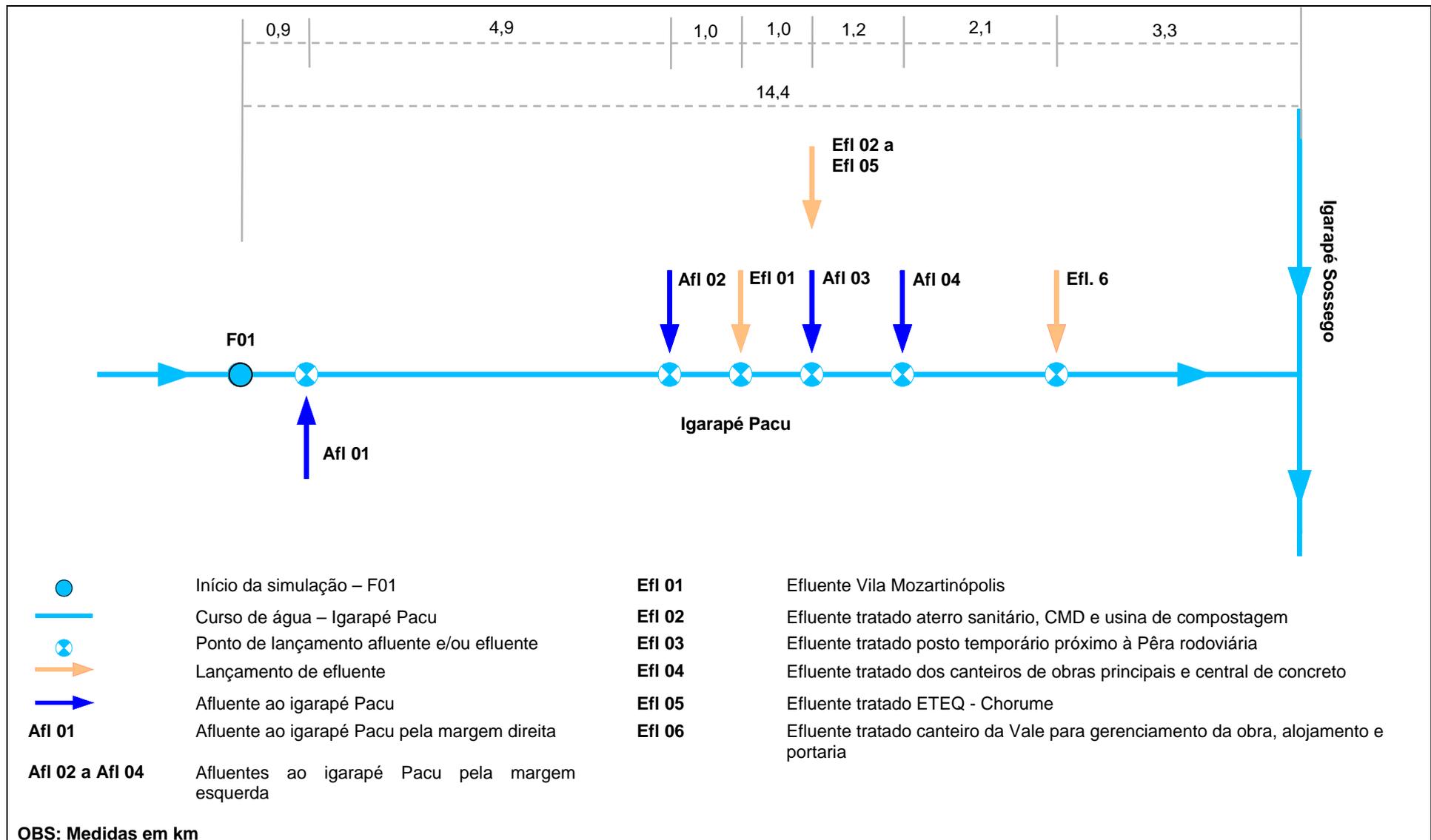


FIGURA 6.1.8.120 – Diagrama unifilar do trecho simulado – Igarapé Pacu – situação modificada: implantação

Conforme apresentado na caracterização do empreendimento, na etapa de implantação, os efluentes domésticos e o chorume serão lançados, após seu tratamento, em estações de tratamento de efluentes domésticos (ETE) e na estação de tratamento de efluentes químicos (ETEQ), respectivamente. Na **Tabela 6.1.8.30**, a seguir, são apresentadas as estruturas das quais advêm os efluentes domésticos e chorume brutos, o tipo de estação de tratamento e a vazão do efluente de cada uma destas.

TABELA 6.1.8.30**ESTRUTURAS, TIPO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO E VAZÕES**

ESTRUTURAS	TIPO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO	VAZÃO DO EFLUENTE (m³/h)
Canteiro da Vale para Gerenciamento da Obra Alojamento Portaria	ETE convencional	6,2
5 Canteiros de Obras Principais Central de Concreto	ETE compacta	7,0
Fábrica de Explosivos	ETE compacta	0,7
Aterro Sanitário / CMD / Usina de Compostagem	ETE compacta	1,1
	ETEQ	0,5
Centro de Triagem de Animais Silvestres	ETE compacta	0,7
Posto Temporário próximo à Oficina Central	ETE compacta	0,7
Posto Temporário próximo à Pêra Ferroviária	ETE compacta	0,7

Fonte: Vale, 2009.

Na **Tabela 6.1.8.31** são apresentadas as características físico-químicas e bacteriológicas dos efluentes tratados provenientes das ETEs e ETEQ. Estes valores foram estimados a partir das características do efluente bruto, apresentados no **item 1.4.3**, referente aos procedimentos metodológicos adotados para o estudo de autodepuração, apresentado anteriormente, e considerando eficiência média de remoção para sistema de tratamento composto por biorreator ou lodos ativados (ETEs), ou RAFA e lodos ativados (ETEQ), ambos com desinfecção por meio de cloração (Vale, 2009). As referidas eficiências foram obtidas por meio de bibliografia específica (von Sperling, 2005). Ressalta-se que, para o efluente da ETEQ, foram considerados valores médios do efluente bruto.

TABELA 6.1.8.31**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E BACTERIOLÓGICAS ESTIMADAS PARA OS EFLUENTES TRATADOS**

Parâmetros	Unidade	Eficiência média de remoção (%) *	ETE	ETE Q
			Efluente Tratado	Efluente Tratado
DBO	mg/L	90	30	1014
OD	mg/L	-	0	0
Nitrogênio Orgânico	mg/L	60	8	50,2
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	80	5	290,6
Nitrito	mg/L	60	0	0,02
Nitrato	mg/L	60	0	1,1
Fósforo Orgânico	mg/L	35	1,3	2,93
Fósforo Inorgânico	mg/L	35	3,25	2,93
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	99,9	1.000	24.500

* Fonte: von Sperling, 2005.

O estudo de autodepuração na etapa de implantação foi realizado de acordo com os diagramas unifilares apresentados nas **Figuras 6.1.8.119 e 6.1.8.120**, considerando todas as ETEs e ETEQ apresentadas na **Tabela 6.1.8.30**, com as respectivas vazões e os valores de concentração de efluente tratado apresentados na **Tabela 6.1.8.31**.

Situação Modificada – Etapa de Operação

A partir do modelo calibrado para a situação atual, foi realizado o estudo de autodepuração considerando os efluentes previstos para a etapa de operação do empreendimento.

A seguir, nas **Figuras 6.1.8.122 e 6.1.8.123**, na forma de diagrama unifilar, são apresentadas a localização dos pontos notáveis e as distâncias entre os mesmos. A espacialização dos referidos diagramas é apresentado na **Figura 6.1.8.124** que consta no **Anexo XIII-G**.

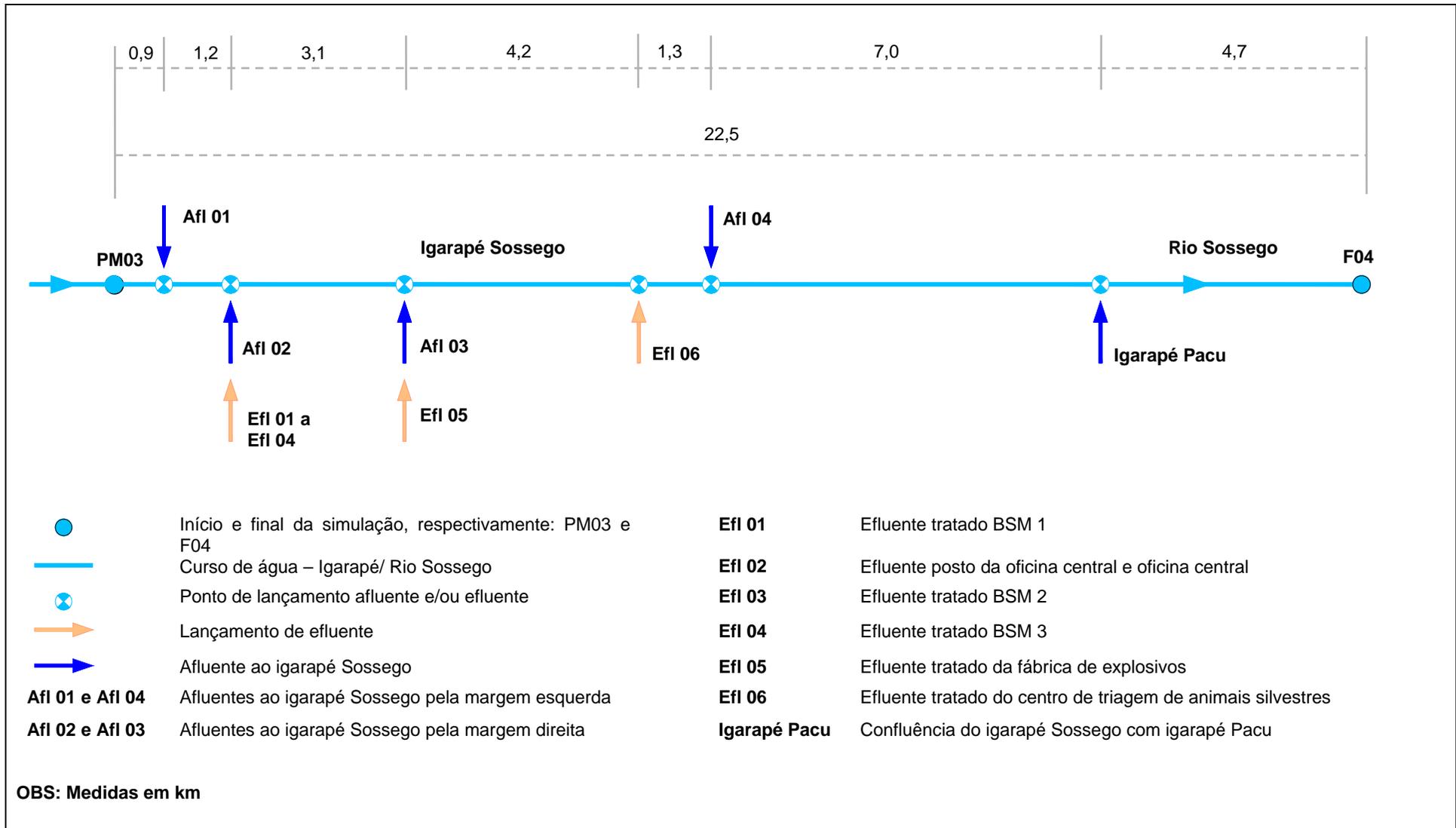


FIGURA 6.1.8.122 – Diagrama unifilar do trecho simulado – Igarapé/ Rio Sossego – situação modificada: operação.

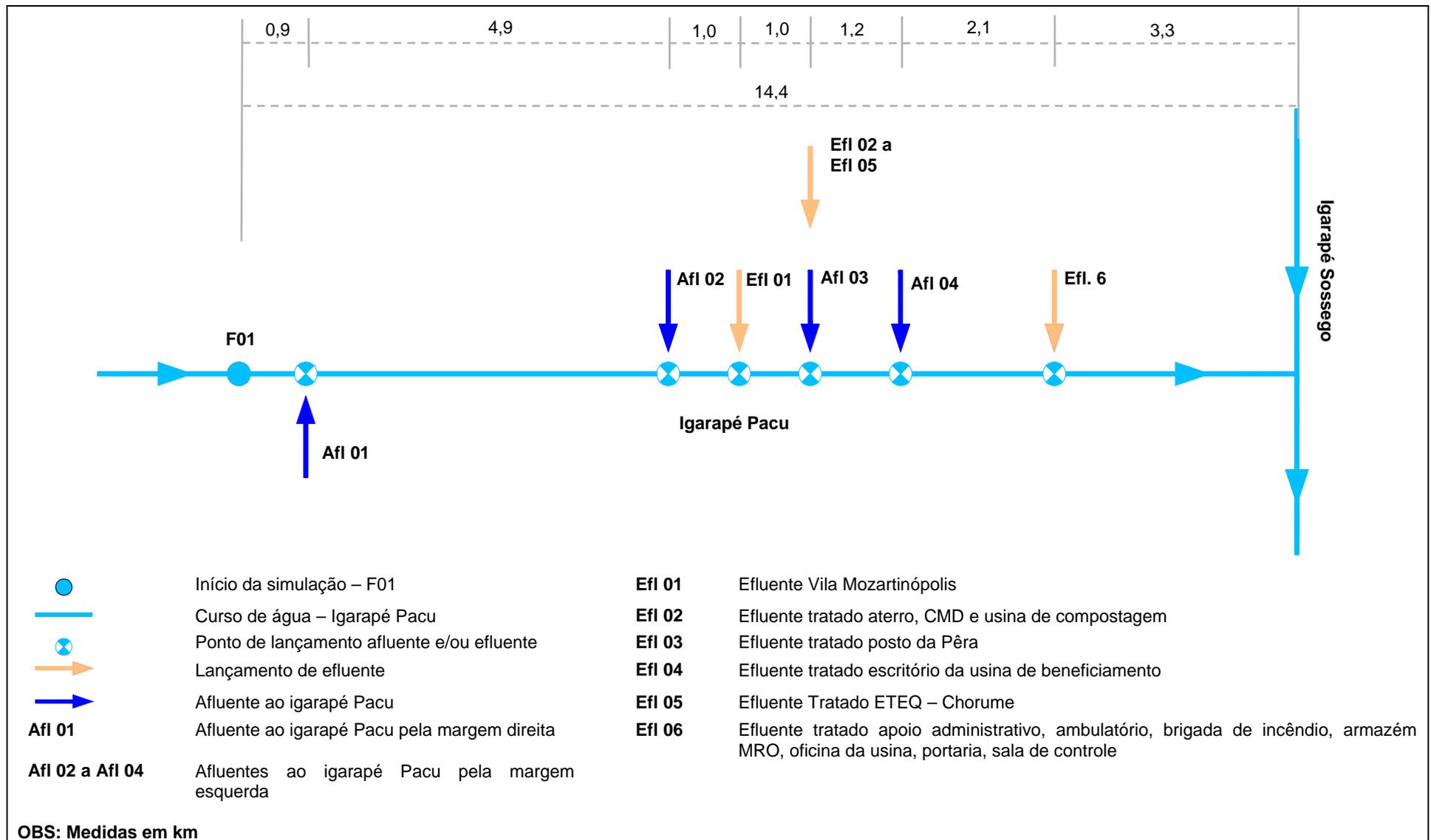


FIGURA 6.1.8.123 – Diagrama unifilar do trecho simulado – Igarapé Pacu – situação modificada: operação.

Conforme a caracterização do empreendimento, na etapa de operação, os lançamentos dos efluentes ocorrerão após seu tratamento, em uma das dez estações de tratamento de efluentes domésticos (ETE) ou na estação de tratamento de efluentes químicos (ETEQ) a serem instaladas nesta etapa. Na **Tabela 6.1.8.32**, a seguir, são apresentadas as estruturas das quais advêm os efluentes brutos, os tipos de estação de tratamento e a vazão de lançamento de cada uma destas.

TABELA 6.1.8.32
ESTRUTURAS, TIPO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO E VAZÕES –
ETAPA DE OPERAÇÃO.

ESTRUTURAS	TIPO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO	VAZÃO DE LANÇAMENTO (m ³ /h)
BSM 3	ETE compacta	0,8
BSM 1	ETE compacta	0,8
BSM 2	ETE compacta	0,8
Posto da Pêra	ETE compacta	0,7
Posto da Oficina Central Oficina Central	ETE compacta	0,7
Aterro Sanitário* / CMD* / Usina de Compostagem	ETE compacta	1,8
	ETEQ	1,7
Apoio Administrativo (alojamento, escritório central, restaurante central, centro de treinamento) Ambulatório Brigada de incêndio Armazém MRO Oficina da usina Portaria Sala de Controle	ETE convencional	7,6
Fábrica de Explosivos	ETE compacta	0,7
Centro de Triagem de Animais Silvestres	ETE compacta	0,7
Usina de Beneficiamento	ETE compacta	3,4

Fonte: Vale, 2009.

As características físico-químicas e bacteriológicas dos efluentes tratados provenientes das ETES e ETEQ são as mesmas apresentadas na **Tabela 6.1.8.31**, mostrada anteriormente.

Situação Modificada – Etapa de Fechamento

Da mesma forma como realizado na etapa de implantação e operação, a partir do modelo calibrado para a situação atual, foi realizado o estudo de autodepuração considerando os efluentes previstos para a etapa de fechamento do empreendimento.

Nas **Figuras 6.1.8.125 e 6.1.8.126**, apresentadas a seguir, são mostrados os diagramas unifilares da modelagem realizada na etapa de fechamento, para o igarapé/ rio Sossego e igarapé Pacu, respectivamente, no qual são apresentadas a localização dos pontos notáveis e as distâncias entre os mesmos.

A espacialização dos referidos diagramas é apresentado na **Figura 6.1.8.127** que consta no **Anexo XIII-G**.

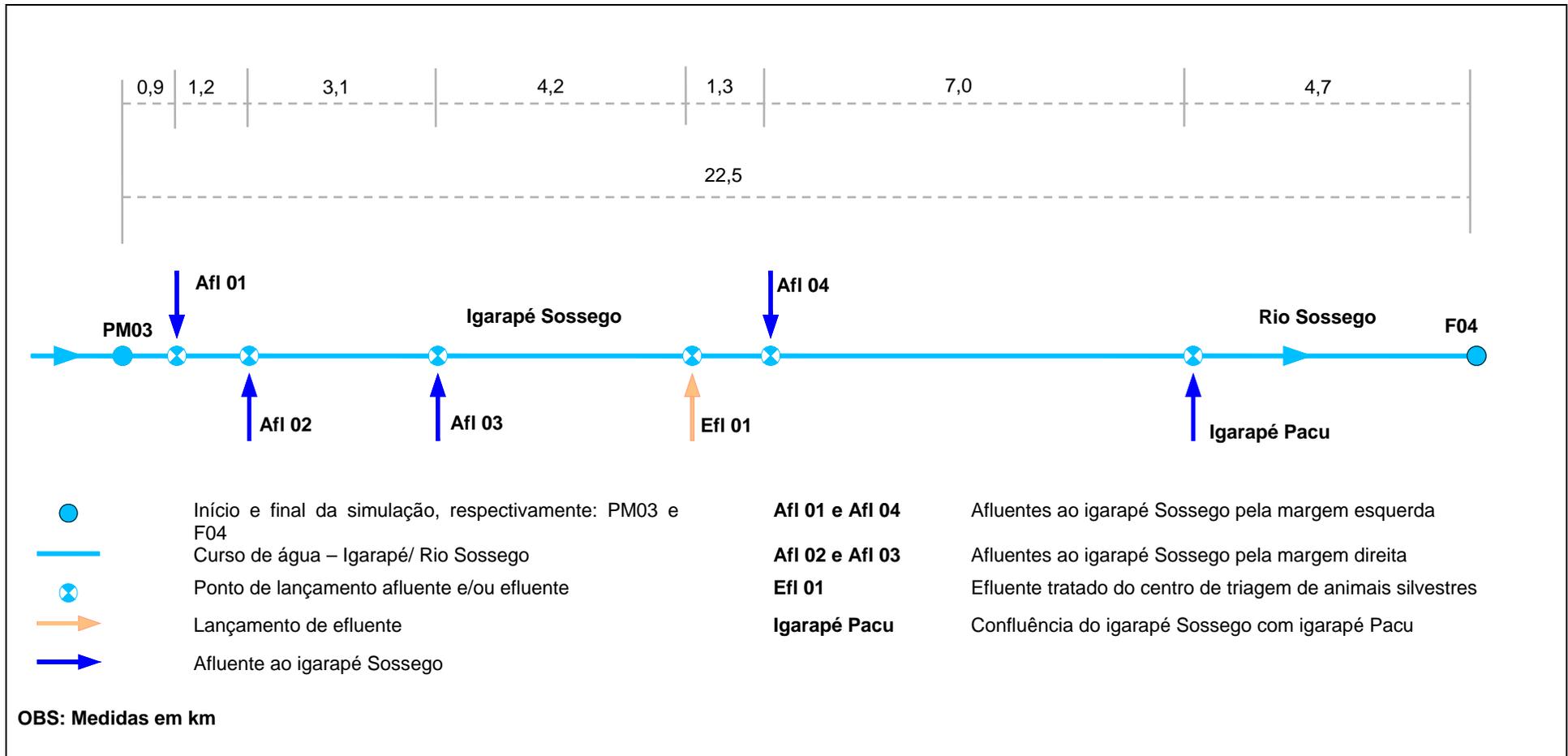


FIGURA 6.1.8.125 – Diagrama unifilar do trecho simulado – Igarapé/ Rio Sossego – situação modificada: fechamento

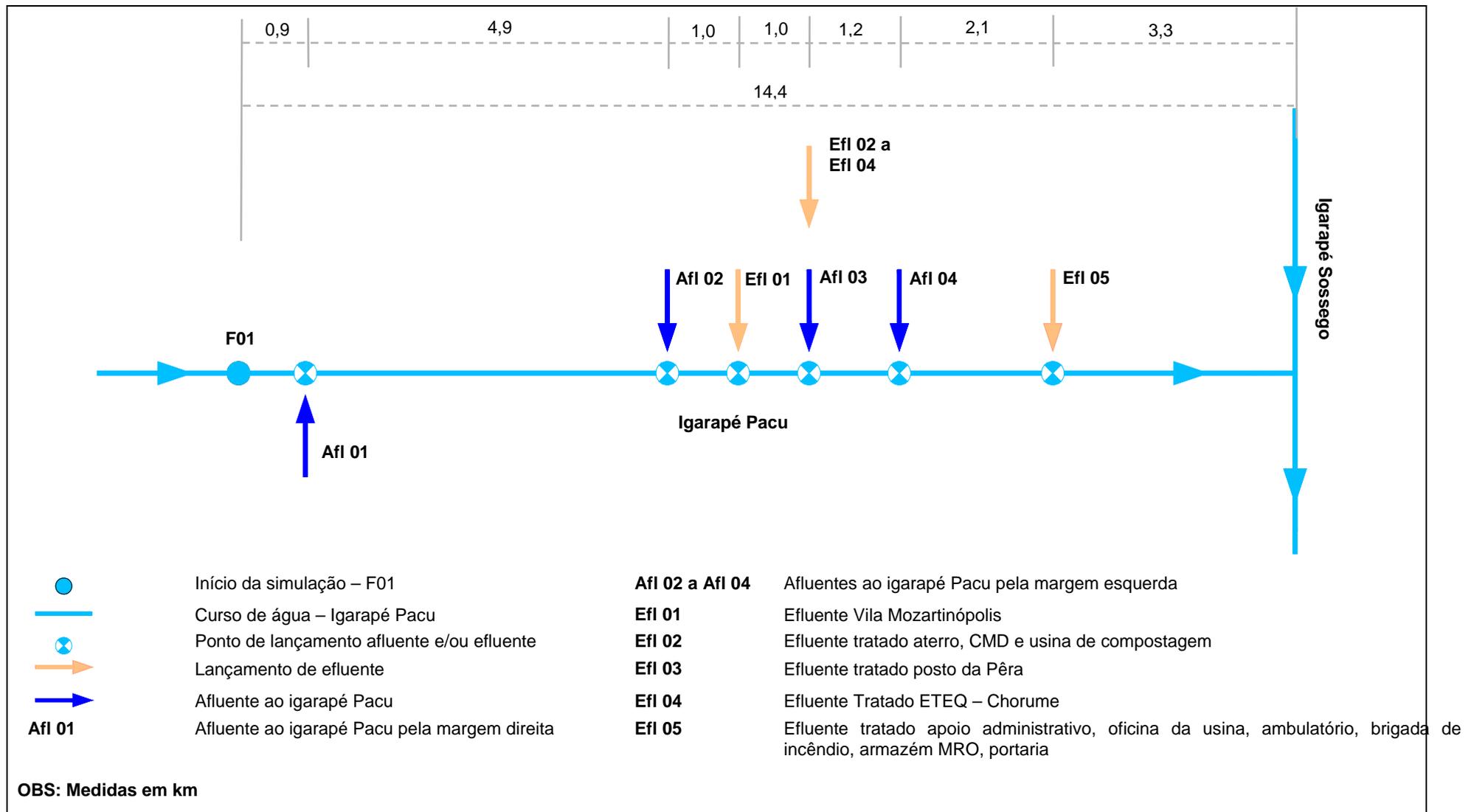


FIGURA 6.1.8.126 – Diagrama unifilar do trecho simulado – Igarapé Pacu – situação modificada: fechamento

Conforme apresentado na caracterização do empreendimento, na etapa de fechamento, os lançamentos dos efluentes ocorrerão após seu tratamento em uma das quatro estações de tratamento de efluentes domésticos (ETE) ou na estação de tratamento de efluentes químicos (ETEQ) a serem instaladas nesta etapa. Na **Tabela 6.1.8.33**, a seguir, são apresentadas as estruturas das quais advêm os efluentes brutos, os tipos de estação de tratamento e a vazão de lançamento de cada uma destas.

TABELA 6.1.8.33
ESTRUTURAS, TIPO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO E VAZÕES

ESTRUTURAS	TIPO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO	VAZÃO DE LANÇAMENTO (m ³ /h)
Posto da Pêra	ETE compacta	0,7
Aterro Sanitário* / CMD* / Usina de Compostagem	ETE compacta	0,4
	ETEQ	0,2
Apoio Administrativo (alojamento, escritório central, restaurante central, centro de treinamento) Ambulatório Brigada de incêndio Armazém MRO Oficina da usina Portaria	ETE convencional	1,2
Centro de Triagem de Animais Silvestres	ETE compacta	0,7

Fonte: Vale, 2009.

As características físico-químicas e bacteriológicas dos efluentes tratados provenientes das ETES e ETEQ são as mesmas apresentadas na **Tabela 6.1.8.31**, mostrada anteriormente.

Resultados da Simulação – Estudo de Autodepuração

Nas **Figuras 6.1.8.128 a 6.1.8.159** são apresentados os resultados da simulação da qualidade das águas no igarapé/ rio Sossego, situação atual, com uma extensão de 24 km do marco inicial até o final da simulação, considerando a vazão Q₉₅.

Nas referidas figuras estão destacados os pontos de monitoramento MU21 e F04, que correspondem aos pontos utilizados na calibração do modelo da situação atual. Cabe ressaltar que, para o parâmetro fósforo total, o valor obtido no ponto de monitoramento F04 foi significativamente superior ao valor obtido na modelagem. Entretanto, foi realizada uma verificação e análise dos coeficientes e dados do modelo e dos demais dados de monitoramento existentes na região, no período de estiagem, concluindo-se que o elevado valor de fósforo total no ponto F04 pode não estar representando a realidade, sendo, desta forma, desconsiderado na calibração.

Os locais onde podem ser verificados incrementos de vazão correspondem aos afluentes de maior porte ao igarapé Sossego, dentro do trecho simulado, destacando-se o igarapé Pacu, cuja confluência ocorre no km 17,8.

Os resultados são apresentados lado a lado, para cada parâmetro, considerando todos os cenários simulados: situação atual e situações futuras de implantação, operação e fechamento. Esta forma de apresentação permite uma fácil comparação entre as diversas simulações realizadas, permitindo verificar as interferências causadas nos cursos de água, em cada etapa do empreendimento.

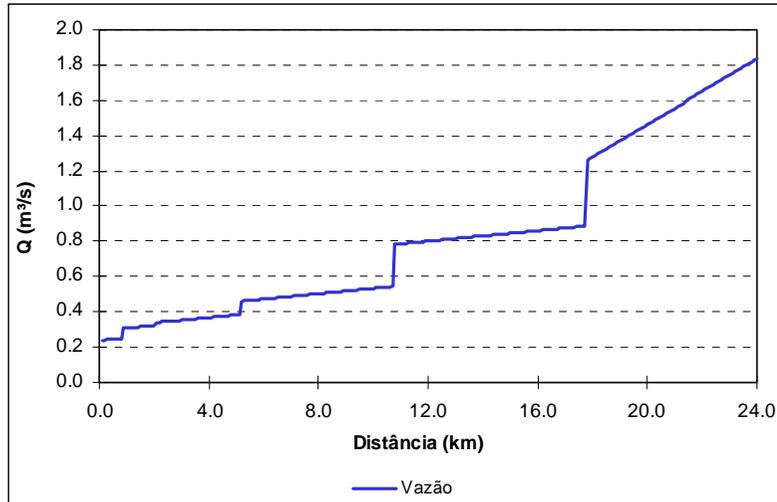


FIGURA 6.1.8.128 – Ig./Rio Sossego – Vazão Q₉₅ – Situação Atual

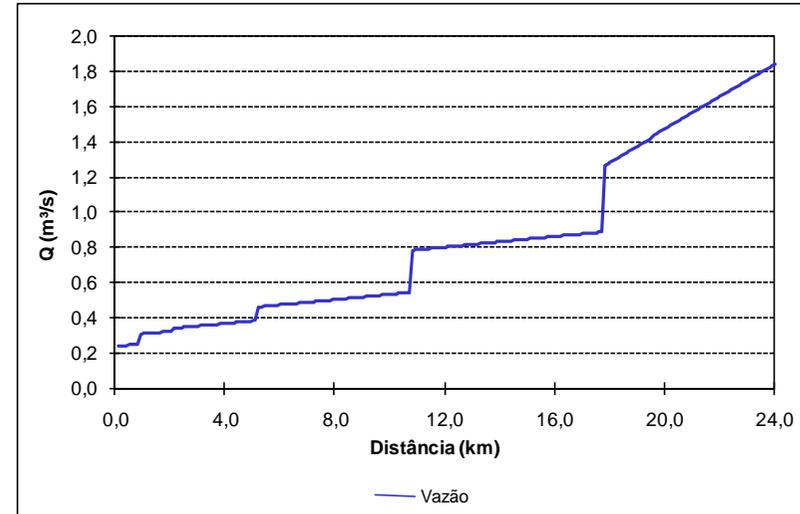


FIGURA 6.1.8.129 – Ig./Rio Sossego – Vazão Q₉₅ – Etapa: Implantação

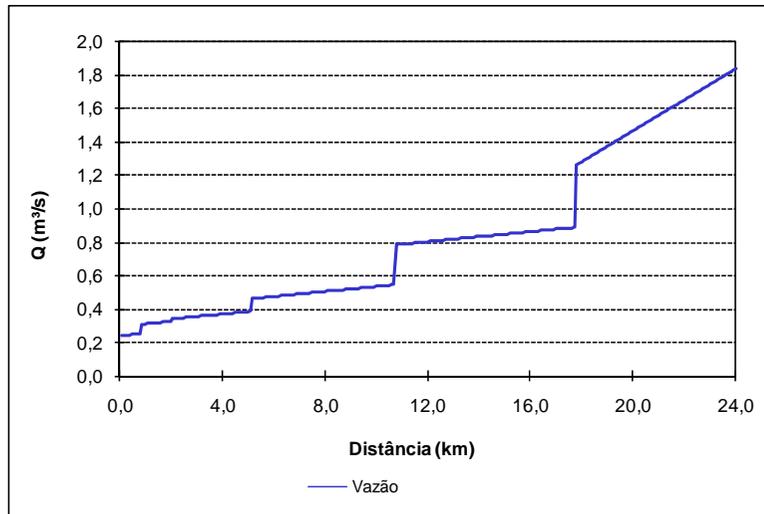


FIGURA 6.1.8.130 – Ig./Rio Sossego – Vazão Q₉₅ – Etapa: Operação

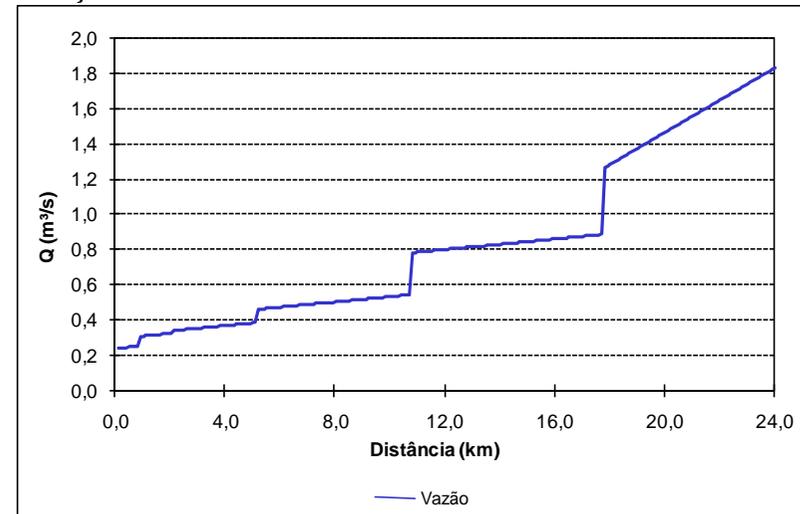


FIGURA 6.1.8.131 – Ig./Rio Sossego – Vazão Q₉₅ – Etapa: Fechamento

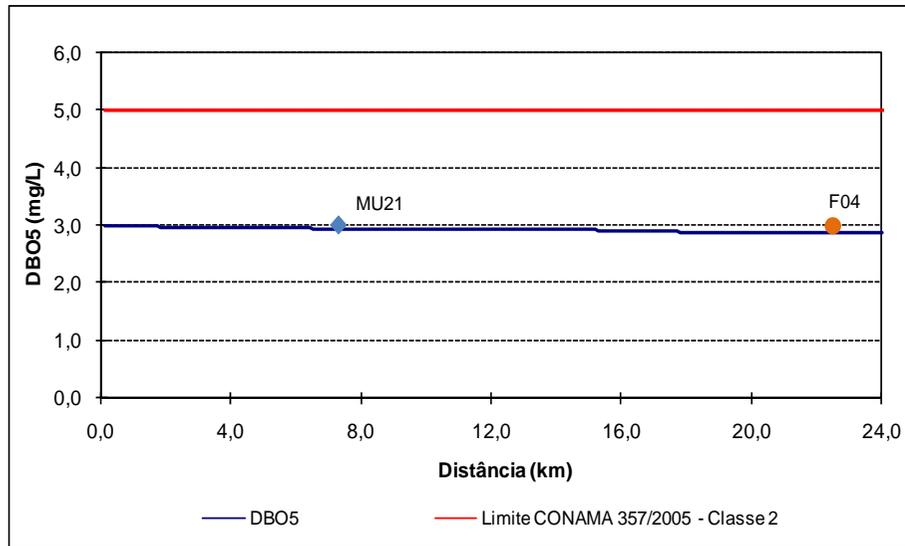


FIGURA 6.1.8.132 – Ig./Rio Sossego – DBO – Situação Atual

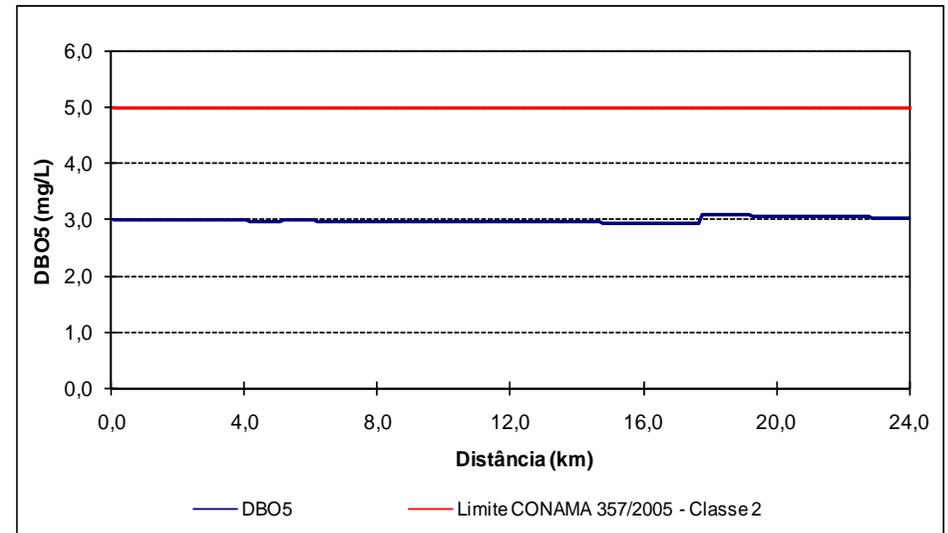


FIGURA 6.1.8.133 – Ig./Rio Sossego – DBO – Etapa: Implantação

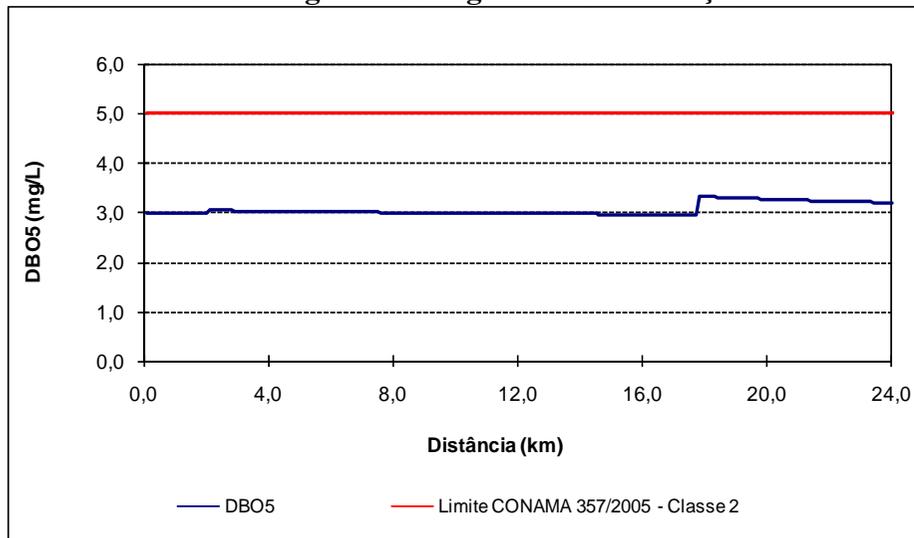


FIGURA 6.1.8.134 – Ig./Rio Sossego – DBO – Etapa: Operação

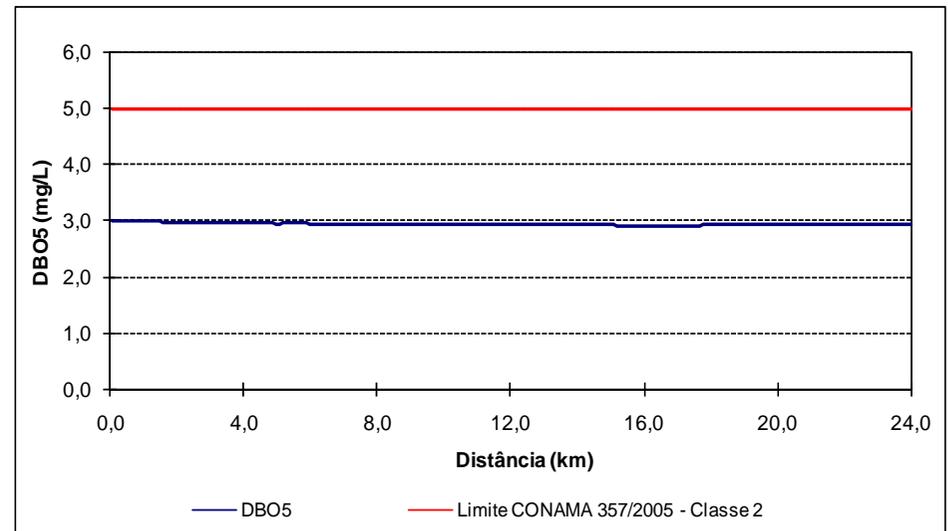


FIGURA 6.1.8.135 – Ig./Rio Sossego – DBO – Etapa: Fechamento

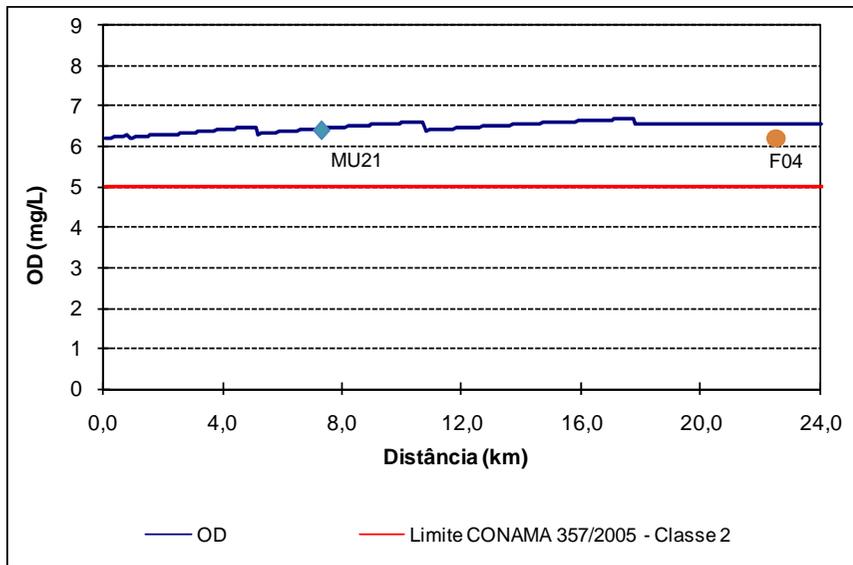


FIGURA 6.1.8.136 – Ig./Rio Sossego – OD – Situação Atual

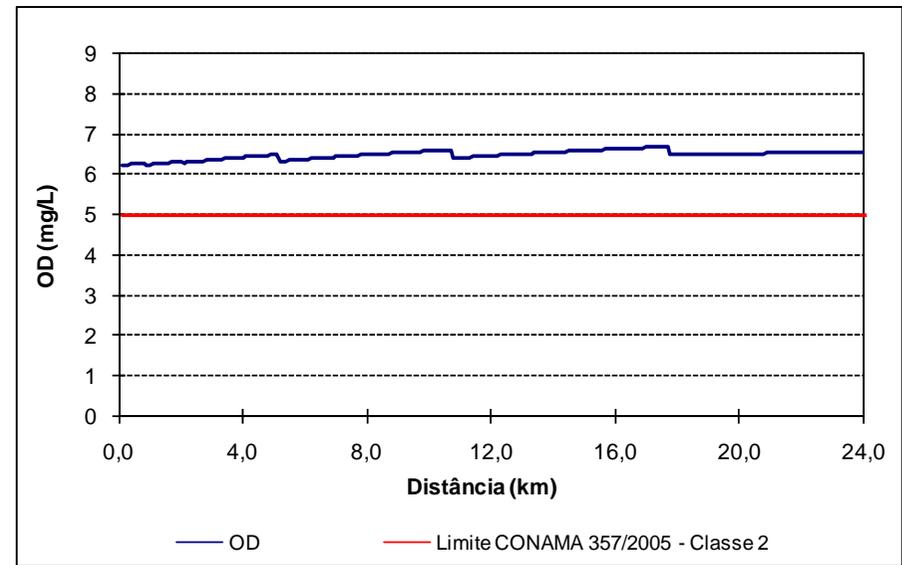


FIGURA 6.1.8.137 – Ig./Rio Sossego – OD – Etapa: Implantação

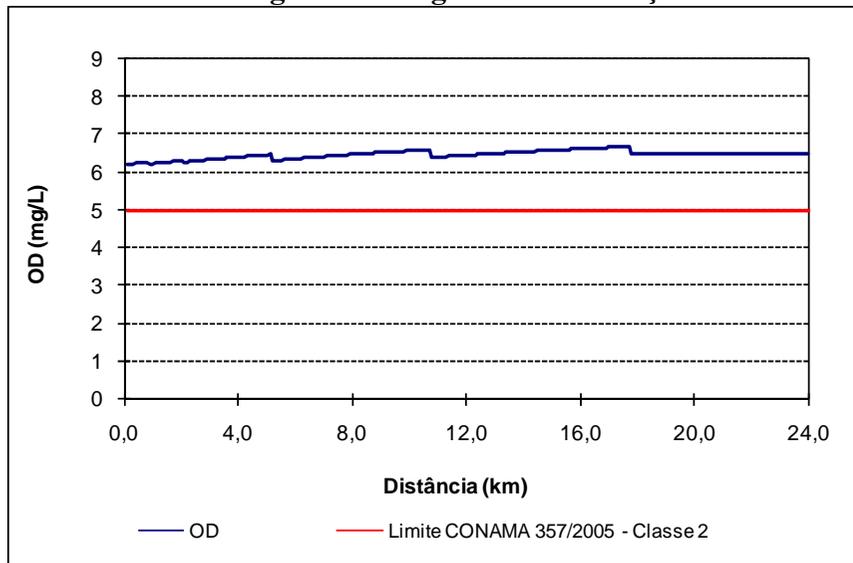


FIGURA 6.1.8.138 – Ig./Rio Sossego – OD – Etapa: Operação

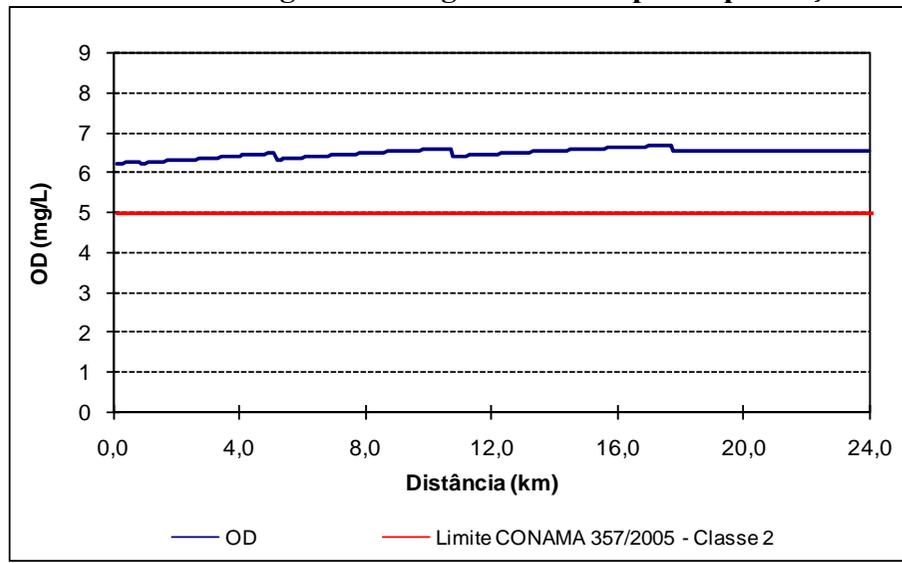


FIGURA 6.1.8.139 – Ig./Rio Sossego – OD – Etapa: Fechamento

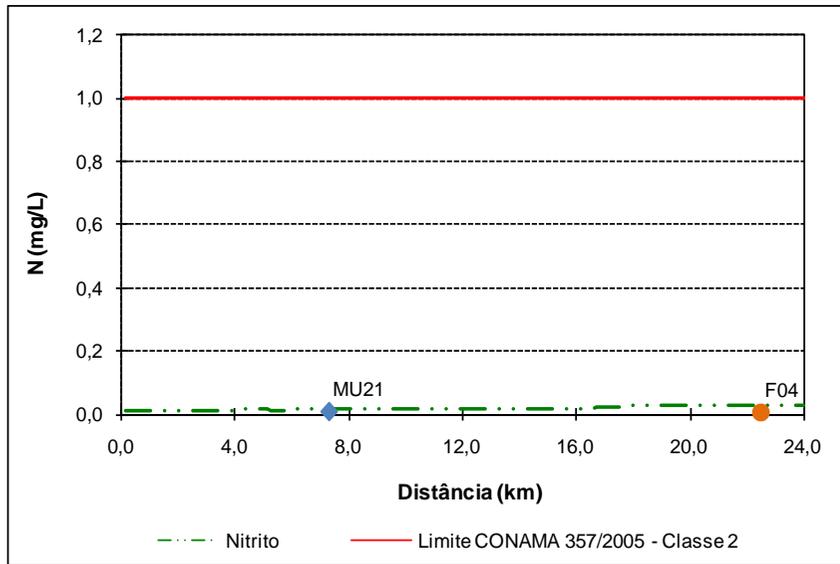


FIGURA 6.1.8.140 – Ig./Rio Sossego – Nitrito – Situação Atual

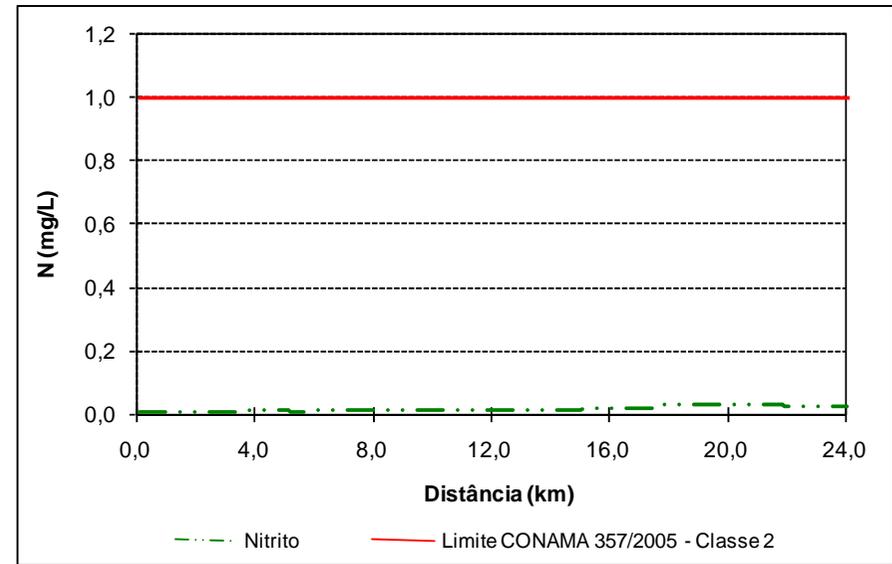


FIGURA 6.1.8.141 – Ig./Rio Sossego – Nitrito – Etapa: Implantação

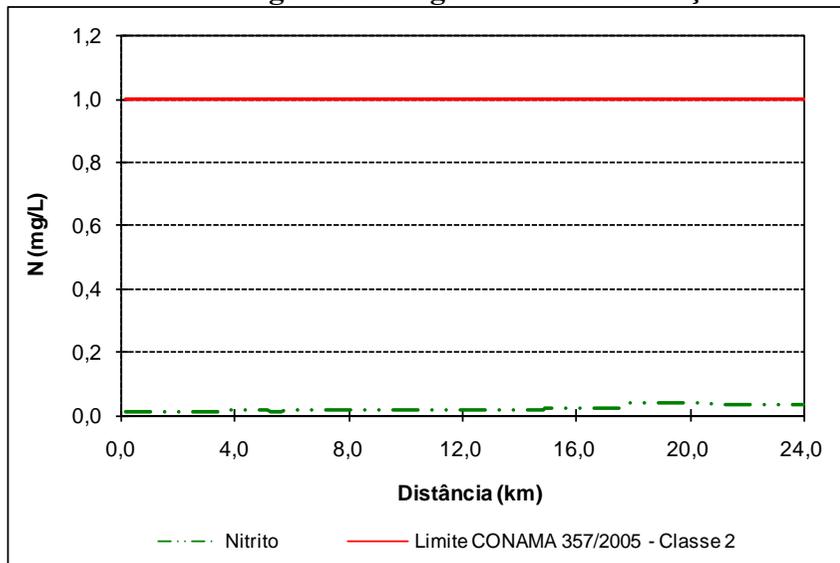


FIGURA 6.1.8.142 – Ig./Rio Sossego – Nitrito – Etapa: Operação

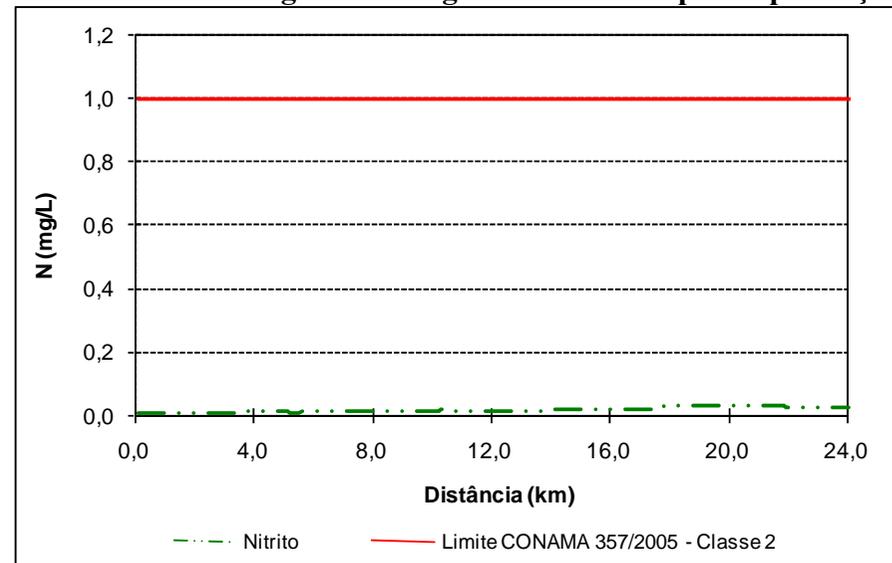


FIGURA 6.1.8.143 – Ig./Rio Sossego – Nitrito – Etapa: Fechamento

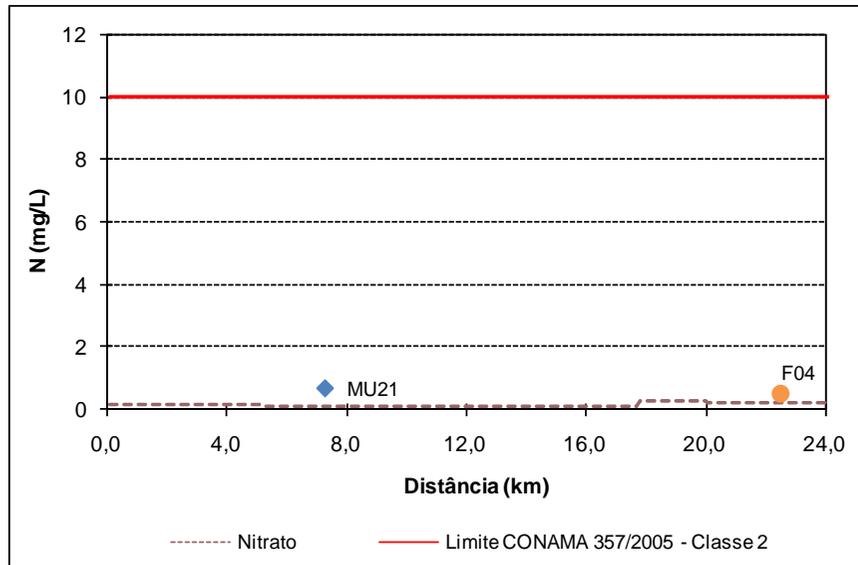


FIGURA 6.1.8.144 – Ig./Rio Sossego – Nitrato – Situação Atual

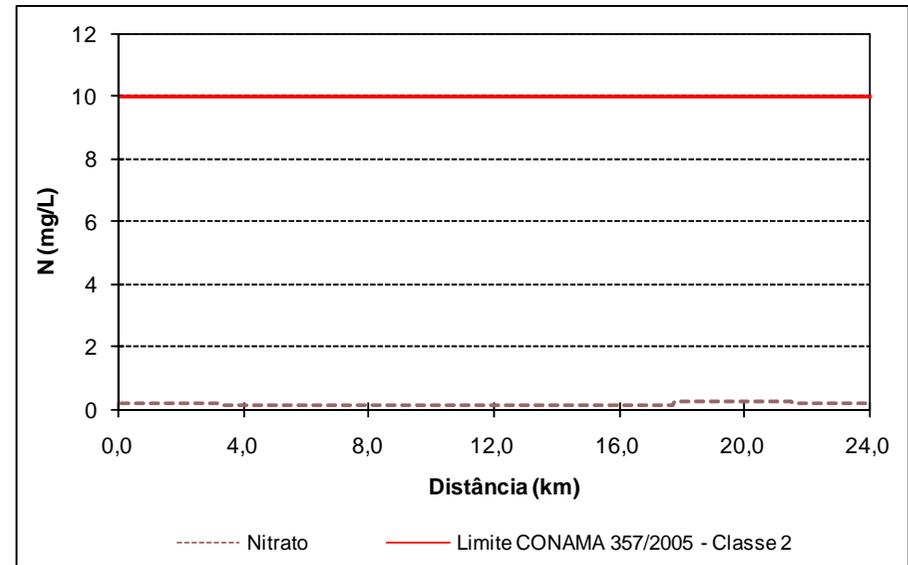


FIGURA 6.1.8.145 – Ig./Rio Sossego – Nitrato – Etapa: Implantação

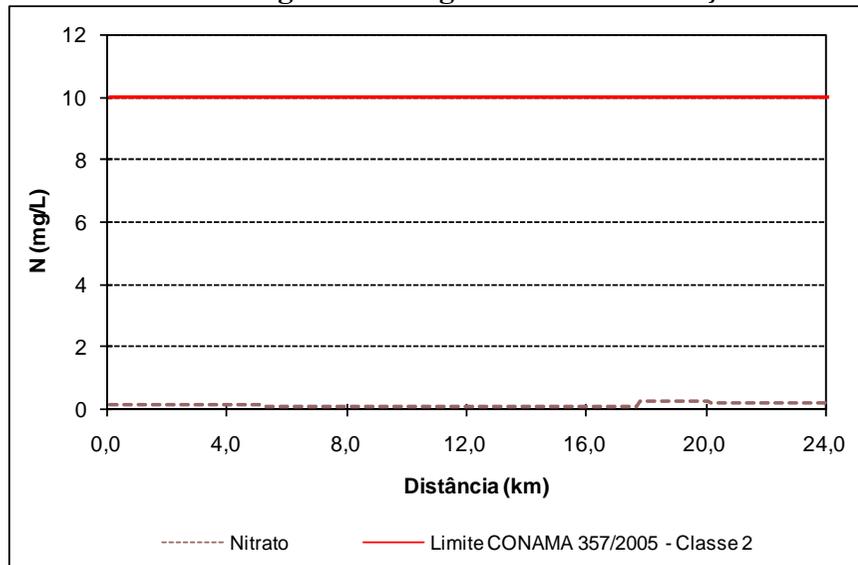


FIGURA 6.1.8.146 – Ig./Rio Sossego – Nitrato – Etapa: Operação

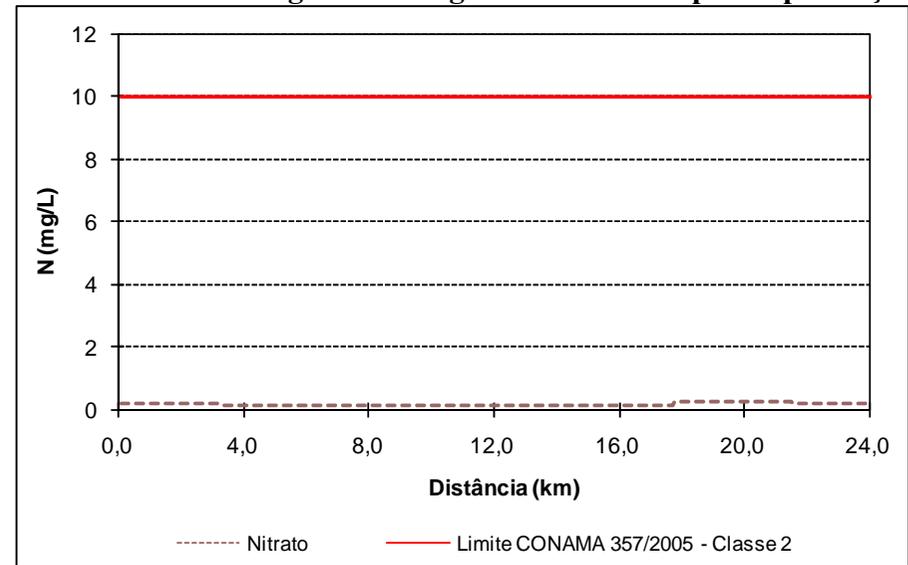


FIGURA 6.1.8.147 – Ig./Rio Sossego – Nitrato – Etapa: Fechamento

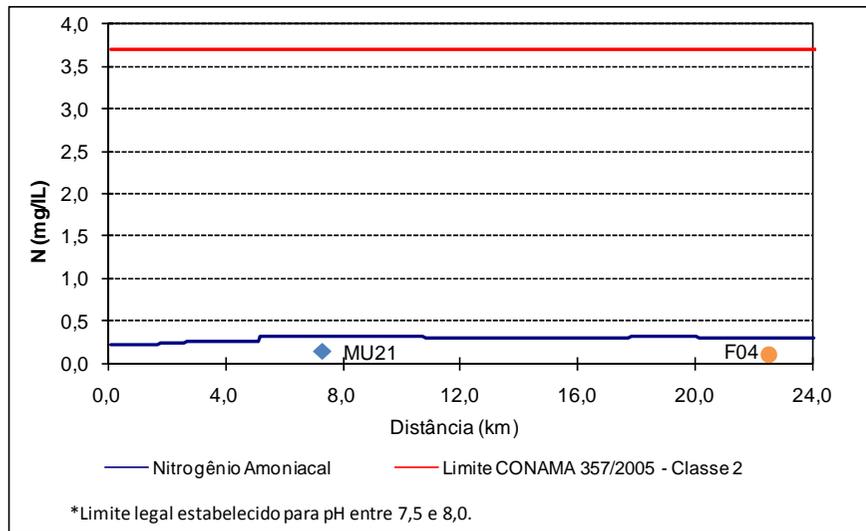


FIGURA 6.1.8.148 – Ig./Rio Sossego – Nitrogênio Amoniacal – Situação Atual

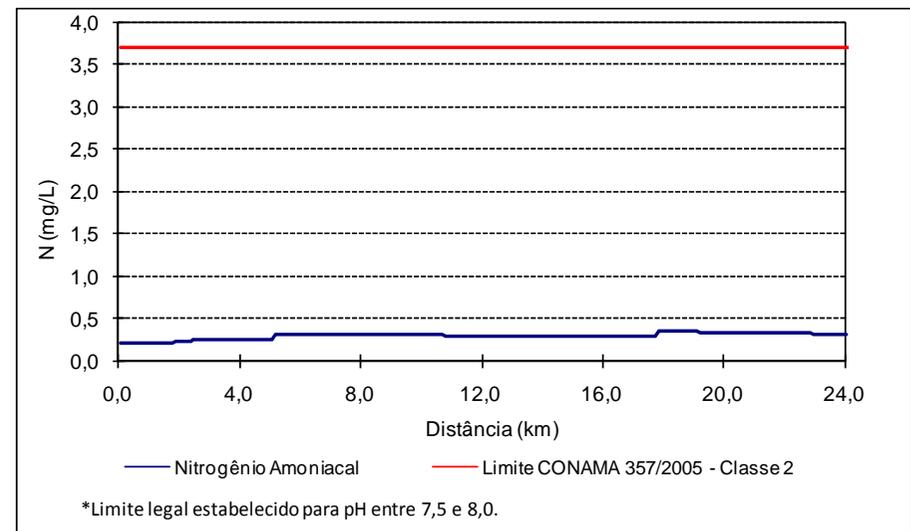


FIGURA 6.1.8.149 – Ig./Rio Sossego – Nitrogênio Amoniacal – Etapa: Implantação

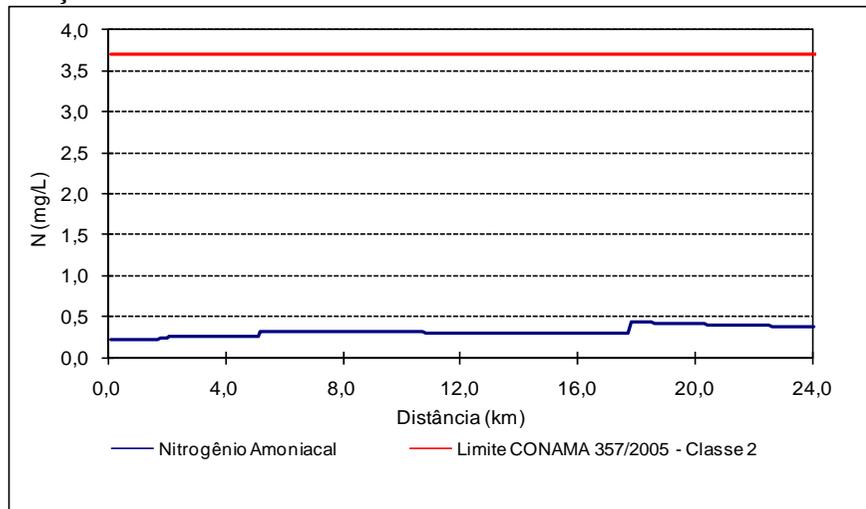


FIGURA 6.1.8.150 – Ig./Rio Sossego – Nitrogênio Amoniacal – Etapa: Operação

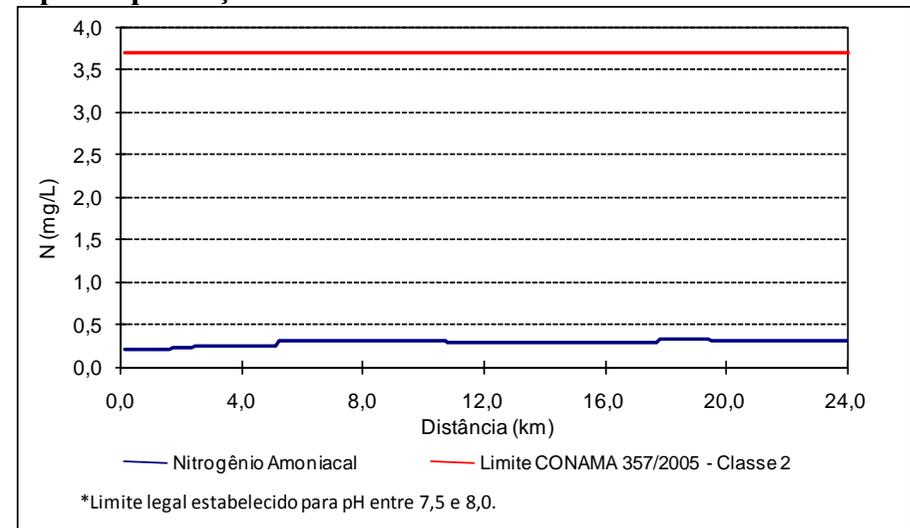


FIGURA 6.1.8.151 – Ig./Rio Sossego – Nitrogênio Amoniacal – Etapa: Fechamento

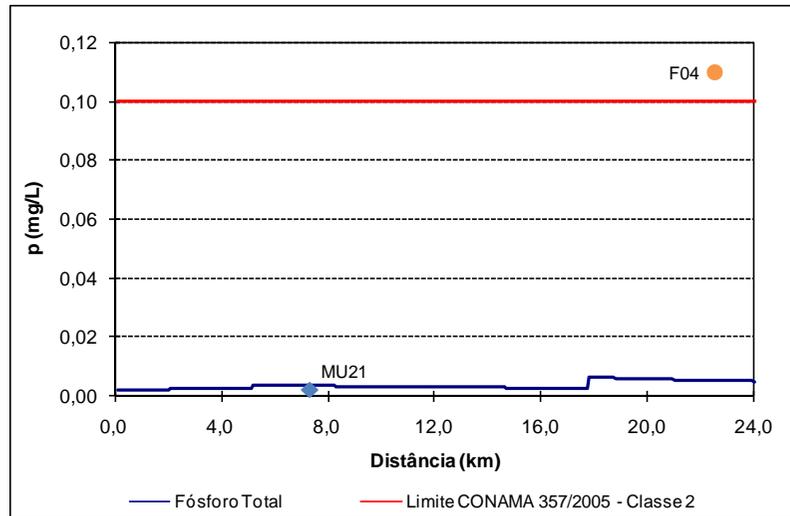


FIGURA 6.1.8.152 – Ig./Rio Sossego – Fósforo Total – Situação Atual

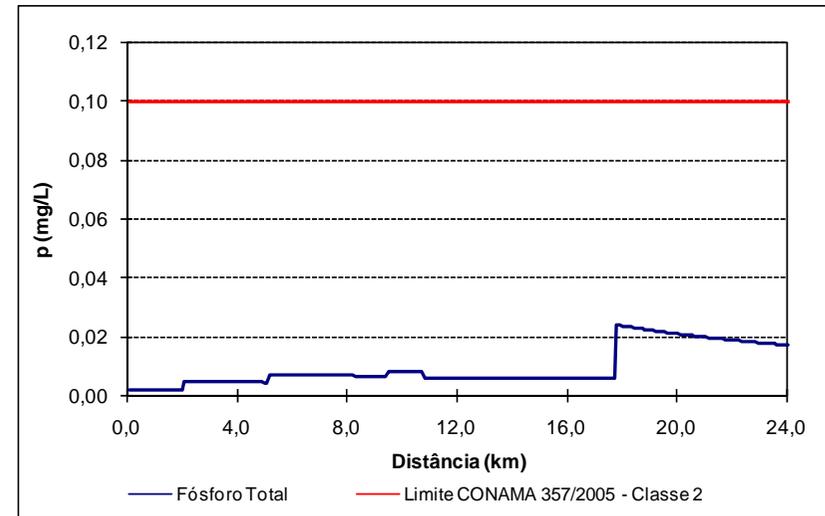


FIGURA 6.1.8.153 – Ig./Rio Sossego – Fósforo Total – Etapa: Implantação

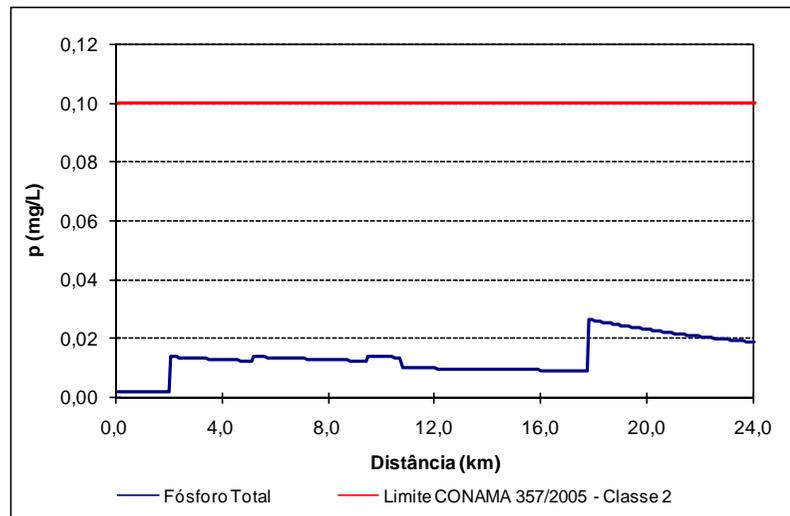


FIGURA 6.1.8.154 – Ig./Rio Sossego – Fósforo Total – Etapa: Operação

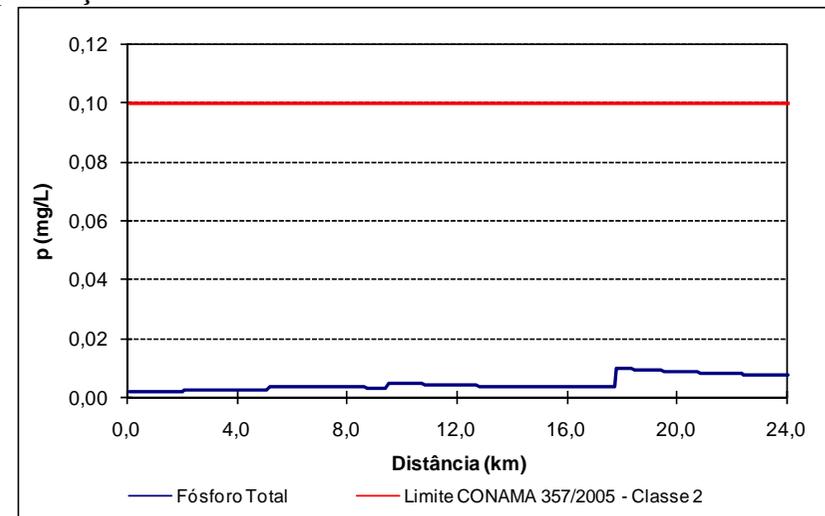


FIGURA 6.1.8.155 – Ig./Rio Sossego – Fósforo Total – Etapa: Fechamento

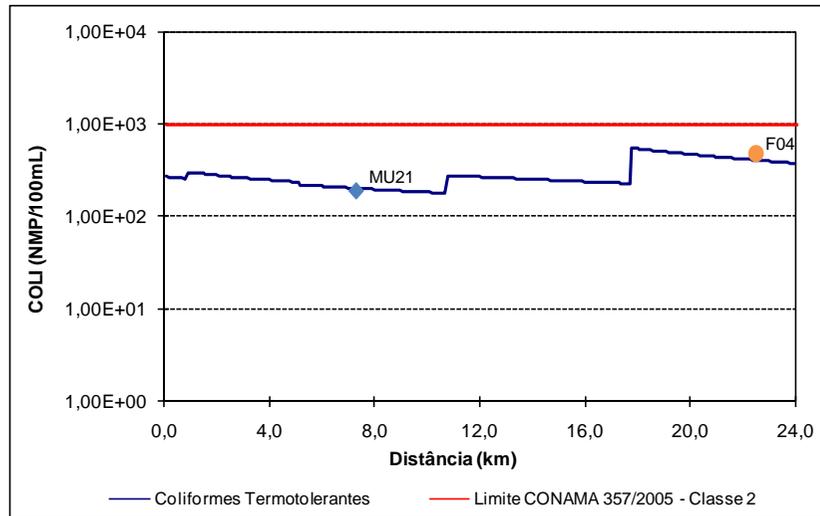


FIGURA 6.1.8.156 – Ig./Rio Sossego – Coliformes Termotolerantes – Situação Atual

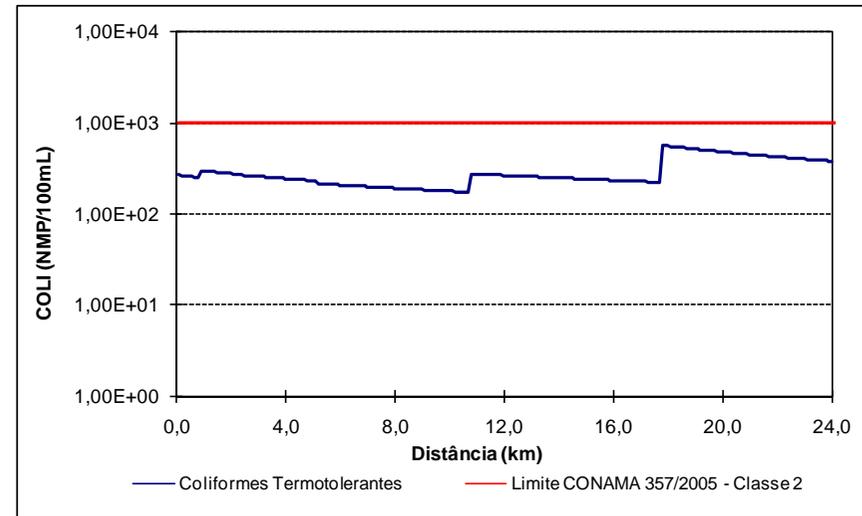


FIGURA 6.1.8.157 – Ig./Rio Sossego – Coliformes Termotolerantes – Etapa: Implantação

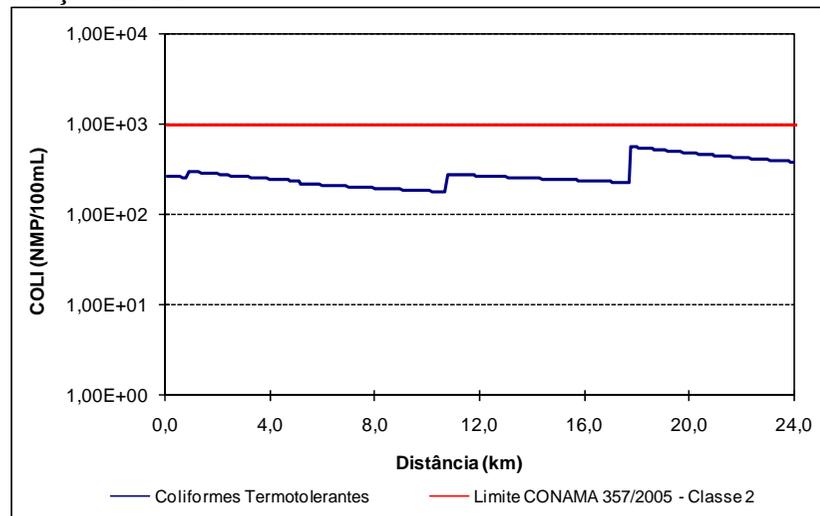


FIGURA 6.1.8.158 – Ig./Rio Sossego – Coliformes Termotolerantes – Etapa: Operação

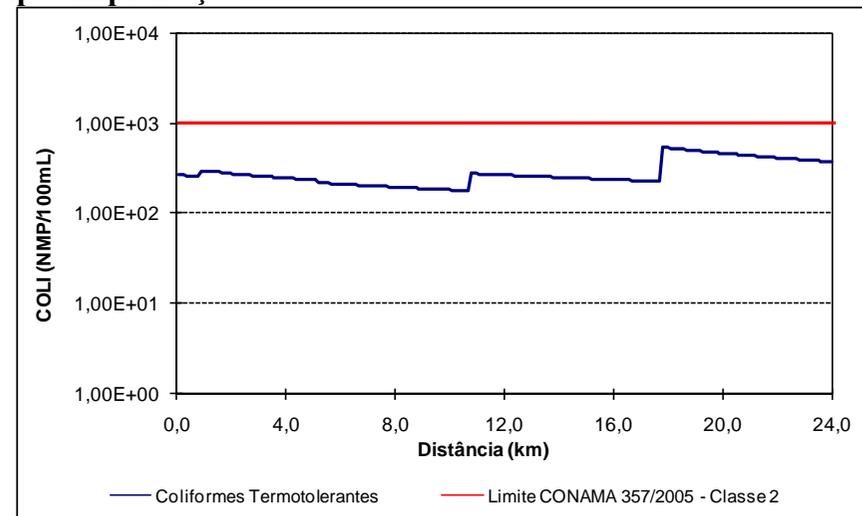


FIGURA 6.1.8.159 – Ig./Rio Sossego – Coliformes Termotolerantes – Etapa: Fechamento

Conforme pode ser visto nas **Figuras 6.1.8.128 a 6.1.8.159**, os efluentes provenientes do Projeto Ferro Carajás S11D deverão alterar muito pouco a qualidade do igarapé Sossego, em todas as etapas do empreendimento.

Nos gráficos de vazões, comparando-se a situação atual com as situações com o empreendimento, pode-se verificar que o aumento de vazão no curso de água, devido ao lançamento de efluentes do projeto, é imperceptível. Isto ocorre devido à vazão do igarapé Sossego ser significativamente superior à vazão dos efluentes lançados na bacia, isto é: a vazão do igarapé Sossego, a montante da confluência com o igarapé Pacu é de 0,89 m³/s e a vazão de efluentes lançados na bacia, na etapa de operação, onde ocorre o maior lançamento de efluentes, é de 0,0013 m³/s.

Esta situação, associada à boa qualidade dos efluentes, que serão lançados após tratamento e atendendo aos padrões legais de lançamento de efluentes, faz com que todos os parâmetros simulados apresentem valores dentro dos limites estabelecidos na Resolução CONAMA n.º 357/2005 para corpos de água Classe 2, como pode ser verificado.

Próximo ao km 18 pode-se verificar uma elevação, em relação à situação atual, nas concentrações dos parâmetros DBO, nitrogênio amoniacal e fósforo total. Isto ocorre na confluência do igarapé Sossego com o igarapé Pacu, indicando que o igarapé Pacu apresenta valores mais elevados, em relação ao igarapé Sossego, dos referidos constituintes. Ressalta-se, entretanto, como mencionado, que nenhum parâmetro ultrapassou os limites legais permitidos.

Da mesma forma como apresentado para o igarapé Sossego, nas **Figuras 6.1.8.160 a 6.1.8.191** são apresentados os resultados da simulação da qualidade das águas no igarapé Pacu, com uma extensão de 14,4 km do marco inicial até o final da simulação, considerando a vazão Q₉₅. Ao final do trecho simulado, o igarapé Pacu deságua no igarapé Sossego.

Os locais nos quais podem ser verificados incrementos de vazão correspondem aos afluentes de maior porte ao igarapé Pacu, dentro do trecho simulado, destacando-se o km 6,8, onde o igarapé Pacu recebe o efluente da Vila de Mozartópolis.

Nas situações futuras, isto é, considerando o lançamento de efluentes do Projeto Ferro Carajás S11D, é importante destacar o efluente proveniente da ETEQ, estação que tratará o chorume a ser gerado no aterro sanitário. O lançamento da ETEQ ocorre no km 7,8 da simulação do igarapé Pacu, podendo-se verificar, neste ponto uma elevação das concentrações dos parâmetros analisados, em especial da DBO, não ultrapassando, entretanto, os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n.º 357/2005.

Os resultados são apresentados lado a lado, para cada parâmetro, considerando todos os cenários simulados: situação atual e situações futuras de implantação, operação e fechamento. Esta forma de apresentação permite uma fácil comparação entre as diversas simulações realizadas, permitindo verificar as interferências causadas nos cursos de água, em cada etapa do empreendimento.

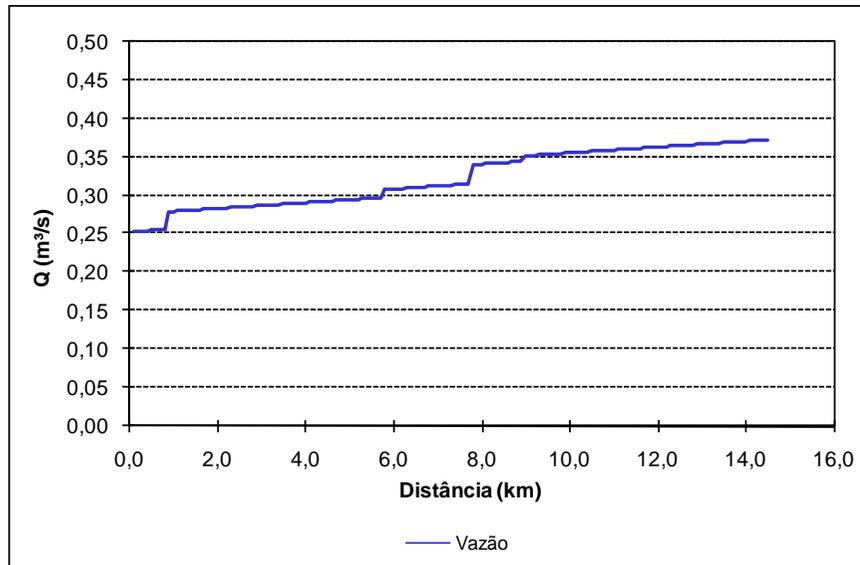


FIGURA 6.1.8.160 – Ig. Pacu – Vazão Q₉₅ – Situação Atual

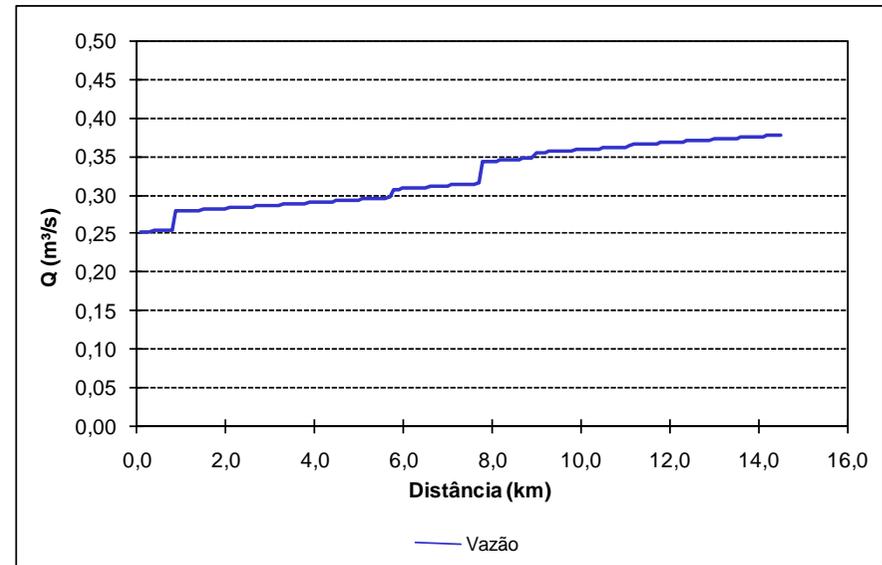


FIGURA 6.1.8.161 – Ig. Pacu – Vazão Q₉₅ – Etapa: Implantação

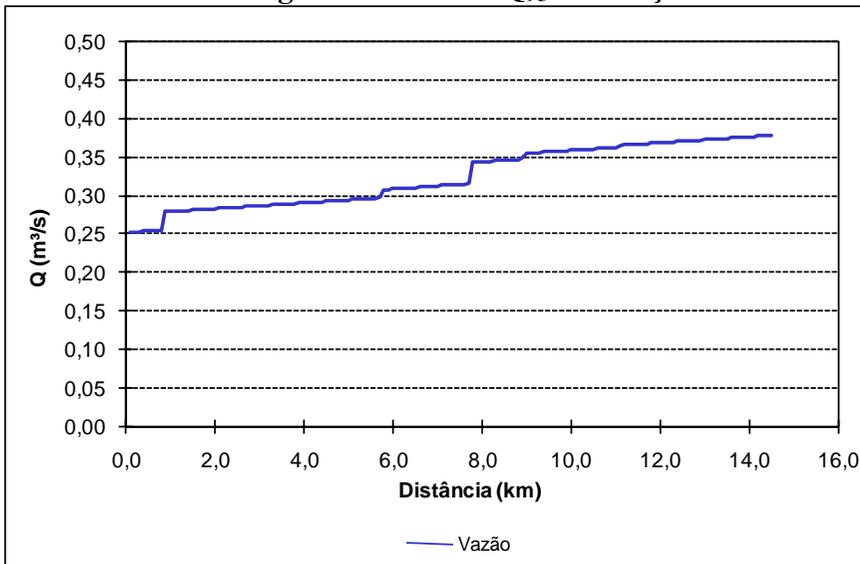


FIGURA 6.1.8.162 – Ig. Pacu – Vazão Q₉₅ – Etapa: Operação

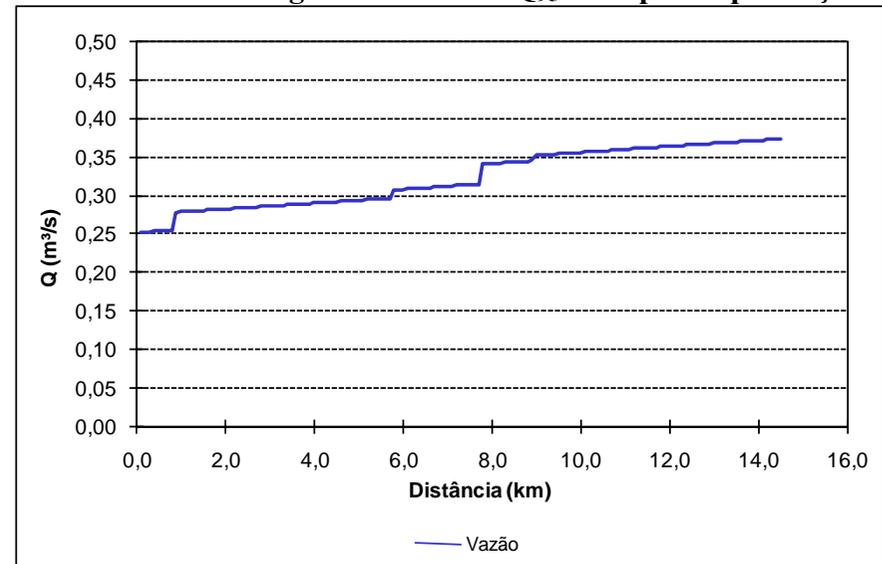


FIGURA 6.1.8.163 – Ig. Pacu – Vazão Q₉₅ – Etapa: Fechamento

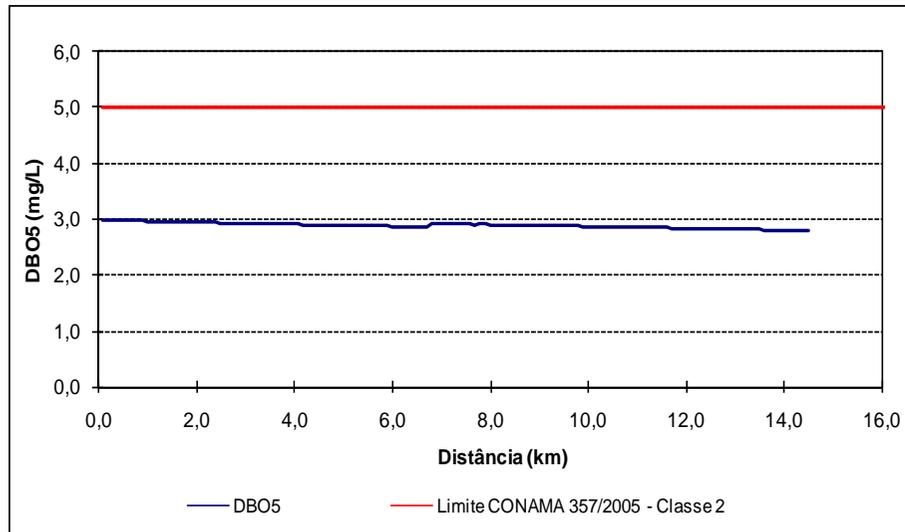


FIGURA 6.1.8.164 – Ig. Pacu – DBO – Situação Atual

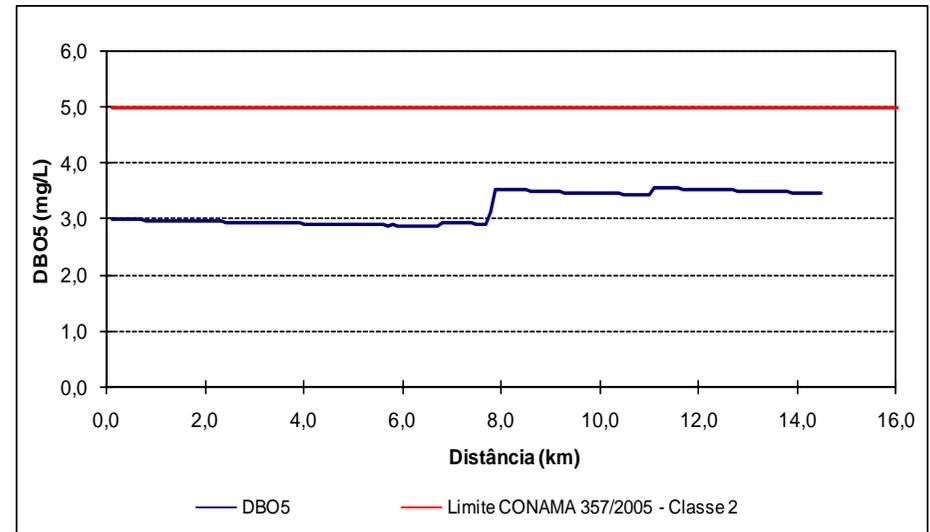


FIGURA 6.1.8.165 – Ig. Pacu – DBO – Etapa: Implantação

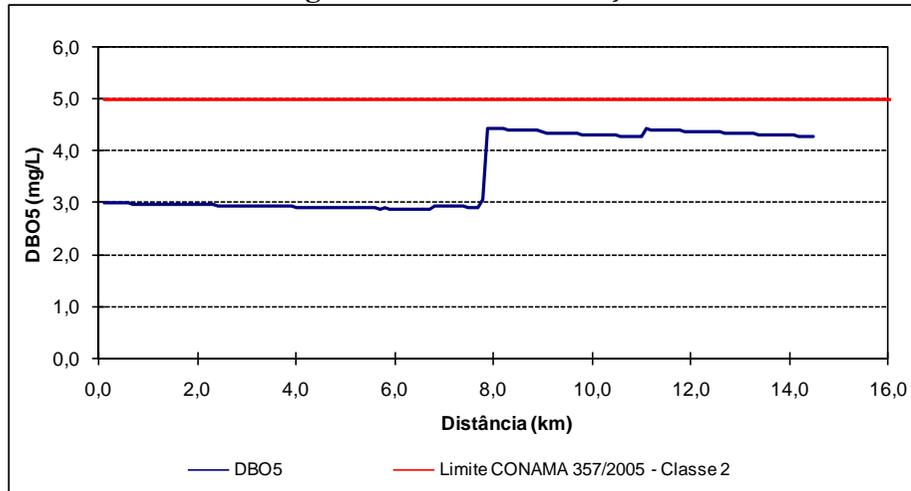


FIGURA 6.1.8.166 – Ig. Pacu – DBO – Etapa: Operação

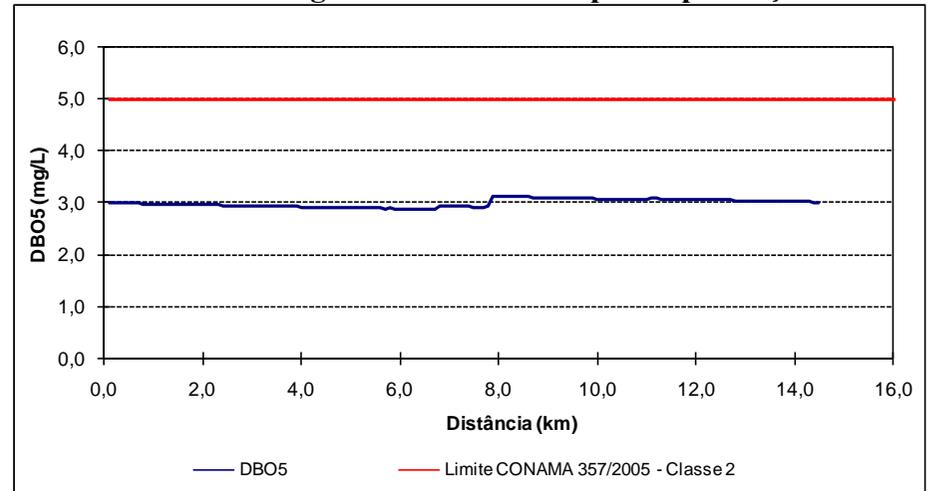


FIGURA 6.1.8.167 – Ig. Pacu – DBO – Etapa: Fechamento

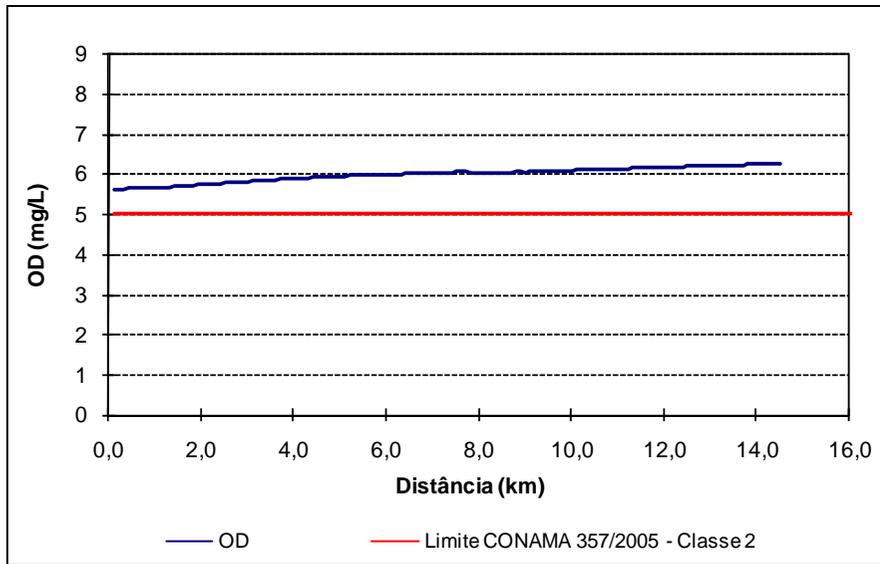


FIGURA 6.1.8.168 – Ig. Pacu – OD – Situação Atual

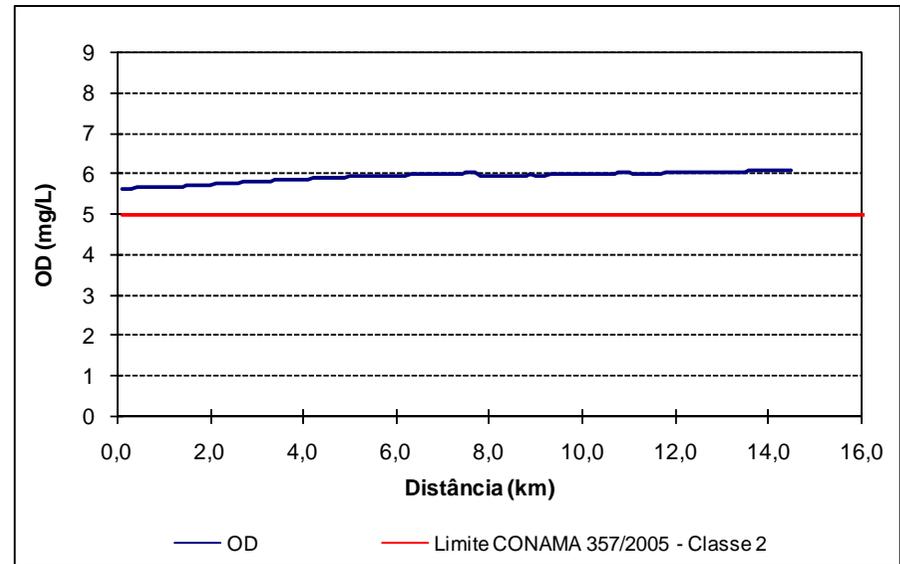


FIGURA 6.1.8.169 – Ig. Pacu – OD – Etapa: Implantação

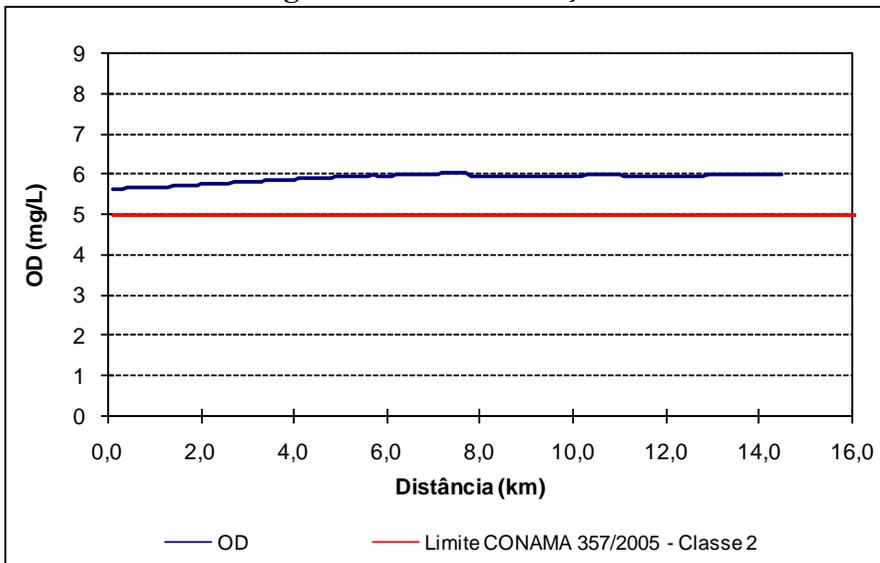


FIGURA 6.1.8.170 – Ig. Pacu – OD – Etapa: Operação

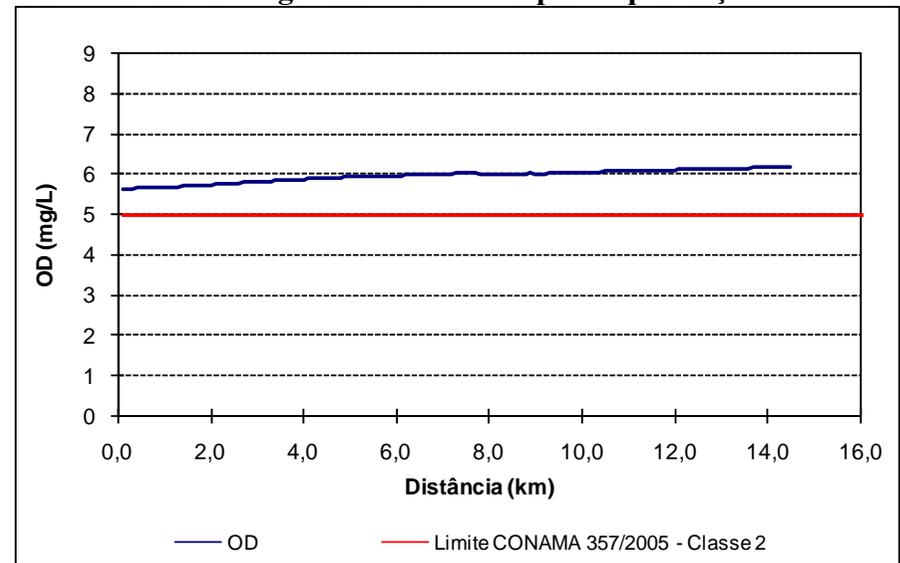


FIGURA 6.1.8.171 – Ig. Pacu – OD – Etapa: Fechamento

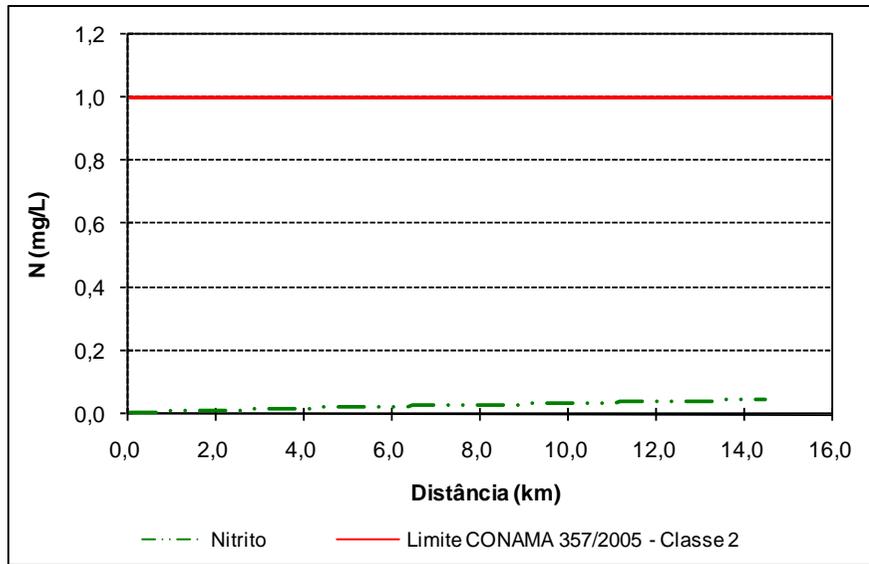


FIGURA 6.1.8.172 – Ig. Pacu – Nitrito – Situação Atual

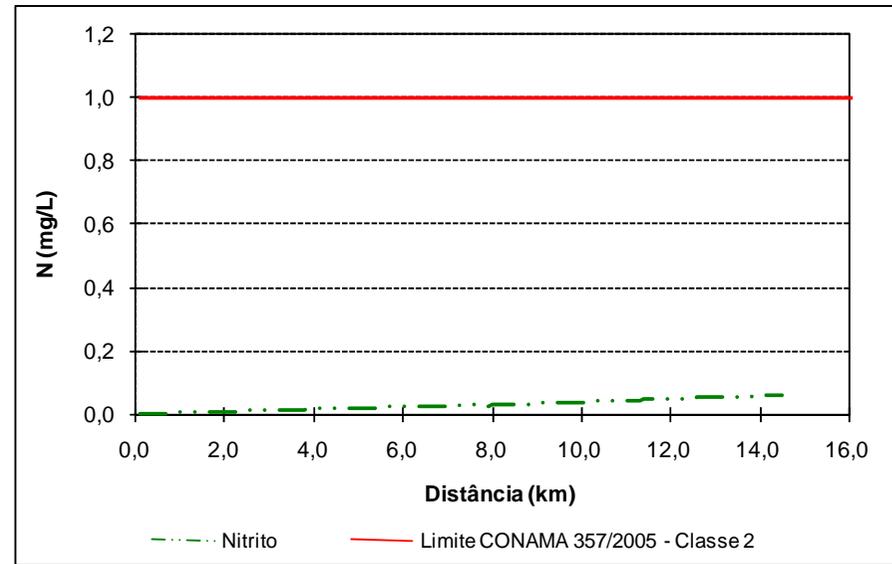


FIGURA 6.1.8.173 – Ig. Pacu – Nitrito – Etapa: Implantação

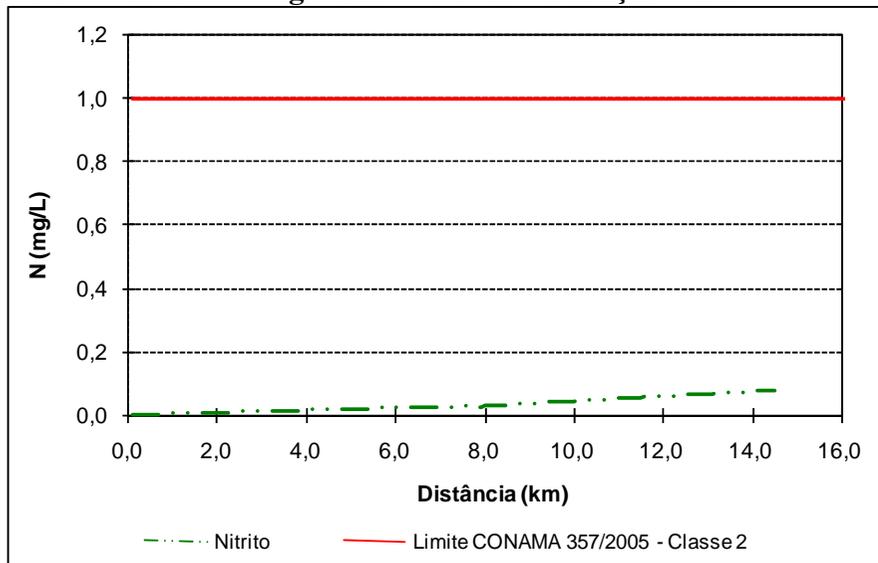


FIGURA 6.1.8.174 – Ig. Pacu – Nitrito – Etapa: Operação

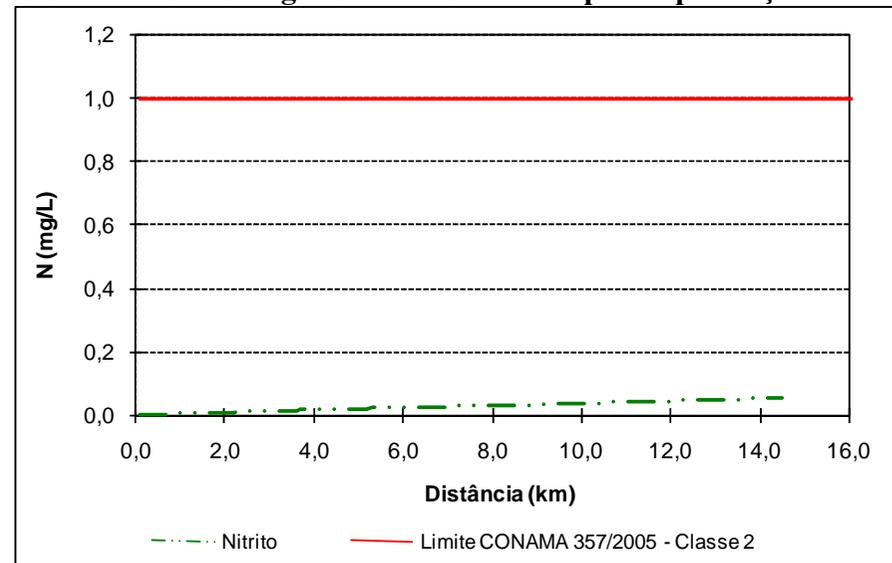


FIGURA 6.1.8.175 – Ig. Pacu – Nitrito – Etapa: Fechamento

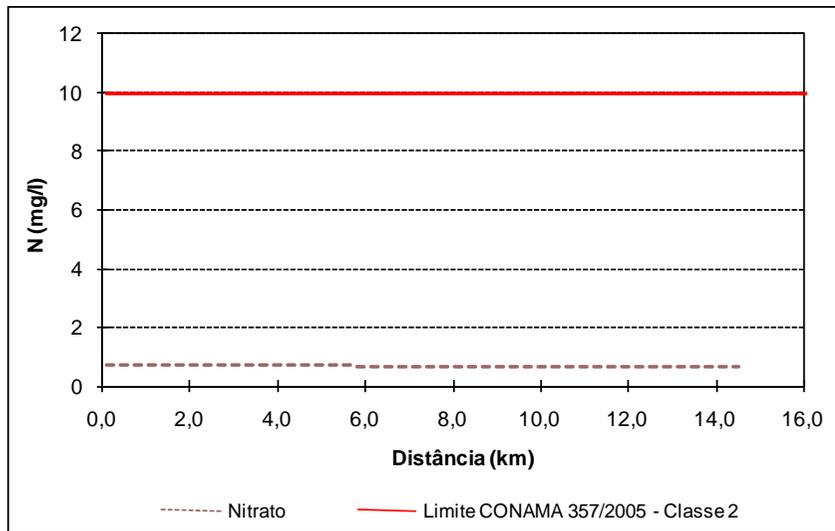


FIGURA 6.1.8.176 – Ig. Pacu – Nitrato – Situação Atual

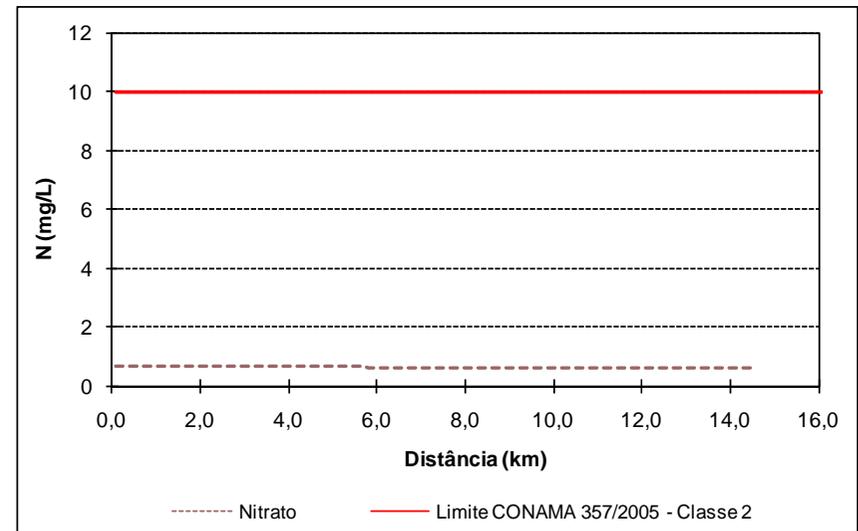


FIGURA 6.1.8.177 – Ig. Pacu – Nitrato – Etapa: Implantação

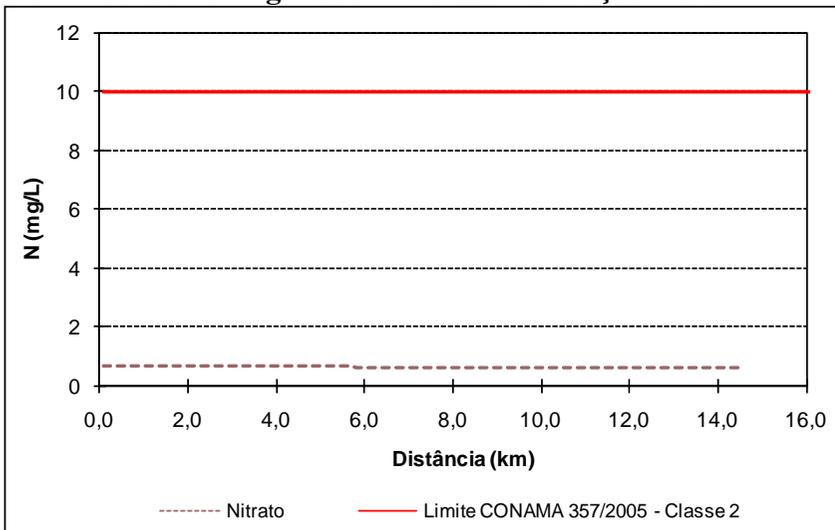


FIGURA 6.1.8.178 – Ig. Pacu – Nitrato – Etapa: Operação

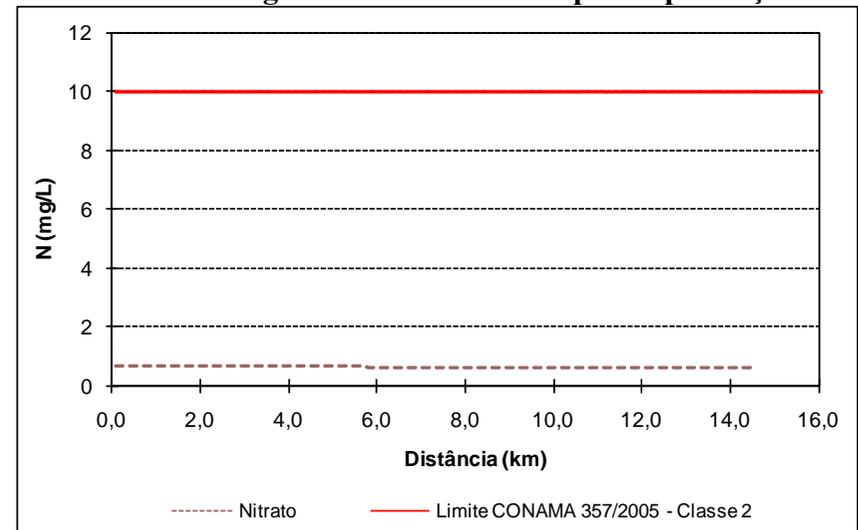


FIGURA 6.1.8.179 – Ig. Pacu – Nitrato – Etapa: Fechamento

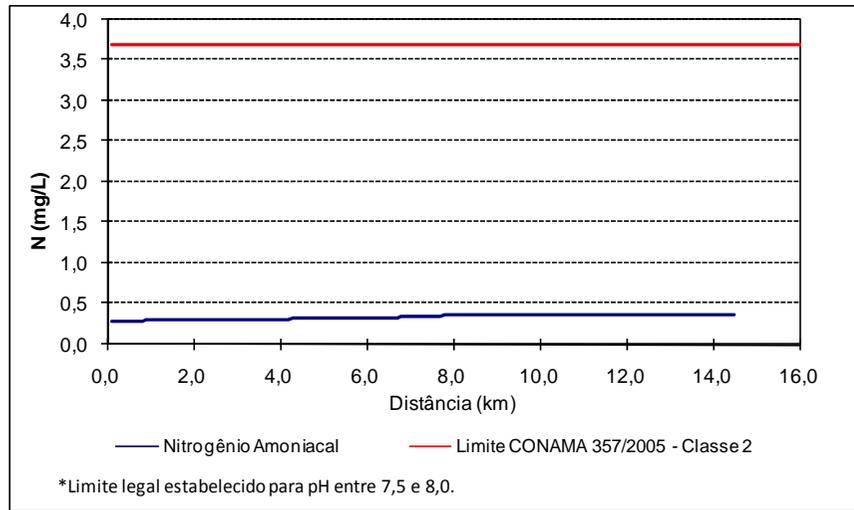


FIGURA 6.1.8.180 – Ig. Pacu – Nitrogênio Amoniacal – Situação Atual

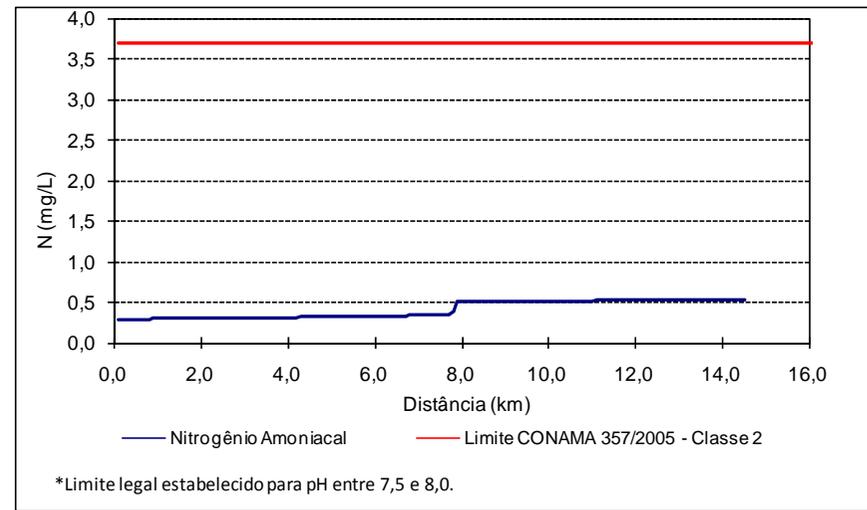


FIGURA 6.1.8.181 – Ig. Pacu – Nitrogênio Amoniacal – Etapa: Implantação

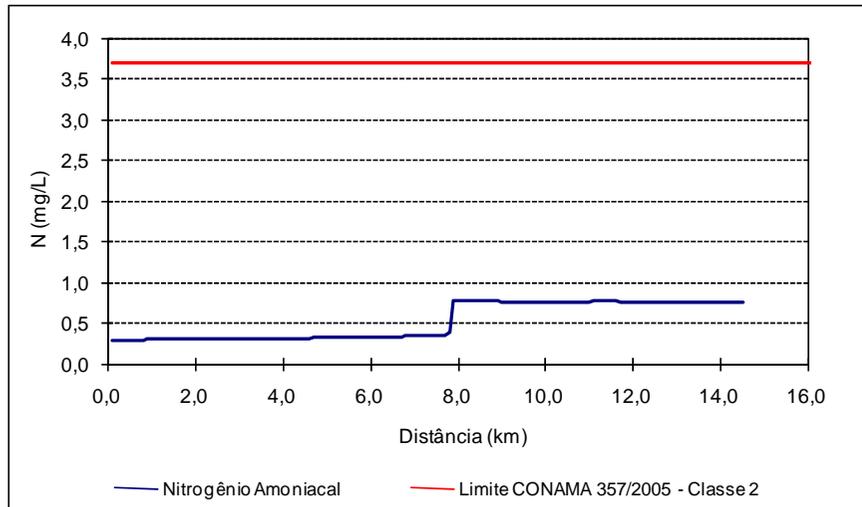


FIGURA 6.1.8.182 – Ig. Pacu – Nitrogênio Amoniacal – Etapa: Operação

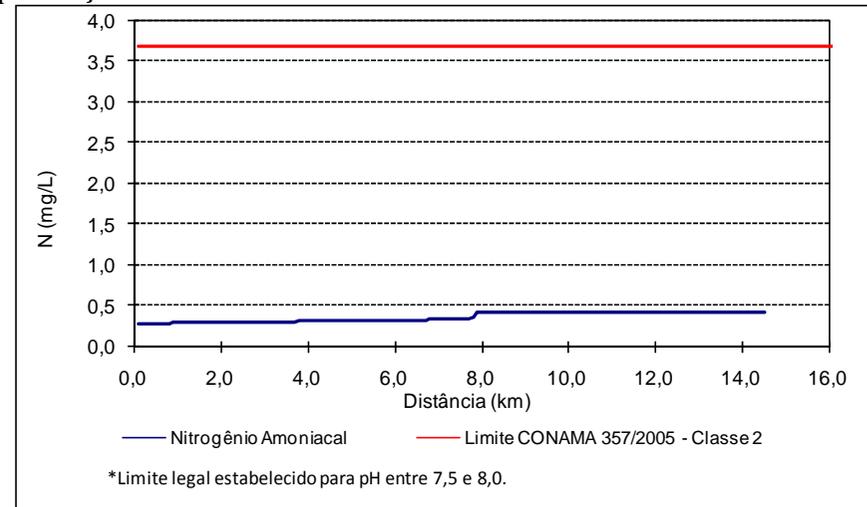


FIGURA 6.1.8.183 – Ig. Pacu – Nitrogênio Amoniacal – Etapa: Fechamento

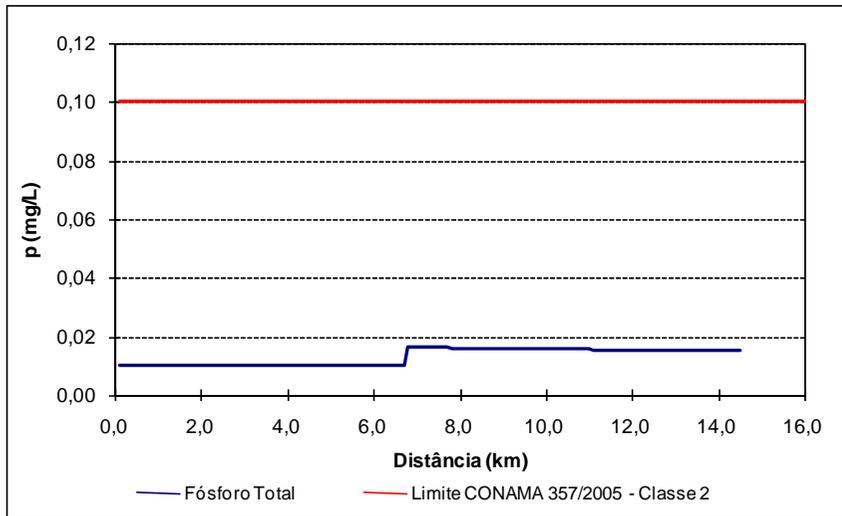


FIGURA 6.1.8.184 – Ig. Pacu – Fósforo Total – Situação Atual

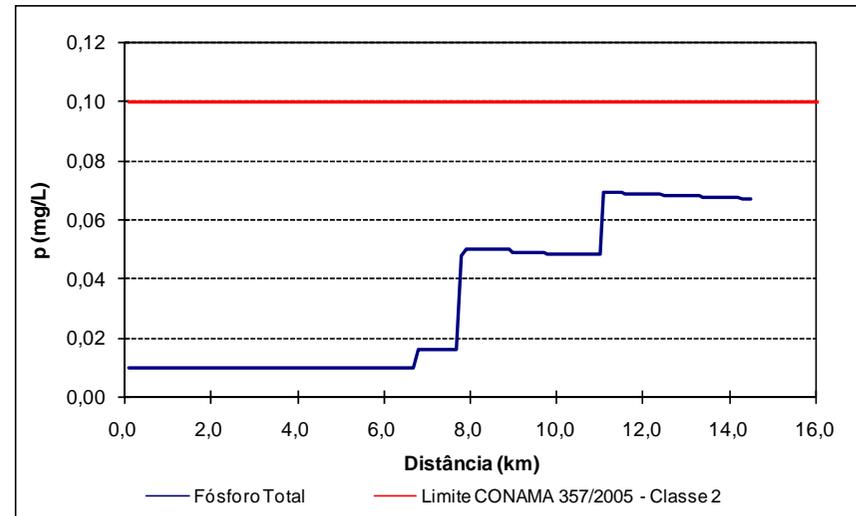


FIGURA 6.1.8.185 – Ig. Pacu – Fósforo Total – Etapa: Implantação

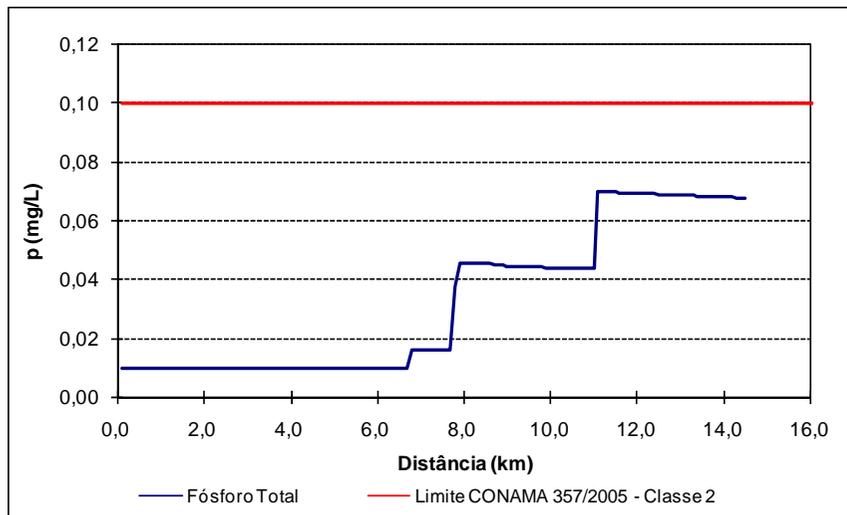


FIGURA 6.1.8.186 – Ig. Pacu – Fósforo Total – Etapa: Operação

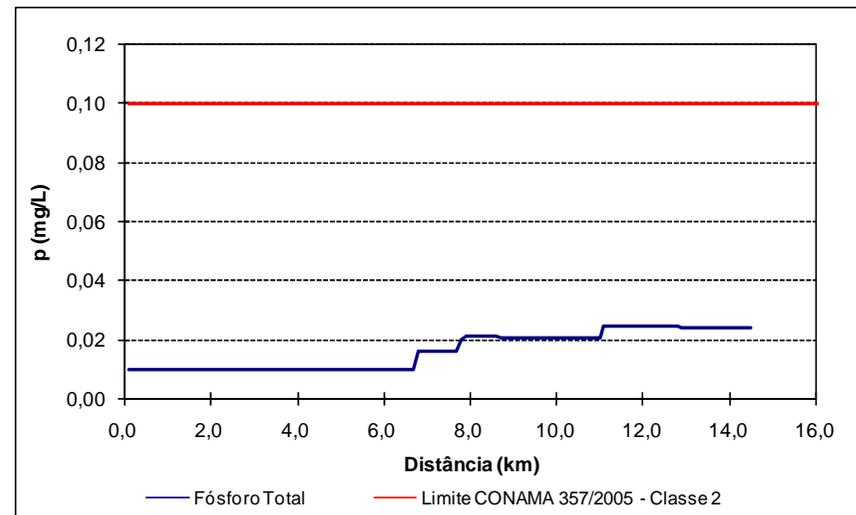


FIGURA 6.1.8.187 – Ig. Pacu – Fósforo Total – Etapa: Fechamento

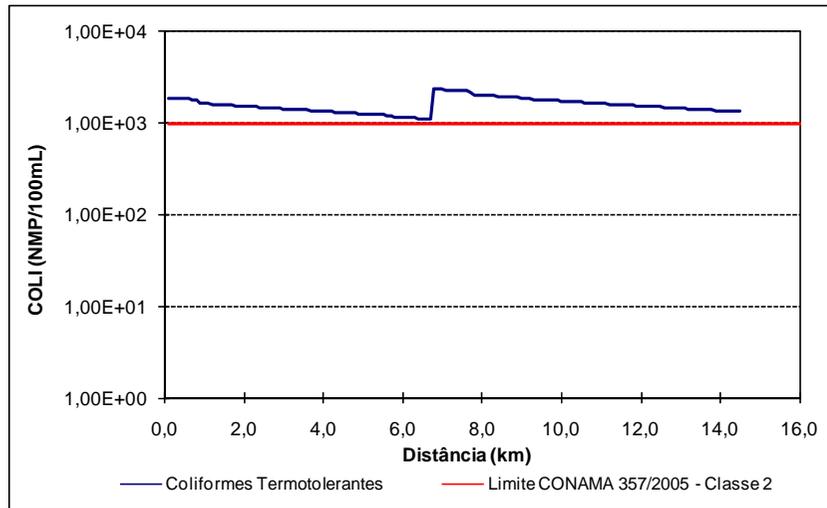


FIGURA 6.1.8.188 – Ig. Pacu – Coliformes Termotolerantes – Situação Atual

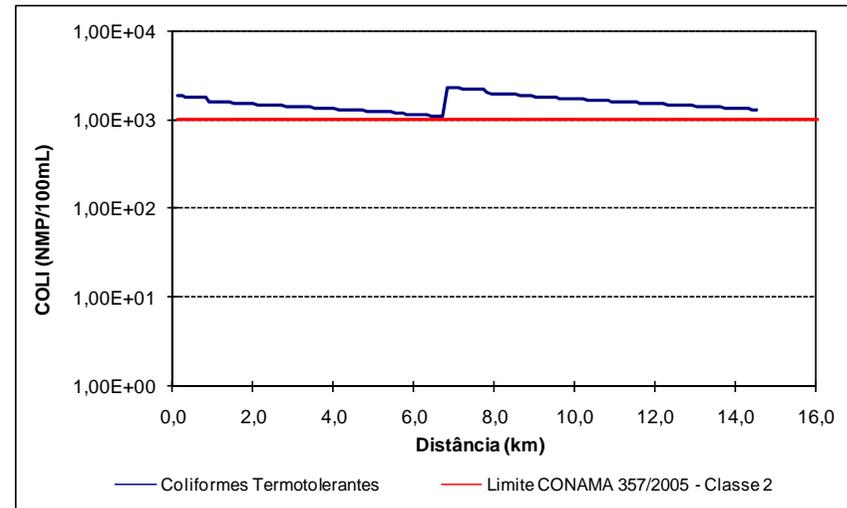


FIGURA 6.1.8.189 – Ig. Pacu – Coliformes Termotolerantes – Etapa: Implantação

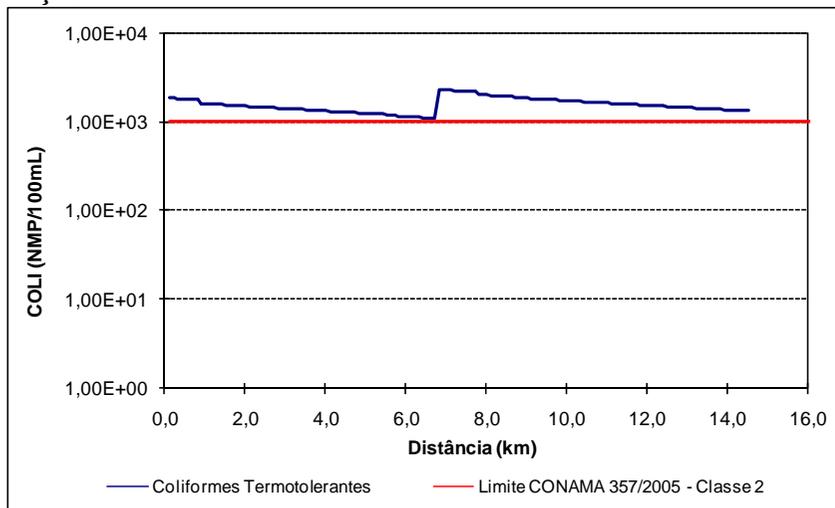


FIGURA 6.1.8.190 – Ig. Pacu – Coliformes Termotolerantes – Etapa: Operação

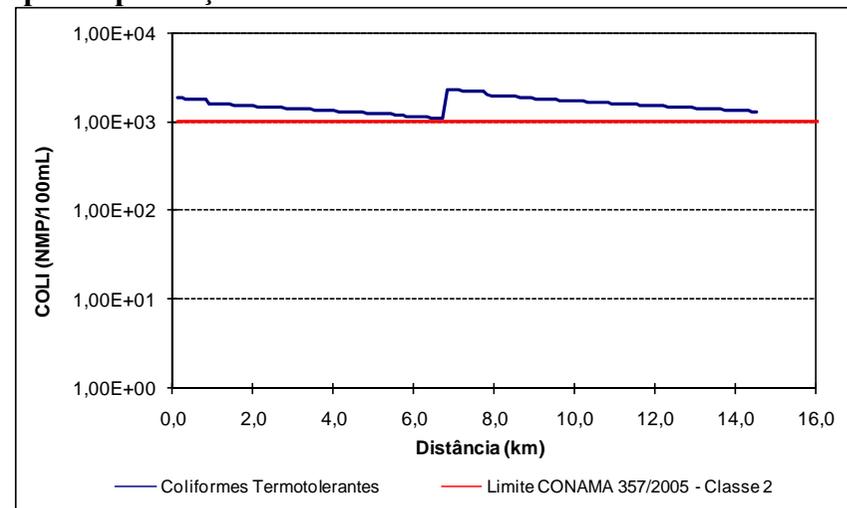


FIGURA 6.1.8.191 – Ig. Pacu – Coliformes Termotolerantes – Etapa: Fechamento

Conforme pode ser visto nas **Figuras 6.1.8.160 a 6.1.8.191**, os efluentes provenientes do Projeto Ferro Carajás S11D deverão alterar muito pouco a qualidade do igarapé Pacu, em todas as etapas do empreendimento.

Da mesma forma como ocorreu no igarapé Sossego, comparando-se as vazões do igarapé Pacu, na situação atual, com as situações com o empreendimento, o aumento da vazão, devido ao lançamento de efluentes do empreendimento é imperceptível. Isto ocorre devido à vazão do igarapé Pacu (0,373 m³/s na foz) ser significativamente superior à vazão dos efluentes lançados na bacia (0,0042 m³/s, na etapa de operação).

Próximo ao km 8 verifica-se uma elevação, em relação à situação atual, nas concentrações dos parâmetros DBO, nitrogênio amoniacal e fósforo total. Isto ocorre devido ao lançamento de efluentes da ETEQ, estação de tratamento que trata o chorume, que apresenta elevadas concentrações dos referidos constituintes. Isto explica a elevação dos referidos parâmetros no rio Sossego, após a confluência com o igarapé Pacu.

Nos gráficos onde são apresentados os valores de fósforo total, além do ponto de lançamento do efluente da ETEQ, pode-se verificar outros pontos de valores elevados, se comparando a situação atual com as situações com o empreendimento. Isto ocorre devido ao referido parâmetro estar relacionado a efluentes domésticos, que correspondem aos efluentes lançados na bacia. Entretanto, o igarapé Pacu possui capacidade para assimilação dos efluentes, como pode ser verificado, uma vez que o referido parâmetro não ultrapassou, em nenhum momento, os limites legais permitidos para águas Classe 2.

Apenas o parâmetro coliformes termotolerantes encontra-se fora dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para corpos de água Classe 2. Entretanto, esta condição não ocorre devido ao empreendimento, uma vez que já é verificada na situação atual. Os elevados valores de coliformes termotolerantes ocorrem, provavelmente, devido à predominância da pastagem na região e ao lançamento de efluentes da Vila de Mozartinópolis, que ocorre próximo ao km 7.

Equação da mistura para os parâmetros não considerados na modelagem de qualidade das águas

Conforme apresentado no **item 1.4.3**, referente aos procedimentos metodológicos adotados para o estudo de autodepuração, apresentado anteriormente, para os parâmetros não considerados na modelagem de qualidade das águas, com possibilidade de estarem presentes nos efluentes do projeto e com padrões estabelecidos para corpos de água Classe 2, foi aplicada a equação da mistura, com o objetivo de verificar a capacidade de assimilação dos efluentes pelos cursos de água.

É importante destacar que foram considerados que todos os parâmetros serão lançados no curso de água atendendo aos limites estabelecidos para lançamento de efluentes, artigo 34 da Resolução CONAMA n°. 357/2005 e Resolução CONAMA n°. 397/2008.

Com exceção do parâmetro sólidos dissolvidos, todos os demais parâmetros previstos nos esgotos domésticos com padrão ambiental estabelecido para a Classe 2 foram considerados no estudo de autodepuração. Desta forma, para os efluentes domésticos, o estudo da futura qualidade das águas pela equação da mistura considerou apenas o parâmetro sólidos dissolvidos. Para tanto, foi verificada a pior situação, cujo resultado está apresentado na **Tabela 6.1.8.34**.

TABELA 6.1.8.34

RESULTADOS OBTIDOS COM A EQUAÇÃO DA MISTURA – EFLUENTE DOMÉSTICO.

Parâmetro	Efluente Tratado**	Igarapé Pacu – PM: F01	Concentração no rio, após a mistura (C ₀)	Padrão Classe 2*
Vazão (m ³ /s)	Q _e = 0,0021	Q _r = 0,361	-	-
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	700	76	80	500

PM – ponto de monitoramento utilizado como referência dos dados de qualidade das águas;

Q_e – vazão do efluente tratado; Q_r – vazão do rio;

* Padrão estabelecido pela Resolução CONAMA n.º. 357/2005;

** Efluente tratado, na etapa de operação, proveniente do apoio administrativo (alojamento, escritório central, restaurante central, centro de treinamento), ambulatório, brigada de incêndio, armazém MRO, oficina da usina, portaria e sala de controle.

Já para os efluentes provenientes da ETEQ (estação que trata o chorume), que apresentam uma grande variabilidade em sua composição, a equação da mistura foi realizada para todos os parâmetros que podem estar presentes no referido efluente e presentes na Resolução CONAMA n.º. 357/2005, para corpos de água classe 2, não considerados no estudo de autodepuração.

É importante destacar, como já mencionado, que os valores estimados para o chorume a ser gerado no aterro sanitário do Projeto Ferro Carajás S11D devem ser muito inferiores aos limites superiores apresentados no **item 1.4.3**, referente aos procedimentos metodológicos adotados para o estudo de autodepuração, uma vez que haverá triagem dos resíduos (removendo os compostos metálicos) e compostagem dos resíduos orgânicos (reduzindo a concentração de compostos orgânicos).

Na **Tabela 6.1.8.35** é apresentado o resultado da equação da mistura, mostrando o valor máximo do efluente tratado a ser lançado, de forma a não alterar a classe do curso de água e atendendo ao padrão de lançamento de efluentes (Resolução CONAMA n.º. 357/2005).

TABELA 6.1.8.35**RESULTADOS OBTIDOS COM A EQUAÇÃO DA MISTURA – EFLUENTE DA ETEQ.**

Parâmetro	Efluente Tratado da ETEQ	Afluente 03 do Igarapé Pacu** PM: MU 35	Concentração no rio, após a mistura (C ₀)	Padrão Classe 2*
Vazão (m ³ /s)	Q _e = 0,0005	Q _r = 0,025	-	-
Cloreto total (mg/L)	11.000	2,0	205,9	250
Sulfato total (mg/L)	1.800	1,0	34,4	250
Chumbo total (mg/L)	0,4	0,002	0,01	0,01
Manganês total (mg/L)	5,3	0,002	0,1	0,1
Zinco (mg/L)	5,0	0,007	0,10	0,18
Cádmio total (mg/L)	0,001	0,001	0,001	0,001
Cromo total (mg/L)	0,5	0,002	0,01	0,05

PM – ponto de monitoramento utilizado como referência dos dados de qualidade das águas;

* Padrão estabelecido pela Resolução CONAMA n°. 357/2005;

** Afluente ao Igarapé Pacu, que receberá o efluente tratado da ETEQ, conforme apresentado nos diagramas unifilares.

e) Substâncias, entre aquelas previstas na Resolução CONAMA 357/05 para padrões de qualidade de água, que poderão estar contidas no efluente lançado

Os efluentes a serem lançados nos corpos de água serão aqueles provenientes dos sistemas de tratamento de efluentes domésticos (ETEs) e da estação de tratamento de efluentes químicos (ETEQ) que será implantada na área do aterro sanitário para tratamento do chorume.

Na **Tabela 6.1.8.36**, apresentada a seguir, são mostradas as substâncias que poderão estar contidas no efluente lançado, típicas de efluentes brutos domésticos (von Sperling, 2005) e previstas na Resolução CONAMA n°. 357/2005. Na referida tabela são apresentados também os respectivos padrões de lançamento de efluentes e padrões de corpos de água Classe 2 para cada substância.

TABELA 6.1.8.36

SUBSTÂNCIAS QUE PODERÃO ESTAR CONTIDAS NO EFLUENTE DOMÉSTICO DO PROJETO, PREVISTAS NA RESOLUÇÃO CONAMA N°. 357/2005

Parâmetro	Padrão de Lançamento*	Padrão de Corpo de Água Classe 2*
pH	5 a 9	6 a 9
Sólidos em suspensão (mg/L)	Ausente	Virtualmente ausente
Sólidos dissolvidos (mg/L)	-	500
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	< 1	-
DBO ₅ (mg/L)	-	5
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	20	3,7 para pH ≤ 7,5 2,0 para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 para 8,0 < pH ≤ 8,5
Nitrito (mg/L)	-	1
Nitrato (mg/L)	-	10
Fósforo total (mg/L)	-	0,1
Coliformes Fecais – Termotolerantes (NMP/100 mL)	-	10 ³

* Padrões estabelecidos na Resolução CONAMA n°. 357/2005 e Resolução CONAMA n°. 397/2008;

Fonte: adaptado de von Sperling, 2005.

Com relação à composição química e microbiológica do chorume, nota-se que a mesma é bastante complexa e variável e depende de diversos fatores, dentre os quais: condições ambientais, composição dos resíduos que chegam ao aterro, forma de operação do aterro e, principalmente, da dinâmica dos processos de decomposição que ocorre no interior das células do aterro sanitário.

Na **Tabela 6.1.8.37** são apresentadas as substâncias que poderão estar contidas no efluente lançado da ETEQ, típicas de chorumes de aterros brasileiros (IESA, 1993 *apud* “Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos”, 2001) e previstas na Resolução CONAMA nº. 357/2005.

TABELA 6.1.8.37

SUBSTÂNCIAS QUE PODERÃO ESTAR CONTIDAS NO EFLUENTE DA ETEQ DO PROJETO, PREVISTAS NA RESOLUÇÃO CONAMA Nº. 357/2005

Parâmetro	Padrão de Lançamento*	Padrão de Corpo de Água Classe 2*
pH	5 a 9	6 a 9
Nitrato (mg/L)	-	10
Nitrito (mg/L)	-	1
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	20	3,7 para pH ≤ 7,5 2,0 para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 para 8,0 < pH ≤ 8,5
DBO (mg/L)	-	5
Cloreto total (mg/L)	-	250
Sulfato total (mg/L)	-	250
Fósforo total (mg/L)	-	0,1
Chumbo total (mg/L)	0,5	0,01
Manganês total (mg/L)	-	0,1
Zinco total (mg/L)	5,0	0,18
Cádmio total (mg/L)	0,2	0,001
Cromo total (mg/L)	Hexavalente: 0,1 Trivalente: 1	0,05
Coliformes Fecais – Termotolerantes (NMP/100mL)	-	10 ³

* Padrões estabelecidos na Resolução CONAMA nº. 357/2005 e Resolução CONAMA nº. 397/2008;
Fonte: adaptado de IESA, 1993 *apud* “Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos”, 2001.

f) Substâncias presentes no efluente lançado, não contempladas na Resolução CONAMA 357/05

Conforme já mencionado, os efluentes a serem lançados nos corpos de água serão aqueles provenientes dos sistemas de tratamento de efluentes domésticos (ETEs) e da estação de tratamento de efluentes químicos (ETEQ) que será implantada na área do aterro sanitário para tratamento do chorume.

Na **Tabela 6.1.8.38**, apresentada a seguir, são mostradas as substâncias que poderão estar contidas no efluente lançado, típicas de efluentes brutos domésticos (von Sperling, 2005), não previstas na Resolução CONAMA n°. 357/2005.

TABELA 6.1.8.38

SUBSTÂNCIAS QUE PODERÃO ESTAR CONTIDAS NO EFLUENTE DOMÉSTICO DO PROJETO, NÃO PREVISTAS NA RESOLUÇÃO CONAMA N°. 357/2005

Parâmetro
Alcalinidade total (mg/L)
Sólidos totais (mg/L)
DQO (mg/L)
Nitrogênio total (mg/L)
Nitrogênio orgânico (mg/L)
Fósforo orgânico (mg/L)
Fósforo inorgânico (mg/L)

Fonte: adaptado de von Sperling, 2005.

Também conforme já mencionado, a composição química e microbiológica do chorume é bastante complexa, variável e depende de diversos fatores, dentre os quais: condições ambientais, composição dos resíduos que chegam ao aterro, forma de operação do aterro e, principalmente, da dinâmica dos processos de decomposição que ocorre no interior das células do aterro sanitário.

Na **Tabela 6.1.8.39** são apresentadas as substâncias que poderão estar contidas no efluente lançado da ETEQ, típicas de chorumes de aterros brasileiros (IESA, 1993 *apud* “Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos”, 2001), não previstas na Resolução CONAMA n°. 357/2005.

TABELA 6.1.8.39

SUBSTÂNCIAS QUE PODERÃO ESTAR CONTIDAS NO EFLUENTE DA ETEQ DO PROJETO, NÃO PREVISTAS NA RESOLUÇÃO CONAMA N°. 357/2005

Parâmetro
Nitrogênio total – Kjeldahl (mg/L)
DQO (mg/L)
Cobre total (mg/L)
Ferro total (mg/L)
Coliformes totais (NMP/100mL)

Fonte: adaptado de IESA, 1993 *apud* “Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos”, 2001.

g) Situação da área diretamente afetada pelo empreendimento em relação aos corpos receptores

Segundo o levantamento de campo realizado na área diretamente afetada pelo empreendimento (ADA), os corpos receptores localizados na região são essencialmente utilizados para o abastecimento para consumo humano e para dessedentação de animais, com destaque para a pecuária extensiva de corte. A porção da ADA ao sul/sudeste da Floresta Nacional de Carajás compreende um total de 33 propriedades, além da vila de Mozartinópolis.

Os mananciais utilizados para o suprimento de água da vila de Mozartinópolis e da área rural de seu entorno são cisternas e os igarapés Sossego e Pacu, como também seus afluentes e nascentes. Além destes, é comum a formação de pequenas cacimbas ou açudes para acumulação de água e dessedentação de rebanhos. Não foram identificadas culturas irrigadas, sendo que, em sua maioria, estas se destinam à subsistência (milho, feijão, arroz, mandioca e hortaliças).

Na região da ADA e AID também não foram identificados lançamentos de efluentes industriais. Dessa forma, os efluentes existentes na região correspondem aos efluentes provenientes da Vila de Mozartinópolis. O referido efluente foi considerado na simulação da qualidade das águas da região e entrou no modelo como carga pontual no igarapé Pacu estando, desta forma, a favor da segurança. A localização do ponto de lançamento, juntamente com os resultados da simulação da situação atual da qualidade das águas podem ser verificados na **Figura 6.1.8.118 – Anexo XIII-G**.

Cabe destacar que a caracterização dos corpos de água presentes na área diretamente afetada pelo empreendimento, em relação à qualidade das águas, encontra-se apresentada nos **itens a e b** do presente tópico.

h) Metodologias utilizadas e critérios de escolha dos pontos de amostragem

A descrição completa da metodologia adotada para elaboração do diagnóstico da qualidade das águas encontra-se apresentada no **item 1.3.1.g**.

A escolha dos pontos amostrados utilizou como premissa a localização do plano diretor do empreendimento e as suas possíveis interferências futuras na qualidade das águas superficiais dos corpos de água inseridos na região do empreendimento. Quanto às datas, foram realizadas amostragens considerando a sazonalidade:

- 1ª campanha, entre os dias 08/10/2007 e 26/10/2007, caracterizando o período de estiagem.
- 2ª campanha, entre os dias 11/02/2008 a 07/03/2008, caracterizando o período chuvoso.

Ressalta-se que, conforme descrito no item **item 1.3.1.g** de metodologia, as normas e listadas a seguir foram utilizadas quando da elaboração do diagnóstico da qualidade das águas:

- ABNT NBR 12.649 – Caracterização de cargas poluidoras na mineração, Procedimentos.
- ABNT NBR 9.897 – Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores, Procedimentos.
- ABNT NBR 9.898 – Preservação de técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores, Procedimentos.

Os procedimentos analíticos executados em campo e em laboratório seguiram os critérios estabelecidos no “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” - 21ª Edição e pela “*EPA – Environmental Protection Agency*”.

i) Mapeamento das nascentes e vazão das mesmas situadas dentro da área de influência direta pelo empreendimento

A Mdgeo (2006) realizou um inventário de pontos de água na região da serra Sul, obtendo 24 nascentes de água. Esse inventário abrangeu quatro bacias hidrográficas: igarapé Sossego, igarapé Serra Sul, igarapé Pacu e sub-bacias leste e oeste do rio Itacaiúnas.

Posteriormente, um novo inventário foi realizado nessa região por Mdgeo (2008) e obteve 35 nascentes, das quais 4 foram inventariadas no trabalho anterior conforme pode ser observado na **Figura 6.1.8.111** do **Anexo XIII-F**. Os dados apresentados a seguir foram extraídos e compilados dos inventários realizados pela Mdgeo (2006 e 2008).

– Bacia do Igarapé Sossego

A bacia do igarapé Sossego abrange uma área aproximada de 53,6km² dentro do limite do inventário, contornando o Bloco “D” nas suas vertentes norte e leste e corresponde às drenagens que dão origem ao igarapé Sossego, afluente da margem esquerda do rio Parauapebas.

Em 2006, a Mdgeo inventariou 7 nascentes nessa bacia hidrográfica, enquanto que em 2008, a mesma empresa identificou 19 nascentes. As **Tabelas 6.1.8.40** e **6.1.8.41** apresentam as coordenadas e os parâmetros medidos em campo para essas nascentes.

TABELA 6.1.8.40

NASCENTES INVENTARIADAS NA BACIA DO IGARAPÉ SOSSEGO

Código	Bacia	Data	Coordenadas UTM		Cota (m)	T ar (°C)	T água (°C)	CE (µS/cm)	pH	Eh (mV)	Vazão (m ³ /h)
			E	N							
SSNA01	Sossego	2/10/2005	571144	9294208	613	30	23,2	8	5,73	-70	0,5
SSNA02	Sossego	2/10/2005	571237	9294278	604	26	22,9	5	5,8	250	4
SSNA10	Sossego	19/10/2005	572091	9295302	560	30	24,3	59	6,75	113	<0.5
SSNA19	Sossego	7/11/2005	575407	9293494	579	25	26,7	6	5,81	140	5
SSNA25	Sossego	7/11/2005	575774	9293957	506	27	25	8	7,06	62	1
SSNA40	Sossego	9/11/2005	573137	9293209	616	25	26,8	4	7,2	117	2
SSNA41	Sossego	9/11/2005	572945	9293156	620	28	25	1	6,97	275	1,5

Fonte: Mdgeo, 2006.

TABELA 6.1.8.41

NASCENTES INVENTARIADAS NA BACIA DO IGARAPÉ SOSSEGO

Código	Data	Coordenadas UTM		Cota (m)	T ar (°C)	T água (°C)	CE (µS/cm)	pH	Eh (mV)	STD (ppm)	vazão (L/s)
		E	N								
F3NA41	30/8/07	573090	9293213	644	26,6	24,70	23,00	5,64	-	11	0,1
F3NA41B	30/8/07	573101	9293231	644	26,6	30,70	27,00	5,59	-	15	2,0
F3NA40	30/8/07	573004	9293148	636	26,3	25,60	7,00	4,78	-	3	2,0
F3NA181	31/8/07	573126	9293403	628	25,6	26,00	26,00	5,30	-	10	0,2
F3NA182	31/8/07	573236	9293410	628	26,2	26,60	15,00	5,40	-	9	0,1
F3NA183	31/8/07	573270	9293369	634	26,4	24,70	6,00	4,85	-	2	0,5
F3NA184	1/9/07	572477	9296101	649	25,6	23,40	13,00	6,06	-	6	0,1
F3NA185	1/9/07	572611	9296139	638	26,4	24,00	11,00	4,94	-	5	0,3
F3NA19	2/9/07	575941	9293500	597	26,7	27,00	9,00	5,43	-	4	3,0
F3NA187	2/9/07	575697	9293647	568	26,7	27,40	9,00	4,89	-	5	0,5
F3NA188	2/9/07	575361	9293592	583	26,9	25,60	49,00	6,12	-	24	2,0
F3NA189	3/9/07	575518	9294045	532	25,7	24,30	39,00	5,71	-	20	2,0
F3NA191	4/9/07	576688	9290622	455	25,5	23,40	43,00	6,40	-	21	0,2
F3NA192	4/9/07	576894	9290139	422	26,4	25,10	37,00	5,95	-	18	0,2
F3NA195	4/9/07	576734	9289883	436	26,8	25,20	48,00	6,72	-	23	0,5
F3NA196	6/9/07	576221	9291324	571	22,0	23,20	43,8	6,20	97	-	>0,1
F3NA198	6/9/07	576018	9290966	580	25,9	24,60	14,52	5,10	228	-	0,5
F3NA199	6/9/07	577286	9290555	453	27,5	24,90	15,97	5,10	230	-	1,0
F3NA201	7/9/07	577417	9292606	520	26,4	26,50	13,55	5,30	219	-	30-40

Fonte: Mdgeo, 2008.

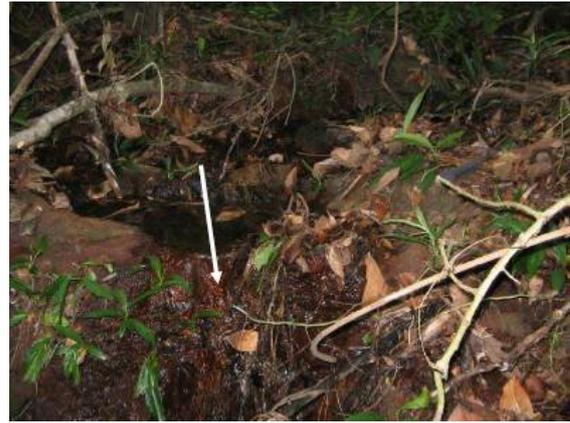
Dentre as nascentes inventariadas nesta bacia por Mdgeo (2008), a F3NA19, F3NA40 e F3NA41A e B já tinham sido inventariadas anteriormente por Mdgeo (2006), no qual receberam o nome de SSNA19, SSNA40 e SSNA41, respectivamente. Estas nascentes localizam-se no domínio da Formação Ferrífera.

O ponto SSNA19 (Mdgeo, 2006) ou F3NA19 (Mdgeo, 2008), localiza-se na cota 597m. Constitui uma nascente difusa e apresenta matéria orgânica abundante. De acordo com estes trabalhos, a água surge em vários pontos em meio a blocos de canga e jaspelito e possui uma vazão estimada que varia de 5m³/h (cerca de 1,4L/s) a 10,8m³/h (em torno de 3,0L/s). Sua vazão aumenta consideravelmente 500m a jusante (ponto de água denominado de F3PA22), alcançando o valor de 126m³/h (cerca de 35L/s). Provavelmente, este aumento de vazão ocorre devido a contribuições de água da Formação Ferrífera. As **Fotos 6.1.8.87 e 6.1.8.88** mostram essa nascente para os inventários de 2006 e 2008.



Fonte: Mdgeo, 2008.

FOTO 6.1.8.87 - Nascente F3NA19.



Fonte: Mdgeo, 2008.

FOTO 6.1.8.88 - Nascente SSNA19.

O ponto SSNA40 (Mdgeo, 2006) ou F3NA40 (Mdgeo, 2008), localiza-se na cota 636m e corresponde por uma nascente difusa, localizada próximo a uma quebra de relevo entre blocos de canga (**Foto 6.1.8.89**). Situado em um local cujo solo é argiloso de cor avermelhada, os trabalhos supracitados estimaram uma vazão de $7,2\text{m}^3/\text{h}$ (em torno de $2,0\text{L/s}$), com aumento considerável 150m a jusante (no ponto de água denominado F3PA42), atingindo o valor de $126\text{m}^3/\text{h}$ (cerca de 35L/s). Esta água corresponde a umas das saídas do Sistema Aquífero Carajás no Bloco “D”.



Fonte: Mdgeo, 2008.

FOTO 6.1.8.89 - Nascente F3NA40.

Como é possível observar na **Foto 6.1.8.90**, a nascente SSNA41 (Mdgeo, 2006) ou F3NA41A e F3NA41B (Mdgeo, 2008) está associada à canga laterítica, podendo ser observados outros pontos de surgência próximos. Sua vazão estimada é de $2\text{m}^3/\text{h}$ (cerca de $0,6\text{L/s}$).



Fonte: Mdgeo, 2006.

FOTO 6.1.8.90 - Nascente SSNA41.

Apresentando a maior vazão entre os pontos inventariados nessa bacia, a nascente F3NA201 localiza-se na cota 520m, na base de um paredão formado pela Formação Ferrífera, próximo ao contato com as rochas da Formação Parauapebas. A água surge em vários pontos entre blocos de canga rolados (**Foto 6.1.8.91**), a uma vazão estimada entre 108 e 144m³/h (cerca de 30 a 40L/s) em um trecho horizontal de cerca de 50 m. Esta surgência de água representa um dos principais exutórios da Formação Ferrífera no Bloco “D”.



Fonte: Mdgeo, 2008.

FOTO 6.1.8.91 - Nascente F3NA201.

Segundo Mdgeo (2008), a bacia do igarapé Pacu drena apenas na borda sul do Bloco “D” e possui uma área aproximada de 24,5km² dentro do limite do inventário. Suas águas deságuam no igarapé Sossego, fora da área do inventário.

Em 2006, a empresa Mdgeo inventariou 3 nascentes nessa bacia hidrográfica, enquanto que em 2008, identificou 8 nascentes. As **Tabelas 6.1.8.42** e **6.1.8.43** apresentam as coordenadas destes pontos e os parâmetros medidos em campo.

Dentre as nascentes inventariadas por Mdgeo (2008) nesta bacia hidrográfica, a nascente F3NA203 já tinha sido inventariada anteriormente por Mdgeo (2006), no qual a nomeou de SSNA84.

TABELA 6.1.8.42

NASCENTES INVENTARIADAS NA BACIA DO IGARAPÉ PACU

Código	Data	Coordenadas UTM		Cota (m)	T ar (°C)	T água (°C)	CE (µS/cm)	pH	Eh (mV)	Vazão (m³/h)
		E	N							
RPNA74	29/11/05	573107	9287897	358	32	24,9	38	6,2	294	1
SSNA84	6/12/05	572711	9290006	564	24,1	23,4	37	6,18	95	2
SSNA100	14/12/05	573710	9290364	567	31	24	60	6,44	44	0,5

Fonte: Mdgeo, 2006.

TABELA 6.1.8.43

NASCENTES INVENTARIADAS NA BACIA DO IGARAPÉ PACU

Código	Data	Coordenadas UTM		Cota (m)	T ar (°C)	T água (°C)	CE (µS/cm)	pH	Eh (mV)	vazão (L/s)
		E	N							
F3NA203	09/9/07	572765	9291016	717	23,6	23,4	6,41	7,4	99	0,1
F3NA204	9/9/07	572466	9289989	495	27,3	26,3	25,7	6,3	131	0,10
F3NA206	9/9/07	572260	9290471	630	26,8	25,1	82,1	6,5	127	0,5
F3NA207	10/9/07	573076	9290217	586	21,9	22,8	53,1	7,00	87	<0,1
F3NA208	10/9/07	573016	9289860	480	22,5	22,9	75,4	7,2	99	<0,1
F3NA216	22/9/07	574714	9289496	432	25,0	24,9	16,6	6,2	146	0,5
F3NA217	22/9/07	574779	9289620	465	24,6	25,8	26,9	6,0	158	0,2
F3NA218	22/9/07	575042	9288787	357	25,8	25,2	66,1	6,7	135	0,3

Fonte: Mdgeo, 2008.

O ponto RPNA74 representa a nascente do igarapé Pacu. Esta nascente apresenta um valor de vazão baixo e se faz em meio a uma área brejada, localizada em um pasto, não sendo assim possível sua associação a um litotipo (**Foto 6.1.8.92**).

A nascente SSNA100 (**Foto 6.1.8.93**) corresponde a um curso de água proveniente da serra e apresenta vazão inferior a 0,5m³/h (cerca de 0,14L/s).



Fonte: Mdgeo, 2006.

FOTO 6.1.8.92 - Nascente RPNA74.



Fonte: Mdgeo, 2006.

FOTO 6.1.8.93 - Nascente SSNA100.

A nascente cadastrada mais a montante nesta bacia foi denominada pela Mdgeo (2008) de F3NA203 (**Foto 6.1.8.94**), enquanto que Mdgeo (2006) a nomeou de SSNA84 (**Foto 6.1.8.95**). Localizada na cota 717m, esta nascente é difusa, onde surge água em vários pontos e corre sobre um solo argiloso escuro, rico em matéria orgânica. A vazão estimada é inferior a $0,5\text{m}^3/\text{h}$ (em torno de $0,14\text{L/s}$). Poucos metros a jusante desta nascente é marcado pela existência de um sumidouro, no qual a água se infiltra no talvegue e ressurge no ponto F3NA204.

A surgência localizada no ponto F3NA204 se encontra no domínio das rochas básicas, cota 495m. Representa uma nascente difusa, a água corre sobre um solo argiloso, amarelo-avermelhado, entre blocos de rocha básica e seixos de canga rolados (**Foto 6.1.8.96**). A vazão estimada é de $0,1\text{L/s}$. Em 2006, a vazão estimada foi de $0,5\text{L/s}$.



Fonte: Mdgeo, 2008.

FOTO 6.1.8.94 - Nascente F3NA203.



Fonte: Mdgeo, 2006.

FOTO 6.1.8.95 - Nascente F3NA204.



Fonte: Mdgeo, 2008.

FOTO 6.1.8.96 - Nascente F3NA204.

O ponto F3NA217 é uma nascente difusa, localizada no domínio das rochas básicas, cota 467m. A água surge próxima a uma quebra de relevo, sobre um solo argilo-arenoso, marrom escuro, rico em matéria orgânica (**Foto 6.1.8.97**) e uma vazão estimada de 0,7m³/h (cerca de 0,20L/s).



Fonte: Mdgeo, 2008.

FOTO 6.1.8.97 - Nascente F3NA217.

Registram-se, desse modo, que todas as surgências de água observadas nas vertentes do igarapé Pacu apresentam pequenas vazões e estão associadas a solos de natureza argilosa, provavelmente solos de alteração de rochas básicas, dominantes nessa região (Mdgeo, 2008).

– **Bacia do Igarapé Serra Sul**

Segundo Mdgeo 2008, a bacia do igarapé Serra Sul compreende às drenagens da porção norte dos Blocos C, B e parte dos Blocos A e D, com uma área aproximada de 19,1km² dentro do limite do inventário.

Em 2006, a empresa Mdgeo inventariou 2 nascentes nesta bacia hidrográfica, enquanto que em 2008 inventariou 5 nascentes. As **Tabelas 6.1.8.44 e 6.1.8.45** apresentam as coordenadas destes pontos e os parâmetros medidos em campo.

As nascentes SSNA53 e SSNA59 correspondem a dois braços de drenagens que deságuam no igarapé Serra Sul. Estas nascentes apresentam vazões baixas, respectivamente, de 3,0 e 0,5m³/h (cerca de 0,83 e 0,14L/s), respectivamente.

TABELA 6.1.8.44

NASCENTES INVENTARIADAS NA SUB-BACIA DO IGARAPÉ SERRA SUL

Código	Data	Coordenadas UTM		Cota (m)	T ar (°C)	T água (°C)	CE (µS/cm)	pH	Eh (mV)	Vazão (m ³ /h)
		E	N							
SSNA53	22/11/05	567453	9297492	672	26	25,2	9	6,13	108	3
SSNA59	23/11/05	568325	9296405	655	26	24,4	6	5,34	305	<0.5

Fonte: Mdgeo, 2006.

TABELA 6.1.8.45

NASCENTES INVENTARIADAS NA BACIA DO IGARAPÉ SERRA SUL

Código	Data	Coordenadas UTM		Cota (m)	T ar (°C)	T água (°C)	C.E (µS/cm)	pH	Eh (mV)	Vazão (m³/h)
F3NA210	11/9/2007	570310	9293989	624	25,8	24,7	4,7	5,2	202	0,5
F3NA211	11/9/2007	569977	9294231	558	26,3	24,6	11,75	4,8	250	<0,1
F3NA221	26/9/2007	569733	9294465	544	25,2	23,2	14,87	5,4	183	<0,1
F3NA224	27/9/2007	568774	9294572	578	23,6	22,5	7,4	5,8	248	3
F3NA225	27/9/2007	569003	9294710	585	25	24,6	13,72	6,5	194	0,15
F3NA250	14/10/2007	569122	9294728	577	24,1	26,4	11	5,18	231	0,5
F3PA222	26/9/2007	569705	9294498	551	22,9	22,6	10,74	5,2	199	3
					22,9	23,2	14,87	5,4	183	2
					22,9	22,7	15,21	4,9	203	5
F3PA223	26/9/2007	569684	9294537	-	25,6	24,1	9,57	6,2	179	50
					25,6	22,7	15,21	4,9	203	5
					25,6	23,4	16,53	5,2	205	55
F3PA226	27/9/2007	569071	9294676	577	25,8	22,5	7,4	5,8	248	10
					25,8	24,6	13,72	6,5	194	0,5
					25,8	24,6	12,07	6,5	178	10,5

Fonte: Mdgeo, 2008.

O ponto SSNA53 é uma nascente pontual na drenagem que verte da Lagoa do Bloco B, e corresponde à água da lagoa que infiltra pela canga e possui um de seus deságües neste ponto. A nascente ocorre em meio a uma canga “*in situ*”, com poucos blocos, e está relacionada a uma fratura de direção NE-SW, na qual está encaixada parte da drenagem (**Foto 6.1.8.98**).

O ponto SSNA59 representa uma pequena nascente em meio à canga. Provavelmente, relacionada à água das chuvas (**Foto 6.1.8.99**).



Fonte: Mdgeo, 2006.

FOTO 6.1.8.98 - Nascente SSNA53.



Fonte: Mdgeo, 2006.

FOTO 6.1.8.99 - Nascente SSNA59.

A nascente F3NA210 localiza-se no domínio dos jaspelitos, cota 624 m. Ocorre de forma difusa em meio a blocos de canga e jaspelito (**Foto 6.1.8.100**). Sua vazão estimada é de 1,8m³/h (cerca de 0,50 L/s).



Fonte: Mdgeo, 2008.

FOTO 6.1.8.100 - Nascente F3NA210.

A nascente F3NA224 localiza-se no domínio da Formação Ferrífera, cota 578m. Ocorre próxima a uma quebra de relevo, dentro de um lago de aproximadamente 400m² e 2m de profundidade (**Foto 6.1.8.101**). A água verde deste lago formando um curso de água de aproximadamente 50cm de largura por 10cm de profundidade (**Foto 6.1.8.102**). Sua vazão estimada é de 108m³/h (cerca de 3,0 L/s), com aumento significativo de vazão 500m a jusante, alcançando o valor de 198m³/h (em torno de 55L/s) no ponto F3PA223. Provavelmente trata-se de um dos pontos de restituição de água do Sistema Aquífero Carajás.



Fonte: Mdgeo, 2008.

FOTO 6.1.8.101 - Lago onde se localiza a nascente F3NA224.



Fonte: Mdgeo, 2008.

FOTO 6.1.8.102 - Vertedouro natural do lago da nascente F3NA224.

– **Sub-Bacia Leste e Oeste do Rio Itacaiúnas**

A bacia do rio Itacaiúnas representa a maior bacia hidrográfica da Serra Sul e, por isso, foi dividida em sub-bacia do Itacaiúnas Leste e Itacaiúnas Oeste no Corpo S11. Dessa forma, o inventário realizado por Mdgeo (2006) cadastrou 7 nascentes na porção Leste e 5 na porção oeste. O inventário elaborado por Mdgeo (2008) levantou uma parte da sub-bacia do Itacaiúnas Leste, obtendo 3 nascentes. Nas **Tabelas 6.1.8.46 a 6.1.8.48** são apresentadas a localização desses pontos.

TABELA 6.1.8.46

PONTOS INVENTARIADOS NA SUB-BACIA DO ITACAIÚNAS LESTE

Código	Sub-Bacia	Data	Coordenadas UTM		Cota (m)	T ar (°C)	T água (°C)	CE (µS/cm)	pH	Eh (mV)	Vazão (m³/h)
			E	N							
F2NA146	Itacaiúnas Leste	11/9/06	566800	9295899	669	26,2	22,6	10	6,52	147	3,6
F2NA131	Itacaiúnas Leste	17/8/06	570695	9290865	661	25,1	22,6	8	5,52	121	1,8
F2NA127	Itacaiúnas Leste	15/8/06	561316	9296716	605	27,7	23,7	56	6,46	108	1,8
F2NA124	Itacaiúnas Leste	15/8/06	561903	9296407	543	29,1	24,7	9	4,81	182	18
F2NA107	Itacaiúnas Leste	8/8/06	568731	9290984	488	26,8	22,8	5	6,05	155	1,8
F2NA106	Itacaiúnas Leste	8/8/06	568946	9291074	489	26,1	23,8	12	5,43	179	1,8

Fonte: Mdgeo, 2006.

TABELA 6.1.8.47

PONTOS INVENTARIADOS NA SUB-BACIA DO ITACAIÚNAS LESTE

Código	Sub-Bacia	Data	Coordenadas UTM		Cota (m)	T ar (°C)	T água (°C)	C.E. (µS/cm)	pH	Eh (mV)	Vazão (L/s)
			E	N							
F3NA244	Itacaiúnas Leste	16/10/2007	567717	9292504	635	27,3	25,7	6,24	5,2	240	0,5
F3NA251	Itacaiúnas Leste	19/10/2007	567780	9292109	637	30,9	25,2	6,81	4,92	258	20-30
F3NA255	Itacaiúnas Leste	21/10/2007	567649	9292024	572	27,4	26,8	2	5,92	170	0,5
F3PA252	Itacaiúnas Leste	21/10/2007	567313	9290560	294	25,7	25,4	4,25	6,3	204	30
						25,7	24,4	45	6,36	218	1
						25,7	25,4	16	6,12	194	31

Fonte: Mdgeo, 2008.

TABELA 6.1.8.48**PONTOS INVENTARIADOS NA SUB-BACIA DO ITACAIÚNAS OESTE**

Código	Sub-Bacia	Data	Coordenadas UTM		Cota (m)	T ar (°C)	T água (°C)	CE (µS/cm)	pH	Eh (mV)	STD (ppm)	Vazão (m³/h)
			E	N								
F2NA111	Itacaiúnas Oeste	11/8/06	559458	9300874	668	26,6	23,6	1	5,7	126	0	0,72
F2NA114	Itacaiúnas Oeste	12/8/06	559513	9300178	559	29,4	23,8	38	6,28	115	20	0,36
F2NA115	Itacaiúnas Oeste	12/8/06	559150	9299915	410	28,9	24	12	6,12	128	6	1,08
F2NA116	Itacaiúnas Oeste	14/8/06	560484	9299281	649	29,9	23,7	1	5,17	149	0	0,36
F2NA130	Itacaiúnas Oeste	16/8/06	558523	9297366	359	28,1	23,6	50	7,13	86	24	1,08

Fonte: Mdgeo, 2006.

A sub-bacia do Itacaiúnas Leste é constituída pelas drenagens da borda sul dos Blocos B e C e parte dos Blocos A e D do Corpo S11, com uma área de aproximadamente 79,5 km² dentro do limite deste inventário (Mdgeo, 2008). As drenagens que compõem a bacia do Itacaiúnas Oeste localizam-se na borda sul do Bloco A (Mdgeo, 2006).

A surgência da nascente F2NA131 ocorre em mata fechada, sobre um solo argilo-arenoso, de cor ocre (solo de formação ferrífera). Localmente ocorrem blocos de canga subangulosos a subarredondados. Esta nascente possui vazão estimada de 1,8 m³/h e representa várias nascentes difusas, com pontos de surgência em meio a uma região brejada (**Foto 6.1.8.103**).

O nascente F2NA146 ocorre na mata fechada sobre um solo argilo-arenoso, de cor ocre (solo típico de formação ferrífera). Localmente ocorrem blocos de canga subangulosos a subarredondados. Esta nascente apresenta vazão estimada de 3,6m³/h e representa várias nascentes difusas, com inúmeros pontos de surgência em meio a uma região brejada com matéria orgânica abundante (**Foto 6.1.8.104**).

A nascente F2NA124 ocorre associada às fraturas na canga, sobre um degrau de aproximadamente 1,70m de desnível e direção NE/SW. A água surge em vários pontos distintos, na base do degrau, apresentando uma vazão estimada em 18m³/h (**Foto 6.1.8.105 e 6.1.8.106**).

A nascente F2NA127 ocorre sobre um solo argilo-arenoso de coloração bege. Esta surgência possui vazão estimada de 1,8m³/h e representa várias nascentes difusas, com pontos de surgência em meio a uma região brejada (**Foto 6.1.8.107**).



Fonte: Mdgeo, 2006.
FOTO 6.1.8.103 - Nascente F2NA131.



Fonte: Mdgeo, 2006.
FOTO 6.1.8.104 - Nascente F2NA146.



Fonte: Mdgeo, 2006.
FOTO 6.1.8.105 - Nascente F2NA124.



Fonte: Mdgeo, 2006.
FOTO 6.1.8.106 - Nascente F2NA124.



Fonte: Mdgeo, 2006.
FOTO 6.1.8.107 - Nascente F2NA127.

A nascente F3NA244 localiza-se na borda do platô, próximo ao limite dos Blocos “C” e “D” do Corpo S11, cota 635m. A surgência ocorre de forma difusa, próxima a uma quebra de relevo em meio a blocos de canga. Apresenta matéria orgânica em abundância (**Foto 6.1.8.108**). A vazão estimada é de 1,8m³/h ou 0,5 L/s. Provavelmente, trata-se de água de canga, devido a sua baixa vazão e aos parâmetros medidos em campo: pH ácido, condutividade elétrica baixa e Eh elevado.



Fonte: Mdgeo, 2008.

FOTO 6.1.8.108 - Nascente F3NA244.

A nascente F3NA251 ocorre na cota 637m, de forma pontual. A água surge dentro de uma cavidade na canga, de aproximadamente 5m de profundidade, 4m de largura e 1,5m de altura (**Foto 6.1.8.109**). Provavelmente, este ponto representa uma ressurgência da Lagoa Preta, situada a montante, ou se trata de água do Sistema Aquífero Carajás. Sua vazão estimada é de 72 a 108m³/h, em torno de 20 a 30L/s.



Fonte: Mdgeo, 2008.

FOTO 6.1.8.109 - Nascente F3NA251.

A nascente F2NA111 ocorre em solo argilo-arenoso de coloração mais clara. Apresenta vazão estimada de 0,72m³/h e representa várias nascentes difusas, com pontos de surgência em meio a uma região brejada (**Foto 6.1.8.110**).

A nascente F2NA116 é pontual e ocorre sobre um solo argilo arenoso de coloração marrom-laranja. Sua vazão estimada é de 0,36m³/h (**Foto 6.1.8.111**).



Fonte: Mdgeo, 2006.

FOTO 6.1.8.110 - Nascente F2NA111.



Fonte: Mdgeo, 2006.

FOTO 6.1.8.111 - Nascente F2NA116.

j) Localização de fontes potenciais poluidoras, com indicações de suas possíveis cargas contaminantes e identificação de áreas críticas

Conforme já mencionado, os corpos receptores localizados na ADA e AID são essencialmente utilizados para o abastecimento para consumo humano e para dessedentação de animais, não tendo sido identificadas culturas irrigadas ou lançamento de efluentes industriais.

Desta forma, a fonte poluidora significativa na região corresponde ao efluente proveniente da Vila de Mozartópolis. Este efluente foi considerado no estudo de autodepuração, apresentado anteriormente, considerando a população local, o consumo *per capita* de água de 120 L/hab.dia e contribuição de esgoto de 80% do consumo de água (NBR 7229).

De acordo com o estudo realizado pela Diagonal Urbana (Diagnóstico Econômico e Social de Canaã dos Carajás, 2007), a Vila de Mozartópolis possui uma população total de 342 pessoas. Ainda segundo o referido estudo, o esgotamento sanitário na região é realizado da seguinte forma:

- Fossa séptica: 22,6%;
- Fossa negra: 67%;
- Outros: 0,9%;
- Não tem (a céu aberto): 9,4%.

Considerando que os esgotos provenientes da Vila de Mozartínópolis irão infiltrar no solo para depois atingir o curso de água, foram consideradas as porcentagens de tratamento de infiltração rápida (von Sperling, 2005).

Na **Tabela 6.1.8.49** são apresentadas as cargas estimadas para os parâmetros do efluente proveniente da Vila de Mozartínópolis e as concentrações finais de cada parâmetro, isto é, a concentração do efluente lançado no curso de água.

TABELA 6.1.8.49

CARGAS E CONCENTRAÇÕES DO EFLUENTE, ESTIMADAS PARA A VILA DE MOZARTÍNÓPOLIS

Parâmetros do Esgoto	Carga <i>per capita</i> (g/hab.dia)	Carga (kg/dia)	Eficiência de remoção*	Carga após tratamento (kg/dia)	Concentração final – Efluente Tratado (mg/L)
DBO	50	17,10	90%	1,71	50
OD	0	-	-	-	0
Nitr. Orgânico	3,5	1,20	65%	0,42	12
Nitr. Amoniacal	4,5	1,54	65%	0,54	16
Nitrito	0	-	-	-	0
Nitrato	0	-	-	-	0
Fósf. Orgânico	0,3	0,10	50%	0,05	1,5
Fósf. Inorgânico	0,7	0,24	50%	0,12	3,5
Coliformes Termotolerantes (org/hab.dia)	10 ¹⁰	3,4x10 ⁹	3 – 5 (unid. log)	3,4x10 ⁵	9,9x10⁵ NMP/100 mL
Sólidos em suspensão (mg/L)	60	20,52	93%	1,44	42
Sólidos dissolvidos (mg/L)	120	41,04	-	41,04	1200

* Eficiência de remoção considerando infiltração rápida (von Sperling, 2005).

Na **Figura 6.1.8.118**, apresentada no **Anexo XIII-G**, são mostrados os resultados da simulação da situação atual da qualidade das águas na região, podendo-se verificar a localização da fonte poluidora (efluente da Vila de Mozartínópolis) e áreas críticas após o lançamento. Ressalta-se que o estudo completo da simulação de autodepuração dos cursos de águas pode ser verificado no **item d** do presente tópico.

k) Mapa com a localização dos pontos de amostragem

A **Figura 6.1.8.53** apresentada no **Anexo XIII-E** mostra a rede de amostragem identificando a localização dos pontos de coleta, o plano diretor do projeto e o limite da AID. Ressalta-se que esta figura é apresentada em 3 folhas A0 sendo uma em escala 1:45.000 que permite a visualização de todos os pontos (**Figura 6.1.8.53**) e uma versão fracionada em 2 folhas na escala 1:30.000(**Figura 6.1.8.53a** e **Figura 6.1.8.53b**).

l) Identificação de pontos de assoreamento nas áreas de influência

O assoreamento dos cursos de água é o resultado da deposição de sedimentos removidos pela ação de mecanismos de degradação dos solos ao longo das bacias hidrográficas e de seu transporte até as calhas fluviais. Há necessidade, portanto, de que ocorra a associação de geração de sedimentos e de que estes sejam levados, ou disponibilizados, para transporte fluvial.

Ao longo da calha fluvial, a vazão sólida (sedimentos), que é composta por sólidos sendo transportados em suspensão e por arraste, associada à vazão líquida, encontra trechos de escavação natural das margens e do fundo, como também de deposição de partículas sólidas, permitindo assim a formação de bancos de assoreamento e estabelecendo um amplo processo de escavação (degradação) e deposição (agradção) que define a geomorfologia fluvial.

Assim, o assoreamento dos cursos de água é resultante de erosões ocorrentes ao longo das bacias e também ao longo das próprias calhas fluviais, estando diretamente relacionado à erosividade das chuvas e à erodibilidade dos solos, esta dependente da combinação de características como: uso do solo/cobertura vegetal, relevo e solos associados.

Conforme apresentado no capítulo referente aos estudos hidrológicos da AII (**item 6.1.8.1**), realizou-se uma avaliação das características do regime de produção de sedimentos na Região Hidrológica Tocantins-Araguaia, com enfoque para a região da sub-bacia do rio Itacaiúnas, sendo verificada a inexistência de informações sedimentométricas nesta sub-bacia.

Em termos locais, realizou-se uma avaliação das sub-bacias interferidas pelo empreendimento quanto à sua susceptibilidade erosiva, considerando-se os principais aspectos interferentes sobre o regime de produção de sedimentos anteriormente citados: uso do solo/cobertura vegetal, relevo e solos associados, aplicando-se técnicas de tratamento e processamento de informações geográficas. Essa avaliação resultou na classificação e mapeamento da Área de Influência Direta em termos de susceptibilidade erosiva, apresentada no item a seguir.

A partir desse mapeamento, e tomando-se como referência o regime hidrológico dos cursos de água na AID, realizou-se visita de reconhecimento em campo no ápice do período de estiagem do ano de 2009, na qual procurou-se consolidar esse entendimento acerca da dinâmica erosiva e mapear eventuais pontos de assoreamento, mediante a verificação *in situ* das principais áreas geradoras de sedimentos e identificação de locais de assoreamento das calhas fluviais.

Conforme descrito no capítulo referente às características do regime hidrológico local (**item 6.1.8.1**), as áreas contidas na AID e situadas ao sul/sudeste do Bloco D (bacia do igarapé Pacu) se destacam pelo predomínio de amplas pastagens, associadas a um relevo dissecado, com cursos de água escoando sobre o nível de base regional, tendendo ao regime intermitente, haja vista a ocorrência de solos pouco espessos e de baixa capacidade de armazenamento.

Em princípio, essas características conferem a estas porções da AID uma elevada susceptibilidade erosiva e geração de material sólido para transporte fluvial, se considerada somente a associação de solos erodíveis combinados com cobertura de pastagens. No entanto, essa associação carece da ação contínua do fator transporte, haja vista o baixo gradiente hidráulico que predomina ao longo da bacia hidrográfica.

Devido ao regime de escoamento torrencial característico da bacia do igarapé Pacu, observa-se a presença de carga sólida em suspensão ao longo do período chuvoso, mas não foi identificada a presença de áreas de deposição e assoreamentos nesta bacia no período de recessão das vazões, sendo essa carga transportada diretamente para a calha do rio Sossego (**Foto 6.1.8.112**). Erosões ao longo de sua calha fluvial foram identificadas de forma muito localizada, tal como ilustrado na **Foto 6.1.8.113**, que destaca trecho sem presença de mata ciliar em solo arenoso. A **Foto 6.1.8.114** ilustra local de deposição de sedimentos e formação de assoreamento causada pelo remanso em trecho imediatamente a montante de travessia do igarapé Pacu sob ponte rodoviária.



FOTO 6.1.8.112- Detalhe de afluente do igarapé Sossego pela sua margem direita, com destaque para elevada carga de sólidos em suspensão, em razão de drenar área de pastagem.



FOTO 6.1.8.113 - Detalhe do igarapé Pacu, com destaque para erosão da calha em segmento de solo arenoso.



FOTO 6.1.8.114 - Detalhe do igarapé Pacu, em seu baixo curso, com destaque para a formação de bancos de assoreamento, causada pela redução de velocidade junto à aproximação de travessia sob ponte rodoviária. Notar presença de carga de material sólido em suspensão.

Condição oposta foi observada na bacia do igarapé Sossego, que se junta ao igarapé Pacu e forma o rio Sossego. Nela ocorre o escoamento perene e predominam extensas áreas de cobertura florestal, associadas ao relevo mais acidentado. Como consequência, o igarapé possui maior capacidade de transporte mas, em contrapartida, sua bacia apresenta baixa geração de sedimentos, conforme ilustrado na **Foto 6.1.8.115**. A **Foto 6.1.8.116** ilustra a entrada de pequenos afluentes do igarapé Sossego, em seu baixo curso, que drenam áreas de pastagens e, conseqüentemente, apresentam maior carga de sedimentos em suspensão.



FOTO 6.1.8.115 - Detalhe do igarapé Sossego, cerca de 9 km a montante da confluência com o igarapé Pacu, com destaque para baixa carga de sólidos em suspensão.



FOTO 6.1.8.116 - Detalhe do igarapé Sossego, na transição de seu Alto para Baixo curso. A partir deste ponto, o igarapé passa a drenar áreas com presença de pastagens. Notar a descarga de pequenos afluentes contendo sólidos em suspensão.

Verificou-se em campo que, de maneira geral, a carga sólida gerada na bacia do igarapé Pacu é assimilada pela capacidade de transporte do rio Sossego (**Fotos 6.1.8.117 e 6.1.8.118**), ao passo que a carga sólida gerada na bacia do igarapé Sossego é muito baixa. Como resultado, observa-se a presença de sólidos em suspensão de forma mais pronunciada no igarapé Pacu e no rio Sossego do que no igarapé Sossego. Neste último, predomina a presença de transporte por arraste, com presença de sólidos de maior dimensão.



FOTO 6.1.8.117 - Detalhe do rio Sossego, imediatamente a jusante da confluência de seus igarapés formadores, o Pacu e Sossego. Destaque para a presença de mata ciliar e escoamento em regime supercrítico, desfavorecendo a erosão fluvial e ocorrência de assoreamento.



FOTO 6.1.8.118 - Detalhe do rio Sossego, a jusante da confluência dos igarapés Sossego e Pacu.

Em razão dessas considerações e verificações realizadas em campo, não foi identificada a ocorrência significativa de segmentos fluviais com a formação de erosão na calha ou expressiva formação de bancos de assoreamento. O mapa contendo os principais pontos levantados em campo é apresentado na **Figura 6.1.8.192 - Anexo XIII-H**.

III. Usos das Águas Superficiais e Subterrâneas

– Área de Influência Indireta (AII) - Cenário de Disponibilidades Hídricas para Usos Múltiplos na Bacia do Rio Itacaiúnas

Uma análise da distribuição espacial da evolução sócio-econômica do Estado do Pará ao longo das últimas décadas identifica uma expansão no sentido sul para norte do estado, mediante a exploração das riquezas naturais, sobretudo a extração de madeira, recurso abundante no ambiente amazônico, associada às atividades de garimpo de ouro e ao início das atividades da Vale, notadamente indutora da expansão sócio-econômica na região sul do Estado.

O histórico da Floresta Nacional de Carajás está diretamente relacionado com as atividades da Vale, tendo como marco referencial a descoberta da província mineral de Carajás, que gerou a concessão do Governo Federal, em 1974, da lavra de minério de ferro na região da serra dos Carajás, à Amazônia Mineração S.A. - AMZA, empresa absorvida pela Vale em 1981.

Em 1986, a companhia obteve a concessão, por tempo indeterminado, do direito real de uso resolúvel, intransferível, de uma gleba de terras de domínio da União, com área de 411.948,87 hectares, adjacente à Província Mineral de Carajás, localizada no município de Marabá.

Em 1988, por meio da promulgação da Lei n.º 9.443/88, a área passou a integrar o então criado município de Parauapebas, mas somente em 1998, foi criada a Floresta Nacional de Carajás, categoria de Unidade de Conservação que não obstava a atividade de mineração, ao mesmo tempo em que permitia a utilização direta dos recursos naturais na forma da Lei, mediante uma nova concepção de utilização da superfície, o que estabeleceu a formulação do Plano Diretor de Manejo pela Vale em conjunto com o IBAMA, como detentoras das informações técnicas da área.

O avanço das atividades minerárias na região induziu a criação de pólos de crescimento urbano, sobretudo o município de Parauapebas, importante cidade no processo de desenvolvimento e implantação do Projeto Ferro Carajás, cuja operação foi iniciada em 1985.

Outros centros urbanos, embora de menor magnitude, também se destacam na região, impulsionados pelas atividades de extração de madeira, mineração e garimpo, tais como: Eldorado dos Carajás, Canaã dos Carajás, Xinguará e Curionópolis.

A criação da Floresta Nacional de Carajás, juntamente com as outras reservas ambientais em seu entorno, formou um bloco contíguo de áreas protegidas envolvendo a Província Mineral de Carajás, contendo o avanço acelerado que se observava no desflorestamento e ocupação de áreas em direção ao sudoeste do Estado do Pará. Impossibilitada de avançar sobre essas áreas de preservação, seja pelas restrições legais ou pelas dificuldades impostas pelo relevo, a ocupação de áreas mediante a extração de madeira e implantação de fazendas de pecuária extensiva assumiu uma direção de contorno das áreas protegidas, num movimento geográfico denominado de Arco do Desflorestamento, que avança em direção ao sudoeste, mas encontra obstáculos, seja pelas áreas de preservação das Florestas Nacionais e reservas ambientais – ou pela ausência de infra-estrutura

Nesse contexto, a abertura de estradas e rodovias, necessárias à operação das atividades da companhia, assim como o impulso na economia local gerado pela atividade minerária, constituem-se em aspectos indutores do desenvolvimento sócio-econômico da região, favorecendo a instalação de centros urbanos, atividades agropecuárias e indústrias de pequeno porte. Na medida em que ocorre esse desenvolvimento, naturalmente cresce a demanda por água para consumo humano, dessedentação de animais e uso industrial.

A exploração mineral empreendida pela Vale nas Florestas Nacionais e entorno, juntamente com o crescimento de alguns pólos urbanos e o avanço de atividades agropecuárias e industriais na região, compõe um cenário em que se torna essencial uma avaliação global das disponibilidades hídricas numa unidade espacial mais abrangente – a bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas.

Tomando-se como unidade de controle a bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas na estação Fluviométrica de Fazenda Alegria, próximo à sua foz junto ao rio Tocantins, e considerando-se o critério estabelecido pela ANA para a concessão de outorga, segundo o qual a mínima vazão residual a ser garantida nos cursos de água corresponde a 30% da Q_{95} , verifica-se nesse local, cuja área de drenagem é de 37.600 km², que a vazão Q_{95} é igual a 203.197 m³/h, de acordo com a curva de permanência de vazões nessa estação. Sendo assim, 70% da Q_{95} correspondem a uma vazão de 142.238 m³/h.

No caso da bacia do rio Itacaiúnas, a Vale destaca-se como único usuário para a atividade industrial com demandas mais expressivas, em que pese o fato de suas demandas serem insignificantes em relação à disponibilidade hídrica dessa bacia, não sendo identificados pólos industriais de relevância na bacia, nem tampouco atividades agropecuárias intensivas, que demandam práticas de irrigação.

A partir de dados demográficos disponibilizados pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, torna-se possível uma cenarização para avaliação das demandas para usos múltiplos na bacia do rio Itacaiúnas.

Em termos de necessidades para consumo humano, na estação Fazenda Alegria a bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas abrange 10 municípios, cuja soma da população é estimada em aproximadamente 509.657 habitantes (IBGE, 2007).

Apesar de alguns municípios não possuírem seu limite territorial inteiramente inserido na bacia do rio Itacaiúnas, o suprimento da demanda de água para toda a população destes municípios foi considerado como sendo explotado dessa bacia na presente cenarização.

Na **Tabela 6.1.8.50** apresenta-se a demanda atual de água estimada para os municípios inseridos na bacia do rio Itacaiúnas, segundo dados populacionais obtidos junto ao IBGE.

TABELA 6.1.8.50

**ESTIMATIVA DA DEMANDA DE ÁGUA NOS MUNICÍPIOS ABRANGIDOS
PELA ESTAÇÃO DE FAZENDA ALEGRIA - 2006**

Município	População* (habitantes)	Consumo Efetivo Estimado** (m ³ /h)
Marabá	28.658	239
Parauapebas	23.757	198
Eldorado dos Carajás	17.769	148
Água Azul do Norte	28.554	238
Curionópolis	196.468	1637
Canaã dos Carajás	133.298	1111
São Geraldo do Araguaia	12707	106
Piçarra	24872	207
Sapucaia	5117	43
Xinguara	38457	320
TOTAL	509.657	4247

* Fonte: IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Contagem populacional de 2007.

** Demanda diária de 200 litros *per capita*.

Conforme os valores apresentados na **Tabela 6.1.8.50**, o consumo efetivo total estimado para todos os municípios corresponde a 2,1% da Q₉₅ do rio Itacaiúnas na Estação Fazenda Alegria.

a) Caracterização dos principais usos na área de influência direta e na área diretamente afetada do projeto

– **Águas Superficiais**

Segundo o levantamento de campo realizado na AID do empreendimento, os usos identificados concentram-se nas sub-bacias dos igarapés Pacu e Sossego, desde as cabeceiras até a confluência destes, a partir da qual forma-se o rio Sossego. As demais porções da ADA e AID são constituídas por áreas de relevo escarpado e/ou floresta densa, nas quais não ocorrem atividades antrópicas, à exceção do Corpo S11, região de platôs de canga de minério de ferro, no qual encontram-se em elaboração os estudos necessários para o Projeto Ferro Carajás S11D.

Esses usos são essencialmente o abastecimento para consumo humano e para dessedentação de animais, com destaque para a pecuária extensiva de corte. Ocorrem rebanhos menos expressivos de suínos, gado leiteiro, aves e pequeno reservatório de piscicultura, além de dois pontos utilizados para lazer e recreação: o primeiro conhecido como “Cachoeira do André” e o segundo como “Balneário do Antônio Carola” ou “Banho do Sossego” (Fotos 6.1.8.118 e 6.1.8.119).



FOTO 6.1.8.118 - Queda principal da Cachoeira do André.



FOTO 6.1.8.119 - Balneário do Antônio Carola ou Banho do Sossego.

A porção da ADA ao sul/sudeste da Floresta Nacional de Carajás compreende um total de 33 propriedades, além da vila de Mozartinópolis. Segundo os dados obtidos nas pesquisas de campo realizadas em outubro de 2007 e em setembro de 2009, residem permanentemente nessas propriedades uma população de 93 habitantes, além de 38 habitantes temporários (funcionários das fazendas). Segundo estudo realizado pela empresa Diagonal Urbana, a vila possuía em 2005 uma população de 311 habitantes.

Os mananciais utilizados para o suprimento de água da vila de Mozartinópolis e da área rural de seu entorno são cisternas e os igarapés Sossego e Pacu, como também seus afluentes e nascentes. Além destes, é comum a formação de pequenas cacimbas ou açudes para acumulação de água e dessedentação de rebanhos. Não foram identificadas culturas irrigadas, sendo que, em sua maioria, estas se destinam à subsistência (milho, feijão, arroz, mandioca e hortaliças).

O mapa hidrográfico contendo a localização das propriedades identificadas e entrevistadas na ADA está apresentado na **Figura 6.1.8.193** no **Anexo XIV-B**.

As **Fotos 6.1.8.120** e **6.1.8.121** ilustram captação na bacia do igarapé Pacu e o reservatório de água que abastece à vila de Mozartinópolis.



FOTO 6.1.8.120 - Captação de água na bacia do igarapé Pacu.



FOTO 6.1.8.121 - Reservatório de Água de Mozartinópolis.

As **Fotos 6.1.8.122 e 6.1.8.123** ilustram açudes implantados na bacia do igarapé Pacu para dessedentação de animais.



FOTO 6.1.8.122 - Pequeno barramento e açude na bacia do igarapé Pacu.



FOTO 6.1.8.123 - Barramento e açude formado na bacia do igarapé Pacu.

Com relação à vila de Mozartinópolis, segundo Diagonal Urbana (2005), o tipo de abastecimento de água declarado na quase totalidade dos imóveis da vila (97,5%) foi o sistema público, que capta água em uma das nascentes do igarapé Pacu e distribui por gravidade para a vila. A distribuição não é hidrometrada.

Considerando-se, numa ótica conservadora, que ocorra um consumo *per capita* de 200 L/hab.dia, verifica-se que em 2005 o consumo de água estimado para a vila foi de 62.200 L/dia, ou cerca de 2,6 m³/h.

Na **Tabela 6.1.8.51**, apresenta-se a síntese dos usos e respectivos consumos identificados na ADA.

Analisando-se os dados apresentados na **Tabela 6.1.8.52**, verifica-se que o consumo total de água na ADA corresponde a uma vazão média de 25,8 m³/h. Desse total, o consumo na área urbana (vila Mozartópolis) corresponde a 10% e na área rural a 90%. Em termos de destino do consumo na ADA, 14,2% do total é utilizado para consumo humano e 85,8% para dessedentação de animais.

Em termos de projeção dos usos e demandas futuras, conforme descrito no capítulo referente à caracterização do empreendimento está prevista a implantação de captações para suprimento de água para o projeto no rio Sossego, em dois poços tubulares e nas diversas bacias de decantação a serem implantadas, cuja demanda para uso industrial e humano variará entre 2 e 202 m³/h ao longo das fases do empreendimento.

Analisando-se o cenário atual da ADA, observa-se que a bacia do Igarapé Pacu apresenta um quadro de usos das águas bem definido, caracterizado por reduzida densidade demográfica, pela prática de pecuária extensiva e pela existência de solos de baixa aptidão agrícola, exceto para cultura de amplas pastagens. Dessa forma, não se vislumbra alteração futura neste cenário de reduzida demanda de água, seja em termos de crescimento populacional, de rebanhos ou de implantação de amplas culturas irrigadas que venham a promover um estresse hídrico nas sub-bacias do rio Sossego.

No **item 6.1.8.2 - Hidrologia da Área de Influência Direta (AID) e Diretamente Afetada (ADA)** foi apresentada uma estimativa das disponibilidades hídricas na AID e ADA do empreendimento, cujos resultados encontram-se sintetizados na **Tabela 6.1.8.51**.

TABELA 6.1.8.51

ESTIMATIVA DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS NOS PRINCIPAIS CURSOS DE ÁGUA QUE DRENAM A ÁREA DO PROJETO FERRO CARAJÁS S11D

Bacia Hidrográfica	Região Hidrológica	Área de Drenagem (km ²)	Precipitação Total Média Anual (mm)	Evapotranspiração Média Anual (mm)	Deflúvio Médio Anual (mm)	Q _{MLT} (m ³ /s)	Q ₉₅ (m ³ /s)
Igarapé Sossego	I	131	1800	1255	545	2,27	0,92
Igarapé Pacu	II	162	1787	1255	532	2,70	0,03
Confluência Igarapés Pacu e Sossego	I e II	293	1790	1255	535	4,97	0,95
Igarapé Serra Sul	I	376	1800	1255	545	6,50	2,63
Rio Sossego	I e II	528	1781	1255	526	8,80	0,83
Afluente do Itacaiúnas (Sudoeste do Bloco D)	I	142	1800	1255	545	2,40	0,99

Comparando-se o cenário atual de usos da água na AID e ADA do empreendimento com as disponibilidades hídricas da bacia do igarapé Pacu, sobre a qual incidem predominantemente esses usos, verifica-se que o consumo atual ($25,8\text{m}^3/\text{h}$) corresponde a 0,26% e a 23,9% da Q_{MLT} e da Q_{95} , respectivamente, ou seja, o consumo humano e a dessedentação de animais comprometem atualmente 34% da vazão outorgável, segundo o critério estabelecido pela ANA ($Q_{outorgável} = 70\%$ da Q_{95}). Se considerada a vazão média de longo termo, observa-se que o comprometimento atual na bacia é insignificante.

Admitindo-se, para efeito de comparação, que ocorra num cenário futuro, além da captação para os usos atuais, estimada em $25,8\text{ m}^3/\text{h}$, as seguintes condições: (i) captação máxima de $22\text{ m}^3/\text{h}$ na bacia do igarapé Sossego para abastecer ao empreendimento, (ii) a exploração de uma vazão máxima de $1000\text{ m}^3/\text{h}$ para efeito de rebaixamento na formação ferrífera, cuja ocorrência nas bacias dos igarapés Sossego e Pacu é de 95% e 5%, respectivamente, e (iii) a vazão de rebaixamento não seja restituída a esses cursos de água, têm-se a seguinte redução de vazões na confluência dos igarapés e Pacu, resultante da proposta de uso da empresa sobre os recursos hídricos superficiais:

- Q_{MLT} , igarapé Sossego (cenário futuro) = $(8172 - 950 - 22)\text{ m}^3/\text{h} = 7200\text{ m}^3/\text{h}$, ou seja, redução de 12%;
- Q_{95} , igarapé Sossego (cenário futuro) = $(3312 - 950 - 22)\text{ m}^3/\text{h} = 2340\text{ m}^3/\text{h}$, ou seja, redução de 29%;
- Q_{MLT} , igarapé Pacu (cenário futuro) = $(9720 - 50 - 25,8)\text{ m}^3/\text{h} = 9644\text{ m}^3/\text{h}$, ou seja, redução de 0,8%;
- Q_{95} , igarapé Pacu (cenário futuro) = $(108 - 50 - 25,8)\text{ m}^3/\text{h} = 32,2\text{ m}^3/\text{h}$, ou seja, redução de 70%;
- Q_{MLT} , confluência ig. Pacu e Sossego (cenário futuro) = $(17.892 - 1000 - 22 - 25,8)\text{ m}^3/\text{h} = 16.844\text{ m}^3/\text{h}$, ou seja, redução de 6%;
- Q_{95} , confluência ig. Pacu e Sossego (cenário futuro) = $(3420 - 1000 - 22 - 25,8)\text{ m}^3/\text{h} = 2372\text{ m}^3/\text{h}$, ou seja, redução de 31%.

TABELA 6.1.8.52
SÍNTESE DO USO DA ÁGUA NA ADA

Propriedade	N.º de Habitantes		Rebanho Bovino (N.º de Cabeças)	Manancial Utilizado e Finalidade	Demanda Total (*)	
	Permanentes	Temporários			L/dia	m³/h
1	2	0	100 (**)	rio Sossego para consumo humano e pecuária	5.400	0,2
2	Não informado		50 (**)	afluente do igarapé Pacu para pecuária	2.500	0,1
3	3	0	200 (**)	rio Sossego e 4 nascentes para pecuária e rede de abastecimento de Mozartinópolis para consumo humano	10.600	0,4
4	Não informado		204	afluente igarapé Pacu para pecuária e nascente para consumo humano	10.200	0,4
5	Não informado		72	nascente para pecuária	3.600	0,2
6	3	0	400	nascente para consumo humano e igarapé Pacu para pecuária	20.600	0,9
7	5	0	700	igarapé Pacu e pequena represa para pecuária, cisterna para consumo humano	36.000	1,5
8	4	0	120	nascente para consumo humano e rio Sossego para pecuária	6.800	0,3
9	Não informado		100	rio Sossego e nascentes para dessedentação animal, possui poço desativado	5.000	0,2
10	2	1	260	nascente para pecuária, cultura de subsistência e consumo humano	13.470	0,6
11	Não informado		126	nascente e igarapé Pacu para pecuária	6.300	0,3
12	Não informado		110	afluente do Pacu	5.500	0,2
13	4	0	80	rio Sossego para pecuária e rede de abastecimento de Mozartinópolis para consumo humano	4.800	0,2
14	2	0	30	nascente e cisterna para pecuária, rede de abastecimento de Mozartinópolis para consumo humano	1.900	0,1

Continua...

...continuação

Propriedade	N.º de Habitantes		Rebanho Bovino (N.º de Cabeças)	Manancial Utilizado e Finalidade	Demanda Total (*)	
	Permanentes	Temporários			L/dia	m³/h
15	3	0	60	nascentes e cacimbas para pecuária e rede de abastecimento de Mozartinópolis para consumo humano	3.600	0,2
16	0	3	120	rio Sossego para pecuária, nascente e cisterna para consumo humano	6.210	0,3
17	3	0	80	igarapé Pacu para pecuária e rede de abastecimento de Mozartinópolis para consumo humano	4.600	0,2
18	3	0		rio Sossego para consumo humano	600	0,0
19	5	0	80	rio Sossego para consumo humano e pecuária	5.000	0,2
20	Não informado		700	rio Sossego e 2 represas para pecuária, nascente para consumo humano	35.000	1,5
21	12	0	500 (**)	igarapé Pacu para pecuária e cisternas para consumo humano	27.400	1,1
22	16	1	500 (**)	igarapé Pacu para pecuária e cisternas para consumo humano	28.270	1,2
23	4	1	500 (**)	rio Sossego para consumo humano e pecuária	25.870	1,1
24	4	0	30	rio Sossego para consumo humano e pecuária	2.300	0,1
25	5	0	150	rio Sossego para consumo humano, nascente e cisterna para pecuária	8.500	0,4
26	2	0	300	rede de abastecimento de Mozartinópolis para consumo humano e pecuária	15.400	0,6
27	3	5	500	igarapé Pacu e afluentes para consumo humano e pecuária	25.950	1,1
29	5	4	600	igarapé Pacu, nascentes, represas e rede de abastecimento de Mozartinópolis.	31.280	1,3
30	5	3	400	igarapé Pacu e 7 represas para pecuária, nascentes e poço para consumo humano	21.210	0,9
31	2	0	500 (**)	igarapé Pacu, cacimbas e nascentes para pecuária, cisterna e rede de abastecimento de Mozartinópolis para consumo humano	25.400	1,1

Continua...

...continuação

Propriedade	N.º de Habitantes		Rebanho Bovino (N.º de Cabeças)	Manancial Utilizado e Finalidade	Demanda Total (*)	
	Permanentes	Temporários			L/dia	m³/h
33	Não informado		450	igarapé Pacu e nascentes para pecuária e cisterna para consumo humano	22.500	0,9
34	4	0	380	nascentes e poço para consumo humano e cacimba para pecuária	19.800	0,8
37	2	0	300	igarapé Pacu, cacimbas e nascentes para pecuária e cisterna para consumo humano	15.400	0,6
38	Não informado		140	igarapé Pacu, cacimbas e nascentes para pecuária e cisterna para consumo humano	7.000	0,3
39	11	25	1800	rio Sossego, nascente Água Boa e cisterna para consumo humano e pecuária	93.950	3,9
Mozartinópolis	311	0	-	captação em afluente do igarapé Pacu	62.200	2,6
Totais	425	43	10.642		620.110	25,84
<p>Notas</p> <p>(*) Consumos <i>per capita</i> considerados: 200 L/hab.dia para habitante permanente, 70 L/hab.dia para habitante temporário e 50 L/cabeça.dia para rebanho bovino de corte</p> <p>(**) Rebanho estimado.</p>						

– Águas Subterrâneas

Conforme levantamento de usuários de água realizado pela Golder em 2009 nas imediações do Corpo S11 Bloco D, apresentado no item anterior, verificou-se que ocorre a utilização das águas subterrâneas para consumo humano e para dessedentação animal.

Os tipos de captação existentes são as cacimbas, cisternas rasas e nascentes, invariavelmente. As cisternas são utilizadas sem equipamentos de bombeamento, mediante a utilização de sarilhos quando necessária a coleta por meio de baldes.

Analisando-se os dados apresentados na **Tabela 6.1.8.51**, verifica-se que na ADA do empreendimento o uso de águas subterrâneas corresponde a uma demanda de 396.960 L/dia, ou 14,5 m³/h, distribuída entre 21 das 39 propriedades inventariadas.

Em termos de projeção do uso das águas subterrâneas para atendimento futuro das demandas que possam advir dos tipos prováveis de ocupação dos terrenos e de seus usos principais, as projeções indicam apenas, conforme já mencionado, que dois poços tubulares, além das captações em bacias de decantação a serem implantadas, constituam as demandas para uso industrial e humano, o que deverá atingir para ambas, um total variando entre 2,0 e 202 m³/h ao longo das diversas fases do empreendimento.

As **Fotos 6.1.8.124** e **6.1.8.125** ilustram o tipo de cisterna utilizado na região.



FOTO 6.1.8.124 - Cisterna utilizada.



FOTO 6.1.8.125 - Valdivino Maurício Gustavo propriedade 37 – Fazenda Boa Esperança.

IV. Hidrogeologia

a) Área de ocorrência, tipo, geometria, litologia, estruturas geológicas, propriedades físicas e hidrodinâmicas e outros aspectos do(s) aquífero(s) presente(s), estabelecendo a relação das águas subterrâneas com as superficiais

Os tópicos relacionados acima se referem às informações constantes na caracterização de sistemas e/ou unidades hidrogeológicas de um determinado domínio de estudo. De fato, constituem-se em aspectos reconhecíveis e diferenciáveis nas diversas unidades aquíferas e não-aquíferas de uma região de interesse, desde que se tenha disponibilidade de informações pertinentes, prestando-se à caracterização física, bi- e tridimensional, das mesmas.

Importante ressaltar que estes tópicos guardam estreita relação com os aspectos geológicos reconhecidos na área, uma vez que a partir da caracterização geológica é que se buscam informações, sejam primárias (com a investigação em campo) ou secundárias (com a compilação de dados da literatura), para compor o cenário hidrogeológico correspondente. Sendo assim, e como é de praxe em estudos desta natureza, é possível estabelecer um cenário hidrogeológico preliminar através da compilação de dados secundários de determinados parâmetros hidrodinâmicos e também pela previsão comparativa de certo comportamento hidrogeológico a partir de uma análise de similaridade com áreas dotadas de aspectos geológicos e hidrogeológicos similares.

Outra questão importante de se ressaltar é que tais tópicos, comumente descritos ao longo do texto, compõem uma caracterização integrada do comportamento hidrogeológico da área de interesse. Por esta razão, assume-se usualmente a descrição do item acima como sendo o resultado da integração do conhecimento disponível acerca do cenário hidrogeológico que se deseja estudar. Dessa maneira, em termos técnicos e científicos, não há sentido em descrever estes tópicos separadamente, sob pena de perder a capacidade de compor um cenário de conhecimento mais amplo e integrado sobre a situação hidrogeológica da área de estudo. A **Tabela 6.1.8.53**, apresenta de forma resumida as características dos sistemas e/ou unidades hidrogeológicas presentes na área de estudo do Projeto Ferro Carajás S11D.

No **Anexo III-H** é apresentado o Plano de Trabalho de Hidrogeologia que considera a instalação de piezômetros e poços de bombeamento na ADA do Projeto Ferro Carajás S11D.

TABELA 6.1.8.53**CONSIDERAÇÕES SOBRE OS TÓPICOS QUE COMPÕEM A
CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA**

Caracterização do Aquífero (tópicos)	Considerações sobre o Tópico
Área de Ocorrência	Refere-se à determinação da área de interesse para o estudo hidrogeológico. Comumente, é feita com base na definição de limites a partir de aspectos fisiográficos relevantes, como limites de bacias e expressões de relevo, é tem como objetivo maior a definição da área para caracterização dos demais tópicos relacionados.
Tipo	Diz respeito à determinação do meio por onde água circula no aquífero. Sendo relacionado a aspectos pertinentes às rochas e cobertura de solos existentes. Neste sentido, podem ser reconhecidos aquíferos dos tipos: poro, fraturado e misto.
Geometria	Reflete-se através do modelo geológico bi- e/ou tridimensional estabelecido para a área de estudo. Dessa maneira, pode ser descrita a partir da determinação da espessura, profundidade e inclinação das camadas geológicas, que é o meio pelo qual a água circula.
Litologia	Constitui-se na caracterização dos tipos geológicos (tipos de rochas) reconhecidos no domínio de interesse. A caracterização deste aspecto é base para o reconhecimento dos demais.
Estruturas geológicas	Refere-se às diferentes estruturas reconhecíveis nas diversas rochas do domínio de estudo. Constituem-se em um tópico específico onde se descrevem as fraturas, falhas, foliações, acamamento e demais aspectos de interesse para o conhecimento hidrogeológico da área.
Propriedades Físicas e Hidrodinâmicas	Estas propriedades se referem ao estabelecimento de uma caracterização acerca da espessura saturada ou profundidade do nível de água do aquífero, sobre a presença de unidades confinantes ou semi-confinantes, sobre os valores de condutividade hidráulica (ou permeabilidade), porosidade, armazenamento e taxas de recarga das unidades reconhecidas.
Outros Aspectos	Demais aspectos que possam ser considerados como relevantes e intervenientes para a caracterização em questão.
Relação das Águas Subterrâneas com as Águas Superficiais	Esclarece a interação entre águas de diferentes domínios, apontando a relação de uma com a outra em termos de contribuição e circulação.

Nos itens abaixo, busca-se individualizar os tópicos principais do item acima, mantendo-se agrupados aqueles de estreita relação.

a.1) Área de Ocorrência

Em termos regionais (ou de Área de Influência Indireta - AII) a área de ocorrência é definida como sendo o domínio da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas (**Figura 6.1.8.194**).

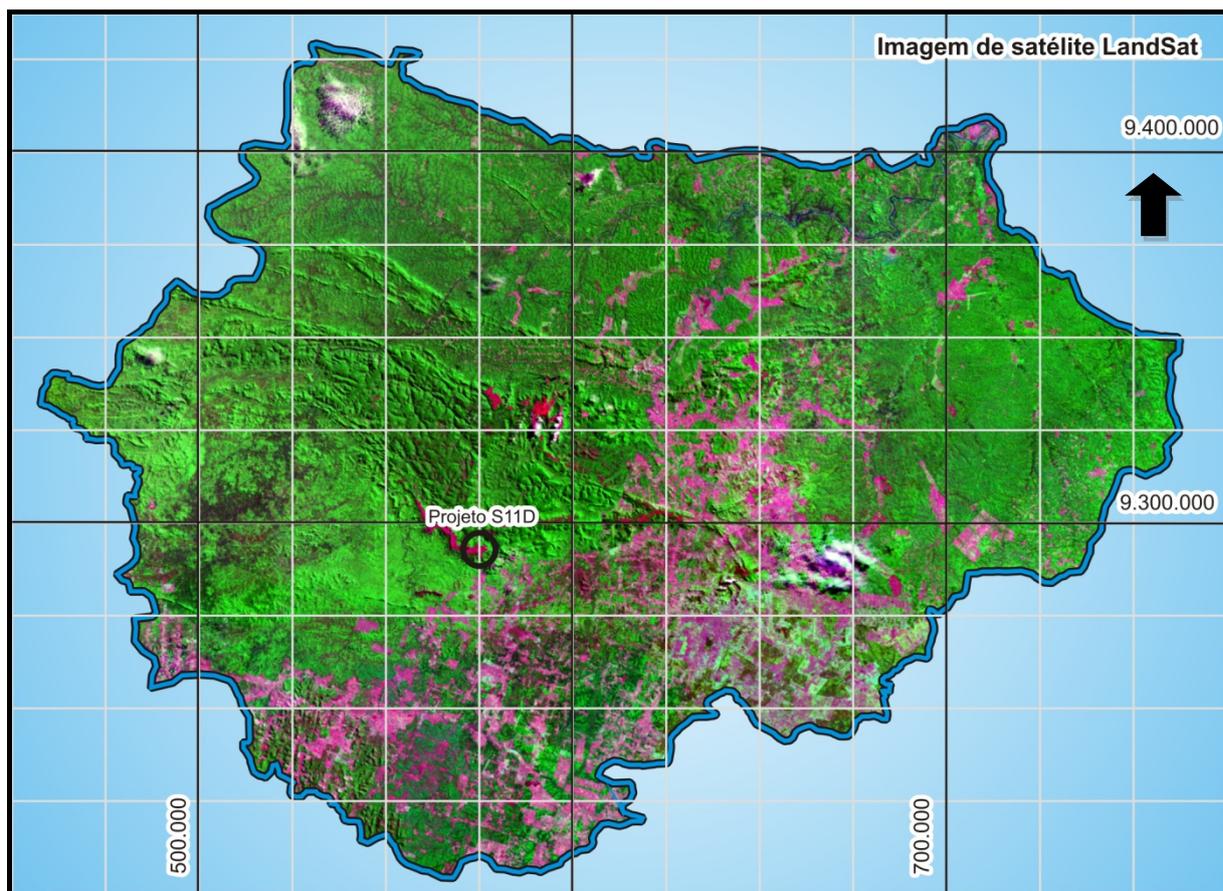


FIGURA 6.1.8.194 - Área de Influência Indireta do Projeto S11D, correspondente à Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas.

Em termos locais, ou de Área de Influência Direta – AID e de Área Diretamente Afetada – ADA, a área de ocorrência dos aquíferos abordados neste estudo é definida em função de uma expressão de relevo marcante na região de Carajás, a qual se denomina de Serra Sul. Esta unidade de relevo constitui-se em um conjunto de platôs alongados situados na borda sul da Serra dos Carajás, estendendo-se a partir da região da foz do ribeirão Pavãozinho no rio Itacaiúnas em seu setor oeste, até o platô do Cristalino, situado a leste do rio Parauapebas, na região denominada Serra do Rabo. Neste contexto destaca-se o Corpo S11, com aproximadamente 28 km de extensão, na extremidade leste do qual se situa o Bloco “D”, objeto do presente estudo (**Figura 6.1.8.195 – Anexo XV-A**).

O Corpo S11 está localizado na borda sudoeste da Serra dos Carajás a uma distância de 121 km da cidade de Parauapebas, e de 75 km das minas de minério de Ferro de Serra Norte (N4 e N5). Este platô está segmentado em quatro setores principais, denominados de Blocos A a D.

O acesso, a partir de Parauapebas, é feito pela rodovia Raymundo Mascarenhas (PA-275), até a portaria de acesso às minas N4 e N5, e a partir daí na estrada que leva à mina de manganês do Azul, até o entroncamento para a mina de Igarapé Bahia. A partir deste entroncamento segue-se até o quilômetro 43, onde há outro entroncamento para o acampamento de Águas Claras, seguindo-se então até o acampamento de Serra Sul, no Bloco D.

a.2. Tipo, geometria, litologia, estruturas geológicas, propriedades físicas e hidrodinâmicas e outros aspectos presentes

Estes tópicos guardam relação direta com a caracterização geológica da área. Dessa maneira, são descritos de forma integrada, intercalando as informações pertinentes e dando fluidez e dinâmica ao texto. Neste estudo, os tópicos acima são descritos para a Área de Influência Indireta – AII, definida como sendo o domínio da bacia do rio Itacaiúnas, como também para as áreas de influência direta – AID e diretamente afetada – ADA.

a.2.1. Área de Influência Indireta (AII)

a.2.1.1 Sistemas Hidrogeológicos

De acordo com as propriedades hidráulicas dos grupamentos de rochas que caracterizam os sistemas hidrogeológicos em termos de seu maior ou menor potencial armazenador e condutor de água, os diversos tipos litológicos podem ser agrupados em função de seu comportamento hidrodinâmico e capacidade de circulação das águas subterrâneas.

Com base nas possíveis relações entre os grupamentos de rochas inseridos nos respectivos sistemas hidrogeológicos, podem ser reconhecidas as principais características relacionadas ao tipo, geometria, litologia e estruturas geológicas para a caracterização das formas de circulação das águas subterrâneas no domínio estudado, culminando na contextualização dos cinco sistemas hidrogeológicos descritos a seguir.

Sistema Cristalino

Os sistemas cristalinos mostram-se como os de maior representatividade na área de abrangência da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, abrangendo subdomínios caracterizados, de modo majoritário, por formas de relevo mais arrasadas em termos regionais. No entanto, em face do variado leque de tipos litológicos (granitos, tonalitos, gabros, granodioritos, monzogranitos, charnockitos, peridotitos etc.), localmente pode ocorrer uma gama variável de gradientes hidráulicos, decorrente dos processos evolutivos de elaboração geomorfológica.

De um modo geral, esses sistemas encontram-se representados por pacotes de solos de porosidade intersticial, geralmente homogêneos, constituídos por frações de granulometria média a baixa, como resultado da alteração intempérica das rochas de afinidade granítica que recobrem os topos dos terrenos, com espessuras médias que oscilam em torno de 20 m. Esses capeamentos são denominados de diversas maneiras, sendo as mais comuns os mantos de cobertura, regolítico, inconsolidado, ou ainda, mantos de intemperismo, de alteração ou residual. De modo geral se comportam como aquíferos porosos.

Inserem-se em locais cuja presença de material granular ocorre em trechos de profundidade variada, mais espessos nas zonas aplainadas, e rasos ou quase aflorantes em terrenos onde há elevada declividade. Podem estar conformados, no entanto, por depósitos de tálus em que o transporte de detritos provenientes dos topos dos morros acomoda-se no sopé das encostas, dando origem a expressivos aquíferos porosos temporários, localmente. É comum a presença de blocos de rocha coesa intercalada em meio ao pacote de solos e em superfície.

Nas zonas mais profundas do manto de cobertura, logo abaixo do contato com a porção inconsolidada e intemperizada dos terrenos, próximos à faixa onde se encontram preservados alguns minerais e estruturas reliquias das rochas pré-existentes, esses sistemas mostram-se de modo mais heterogêneo. São constituídos, sobretudo, por rochas semi-decompostas (saprolitos) em contato com o topo das zonas rochosas muito fraturadas em que se inicia o caráter mais coesivo em profundidade. Esse trecho é caracterizado por uma faixa de transição entre a zona superior onde predominam os fluxos em meio essencialmente poroso, e sua passagem para faixas de material mais compacto onde se iniciam os processos de fluxos em meio fissural. Pode ser considerada assim como uma faixa de fluxos mistos. Constitui-se, portanto, numa faixa de potencial hidrogeológico considerável, dada a condição de aumento de espaços para circulação e armazenamento da água subterrânea.

Nesses ambientes mais profundos, de maior coesão, logo abaixo da zona de contato do meio poroso com o meio essencialmente constituído pela rocha cristalina sã, predominam zonas fissuradas que comandam todo o aporte de recarga proveniente das zonas de cobertura. Assim, todo o fluxo subterrâneo estará ocorrendo nessas zonas de porosidade secundária, materializadas por planos de fratura que se intercomunicam numa intrincada rede hidráulica, a qual é denominada de aquífero fissural cristalino. Quanto maior for a densidade de fraturas, extensão e grau de comunicação hidráulica entre as mesmas, maior será a capacidade de armazenamento e de transmissividade do referido meio aquífero.

Em virtude da idade muito antiga dessas rochas cristalinas (~2,8 Ga) e dos diversos episódios tectonometamórficos que transcorreram na região (Pinheiro, 1997), o padrão de fissuramento da rocha foi sendo estabelecido, de certo modo, a partir da história evolutiva da geologia na área, onde se desenvolveram os referidos processos cinemáticos e geotectônicos pretéritos. Assim, as zonas preferenciais de fluxos subterrâneos estão relacionadas à existência de alinhamentos de fraqueza da rocha, coincidentes aos planos que se mostram mais persistentes e penetrativos em profundidade. Parte dos traços que compõem a rede de drenagem deve coincidir aos trechos de maior condutividade hidráulica dos aquíferos.

No entanto, a partir de uma determinada profundidade, acima de 100 m, aproximadamente, as fissuras vão se tornando muito apertadas e até quase fechadas, em virtude do excessivo grau de compactação em que se encontram, impossibilitando a livre circulação das águas subterrâneas. Assim, os aquíferos em profundidade elevada deixam de existir, tornando-se os meios na forma de aquícludes ou até mesmo aquífugos, em face da pouca quantidade de água que pode ser armazenada conforme as restrições citadas.

As rochas cristalinas podem ser consideradas como fontes armazenadoras de água subterrânea, cuja potencialidade aquífera fica restringida ao tipo de condicionamento das estruturas secundárias, por onde se dá preferencialmente o escoamento de fluxos subterrâneos.

Aquíferos pobres e aquítardos relacionam-se desse modo, ao manto de intemperismo das rochas cristalinas. Aquíferos de potencial médio estão associados à rocha sã fraturada, em profundidades médias de 20 a 120 m. Sua distribuição é aletatória e a extensão variável. A produtividade aproximada está entre 1 e 20 m³/h, com águas doces de boa qualidade.

As disponibilidades hídricas subterrâneas estimadas a partir da caracterização das vazões mínimas dos sistemas hídricos superficiais e das oscilações de nível de água dos aquíferos em poços de monitoramento da Vale revelam, valores da ordem de 170 mm/ano.

Sistema Sedimentar

Os sistemas sedimentares distribuem-se basicamente, por toda a sua porção central e por uma pequena porção no extremo nordeste da bacia do Itacaiúnas, totalizando uma superfície aproximada de 4.000 km².

Comumente, os depósitos correspondentes às maiores bacias sedimentares estão inseridos nas faixas elevadas da topografia da AII, tendo sido caracterizadas perante os estudos de CPRM (1991, 1994), conforme a distribuição dos sedimentos pelíticos da Formação Águas Claras e das Coberturas Detríticas e lateríticas. Incluem-se nesse sistema os depósitos aluvionares recentes que margeiam os cursos de água e, também, os sedimentos coluvionares.

As unidades mais antigas que 2.680 Ma (Trendall et al., 1998) foram discordantemente recobertas pelos depósitos clásticos, marinhos rasos a fluviais da Formação Águas Claras. Esta corresponde à unidade superior do Grupo Grão Pará, tendo sido anteriormente denominada de Grupo Rio Fresco por Docegeo (1988). Durante reativações posteriores, diversos sills de diabásio foram encaixados nos sedimentos Águas Claras, mantendo uma relação discordante entre materiais porosos e coesos.

Já a unidade intermediária do Grupo Grão Pará, denominada Formação Carajás (Beisiegel et al., 1973) é composta por jaspelitos oolíticos e formações ferríferas bandadas, que correspondem ao protominério do ferro laterítico das grandes jazidas de Carajás. A Formação Carajás também está incluída nesse sistema hidrogeológico pelo fato de suas características litológicas estarem também associadas à existência de porções friáveis intercaladas em materiais coesos, além de exibirem propriedades hidráulicas mais próximas desses sistemas do que em relação aos sistemas metassedimentares.

Do ponto de vista estratigráfico, os depósitos sedimentares podem funcionar como zonas de recarga preferenciais dos aquíferos, tanto pelo fato de se situarem no topo das principais serranias locais como pela natureza das rochas que constituem esses sedimentos, sendo representados, mormente, por arenitos, siltitos, folhelhos e pelitos em geral. Os minérios friáveis e compactos das formações ferríferas (formação e grupo geológico) exibem-se também por meio de extensas serranias, apresentando-se, no entanto, envoltos, em geral, por rochas vulcânicas da Formação Parauapebas.

No primeiro caso, considerando-se apenas as rochas sedimentares incluídas na Formação Águas Claras, os fluxos subterrâneos devem ocorrer, predominantemente, de modo laminar em meio poroso. Contudo, os arenitos mais coesos podem apresentar-se fraturados, localmente, condicionando a existência de fluxos mistos em meio poroso e fissural. Os depósitos sedimentares existentes nessa formação, pelo fato de se encontrarem, não raras vezes, interdigitados, devem promover a ocorrência de lençóis suspensos, devido à presença de camadas argilosas que agem na retenção da água infiltrada pelas zonas de cobertura.

Dadas as propriedades hidráulicas distintas dos sedimentos que integram o pacote sedimentar da Formação Águas Claras, tem-se que estes materiais conformam um complexo sistema hidrogeológico sedimentar, na forma de aquíferos, aquícludes e aquíardos comumente. Os folhelhos e os siltitos apontam para a existência de aquíardos e aquícludes, enquanto os arenitos devem constituir aquíferos de médio a elevado potencial, com o aproveitamento através de poços tubulares profundos com vazões que podem oscilar desde os 10 m³/h até os 100 m³/h, com águas doces de boa qualidade. Contudo, deve-se ressaltar que os trechos compreendidos pelos litotipos constituídos pelas frações mais argilosas podem apresentar poços secos ou de vazão inexpressiva. Esses sistemas apresentam-se por meio de uma distribuição isotrópica, e de extensão definida em escala regional.

As unidades hidrogeológicas correspondentes às formações ferríferas bandadas, em virtude de seu elevado potencial para armazenamento e transmissividade das águas subterrâneas, também podem manifestar condições de fluxo laminar em meio poroso e fissural. Essas rochas são consideradas excelentes aquíferos, pois se constituem a partir de materiais cujas características hidráulicas denotam elevados valores de seus coeficientes de armazenamento e de permeabilidade, apresentando também valores elevados de transmissividade, em função das espessuras elevadas em que ocorrem. Feições típicas ocorrem em referência à existência de lençóis suspensos conformados a partir do selamento da porção subjacente às lagoas que se destacam nas superfícies detrítico-lateríticas superiores de terrenos com jazimentos de ferro.

De forma muito freqüente, a porção desses sistemas sedimentares representada pelas formações ferríferas, concorrem ao status de melhor aquífero em termos regionais e locais, apresentando potencial para exploração de água subterrânea por poços profundos, a partir de vazões que podem variar entre 70 m³/h e 250 m³/h, com águas doces e de boa qualidade. Ocorrem em geral por extensos domínios de extensão regional, sendo sua distribuição comandada pela presença de camadas de hematita compacta ou de itabiritos coesos ou friáveis, que se intercalam em profundidade. Devido à natureza e gênese dos materiais que constituem as jazidas de ferro, e à existência de rochas encaixantes no restante das áreas em torno, pode haver a ocorrência de aquíferos confinados, localmente.

Os demais tipos litológicos presentes, na forma de coberturas detrítico-lateríticas, correspondem a aquíferos superficiais que sustentam por períodos significativos o aporte de água para os aquíferos subjacentes, sendo constituídos por materiais porosos de frações granulométricas variadas. Em geral, ocorrem de modo restrito em termos geográficos, podendo assumir um caráter regional, esporadicamente. Os aquíferos associados apresentam-se com potencial médio a baixo para aproveitamento por poços tubulares de profundidade elevada. Águas de boa qualidade são esperadas em ambos os casos.

As faixas compreendidas por sedimentos aluvionares e coluvionares têm distribuição bem marcada e localizada, e de extensão variável, denotando um potencial relativamente baixo para aproveitamento das águas subterrâneas e em pequena escala, por poços escavados de grande diâmetro com profundidades menores que 20 m. Espera-se uma boa qualidade das águas subterrâneas para consumo humano e animal.

As disponibilidades hídricas subterrâneas estimadas a partir da caracterização das vazões mínimas dos sistemas hídricos superficiais e das oscilações de nível de água dos aquíferos em poços de monitoramento da Vale revelaram, valores da ordem de 233 mm/ano. No entanto, estudos realizados por HGM e Mdgeo (2008) evidenciam que estes valores atingem até 478 mm anuais, em espaços geográficos específicos.

Sistema Metamórfico

Os sistemas hidrogeológicos constituídos pelas rochas metamórficas foram designados para agrupar os tipos litológicos que representam, de modo predominante, todas as rochas ígneas que sofreram processos de transformação metamórfica, tais como micaxistos, metamafitos, anfibolitos, serpentinitos, talcoxistos, granulitos charnoquíticos, além de outras. De modo subordinado, outros tipos de rochas encontram-se mapeados, embora as rochas citadas sejam observadas majoritariamente.

Apesar de conterem uma grande variedade de tipos litológicos, devem ser considerados como um sistema que concentra uma tipologia de materiais cujas propriedades hidráulicas denotam um baixo potencial aquífero, de maneira em geral. Isto ocorre, fundamentalmente, em decorrência das ordens de grandeza de alguns parâmetros hidráulicos (condutividade hidráulica e porosidade efetiva para fluxo), cujos baixos valores induzem à existência de aquíferos e aquícludes, não permitindo o armazenamento eficaz da água subterrânea e impedindo ou dificultando sua circulação.

Embora tenham um grau de similaridade considerável com os sistemas cristalinos, esses sistemas metamórficos mostram tendência a um comportamento mais debilitado de sua dinâmica hídrica subterrânea. Em função da presença de muitos tipos litológicos cuja matriz apresenta em sua estrutura cristalina uma grande contribuição de minerais filossilicáticos, as propriedades hidráulicas mostram-se, tanto para as rochas coesas como para seus produtos de alteração, uma forte restrição em relação às suas condições de armazenabilidade. Os referidos atributos hidrogeológicos, relacionados em grande parte aos seus minerais constituintes, conferem ainda uma condição em que as estruturas secundárias, tais como fraturas e planos de xistosidade, tendem a se desenvolver de modo incipiente, dado o caráter mais refratário dos materiais, induzindo a uma menor ruptibilidade dos corpos rochosos.

Desse modo, esses sistemas podem ser considerados como inexpressivas fontes armazenadoras de água subterrânea, cuja potencialidade aquífera fica restringida tanto pela limitação dos níveis de conectividade das estruturas secundárias, como pela baixa permeabilidade de seus produtos de alteração.

Devem ocorrer assim, aquíferos de baixo potencial à exploração associados à rocha sã ou ao manto regolítico, com predomínio de meios pouco condutores como aquíferos e aquícludes. Podem existir poços onde a produtividade média pode ocorrer na faixa de 1 a 5 m³/h, com águas doces de boa qualidade ou mesmo salobras, para poços de profundidades médias variando entre 50 e 150 m, com distribuição aleatória e extensão limitada. Poços escavados tipo cisterna podem produzir pouca quantidade de água para fins de abastecimento doméstico.

As disponibilidades hídricas subterrâneas estimadas a partir da caracterização das vazões mínimas dos sistemas hídricos superficiais e das oscilações de nível de água dos aquíferos em poços de monitoramento da vale revelam valores da ordem de 132 mm/ano.

Sistema Metassedimentar

As rochas que estão sendo incluídas nesse domínio referem-se àquele grupamento litológico onde se encontram todos os tipos de depósitos de bacias sedimentares, cujos processos de metamorfismo regional atuaram na transformação de sua matriz intersticial pré-existente, previamente constituída por uma elevada porosidade primária, tendo originado estruturas planares adicionais ao acamamento, tais como xistosidades impressas pela atuação de baixo grau metamórfico, além das paragêneses minerais.

Os tipos litológicos existentes correspondem àqueles que ocupam todo o extremo leste do domínio de estudo. Estão representados por metassedimentos da Formação Couto Magalhães, a qual é composta basicamente por ardósias e filitos, ou seja, rochas de baixo grau metamórfico. De modo subordinado, ocorrem argilitos sílticos, calcário, conglomerado suportado por clastos, metarcóseo, metarenito feldspático, metassiltito e quartzitos.

Esses materiais, sem se levar em consideração a condição morfológica do relevo, onde são observadas as menores amplitudes altimétricas do domínio estudado, apresentam uma inexpressiva aptidão para armazenamento de água e baixíssimos valores de condutividade hidráulica, o que a torna inapta ao aproveitamento hídrico subterrâneo em função da própria natureza em que se constituem seus atributos hidrogeológicos.

Os tipos litológicos traduzem a existência de aquíferos muito pobres e o predomínio de aquíferos e aquícludes. A situação é agravada pelo padrão morfológico de relevo, como citado anteriormente, em que a condição de baixos gradientes hidráulicos implica na diminuição da capacidade de circulação da água subterrânea. Desse modo, a recarga proveniente dos aportes pluviométricos tende a se processar lentamente no sentido vertical, induzindo ao favorecimento do aumento das taxas de evaporação em superfície.

Os materiais porosos que constituíram originalmente esses materiais metassedimentares denotam a existência de uma matriz muito fina, de granulometria das argilas e, no entanto, cederam espaço à existência de rochas cuja elevada porosidade primária foi transformada numa rocha coesa, constituída majoritariamente por minerais micáceos orientados, presentes nas ardósias e nos filitos. Assim como no contexto dos sistemas metamórficos descritos anteriormente, embora em maiores proporções, os sistemas metassedimentares tendem a apresentar estruturas secundárias, como fraturas e fissuras e até mesmo planos de falhas, de modo muito fechado, dificultando também os processos de circulação das águas subterrâneas de modo em geral. Em síntese, esses ambientes metassedimentares devem, em sua maior parte, apresentar condições de aproveitamento insuficiente da água subterrânea, seja por poços profundos ou cisternas, devido ao seu baixo potencial aquífero.

Esporadicamente, em porções localizadas, onde porventura haja maior desenvolvimento da estruturação litológica a partir dos processos tectônicos incidentes em rochas mais coesas como os calcários, as ardósias ou os quartzitos, pode haver um favorecimento à circulação e ao armazenamento da água subterrânea. Da mesma forma, uma melhor condição pode ser esperada onde o relevo permitir um aumento significativo das condições de gradiente hidráulico em associação a um tipo de rocha com vocação um pouco mais favorável em termos hidrogeológicos.

Nesses termos, não se espera que poços perfurados nos aquíferos pobres existentes nesses sistemas venham a produzir volumes apreciáveis de água. Portanto, esse baixo potencial à exploração deve permitir, de modo geral, apenas vazões insignificantes associadas à rocha sã ou ao manto regolítico. Deve predominar a existência de poços com baixa produtividade cujas vazões não devem ultrapassar a faixa dos 5 m³/h, sendo as águas de boa qualidade ou medianamente salobras, para poços de profundidades médias variando entre 50 e 150 m. A distribuição atrelada a traços de fraturas de extensão limitada ou regional pode favorecer a ocorrência de vazões mais elevadas, superiores a 20 m³/h. Poços escavados tipo cisterna podem produzir pouca quantidade de água para fins de abastecimento doméstico.

As disponibilidades hídricas subterrâneas estimadas a partir da caracterização das vazões mínimas dos sistemas hídricos superficiais e das oscilações de nível de água dos aquíferos em poços de monitoramento revelam valores da ordem de 223 mm/ano.

Sistema Vulcânico

Os sistemas vulcânicos apresentam-se caracterizados pelos tipos litológicos homônimos, ou seja, pelas rochas de afinidade vulcânica. Distribuem-se de modo majoritário em sua porção central da bacia do Itacaiúnas, mas ocorrendo disseminadas ao longo de intercalações em outros grupamentos litológicos.

São constituídos basicamente por rochas metavulcânicas dominadas por basaltos toleíticos ou basaltos andesíticos, quartzo dioritos cálcio-alcálicos, vulcânicas félsicas, traquiandesitos e riolitos. Esses tipos litológicos ocorrendo, de modo preferencial, na região morfológica do relevo caracterizada por amplitudes altimétricas elevadas, podem significar a existência de uma forte estruturação tectônica, onde a maior densidade de fraturas torna o ambiente propenso a desenvolver formas de conexão hidráulica de modo mais intenso.

Considerando-se a configuração desses materiais vulcânicos no entorno imediato das zonas mineralizadas da Província Mineral de Carajás, onde ocorrem de maneira mais marcante, pode-se esperar que os processos deformacionais tardios tenham atuado no desenvolvimento dos sistemas de fraturas de todo o conjunto litológico existente, produzindo formas de interconexão hidráulica entre sistemas hidrogeológicos distintos, ultrapassando os limites dos sistemas vulcânicos.

Tais assertivas convergem para uma situação em que os sistemas hidrogeológicos vulcânicos, apesar da natureza intrínseca de seus materiais constituintes apontarem para uma condição de relativa inaptidão hidrogeológica, adquirem um incremento em sua capacidade de armazenamento e transmissividade de água subterrânea, posto que o ambiente tectônico ao qual se inserem possibilita a participação de agentes estruturais secundários como atributos naturais de capacitação das condições de ocorrência das águas subterrâneas.

Contudo, os produtos de alteração das rochas vulcânicas constituem-se por material granular, geralmente de granulação fina (argilas), cobrindo grandes porções de seus trechos aflorantes, com espessuras variadas. Esses materiais de composição argilosa restringem os processos de recarga superficial. Contudo, é comum a presença de blocos de rocha coesa intercalada em meio ao pacote das coberturas de alteração superficial.

Quanto aos aspectos de aproveitamento da água subterrânea nesses ambientes, pode-se considerar que seus produtos de alteração superficiais funcionam como aquíferos e as faixas constituídas pelas rochas consolidadas podem apresentar um espectro amplo quanto às suas propriedades hidráulicas, variando de modo mais intenso desde zonas de condutividade muito baixa, onde a massividade é muito elevada, até os trechos mais densamente fraturados a ponto de permitir condições de armazenamento e fluxo da água subterrânea para fins de exploração. Poços tubulares nesses compartimentos mais fraturados podem acusar vazões superiores a 20 m³/h, sendo a qualidade das águas passível de incorporação de íons solúveis de cálcio e magnésio, tornando as mesmas mais duras, com um conteúdo mais elevado de salinidade.

As disponibilidades hídricas subterrâneas estimadas a partir da caracterização das vazões mínimas dos sistemas hídricos superficiais e das oscilações de nível de água dos aquíferos em poços de monitoramento revelam, valores da ordem de 106 mm/ano.

A **Figura 6.1.8.196** apresentada no **Anexo XV-B** identifica os principais sistemas hidrogeológicos existentes no âmbito da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas. Os tipos litológicos foram agrupados em função de seu comportamento hidrodinâmico e capacidade de circulação das águas subterrâneas.

a.2.1.2 Unidades Hidrogeológicas

Considerando-se as tipologias geológicas e hidrogeológicas descritas anteriormente, constata-se o predomínio de unidades hidrogeológicas de baixa a moderada capacidade de armazenamento e transmissividade de água subterrânea na região. Estas unidades hidrogeológicas são caracterizadas, predominantemente, pelos litotipos da porção metavulcanossedimentar do Grupo Rio Novo (Sistema Hidrogeológico Vulcânico), além de Granitóides Anorogênicos e Complexo Xingu (Sistema Hidrogeológico Cristalino) e metassedimentos de afinidade pelítica da porção indivisa do Grupo Rio Novo (Sistema Hidrogeológico Metamórfico). Subordinadamente registra-se ainda a ocorrência de coberturas sedimentares da Formação Águas Claras e detrítico-lateríticas (Sistema Hidrogeológico Sedimentar).

Admite-se, no entanto, independentemente da variabilidade litológica reconhecida regionalmente, que a capacidade aquífera das unidades hidrogeológicas existentes coincida com a espessura e com a composição do manto de alteração das rochas subjacentes, bem como pela densidade e grau de fraturamento das zonas maciças. Isto, de certo modo, determina a variabilidade das propriedades hidráulicas e a diferenciação das unidades hidrogeológicas existentes, sendo, de fato, idealizado por um perfil vertical do estado físico das rochas. Tal perfil consiste no resultado integrado de processos geológicos-estruturais e intempéricos atuantes na região, os quais culminaram na formação de uma porção superior correspondente ao manto de alteração, e de uma porção saprolítica que se manifesta por uma zona de rochas semi-alteradas. Abaixo, em menor profundidade há ocorrência de rocha sã fissurada e de uma porção de rocha sã coesa na base do perfil.

A caracterização das unidades hidrogeológicas como aquíferos porosos livres projeta-se a partir da variação vertical das propriedades físicas das rochas existentes na região e que, de fato, podem ser projetadas caso a caso, para regiões distintas em diferentes escalas. Distingue-se assim, a porção de rocha alterada dos sistemas metamórfico e cristalino, além de sedimentos pouco coesos, os aquíferos na porção de rocha alterada do Sistema Vulcânico, aquíferos mistos do meio poroso e fissural na porção saprolítica de todos os sistemas hidrogeológicos citados, os aquíferos fissurais junto à porção de rocha são fraturada de todos os sistemas hidrogeológicos e os aquíferos junto à porção de rocha são coesos em zonas mais profundas. A **Tabela 6.1.8.54** mostra a diferenciação destas unidades.

TABELA 6.1.8.54**CARACTERIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DA AII**

Sistemas Hidrogeológicos	Unidades Hidrogeológicas	Tipo	Espessura média estimada (m)
Sedimentar	indiviso	aquífero poroso	20
Metassedimentar	alterado	aquífero poroso	40
	saprolítico	aquífero misto	20
	fissurado	aquífero, aquícluse	~
Vulcânico	alterado	aquífero	60
	saprolítico	aquífero misto	20
	fissurado	aquífero fissural	100
	coeso	aquícluse, aquífugo	~
Metamórfico	alterado	aquífero poroso	20
	saprolítico	aquífero misto	20
	fissurado	aquífero fissural	60
	coeso	aquífugo	~
Cristalino	alterado	aquífero poroso	40
	saprolítico	aquífero misto	20
	fissurado	aquífero fissural	100
	coeso	aquífugo	~

Fonte: Elaborado com base nos dados de geologia e sondagem de Projetos da Vale. (Golder, 2002).

a.2.1.3 Intervalos dos Valores de Condutividade Hidráulica e Recarga

Os valores típicos de condutividade hidráulica são normalmente obtidos a partir da compilação da literatura hidrogeológica e dos trabalhos hidrogeológicos já realizados na área dos Projetos de mineração da Vale na região de Carajás, incluindo-se a interpretação de testes de bombeamento e de testes de injeção sob pressão para determinação de parâmetros hidráulicos em unidades geológicas semelhantes.

Desse modo, apresentam-se na **Tabela 6.1.8.55** os intervalos dos valores típicos de condutividade hidráulica, K, para as principais unidades hidrogeológicas definidas na região.

TABELA 6.1.8.55**INTERVALOS DE VARIAÇÃO DOS VALORES TÍPICOS DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DA AII**

Sistemas Hidrogeológicos	Unidades Hidrogeológicas	Tipo	Intervalos dos Valores Típicos de K (cm/s)
Sedimentar	indiviso	aquífero misto	$1,0 \times 10^{-3}$ a $1,0 \times 10^{-2}$
Metassedimentar	alterado	aquífero poroso	$1,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-3}$
	saprolítico	aquífero misto	$1,0 \times 10^{-5}$ a $1,0 \times 10^{-3}$
Vulcânico	fissurado	aquiclude, aquífugo	$1,0 \times 10^{-6}$ a $1,0 \times 10^{-5}$
	alterado	aquífero	$1,0 \times 10^{-5}$ a $1,0 \times 10^{-3}$
	saprolítico	aquífero misto	$1,0 \times 10^{-5}$ a $1,0 \times 10^{-4}$
	fissurado	aquífero fissural	$1,0 \times 10^{-6}$ a $1,0 \times 10^{-5}$
Metamórfico	coeso	aquífero	$1,0 \times 10^{-8}$ a $1,0 \times 10^{-7}$
	alterado	aquífero poroso	$1,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-3}$
	saprolítico	aquífero misto	$1,0 \times 10^{-5}$ a $1,0 \times 10^{-4}$
	fissurado	aquífero fissural	$1,0 \times 10^{-6}$ a $1,0 \times 10^{-5}$
Cristalino	coeso	aquífero	$1,0 \times 10^{-8}$ a $1,0 \times 10^{-7}$
	alterado	aquífero poroso	$1,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-3}$
	saprolítico	aquífero misto	$1,0 \times 10^{-5}$ a $1,0 \times 10^{-4}$
	fissurado	aquífero fissural	$1,0 \times 10^{-6}$ a $1,0 \times 10^{-5}$

Fonte: Adaptado de Anderson & Woessner (1992), Golder (2002, 2006).

Pode-se assumir que a recarga das águas subterrâneas ocorra principalmente por infiltração direta de águas de chuva, cujo valor é da ordem de 1.800 mm/ano. Admite-se, porém, a possibilidade de faixas de valores de recarga distintos relacionados ao tipo, ocorrência e capacidade de infiltração dos solos de cobertura das unidades hidrogeológicas reconhecidas na região, sendo considerados os valores apresentados na **Tabela 6.1.8.56**.

TABELA 6.1.8.56**VALORES MÉDIOS DE RECARGA SUGERIDOS PARA A REGIÃO**

Sistemas Hidrogeológicos	Unidades Hidrogeológicas	Tipo	Recarga (mm/ano)
Sedimentar	indiviso	aquífero misto	360 a 540
Metassedimentar	alterado	aquífero poroso	120 a 330
Vulcânico	alterado	aquífero	90 a 270
Metamórfico	alterado	aquífero poroso	180 a 360
Cristalino	alterado	aquífero poroso	270 a 450

Fonte: Compilado de Golder (2002, 2006).

a.2.2 Área de Influência Direta (AID) e Diretamente Afetada (ADA)

A superfície que está compreendendo o domínio da AID e ADA é ocupada por uma parte da bacia hidrográfica dos rios Itacaiúnas (afluentes diretos) e Parauapebas, este especificamente em suas sub-bacias dos igarapés Sossego e Pacu. Os tipos litológicos observados nesse domínio referem-se basicamente à existência dos minérios de ferro da Formação Carajás, os quais recobrem parcialmente as rochas metavulcânicas da Formação Parauapebas, estando simultaneamente encaixados nas mesmas, além de sedimentos areníticos da Formação Águas Claras que se situam mais ao norte do referido domínio. Ao sul ainda aparecem rochas cristalinas do Complexo Xingu e afloramentos isolados dos Granitos Plaquê.

Como citado por Mdgeo (2007), a região que abrange o Corpo S11 é geológica e hidrogeologicamente semelhante às minas das Minas de N4 e N5, onde a Vale realiza desde princípios da década de 1990 o esgotamento de águas subterrâneas para a liberação de minério de ferro.

O atual estado do conhecimento hidrogeológico obtido com as informações existentes até o momento permite que sejam compiladas as informações apresentadas a seguir.

a.2.2.1 Sistemas e Unidades Hidrogeológicas

A distribuição das unidades hidrogeológicas identificadas na área do Bloco D acompanha e é determinada pela estruturação geológica da AII, estando assim diretamente relacionada às unidades litoestratigráficas existentes.

Pode-se admitir para a região do Projeto Ferro Carajás S11D a existência de sistemas aquíferos distintos, que foram definidos a partir das unidades geológicas supracitadas descritas anteriormente, e já detalhadas no modelo conceitual apresentado juntamente ao modelo numérico de fluxos subterrâneos.

A **Figura 6.1.8.197** apresentada no **Anexo XV-C** identifica os principais sistemas e unidades hidrogeológicas existentes no âmbito da área de estudo local. Os tipos litológicos foram agrupados em função de seu comportamento hidrodinâmico e capacidade de circulação das águas subterrâneas.

a.2.2.1.1 Sistema Cristalino

No Sistema Cristalino, o que determina a variabilidade das propriedades hidráulicas e a diferenciação das unidades hidrogeológicas é o perfil vertical de estado físico das rochas. Tal perfil consiste no resultado de processos geológico-estruturais e intempéricos, que culminaram na formação de porções de rocha alterada, fraturada e são, conforme descrição abaixo.

– **Unidade Cristalino Coeso**

Esta unidade constitui-se de rochas sãs, não fraturadas em profundidades superiores a 150 metros, pertencentes ao Complexo Xingu (gnaisses, granitóides e rochas máficas), as quais ocorrem na porção sul da área em apreço, servindo de encaixante para as rochas vulcânicas máficas da Formação Parauapebas. Dadas as suas características físicas, esta unidade apresenta um potencial hidrogeológico muito baixo, com um comportamento típico de um aquífugo.

– **Unidade Cristalino Fraturado**

Corresponde à porção fraturada a Unidade Cristalino, a qual ocorre geralmente entre as profundidades de 50 e 150 metros. Apresenta um potencial hidrogeológico baixo e em função da interconexão de fraturas apresenta características de um aquífero fissural.

– **Unidade Cristalino Alterado**

Constitui-se na porção alterada das rochas do Complexo Xingu. No geral, apresentam um bom potencial hidrogeológico, podendo ser interpretados como aquíferos porosos livres, com uma espessura média de 50 metros.

a.2.2.1.2 Sistema Parauapebas

Ocorre contornando a formação ferrífera e é constituída por rochas máficas da Formação Parauapebas. Sua área de afloramento contorna a borda sul do Corpo S11 Bloco D e mergulha sob a formação ferrífera em sentido norte. Apresenta-se com duas unidades, uma constituída por máfica decomposta e outra formada por rocha sã.

– **Unidade Máfica Sã**

Esta unidade é formada por basaltos e metabasaltos compactos e sãos. A circulação de água nessas rochas se dá unicamente através de suas discontinuidades estruturais (sistemas de fraturas e ou falhas). Por similaridade com o platô Serra Norte, pode-se atribuir a essa unidade uma baixa capacidade de transmissão de água, classificando-a como um aquífero.

– **Unidade Máfica Decomposta**

Esta unidade ocorre em superfície, em decorrência de processos intempericos que formam a zona de alteração da rocha máfica. Devido à sua constituição mineralógica, o produto de sua alteração é formado essencialmente por argilo-minerais, o que lhe atribui características de aquífugo, com mui baixa permeabilidade.

a.2.2.1.3 Sistema Carajás

Neste sistema hidrogeológico distinguem-se duas unidades principais: Unidade Inferior, em jaspelitos; e, Unidade Superior, em hematitas friáveis. Raramente, são verificadas camadas de hematitas compactas, intercaladas nas hematitas friáveis, mas que não caracterizam uma unidade individualizada devido a sua ocorrência restrita.

– Unidade Inferior

Esta unidade refere-se a uma camada de jaspelitos praticamente contínua e subjacente às hematitas friáveis, com espessura considerável de até mais de 100 metros. Devido suas características de material compacto, nesta unidade, a água subterrânea circula através de descontinuidades na rocha. Por analogia com o platô Serra Norte, atribui-se a essa unidade característica predominante de aquífero.

– Unidade Superior

Esta unidade é constituída fundamentalmente por hematitas friáveis e pulverulentas de origem residual ou supergênica, representativas de um material poro-permeável que apresenta, pela suas características intrínsecas, um tipo de aquífero intergranular que permite a circulação de água através de seus interstícios. Apresentam espessura bastante variável, podendo alcançar até um máximo de 410 metros.

a.2.2.1.4 Unidade Coberturas Lateríticas

Esse sistema é constituído pelas extensas e delgadas coberturas de material laterítico, de natureza eluvial e coluvial, que recobrem todos os platôs da Serra dos Carajás. Constituem camadas de até dezenas de metros de espessura, compostas por fragmentos das rochas subjacentes, cimentados por hidróxidos de ferro, com pouco ou nenhum transporte, denominados genericamente por cangas e que recobrem todo o Corpo S11Bloco D. Estas cangas funcionam como aquíferos porosos de circulação rasa que alimentam as lagoas no alto dos platôs e permitem a recarga dos sistemas aquíferos subjacentes.

a.2.2.1.5 Sistema Águas Claras

Os metassedimentos da Formação Águas Claras ocorrem na porção norte da área de influência do Corpo S11 Bloco D. Este sistema apresenta-se como aquíferos porosos, sobretudo nas porções mais superficiais intemperizadas (Unidade Águas Claras Rocha Alterada). Contudo, nas porções mais profundas, onde os metarenitos encontram-se mais compactados, cimentados e são, o fluxo é misto, ocorrendo tanto em meio poroso como fissural (Unidade Águas Claras Rocha São Fraturada).

– Unidade Águas Claras Fraturada

Esta unidade compõe-se pela intercalação de camadas pelíticas entre os metarenitos, promovendo um complexo arranjo hidrogeológico, onde folhelhos e siltitos atuam como aquíardos e aquícludes, enquanto os arenitos se constituem em aquíferos de médio a elevado potencial. Dessa maneira, constitui-se em um aquífero misto. Nas porções superiores são geralmente porosos, sendo que nas porções mais profundas o fluxo ocorre predominantemente ao longo das foliações ou das falhas e fraturas abertas (aquífero fissural).

– Unidade Águas Claras Alterada

Nesta unidade encontram-se as camadas de solo de alteração sobre as rochas metassedimentares sãs da Formação Águas Claras, predominam as porções arenosas que conferem taxas de recarga relativamente elevadas. Na zona vadosa, o fluxo nestas regiões é vertical descendente até atingir a zona saturada, normalmente localizada logo acima do contato com as rochas sãs. A região de contato, entre o solo de cobertura e as rochas, representa uma zona normalmente favorável ao fluxo das águas subterrâneas em ambiente de aquífero poroso.

a.2.2.1.6 Unidade Máficas Intrusivas

Constitui-se de diques e sills de rochas básicas intrusivas apresentam características de aquíclude e funcionam como barreiras hidráulicas localizadas. Não apresentam potencial hidrogeológico.

a.2.2.2 Intervalos dos Valores de Condutividade Hidráulica e Recarga

Neste estudo, os valores típicos de condutividade hidráulica foram obtidos a partir da compilação de dados da literatura hidrogeológica especializada e dos trabalhos hidrogeológicos já realizados em áreas semelhantes ao Corpo S11, como é o caso de Serra Norte. Com base nisto, apresentam-se na **Tabela 6.1.8.57** os intervalos dos valores típicos de condutividade hidráulica, K, para as unidades hidrogeológicas definidas na área de influência do Projeto Ferro Carajás S11D.

TABELA 6.1.8.57

**INTERVALOS DE VARIAÇÃO DOS VALORES TÍPICOS DE CONDUTIVIDADE
HIDRÁULICA DAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS RECONHECIDAS NA ÁREA
DO PROJETO S11D**

Nº de Ordem	Unidades Hidrogeológicas	Tipo Hidrogeológico	Intervalos dos Valores Típicos de K (cm/s)
01	Máficas Intrusivas	Aquiclude	$1,0 \times 10^{-8}$ a $5,0 \times 10^{-5}$
02	Águas Claras Alterada	Aquífero poroso	$5,0 \times 10^{-3}$ a $5,0 \times 10^{-2}$
03	Águas Claras Fraturada	Aquífero misto	$5,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-2}$
04	Coberturas Lateríticas	Aquífero poroso	$1,0 \times 10^{-3}$ a $1,0 \times 10^{-2}$
05	Superior (Formações Ferríferas)	Aquífero Misto	$5,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-2}$
06	Inferior (Jaspelitos)	Aquitardo	$5,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-3}$
07	Máfica Decomposta	Aquiclude	$5,0 \times 10^{-4}$ a $5,0 \times 10^{-3}$
08	Máfica São	Aquitardo	$1,0 \times 10^{-5}$ a $1,0 \times 10^{-4}$
09	Cristalino Alterado	Aquífero poroso	$1,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-3}$
10	Cristalino Fraturado	Aquífero Fissural	$1,0 \times 10^{-6}$ a $1,0 \times 10^{-5}$
11	Cristalino Coeso	Aquifugo	$1,0 \times 10^{-8}$ a $1,0 \times 10^{-5}$

Já para a definição dos valores de recarga, são sugeridos intervalos relacionados ao tipo, ocorrência, geometria e capacidade de infiltração das unidades hidrogeológicas de superfície. Neste sentido, foram considerados quatro intervalos distintos, obtidos a partir de um percentual de infiltração da precipitação média plurianual registrada na estação pluviométrica implantada na Mina N4E, haja vista sua proximidade similaridades com a área em apreço.

O primeiro intervalo refere-se à moderada taxa de infiltração associada à superfície de ocorrência da Unidade Cristalino Alterado. Neste caso, os valores de recarga podem variar de 10% a 20% da precipitação média considerada. Além disso, assume-se que as águas de precipitação que conseguem percolar através desta unidade passem a recarregar a unidade sotoposta (Cristalino Fraturado), constituindo-se, portanto, em um sistema aquífero livre.

O segundo intervalo de valores de recarga refere-se às áreas de ocorrência da Unidade Máfica Decomposta. Estas áreas apresentam-se com uma baixa capacidade de infiltração, onde os valores de recarga podem variar entre 0% e 15% da precipitação média considerada na área. Neste caso, as águas que conseguem percolar por esta unidade de cobertura passam a recarregar determinadas porções da unidade sotoposta, relacionada à ocorrência de rochas máficas com algum grau de fraturamento.

O terceiro intervalo refere-se à alta taxa de infiltração associada à superfície de ocorrência da Unidade Coberturas Lateríticas. Neste caso, os valores de recarga podem variar de 20% a 40% da precipitação média considerada, sendo que as águas que conseguem percolar passam a recarregar as unidades sotopostas, associadas ao Sistema Aquífero Parauapebas (Unidade Superior e Inferior).

Por sua vez, o quarto intervalo refere-se à área de ocorrência da Unidade Águas Claras Alterada. Esta porção apresenta-se com moderada a alta taxa de infiltração, com valores entre 15% e 40% da precipitação na área. Neste caso, admite-se que as águas infiltradas nesta unidade possam recarregar o aquífero sotoposto de maneira eficiente e rápida, constituindo-se em um sistema aquífero livre.

Tendo sido reconhecidas estas diferentes zonas com capacidade de infiltração diferenciada, na **Tabela 6.1.8.58** é apresentada no Corpo S11 Bloco D.

TABELA 6.1.8.58

**INTERVALOS DE RECARGA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA
DO BLOCO D DO CORPO S11**

Capacidade de Infiltração	Unidades Hidrogeológicas	Percentual de Infiltração (%)
Moderada	Unidade Cristalino Alterado	10 a 20
Baixa	Unidade Máfica Decomposta	0 a 15
Alta	Unidade Coberturas Lateríticas	20 a 40
Moderada a Alta	Unidade Águas Claras Alterada	15 a 40

Nota: Valor de precipitação média anual com base na série histórica da Estação da Mina N4E.

Por fim, cumpre destacar que estes intervalos de valores de condutividade hidráulica e de recarga servirão de referência durante o processo de calibração do modelo hidrogeológico matemático, bem como para a análise crítica e retroanálise dos resultados produzidos pelo mesmo.

a.3. Relação das águas subterrâneas com as águas superficiais

Diante do que foi apresentado neste documento, infere-se que todos os processos de inter-relação entre as águas superficiais e subterrâneas decorrem de um regime puramente influente das águas subterrâneas. Neste sentido, todo o aporte de fluxos em superfície provém dos aquíferos para as calhas de drenagem, não havendo contribuições em regime efluente, ou seja, águas superficiais alimentando os aquíferos.

b. Caracterização da Piezometria dos Aquíferos e sua Rede de Monitoramento na Área de Influência Direta do Empreendimento

b.1. Considerações preliminares

Em 2004, foram instalados 11 piezômetros no Corpo S11 Bloco D. As coordenadas UTM desses piezômetros e suas cotas são apresentadas na **Tabela 6.1.8.59** a seguir.

TABELA 6.1.8.59

DADOS DE PIEZÔMETROS USADOS NA CALIBRAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

Nº de Ordem	Código Mdgeo	UTM-E (m)	UTM-N (m)	Cota da Boca do Poço (m)	Prof. (m)	Cota do Nível de Água (m)
01	S11D-103	575.930	9.293.180	732,5	120,0	622,3
02	S11D-116	574.795	9.292.430	725,5	150,0	592,9
03	S11D-117	574.738	9.292.628	706,0	120,0	587,0
04	S11D-154	574.315	9.292.290	806,4	150,0	685,3
05	S11D-156	574.603	9.292.370	719,2	150,0	597,6
06	S11D-159	574.767	9.292.530	720,0	120,0	604,7
07	S11D-177	574.320	9.292.609	713,0	100,0	637,2
08	S11D-237	572.703	9.291.510	819,8	150,0	662,5
09	S11D-239	575.906	9.292.560	732,0	120,0	650,5
10	S11D-266	571.717	9.292.020	787,0	150,0	704,1
11	S11D-274	575.449	9.292.810	708,8	120,0	591,1

Fonte: Dados compilados de Mdgeo (2006a; 2008c).

Contudo, estes piezômetros não possuem dados construtivos e por esta razão não se sabe qual o domínio aquífero está sendo de fato monitorado. Para efeitos de uma caracterização detalhada, estes dados não podem ser usados. No entanto podem ser usados para estudos mais regionais.

Dessa maneira, na Área de Influência Direta (AID) do estudo não existe uma rede de monitoramento instalada capaz de fornecer dados precisos sobre os diferentes sistemas aquíferos existentes, mas podem fornecer uma idéia do comportamento médio dos aquíferos. Atualmente, conforme apresentado no plano de trabalho (**Anexo III-H**), uma rede complementar esta sendo instalada para este fim específico. Devendo ainda ser operada por um determinado intervalo de tempo para que se tenha uma impressão mais confiável sobre a piezometria aquífera local. Para tanto, o referido plano de trabalho também apresenta um cronograma que deverá ser observado para a efetiva caracterização desejada.

Entretanto, para fins de previsão de comportamento esperado para esta área de estudo pode-se recorrer a uma análise de similaridade, tendo como base as informações consolidadas de áreas reconhecidamente semelhantes em termos hidrogeológicos. Esta é uma prática aplicável em estudos hidrogeológicos em áreas remotas, não dotadas ainda de dispositivos de coleta específicos, e tem por finalidade descrever um determinado comportamento piezométrico em função das possíveis alterações sazonais e de taxas de exploração do aquífero a serem registradas durante a vida útil do empreendimento.

Para o estudo em questão, esta se torna uma possibilidade real tomando-se como base a área de Serra Norte, na região das Minas N4 e N5. Nesta região, o modelo hidrogeológico conceitual de fluxo das águas subterrâneas guarda forte similaridade com o modelo proposto para a área do Projeto Ferro Carajás S11D, pois o modelo geológico é basicamente o mesmo, em termos de estruturas e litologias.

Dessa maneira, apresenta-se abaixo uma descrição do comportamento piezométrico de N4 e N5 como forma de se estabelecer um padrão de comportamento que poderá vir a ocorrer em S11D ao longo de sua vida útil. Ressalta-se o caráter comparativo e especulativo deste tipo de análise, apresentada apenas como forma preliminar de se entender o comportamento do sistema aquífero de S11D no que tange a relação piezométrica com a sazonalidade climática e a exploração de águas subterrâneas a partir de poços tubulares. Neste sentido, coloca-se que o comportamento descrito a seguir só poderá ser de fato comprovado ao longo do tempo de monitoramento dos aquíferos da região de S11D, através de sua rede específica, conforme previsto no plano de trabalho (**Anexo III-H**).

b.2 Análise de similaridade com N4 e N5

Os primeiros registros dos dados piezométricos nas minas de ferro de Carajás datam de janeiro de 1991. Para a elaboração deste modelo numérico foram analisados os dados piezométricos até março de 2008.

Como era de se esperar a maior quantidade de informações piezométricas é obtida na mina N4E. Existem só nesta mina registros de 214 piezômetros já instalados. A maioria desses instrumentos são furos de sonda de pesquisa que são aproveitados para medição de nível de água. No entanto, devido à dinâmica acelerada de evolução da cava da mina, muitos foram destruídos, sendo que atualmente apenas 3 piezômetros encontram-se em condições de operação em N4E, com medidas periódicas do nível da água subterrânea.

A **Figura 6.1.8.198** apresenta o gráfico com os dados piezométricos comparados com a precipitação e o bombeamento para a mina de N4E. Nota-se uma ausência de informações no período de 2000 a 2004 por falta de monitoramento. Independente disto, neste gráfico é bastante perceptível o rebaixamento do nível de água (~ 250 metros de rebaixamento) ocorrido ao longo do tempo de operação da mina. Neste sentido, verifica-se que entre o período de 1992 a 1997 este rebaixamento foi mais intenso. Os níveis de água iniciais em 1991 encontravam-se entre as cotas de 620 a 650 metros, tendo sido rebaixados atualmente, em 2008, para cotas próximas 400 metros.

Na mina N4WN foram levantados registros de 118 piezômetros, sendo que para vários deles não foi encontrada nenhuma informação. Nesta mina, também existe uma lacuna com ausência de dados no período entre 2000 e 2004. A **Figura 6.1.8.199** apresenta o gráfico com a evolução da cota do nível de água nesta mina. Pela referida figura nota-se que o nível de água inicial em 1996 era em torno da cota 600 metros, tendo sido rebaixado em 2008 para uma cota próxima a 500 metros.

Para a mina N4WC foram encontrados os registros de 10 piezômetros, cujas leituras iniciam-se em janeiro de 2005. A **Figura 6.1.8.200** apresenta a evolução do nível de água nesses piezômetros. Com base nesse dados verifica-se um rebaixamento bastante incipiente, com níveis de água iniciais em torno de 680 metros, tendo sido rebaixados cerca de 25 metros até 2008.

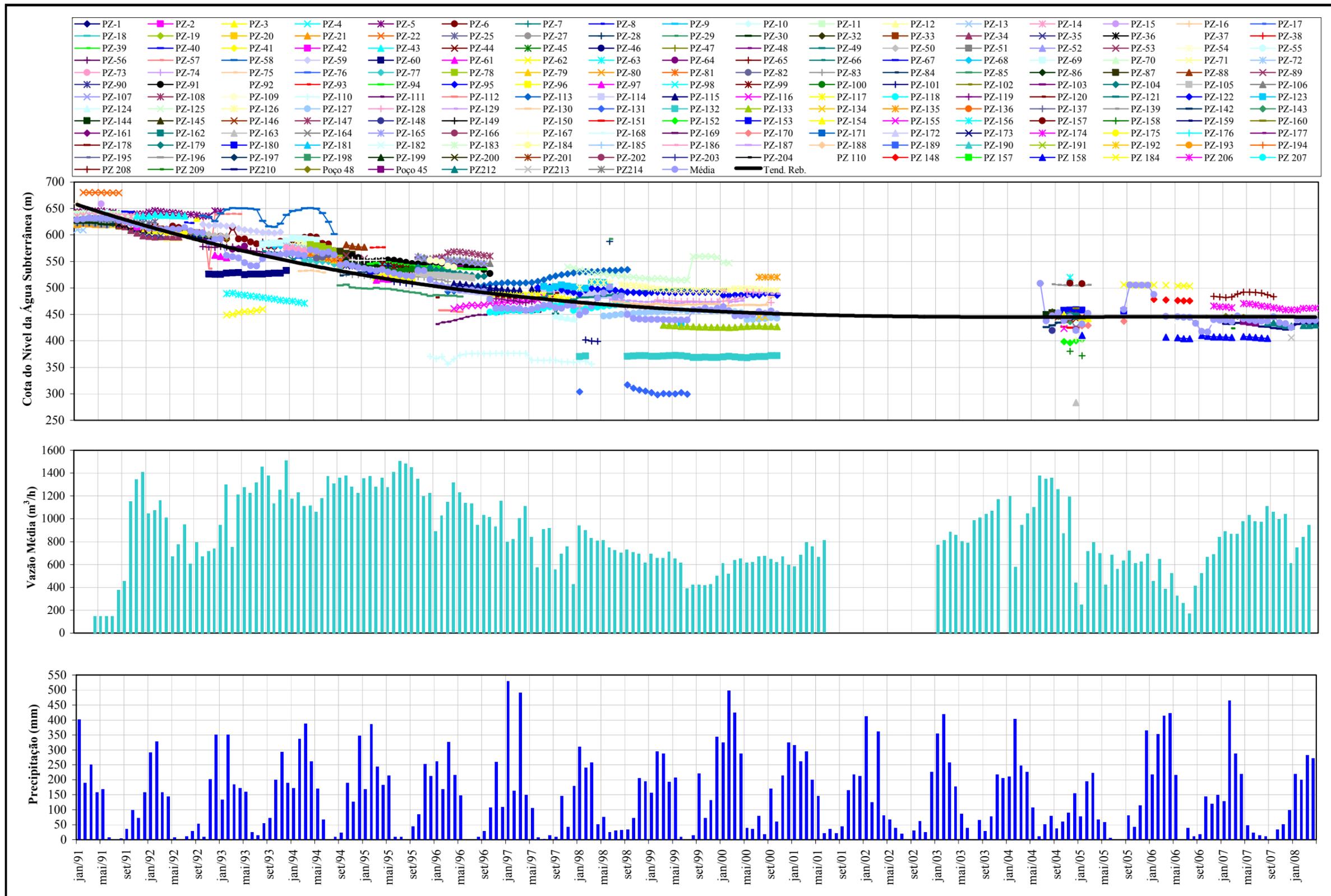


FIGURA 6.1.8.198 - Gráfico representativo do monitoramento do nível da água subterrânea na mina de N4E em comparação com os dados de precipitação e bombeamento de poços.

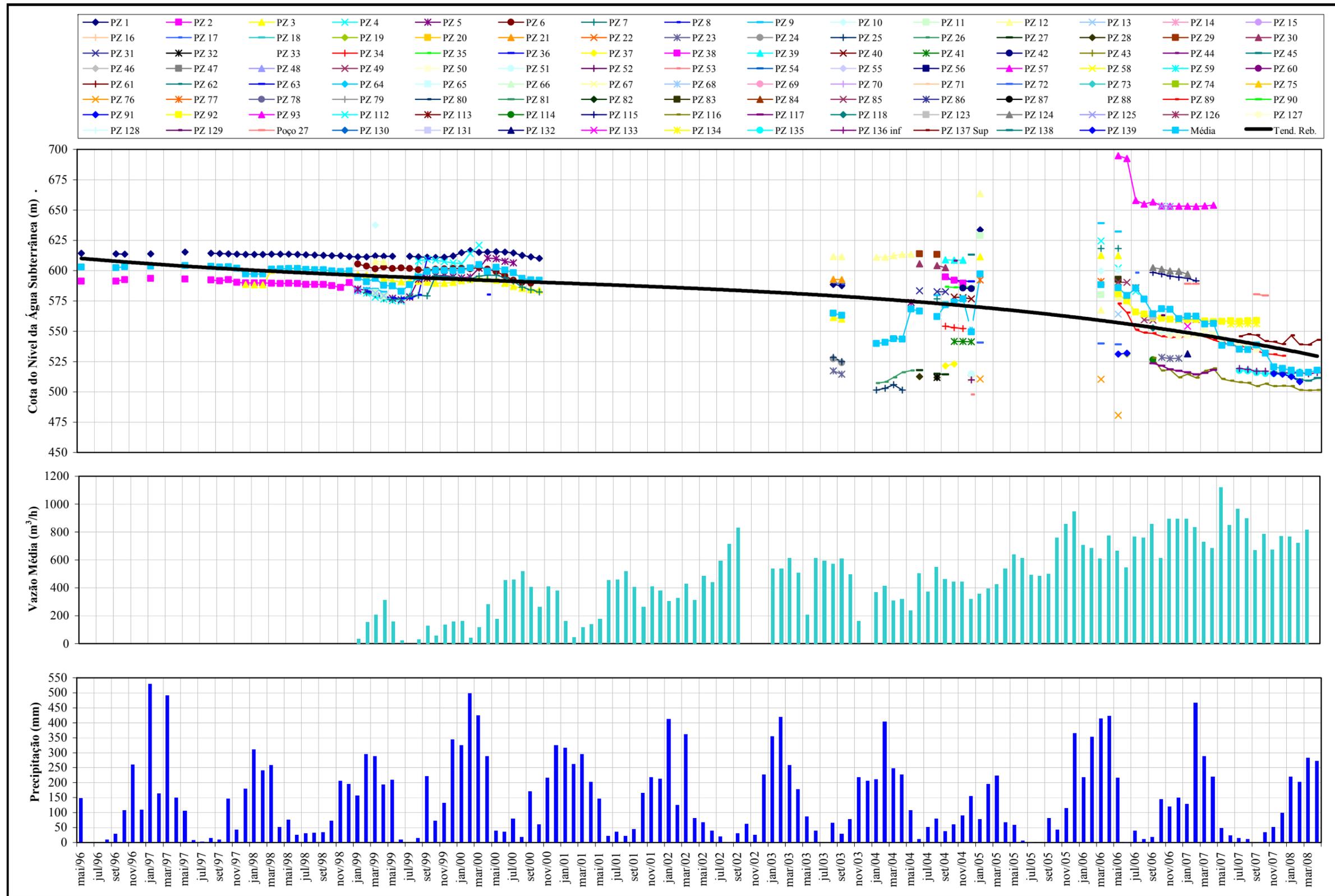


FIGURA 6.1.8.199 - Gráfico representativo do monitoramento do nível da água subterrânea na mina de N4WN em comparação com os dados de precipitação e bombeamento de poços.

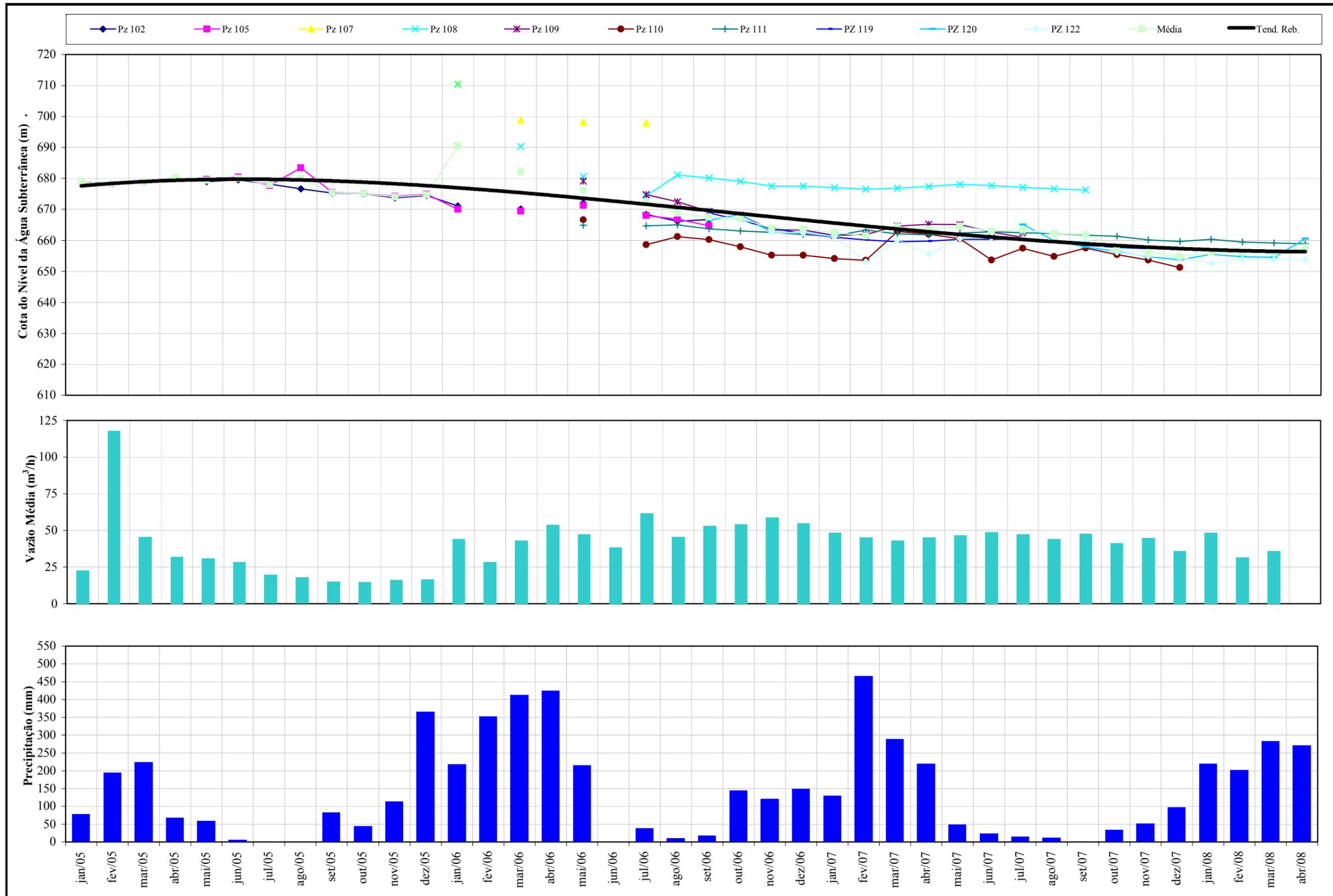


FIGURA 6.1.8.200 - Gráfico representativo do monitoramento do nível da água subterrânea na mina de N4WC em comparação com os dados de precipitação e bombeamento de poços.

Na mina N5E foram levantados registros da instalação de cerca de 30 piezômetros, a maioria atualmente destruídos. Os primeiros dados de monitoramento são de agosto de 2001. A **Figura 6.1.8.201** apresenta a evolução dos níveis de água nesta mina. Numa primeira análise torna-se difícil identificar o rebaixamento ocorrido, pois os dados incluem piezômetros de diversas áreas (minério/encaixantes) e, portanto com níveis bem diferentes. Mas analisando os piezômetros principais, verifica-se um nível de água inicial em torno de 670 metros em 2001 que foi rebaixado cerca de 100 metros na porção principal da cava até meados de 2008.

A **Figura 6.1.8.202** apresenta os piezômetros da mina N5W cujos primeiros registros tiveram início em fevereiro de 2000. Novamente foram identificados diversos piezômetros situados nas encaixantes e que não demonstram o rebaixamento ocorrido. Tomando como base aqueles localizados na porção de minério, nota-se um nível inicial em torno da cota 590 metros, tendo sido rebaixado para uma cota próxima a 570 metros em 2008.

Uma síntese do rebaixamento do nível de água nas diversas minas é apresentada pela **Figura 6.1.8.203**. Trata-se de um gráfico apenas representativo para se ter uma visualização geral da evolução do nível de água em todas as minas. Neste gráfico foram considerados os dados médios de piezometria existentes.

Ademais, cabe ressaltar que em todas as minas existem diques de rocha básicas que compartimentam o aquífero gerando diferenciações nos níveis de água. Por se tratar de um estudo geral englobando todas as minas de ferro, essas peculiaridades não foram consideradas, tratando o rebaixamento em cada mina de um modo generalizado, com o intuito de compor uma visão regional para a avaliação dos possíveis impactos hidrogeológicos gerados em decorrência do procedimento do rebaixamento de nível da água subterrâneas nestas minas.

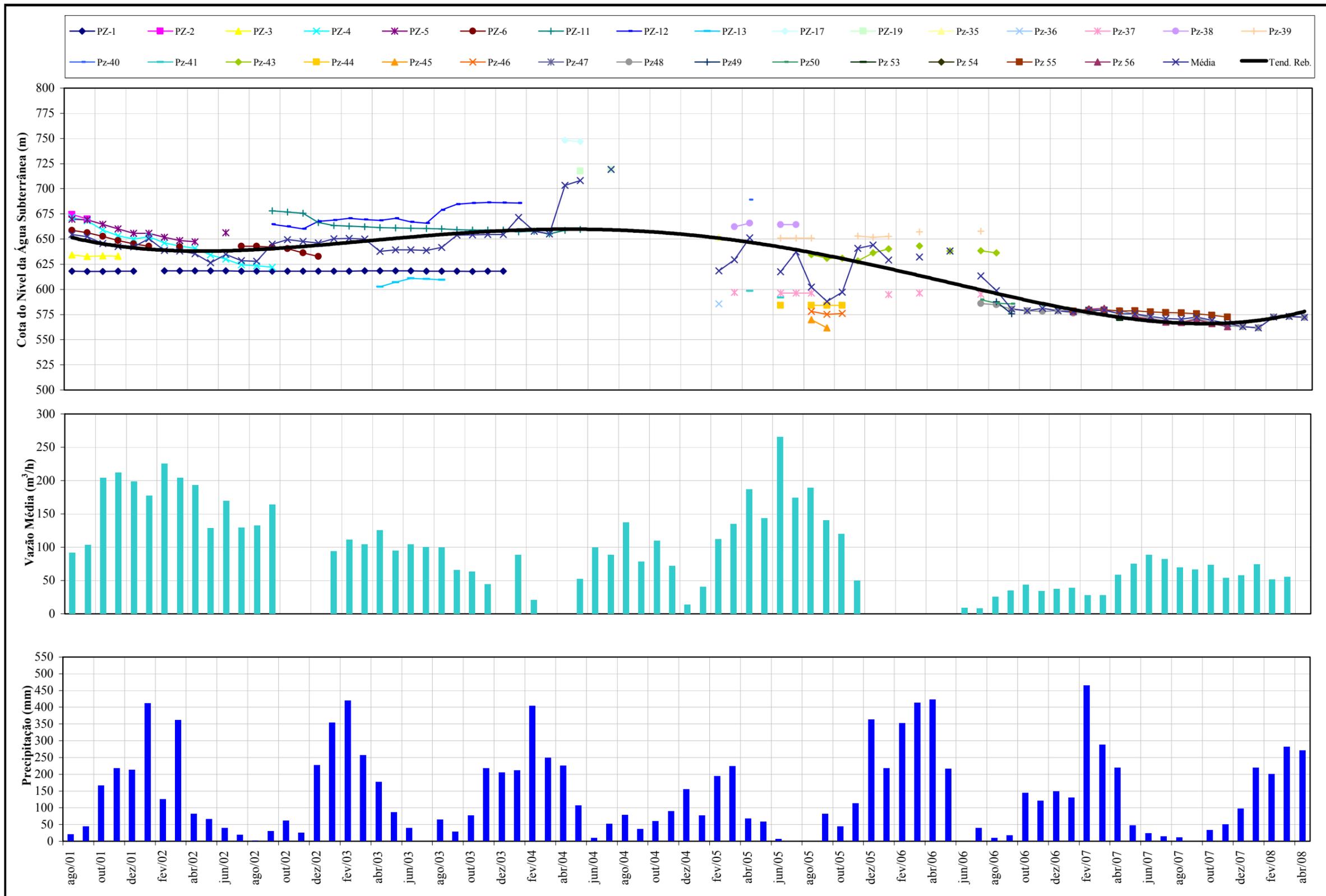


FIGURA 6.1.8.201 - Gráfico do monitoramento do nível da água subterrânea na mina de N5E em comparação com os dados de precipitação e bombeamento de poços.

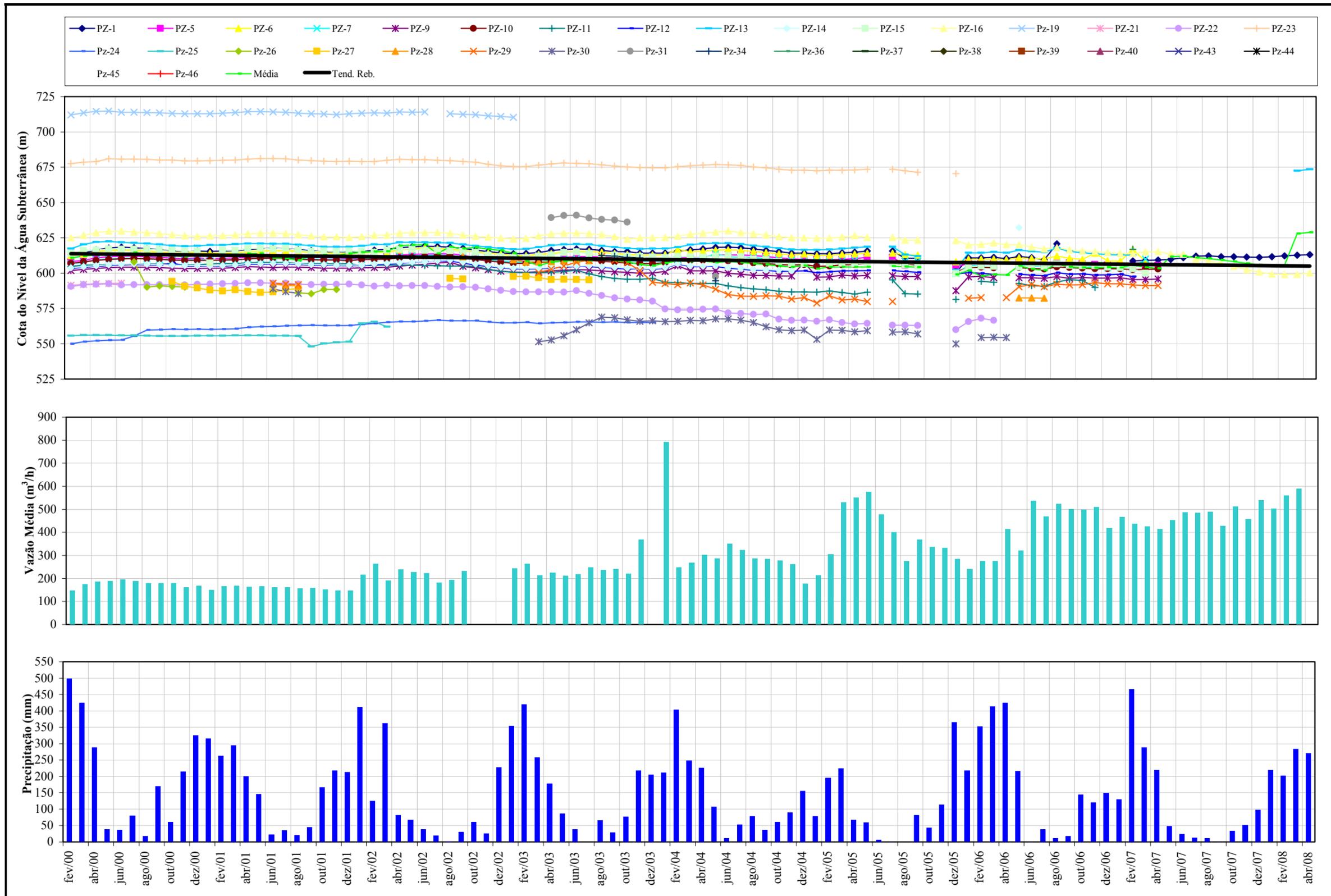


FIGURA 6.1.8.202 - Gráfico representativo do monitoramento do nível da água subterrânea na mina de N5W em comparação com os dados de precipitação e bombeamento de poços.

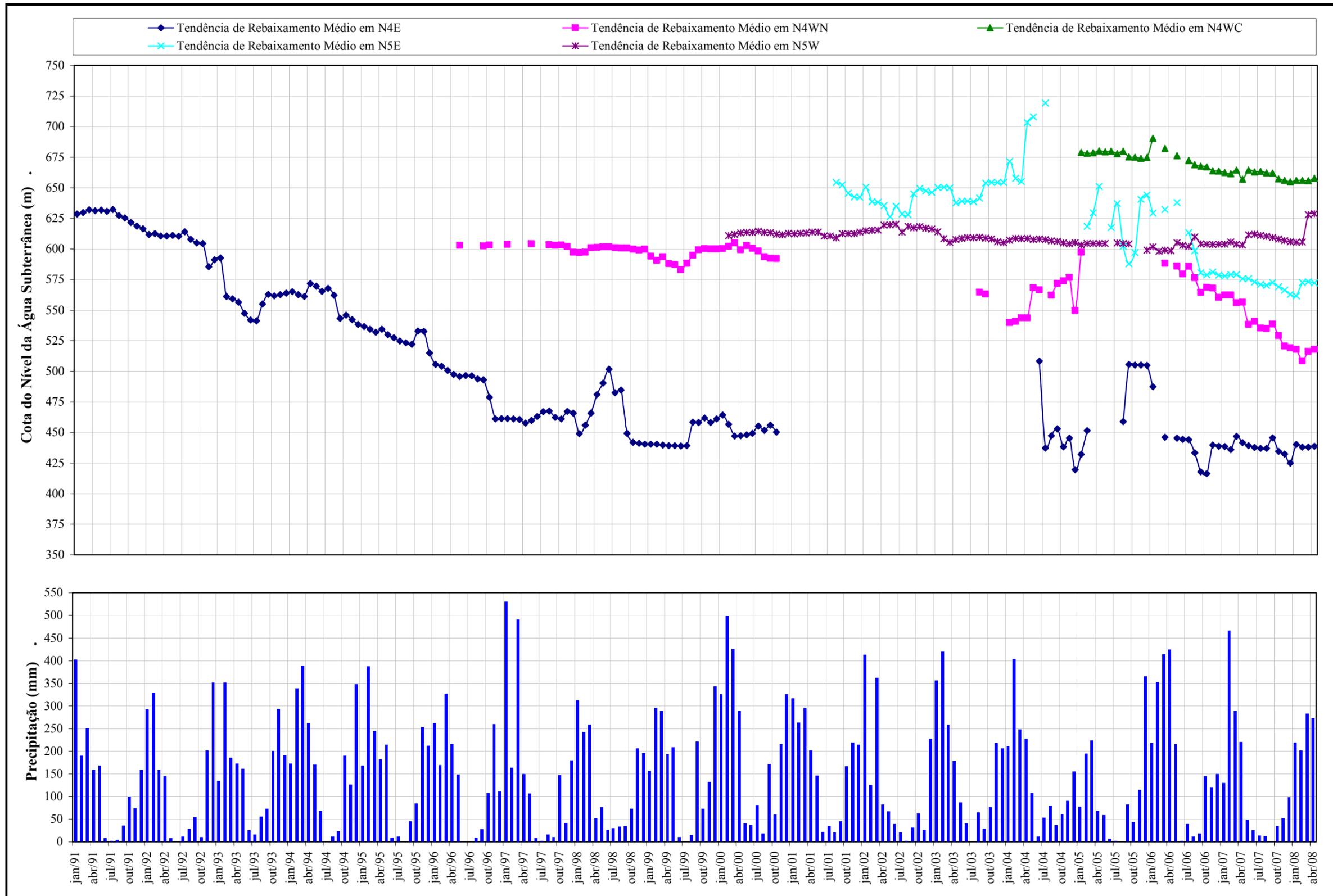


FIGURA 6.1.8.203 - Gráfico representativo do comportamento do rebaixamento médio de nível da água subterrânea nas minas de N4 e N5 em comparação com os dados de precipitação.

c) Poços de bombeamento

Na área de influência direta (AID) do projeto Ferro Carajás S11D não foram registrados em campanhas de campo e também não há registros em literatura e órgão competentes de poços instalados para fins de bombeamento de águas subterrâneas de aquíferos.

Contudo, o plano de trabalho apresentado no **Anexo III-H** prevê a instalação de poços de bombeamento.

d) Determinação de permeabilidade média das camadas saturadas

A permeabilidade média das camadas saturadas pode ser determinada através de estudos diretos e indiretos.

Em termos de estudos diretos, em 2006 foram realizados ensaios de permeabilidade nos piezômetros existentes, com o objetivo de calcular a condutividade hidráulica do sistema aquífero. De acordo com o relatório apresentado, os valores dos parâmetros hidrodinâmicos são bastante distintos entre si, dependendo dos diferentes maciços geológicos presentes na região. Dessa maneira os menores valores de condutividade foram encontrados nas rochas máficas decompostas com índices de 0,0008 m/dia, até os máximos valores nas hematitas de muito alta permeabilidade, que apresentam condutividade hidráulica de 0,0008 m/dia. Por sua vez o armazenamento, se distribui nas litologias entre 0,005 (0,5%) nos menos capacitivos (máficas e jaspelitos), enquanto que para os mais capacitivos (hematitas de alta porosidade, em condições livres), são atribuídos valores de 0,08 (8%).

Em termos de determinações indiretas, Os valores típicos de condutividade hidráulica (ou permeabilidade) são normalmente obtidos a partir da compilação da literatura hidrogeológica e dos trabalhos hidrogeológicos já realizados na área dos Projetos de mineração da Vale na região de Carajás (Projeto Cristalino, Sossego, Ferro Carajás), incluindo-se a interpretação de testes de bombeamento e de testes de injeção sob pressão para determinação de parâmetros hidráulicos.

Desse modo, apresenta-se na **Tabela 6.1.8.60** os intervalos dos valores típicos de condutividade hidráulica, K, para as principais unidades hidrogeológicas definidas na região.

TABELA 6.1.8.60**INTERVALOS DE VARIAÇÃO DOS VALORES TÍPICOS DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DA AID**

Nº de Ordem	Unidades Hidrogeológicas	Tipo Hidrogeológico	Intervalos dos Valores Típicos de K (cm/s)
01	Máficas Intrusivas	Aquiclude	$1,0 \times 10^{-8}$ a $5,0 \times 10^{-5}$
02	Águas Claras Alterada	Aquífero poroso	$5,0 \times 10^{-3}$ a $5,0 \times 10^{-2}$
03	Águas Claras Fraturada	Aquífero misto	$5,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-2}$
04	Coberturas Lateríticas	Aquífero poroso	$1,0 \times 10^{-3}$ a $1,0 \times 10^{-2}$
05	Superior	Aquífero Misto	$5,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-2}$
06	Inferior	Aquitardo	$5,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-3}$
07	Máfica Decomposta	Aquiclude	$5,0 \times 10^{-4}$ a $5,0 \times 10^{-3}$
08	Máfica Sã	Aquitardo	$1,0 \times 10^{-5}$ a $1,0 \times 10^{-4}$
09	Cristalino Alterado	Aquífero poroso	$1,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-3}$
10	Cristalino Fraturado	Aquífero Fissural	$1,0 \times 10^{-6}$ a $1,0 \times 10^{-5}$
11	Cristalino Coeso	Aquifugo	$1,0 \times 10^{-8}$ a $1,0 \times 10^{-5}$

Fonte: Elaborado com a base de dados de geologia.

Por fim, cumpre destacar que estes intervalos de valores de condutividade hidráulica e de recarga servirão de referência durante o processo de calibração do modelo hidrogeológico matemático, bem como para a análise crítica e retroanálise dos resultados produzidos pelo mesmo.

Contudo, o plano de trabalho no **Anexo III-H** apresenta ainda uma campanha complementar para coleta de dados de permeabilidade através de ensaios específicos a serem realizados a partir dos novos poços que estão sendo instalados para a rede de monitoramento local.

e) Determinação, em cartas hidrogeológicas, das áreas de recarga, circulação e descarga dos aquíferos existentes

Reconhece-se que o principal sistema aquífero presente na área de influência do Corpo S11 seja aquele constituído pelas unidades ferríferas da Formação Carajás, limitado na base e lateralmente pelos basaltos da Formação Parauapebas. No geral, essas rochas básicas apresentam baixa permeabilidade e, à exceção de zonas cisalhadas, constituem aquiocludes quando decompostas.

De acordo com seções geológicas disponibilizadas pela Cia. Vale, pode-se observar que o Sistema Hidrogeológico Carajás encontra-se bordejado pelas rochas impermeáveis do Sistema Hidrogeológico Parauapebas. No entanto, constitui-se em um sistema aquífero livre, haja vista que a sua recarga ocorre de forma direta, através de porções expostas da unidade Superior, seja de forma indireta, pela percolação de águas através da Unidade Coberturas Lateríticas.

Dessa maneira, admite-se que toda a área de ocorrência de Coberturas Lateríticas, ou seja, quase a totalidade da superfície do Corpo S11, pode ser considerada como área de recarga efetiva para os sistemas aquíferos sotopostos localmente.

Os perfis geológicos e o mapa geológico do Corpo S11 Bloco D mostram uma segmentação do sistema aquífero em dois blocos, provocada pela presença de um espesso dique de rocha básica. Esse dique constitui uma importante barreira hidráulica, compartimentando o aquífero em dois blocos denominados: Bloco Leste e Bloco Oeste.

Em princípio, estes blocos são hidráulicamente desconectados. Além disso, como apresentado por Mdgeo (2008c), as seções geológicas disponibilizadas mostram uma notável diferença de espessura do Sistema Aquífero Carajás entre os dois blocos, sendo que no bloco Leste a espessura de aquífero é superior.

Os dados de monitoramento potenciométrico existentes na área indicam que a superfície piezométrica do Aquífero Carajás se posiciona a um nível relativamente profundo, da ordem de 100 metros, ou mais, dependendo da cota do terreno. Dessa maneira, admite-se que a espessura saturada de aquífero é relativamente pequena ao longo de todo o platô. Somente em regiões de grande espessura da formação ferrífera haveria uma maior espessura saturada que poderia sustentar poços tubulares com maior potencial para captação de água.

Segundo Mdgeo (2008c), foram identificados no entorno do Corpo S11 Bloco D cinco drenagens principais que restituem água do Sistema Aquífero Carajás para as sub-bacias circunvizinhas, sendo que três delas, denominadas informalmente como A, B e C, deságuam na bacia do igarapé Sossego. A drenagem D restitui água para o igarapé Serra Sul, enquanto a drenagem E restitui água para a bacia Itacaiúnas Leste.

Ademais, as informações coletadas por Mdgeo (2006a, 2008c) mostram que no prolongamento da falha, onde se encaixa o dique citado anteriormente (Drenagem B), existe uma importante zona de descarga do Sistema Aquífero Carajás na borda norte do Corpo S11. A região de descarga se inicia na cota 575 metros, com uma vazão próxima de 5 m³/h. Esta drenagem ao atingir a cota 470 metros, cerca de 500 metros a jusante, apresenta um considerável incremento de vazão, medido em 64,7 m³/h.

À oeste da falha foi identificada outra região de descarga de água de água subterrânea, na drenagem C. O início desta zona seria correspondente às nascentes situadas nas elevações 625 a 635 metros, com vazões da ordem de 2 m³/h. No ponto de confluência dessa drenagem com o leito do igarapé Sossego mediu-se uma vazão de 295 m³/h. Trata-se da área de mais importante restituição de água ao Sistema Aquífero Carajás no Bloco Oeste.

A superfície piezométrica mostra que há um desnível entre os Blocos Leste e Oeste, delimitados pelo grande dique básico o que atestaria a estanqueidade dos mesmos. Esta superfície foi construída com dados incompletos e indica um caimento geral da mesma em sentido norte, sendo que as saídas d'água encontram-se provavelmente no contato do Sistema Aquífero Carajás com a máfica decomposta de topo. A hipótese da compartimentação dos blocos deve ser ainda confirmada por instrumentos de medida convenientemente localizados.

A partir de interpretações fundamentadas em dados de campo coletados em trabalhos anteriores (Mdgeo, 2006a; 2008c), aventa-se a hipótese de que o fluxo d'água subterrâneo tenha caimento em sentido norte e as nascentes estariam, em princípio, no contato com as rochas máficas de topo situadas na vertente norte do platô. Dessa maneira, considera-se que a restituição de água a partir do Sistema Aquífero Carajás alimenta preferencialmente o vale do igarapé Sossego, e recebe ainda as contribuições de água restituída pelo Sistema Parauapebas. Por outro lado, as drenagens que se dirigem para o vale situado a sul do Corpo S11 Bloco D, teriam origem fundamentalmente a partir da água de restituição da Formação Parauapebas.

De fato, parece haver uma maior taxa de restituição de água subterrânea no vale situado a norte do Corpo S11 Bloco D (bacia do igarapé Sossego). Além disso, pode haver ainda um fluxo longitudinal, em direções opostas e confluentes para o alinhamento estrutural onde se aloja o dique básico que segmenta os Blocos Leste e Oeste.

Na bacia do igarapé Pacu, que tem origem na vertente sul do Corpo S11 Bloco D, foi registrada uma restituição de apenas 30 m³/h, no ponto de jusante da área inventariada, todas as drenagens que descem da borda norte, na bacia do igarapé, Sossego registram vazões superiores a 108 m³/h. Em termos mais específicos, as três drenagens que vertem água para o igarapé Sossego, na borda norte e leste do Corpo S11 Bloco D, registram vazões de 148 m³/h (drenagem A), 233 m³/h (drenagem B) e 295 m³/h (na drenagem C).

Isto corrobora a hipótese de que a restituição da água subterrânea para as duas bacias citadas é proveniente de sistemas hidrogeológicos distintos. Neste sentido, as restituições de água para a bacia do igarapé Pacu estariam associadas ao Sistema Parauapebas, constituído por rochas máficas que originam solos essencialmente argilosos, com pequena capacidade de restituição de água subterrânea. Já a bacia do igarapé Sossego recebe água proveniente do Sistema Carajás, com muito maior capacidade de armazenamento e transmissividade.

Os parâmetros hidroquímicos de campo reforçam esta interpretação, uma vez que as drenagens e nascentes identificadas na bacia do igarapé Pacu registram, em geral, pH mais elevado e condutividade elétrica pouco maiores, quando comparadas aos registros efetuados nos pontos d'água da bacia do igarapé Sossego.

Por sua vez, as cabeceiras das drenagens D (bacia do igarapé Serra Sul) e E (bacia Itacaiúnas Leste) estão alinhadas segundo importante lineamento estrutural que segmenta os Corpos C e D e cuja estrutura pode representar zona de percolação preferencial de água subterrânea para as duas vertentes do platô, nos limites dos corpos citados. Isto é sugerido pela alta vazão medida na drenagem E, que é geológica e morfologicamente semelhante às drenagens do igarapé Pacu, porém com uma elevada restituição de água.

Mdgeo (2008c) chama a atenção ainda para o fato de que devem ocorrer incrementos importantes de vazões em cotas mais baixas na vertente norte do Corpo S11 Bloco D, que podem estar associadas à percolação de água em zonas de fraturamento preferencial, sendo em princípio identificados os alinhamentos estruturais nas drenagens B, D e E.

Com relação às lagoas existentes no Corpo S11 Bloco D e nos demais corpos do Corpo S11, segundo Mdgeo (2008c), representam zonas de drenagem endorreica, que recebem tanto a contribuição direta do escoamento superficial, como também recebem a contribuição de um importante escoamento hipodérmico originado principalmente das cangas de minério. Essas lagoas podem ser permanentes ou intermitentes, sendo que os principais corpos de água dessa natureza são representados no Corpo S11 Bloco D pelas lagoas do Violão e do Jacaré.

Há que se ressaltar que as cangas de minério representam um material muito poroso e permeável, com grande capacidade de infiltração. Na base dessa canga há um contraste de permeabilidade com os litotipos subjacentes, em cuja interface tem origem esse escoamento. Observa-se na época chuvosa que principalmente as cangas de minério sustentam um escoamento hipodérmico, persistente por todo esse período, o que atesta a sua grande capacidade de absorção de água. Via de regra, esse escoamento é desaguado para as bordas do platô ou para as regiões das lagoas, perenes ou intermitentes, que representam regiões rebaixadas com drenagem endorreica.

Os dados preliminares indicam que o nível de água das lagoas permanentes está acima da superfície piezométrica do aquífero Carajás, fato que deverá ser devidamente comprovado com a instalação de nova instrumentação. Por exemplo, no caso da Lagoa do Violão, a sua cota é 737 metros, enquanto que a medição realizada no instrumento instalado próximo dessa lagoa apresentou a cota nível de água ao redor de 704 metros.

Este fato deve acarretar uma alta taxa de recarga para o aquífero subjacente e embora ainda não definitivamente esclarecida a relação entre as lagoas e o Sistema Aquífero Carajás, pode-se admitir que a taxa de recarga do mesmo é influenciada pelas mesmas.

Em termos gerais, admite-se que a dinâmica de circulação das águas subterrâneas no domínio de interesse do modelo do Corpo S11 Bloco D é sustentada pela boa porosidade apresentada pelas cangas, favorecendo a recarga nas porções mais elevadas da área, ou seja, nos platôs. Em contraposição, nas áreas de ocorrência de solos argilosos, originários da alteração das rochas máficas, a recarga é considerada substancialmente menor.

Neste contexto, as águas que percolam pela canga permeável conectam-se diretamente com a formação ferrífera, propiciando uma boa recarga deste aquífero profundo. Já quando se registra a ocorrência de solos de cobertura associados à alteração de rochas máficas, naturalmente de composição argilosa e, por conseguinte, de comportamento pouco permeável, observa-se a formação de aquíferos rasos nas unidades ferríferas subjacentes, com níveis de água suspensos e nascentes em cotas elevadas. Nestes locais, também é comum a formação de lagoas suspensas, as quais são formadas nos platôs sobre as cangas assentadas em solos argilosos.

Já em termos de zonas de descarga, estudos anteriores (Mdgeo, 2006a; 2008c), que incluem o cadastro de nascentes da região, apontam pontos específicos de desaguamento natural do sistema aquífero local associado às unidades ferríferas. Além disso, aventa-se a hipótese destas descargas ocorrerem de forma disseminada nas cangas ou através de fraturamentos regionais que possam conectar a formação ferrífera com as porções topográficas mais baixas.

A **Figura 6.1.8.204 (Anexo XV-D)** apresenta a determinação, em carta hidrogeológica, das áreas de recarga, circulação e descarga dos aquíferos existentes.

f) Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos subterrâneos nas Áreas de Influência Direta (AID) e Indireta (AI) do empreendimento

f.1 Diagnóstico Hidrogeológico da AID

Na concepção do cenário hidrogeológico atual da AID do Projeto S11D adotou-se a conformação topográfica original da área. Neste cenário, o contexto hidrodinâmico na área de influência investigada pode ser traduzido pela superfície potenciométrica gerada pelas condições de recarga natural, de escoamento intermediário e de descarga do sistema aquífero, conforme apresentado na **Figura 6.1.8.205**.

Nesta figura, notam-se as principais direções de fluxo do sistema aquífero local, refletindo as condições descritas no item E, de caracterização da dinâmica de fluxo das águas subterrâneas. Neste sentido, o modelo matemático corrobora o fato de que a superfície piezométrica mostra um desnível entre os Blocos Leste e Oeste, delimitado pelo grande dique básico mapeado em superfície (ver Perfil AA'). Além disso, pelos resultados apresentados pelo modelo, é possível afirmar que a unidade Carajás Superior apresenta as maiores velocidades de fluxo e funciona como a principal zona de recarga do domínio hidrogeológico avaliado, sendo as zonas de descargas preferenciais representadas pelos diversos córregos afluentes do igarapé Sossego.

Na **Figura 6.1.8.206**, por sua vez, é apresentado o mapa de cotas do nível de água subterrânea para a área de entorno do Corpo S11 Bloco D, indicando a diferenciação de profundidade entre os blocos hidrogeológicos Leste e Oeste, antes e depois do dique máfico, além de corroborar a falta de conexão hidráulica direta com as lagoas no alto do platô. Cumpre ressaltar que a condição hidrodinâmica simulada no modelo matemático consiste numa situação representativa de uma realidade possível, uma vez que o processo de calibração se mostrou satisfatório.

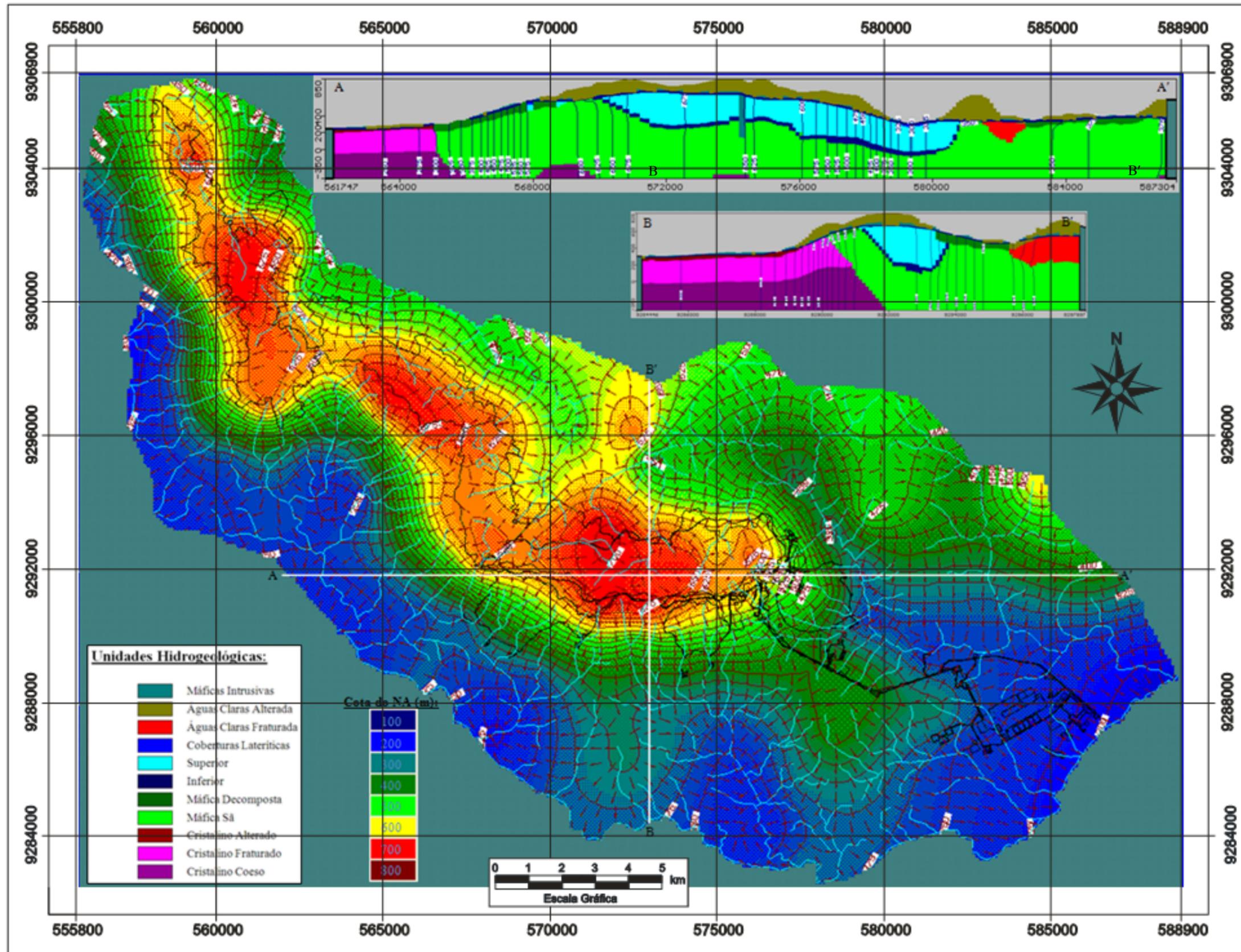


FIGURA 6.1.8.205 - Superfície do nível de água subterrânea gerada a partir da calibração permanente do cenário hidrogeológico atual.

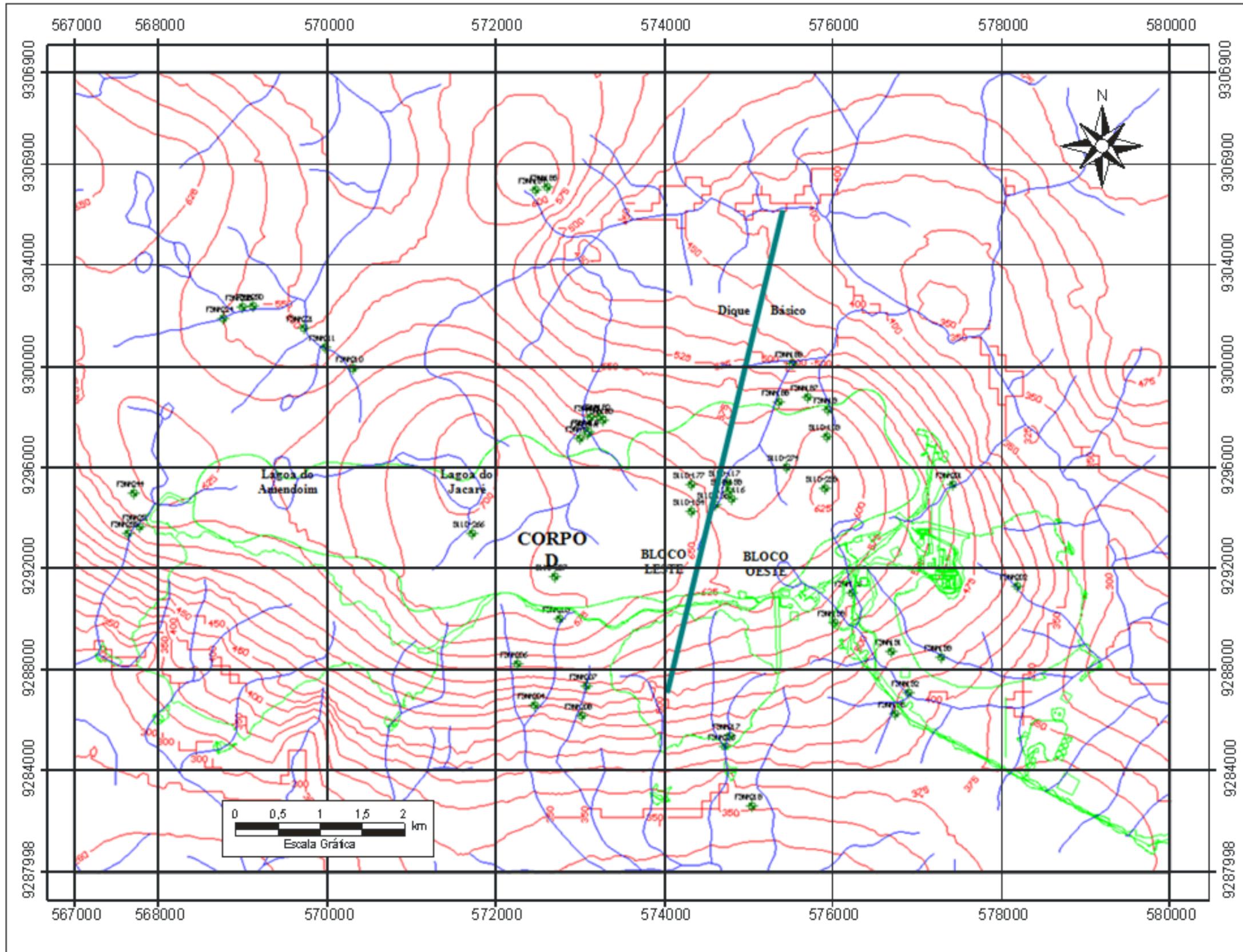


FIGURA 6.1.8.206 - Mapa de cotas do nível de água subterrânea segundo o cenário atual da área de entorno do Corpo S11, Bloco D.

f.2 Diagnóstico Hidrogeológico da AII

Conforme descrito no **item a.2.1**, na AII a maioria das unidades, embora de natureza diversa, são mapeadas como rochas cristalinas, na forma de gnaisses, xistos, filitos e quartzitos, rochas ígneas ou vulcânicas ácidas ou básicas metamorfisadas, metavulcânicas, e os metagabros, metariolitos, etc. Em meio a estes complexos de rochas cristalinas, com graus de metamorfismo variados, porém mantendo suas características originais mais preservadas, são mapeados unidades de rochas vulcânicas, vulcânicas sedimentares, sedimentares diversas (psamíticas, pelíticas, químicas).

Às unidades de rochas são associadas coberturas de solos, que constituem mantos porosos, resultantes dos processos de decomposição mineral, que se mantêm integrados a estes, na forma de camadas de solos de composição, estrutura e porosidade diferenciadas. De maneira geral, a composição destas coberturas varia de argilo-siltoso a intervalos com frações mais arenosas. Nas coberturas formadas pela alteração de rochas cristalinas de granulação mais grossa, como é o caso dos granitos, ou mesmo por sedimentos areníticos, registra-se a presença de solos de granulometria mais grossa, com frações mais arenosas.

Considerando o grau de deformação e alteração imposto pelos diversos eventos tectono-metamórficos, variedades distintas de unidades de rochas são agrupadas dentro de sistemas hidrogeológicos similares. As condições de circulação das águas subterrâneas são condicionadas por um mesmo padrão de fluxos, predominantemente em aquíferos livres em meio fissural, onde os mecanismos de circulação desenvolvem-se apenas nessas estruturas secundárias da rocha. São fissuras, fraturas e falhas geológicas, constituindo-se numa intrincada rede de condutividades hidráulicas variadas.

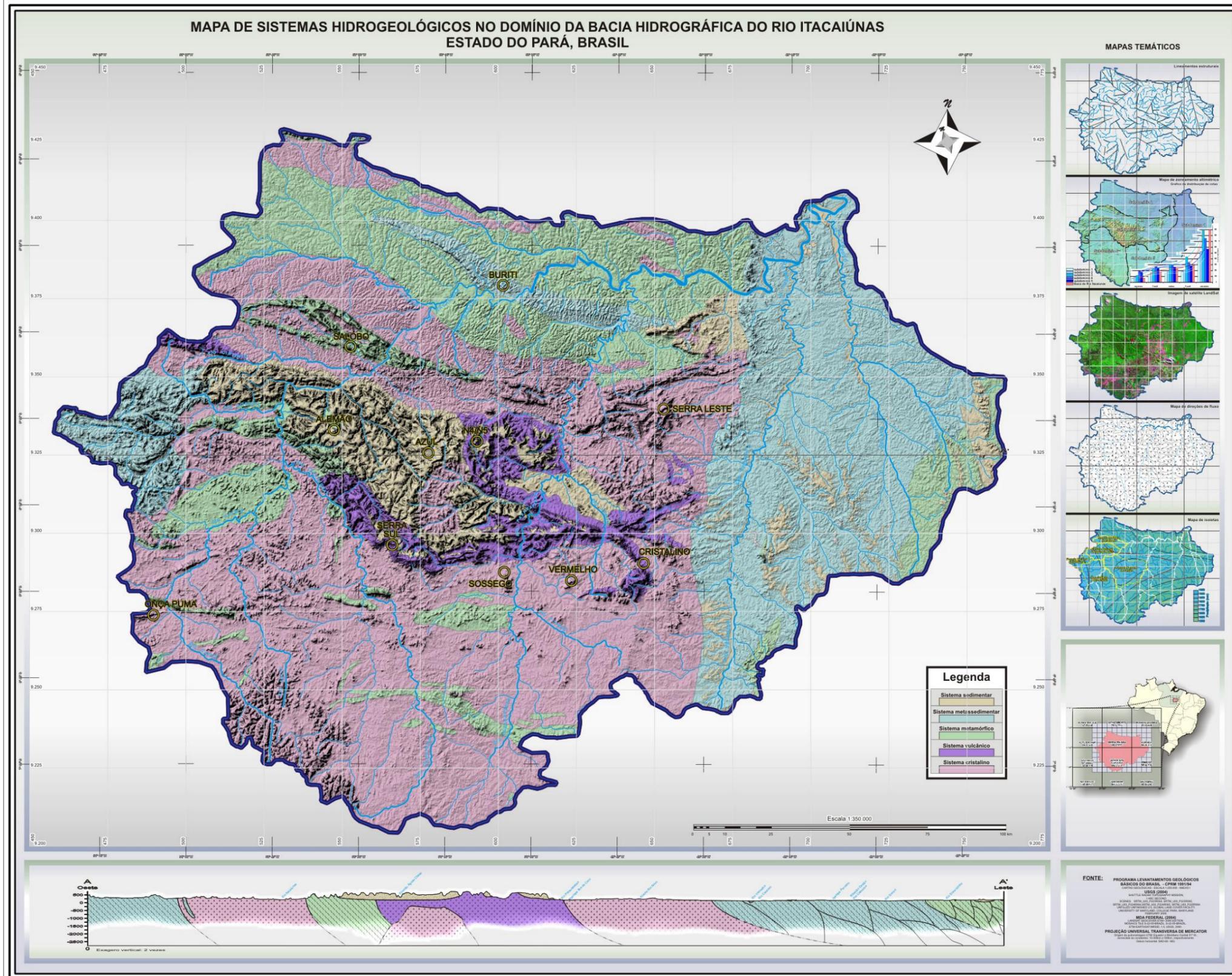
Por sua vez, a circulação das águas subterrâneas ocorre, de maneira geral, por trajetos descendentes, a princípio em meio poroso na zona de recarga dos topos das camadas de solos, até as zonas de descarga representadas pelos materiais coesos fissurados em profundidade, junto às calhas de drenagem. O intervalo de trânsito da água subterrânea pode oscilar de curtos a longos, e conseqüentemente, em menor ou maior tempo de residência desta no meio aquífero considerado.

Quanto maior a densidade de fissuras, para o caso de rochas coesas, ou quanto maior a porosidade efetiva para o caso de rochas sedimentares, maiores serão as condutividades hidráulicas do meio e, portanto, há o aumento da velocidade da água subterrânea. Também as diferenças de carga hidráulica (ou gradiente hidráulico) influenciam nas velocidades de fluxo das águas subterrâneas.

Os principais sistemas hidrogeológicos, constituídos por rochas ígneas e metamórficas diversas, inclusive de alto grau, são caracterizados como aquíferos fissurados. Paralelos a estes sistemas, conforme representado no mapa geológico e hidrogeológico, em contatos subjacentes ou laterais, têm-se sistemas aquíferos eminentemente porosos. Diante deste cenário, podem-se pressupor sistemas aquíferos com uma dinâmica de fluxos de caráter heterogêneo e anisotrópico.

Tomando como base os agrupamentos litológicos descritos acima, são definidos cinco grandes sistemas hidrogeológicos regionais na área da Bacia Hidrográfica do rio Itacaiúnas, quais sejam: Sistema Hidrogeológico Cristalino; Sistema Hidrogeológico Metamórfico; Sistema Hidrogeológico Metassedimentar; Sistema Hidrogeológico Sedimentar; e Sistema Hidrogeológico Vulcânico.

Nesse sentido, tendo sido reconhecidos os tipos de rochas que compõem os cinco sistemas hidrogeológicos presentes na Área de Influência Indireta, o mapa apresentado na **Figura 6.1.8.197 (Anexo XV-C)** identifica espacialmente a distribuição dos mesmos. A **Figura 6.1.8.207** mostra ainda mapas temáticos de interesse ao reconhecimento de variáveis hidrogeológicas relacionadas ao espaço investigado (tais como: lineamentos estruturais, zoneamento altimétrico, direções de fluxo e isoietas), além de uma seção geológica/hidrogeológica esquemática ilustrativa das condições em que se encontram, em termos regionais, os distintos sistemas hidrogeológicos em profundidade.



Fonte: Modificado de GOLDER (2006).

FIGURA 6.1.8.207 - Distribuição dos sistemas hidrogeológicos dentro da AII (Bacia do Itacaiúnas).

g) Levantamento de dados hidrodinâmicos dos aquíferos

Em termos conceituais, este item guarda estreita relação com o **item d (6.1.8 - IV - Hidrogeologia)**, se referindo à determinação de parâmetros hidrodinâmicos como condutividade hidráulica e transmissividade dos sistemas aquíferos locais.

Parte destes dados está apresentada no **item d (6.1.8 - IV – Hidrogeologia)**. No entanto, o plano de trabalho (**Anexo III-H**) apresenta ainda uma campanha para coleta de dados hidrodinâmicos complementares a ser realizada a partir de testes de aquífero nos novos poços que estão sendo instalados para a rede de monitoramento local.

h) Apresentação de mapa potenciométrico dos aquíferos, com indicação do fluxo subterrâneo

A **Figura 6.1.8.204 (Anexo XV-D)** identifica a potencimetria e as direções de fluxos subterrâneos, as quais se associam aos sistemas aquíferos majoritários existentes no domínio local de estudo. Essas interpretações valeram-se de dados de cotas de nascentes inventariadas em campo e que contornam o maciço do Corpo S11 Bloco D, além de pontos de controle identificados em drenagens localizadas nas zonas potenciais de descargas hidráulicas dos aquíferos.

Como observado no mapa potenciométrico e de distribuição de fluxos, a zona delineada em amarelo constitui o contorno de ocorrência das formações ferríferas e cangas, a partir das quais se tem a melhor definição das zonas de recarga no âmbito do referido domínio. As indicações preferenciais de fluxo subterrâneo contextualizam as zonas de circulação em que ocorre a dinâmica de escoamentos em profundidade, e que acompanha, em princípio, o gradiente topográfico local, em condições de aquífero livre. As descargas vão ocorrer naturalmente através de nascentes e ao longo dos corpos hídricos de drenagens que se distribuem ao norte e ao sul do Corpo S11. Percebe-se ainda que, em seu limite oeste, o Corpo S11 Bloco D pode estar representado por uma divisória de fluxos subterrâneos que separa as contribuições entre as bacias do rio Itacaiúnas a oeste e Parauapebas a leste.

i) Análise da disponibilidade e demanda dos recursos hídricos subterrâneos

i.1 Avaliação da disponibilidade hídrica das sub-bacias

i.1.1 Sub-bacia do igarapé Sossego

Segundo HGM e Mdgeo (2008) foi verificado que as vertentes da borda norte do Corpo S11 Bloco D apresentam elevada contribuição específica, que foi calculada em 6,55 L/s/km² no ponto F3RPPA70, conforme medida efetuada durante o inventário de pontos de água, em ano excepcionalmente seco.

Nesses estudos foi calculado um valor de reserva renovável em condições naturais, de cerca de 676 m³/h originadas a partir da formação ferrífera, sendo que a maior parte deste montante verte para a sub-bacia do igarapé Sossego, na região inventariada que recebe uma contribuição calculada em 567 m³/h a partir do Sistema Aquífero Carajás, correspondentes às três principais drenagens que vertem para esta sub-bacia, correspondentes às drenagens A, B e C.

A Vale prevê a captação inicial por poços tubulares de até 60 m³/h para fornecimento de água subterrânea para as obras de implantação das instalações industriais do complexo minerário.

Considerando-se os números citados acima, a captação do empreendimento representaria 9% da reserva renovável da sub-bacia do igarapé Sossego restando, ainda, 616 m³/h para as demais vertentes.

A captação de 60 m³/h de água subterrânea por poços tubulares no Bloco D, não provocará nenhuma alteração significativa na disponibilidade hídrica na sub-bacia do igarapé Sossego e na bacia do rio Parauapebas.

O impacto na reserva geológica somente deverá ocorrer quando da implantação do sistema de desaguamento de mina por bateria de poços tubulares, o que é um processo amplamente utilizado nas grandes minas de ferro e que faz parte do plano de aproveitamento econômico da jazida.

Tendo em vista que as informações ainda preliminares indicam que o nível potenciométrico do aquífero situa-se a profundidades de 100 metros ou maiores, o sistema de rebaixamento por poços tubulares somente deverá ser implantado a partir de vários anos após o início das operações de lavra, o que vai depender dos planos de lavra de longo prazo.

Quando da implantação do sistema de rebaixamento de nível de água subterrâneo na mina, maiores volumes de água subterrânea serão produzidas.

i.1.2 Sub-bacia do igarapé Pacu

Conforme citado em HGM e Mdgeo (2008), os levantamentos de campo levados a efeito nesta sub-bacia mostram que as nascentes que ocorrem nas cabeceiras de drenagem do Corpo S11 Bloco D que constituem o igarapé Pacu apresentam invariavelmente características de pequena vazão de água, inferiores a 1 L/s. À exceção do ponto F3NA203 (cota 717 m) o qual deve estar associado ao depósito de tálus em região de alta declividade nas bordas do platô, ocorrem sempre de forma difusa em cotas mais baixas, já nas porções de topografia mais suave em meio a solos argilosos oriundos de decomposição de rochas máficas da formação Parauapebas.

Tanto as características morfológicas e topográficas das nascentes, bem como as suas pequenas vazões e substrato geológico, ocorrentes em solos argilosos de decomposição, além de algumas indicações de dados hidroquímicos de campo, apontam para as mesmas uma origem a partir de percolação nas rochas da Formação Parauapebas, constituído essencialmente por aquíferos e aquícludes referentes a estes solos de natureza predominantemente argilosa.

O ponto F3RPPA219 situado mais a jusante da sub-bacia do igarapé Pacu indicou uma vazão estimada de apenas 8,5 L/s, mostrando de modo claro, a diferente contribuição específica nessa região quando comparada à sub-bacia do igarapé Sossego, onde a nascente F3NA201 registra surgência superior a 30 L/s, por exemplo.

Conclui-se que as restituições de água subterrânea na sub-bacia do igarapé Pacu encontram-se em domínio hidrogeológico totalmente distinto, e que a circulação de água subterrânea nesta vertente do igarapé Pacu ocorre sem conexão aparente com o Sistema Aquífero Carajás.

Como consequência, tem-se que a captação de água subterrânea no topo do Bloco D, independentemente de sua finalidade, para abastecimento industrial ou desaguamento de mina, não deverá provocar qualquer impacto na disponibilidade hídrica na sub-bacia do igarapé Pacu, dentro da região objeto do levantamento efetuado.

Registra-se ainda, que a comunidade Mozartinópolis, popularmente conhecida como Racha Placa, encontra-se a jusante da região enfocada neste estudo hidrogeológico e o seu abastecimento é suportado pelas águas circulantes neste curso de água. Em função das observações anteriormente efetuadas, o empreendimento mineiro não deverá provocar impactos na disponibilidade hídrica para os habitantes desse povoado, no que tange aos aspectos de captação de água subterrânea por poços tubulares no Aquífero Carajás contido no Bloco D.

i.1.3 Deflúvios nas sub-bacias dos igarapés Sossego e Pacu

Quanto aos deflúvios superficiais característicos das referidas bacias hidrográficas, HGM e Mdgeo (2008) afirmam que a distribuição dos deflúvios nas mesmas deve mostrar dois comportamentos distintos.

As drenagens do igarapé Sossego devem se comportar sob a influência dos períodos chuvosos, com grandes picos de cheia e uma curva de recessão que vai se estabilizar em valores praticamente constantes, sem grandes variações anuais, refletindo uma contribuição de fluxo subterrâneo regularizado pelo Sistema Aquífero Carajás.

Por outro lado as drenagens que originam o igarapé Pacu devem mostrar padrão distinto, com picos de cheia comparáveis àquelas das drenagens do igarapé Sossego, mas com curvas de recessão muito inclinadas e com vazões mínimas muito baixas.

Isto reflete distintas origens do fluxo de base para estas sub-bacias. Enquanto no igarapé Sossego os fluxos são provenientes e regularizados por reservatório subterrâneo com alta capacidade de armazenamento e elevada transmissividade, representado pelo Sistema Aquífero Carajás, nas vertentes do igarapé Pacu os fluxos são provenientes de maciços argilosos com muito baixa permeabilidade e, portanto, com baixa capacidade de transmissão de água, o que favorece o escoamento superficial em detrimento da infiltração. Deduz-se que os hidrogramas na área do igarapé Pacu devem apresentar baixíssimos fluxos de base ao final do período seco.

i.1.4 Contribuição dos platôs nas vazões do rio Parauapebas

Os estudos hidrogeológicos realizados por HGM e Mdgeo (2008) identificaram os cenários prováveis em que se manifesta a dinâmica de fluxos subterrâneos em torno do Corpo S11 Bloco D e, ao final trazem uma análise comparativa acerca das vazões de contribuição dos aquíferos constituídos pelas formações ferríferas do aquífero Carajás sobre as descargas do rio Parauapebas, como descrito a seguir.

O igarapé Sossego representa o primeiro tributário do rio Parauapebas a partir da Flona Carajás. Este curso de água recebe uma importante parcela de restituição de água subterrânea oriunda do Sistema Aquífero Carajás a partir do Corpo S11, especificamente do Bloco D. A continuidade do Corpo S11 para oeste recebe as denominações de corpos C, B e A, os quais restituem água para os igarapés Itacaiúnas e Serra Sul, que deságuam diretamente no rio Itacaiúnas e, portanto, não contribuem para o rio Parauapebas.

Conforme descrito no inventário de pontos de água, foram identificadas nos limites dos corpos C e D (drenagens D e E), restituições de água significativas que podem ser atribuídas às contribuições de água subterrânea proveniente da formação ferrífera e que confluem diretamente para o rio Itacaiúnas.

Pode-se concluir que todos os platôs que encerram rochas da Formação Carajás apresentam características hidrogeológicas e hidrológicas semelhantes, e dessa forma funcionam como importantes zonas de regularização de água subterrânea para as bacias hidrográficas marginais aos platôs, sustentando significativos fluxos de base para as mesmas.

i.2 Levantamento das demandas pelo uso das águas subterrâneas

Conforme levantamento de usuários de água subterrânea realizado por Golder (2009) nas imediações do Bloco D, observou-se que as atividades que envolvem a utilização das águas subterrâneas são provenientes de usos múltiplos, verificando-se sua adoção, tanto para o consumo humano como para dessedentação animal.

Os tipos de captação referem-se a cacimbas, cisternas rasas e nascentes invariavelmente. Essas cisternas são utilizadas sem equipamentos de bombeamento, apenas introduzidos sarilhos quando necessária a coleta por meio de baldes. A **Tabela 6.1.8.61** identifica a relação de usuários e volumes captados.

TABELA 6.1.8.61
RELAÇÃO DOS USUÁRIOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA CADASTRADOS EM
TORNO DO CORPO S11 BLOCO D DE SERRA SUL

Propriedade	Nº de Habitantes		Rebanho Bovino (Nº de Cabeças)	Manancial Utilizado e Finalidade	Demanda Total (*)	
	Permanente	Temporário			L/dia	m ³ /h
2	12			Cisterna para consumo humano	2.400	0,1
3			150	Nascente e cisterna para pecuária	7.500	0,3
5	2		30	Nascente e cisterna para pecuária, rede de abastecimento de Mozartópolis para consumo humano	1.900	0,1
7	3		60	Nascentes e cacimbas para pecuária e rede de abastecimento de Mozartópolis para consumo humano	3.600	0,2
12	11	25	1.800	Rio Sossego, nascente Água Boa e cisterna para consumo humano e pecuária	93.950	3,9
13	2	1	260	Nascente para pecuária, cultura de subsistência e consumo humano	13.470	0,6
14	5			Igarapé Pacu e pequena represa para pecuária, cisterna para consumo humano	1.000	0,0
15	3			Igarapé Pacu para pecuária e rede de abastecimento de Mozartópolis para consumo humano	600	0,0
16	3			Rio Sossego e duas represas para pecuária, nascentes para consumo humano	600	0,0
17		3		Rio Sossego para pecuária, nascente e cisterna pra consumo humano	210	0,0
19	4			Nascente para consumo humano e rio Sossego para pecuária	800	0,0
20	3			Nascente para consumo humano e igarapé Pacu para pecuária	600	0,0
22	3		200 (**)	Rio Sossego e quatro nascentes para pecuária e rede de abastecimento de Mozartópolis para consumo humano	10.600	0,4
24			72	Nascente para pecuária	3.600	0,2
26			126	Nascente e igarapé Pacu para pecuária	6.300	0,3
28	4		380	Nascente e poço para consumo humano e cacimba para pecuária	19.800	0,8
29			450	Igarapé Pacu, cacimbas e nascentes para pecuária e cisterna para consumo humano	22.500	0,9
30	2		300	Igarapé Pacu, cacimbas e nascentes para pecuária e cisternas para consumo humano	15.400	0,6
31	2		500 (**)	Igarapé Pacu, cacimbas e nascentes para pecuária, cisterna para consumo humano	25.400	1,1
32			140	Igarapé Pacu, cacimbas e nascentes para pecuária e cisternas para consumo humano	7.000	0,3
33	5	3		Igarapé Pacu e sete represas para pecuária, nascentes e poço para consumo humano	1.210	0,1
Totais	31	38	7.022		346.960	14,5
Notas						
(*) Consumo per capita considerados: 200 L/hab.dia para hab.permanente, 70 L/hab.dia par habitantes temporários e 50 L/cabeça.dia para rebanho bovino.						
(**) Rebanho						
Consumo per capita			200	L/hab.dia para consumo humano permanente		
			70	L/hab.dia para consumo humano temporário		
			50	L/cabeça.dia para gado		

De um total de 36 propriedades inventariadas, 21 dessas fazem uso de água subterrânea, totalizando apenas 14,5 m³/h de consumo destes recursos.

j) Cálculo das reservas permanentes, reguladoras, explotáveis e totais

j.1 Considerações gerais

As estimativas dos recursos hídricos subterrâneos ao redor do Bloco D são apresentadas a seguir, considerando-se as reservas renováveis e as reservas permanentes ou geológicas. Todas as informações contidas neste documento referem-se em parte, a uma compilação dos estudos de HGM e Mdgeo (2008), ou ainda, em algumas partes, a uma transcrição dos mesmos.

HGM e Mdgeo (2008) haviam realizado em 2007 uma estimativa tomando-se como base apenas os dados de precipitação, infiltração e área de recarga do aquífero Carajás, considerando-se esta última a área de exposição da formação Carajás no Bloco D. Para o referido caso, tinha sido considerada a média das precipitações na serra dos Carajás, a partir do monitoramento em pluviômetros instalados na serra Norte, que é da ordem de 1836 mm/ano. Nesta avaliação inicial foi adotada uma taxa de infiltração de 10%, com base no desenvolvimento de modelos numéricos efetuados recentemente nas minas da serra Norte.

Em função da identificação de drenagens com percolação preferencial de águas atribuídas ao aquífero Carajás do Bloco D, por meio do inventário de pontos de água efetuado em 2007, bem como por meio de medidas de vazão efetuadas na continuidade dos estudos, obteve-se dados factuais para uma quantificação mais realista das reservas renováveis em relação à estimativa inicial, por meio de estudos realizados em 2008, os quais se apresentam a seguir.

Deve-se ressaltar ainda, que tais medidas foram efetuadas no auge do período seco na região, registrando-se em 2007 uma estiagem excepcionalmente rigorosa, e, portanto com vazões mínimas representativas somente de exsudação dos recursos hídricos subterrâneos. Deste modo os valores medidos de vazões mínimas balizaram uma nova estimativa das reservas renováveis de água subterrânea para o sistema aquífero Carajás na área de influência do Bloco D.

A estimativa das reservas hidrogeológicas baseou-se na premissa de que os dados coletados em campo, como citado acima, e também a apropriação dos valores representativos dos domínios constituídos pelos aquíferos ferríferos da Formação Carajás, apresentam propriedades hidráulicas que podem ser consideradas congêneres àquelas amplamente caracterizadas em Serra Norte.

É importante considerar que o monitoramento piezométrico, de longo prazo, permitirá o aprofundamento do conhecimento sobre o aquífero associado à área das cavas. A obtenção de uma série de dados de seis anos, prazo estimado para o início do desaguamento das cavas, permitirá a adoção de procedimentos objetivos orientados para garantir as vazões que caracterizam as bacias no entorno da área do projeto.

j.2 Reservas Reguladoras

O cálculo das reservas reguladoras (ou renováveis) considera o volume de água que efetivamente realimenta o aquífero e é descarregado por suas saídas naturais de água (surgências, aportes a cursos de água, aportes a outros aquíferos). Desta forma, foram adotados dois critérios para realizar o cálculo da reserva:

- (i) um deles levou em conta a precipitação, área de recarga do sistema aquífero Carajás e a estimativa da taxa de recarga ao aquífero, e
- (ii) outro considerou a vazão de saída do aquífero, ou seja, as contribuições do aquífero aos cursos de água na região.

Esta segunda alternativa de cálculo somente foi possível nessa segunda etapa, fruto da campanha de medições pelo método MILD (método de medida por diluição química de sais), levada a efeito ainda no período seco de 2007, o qual determinou para as principais drenagens da borda norte do Bloco D, as vazões de restituição de água subterrânea para o sistema superficial nas principais drenagens. Estas drenagens foram selecionadas com base em inventário detalhado de pontos de água levado a efeito em torno do Bloco D.

As vazões medidas nos cursos de água permitiram estimar as descargas do aquífero aos cursos de água. Ressalta-se que os dados utilizados referem-se a uma única medição realizada no final do período seco, e que para um cálculo mais criterioso deveriam ser realizadas medições contínuas. Contudo estes dados já permitem uma avaliação melhor que a realizada anteriormente.

Salienta-se que o Sistema Aquífero Carajás na Serra Sul encontra-se em regime não influenciado, uma vez que não há, até o momento, interferências antrópicas no mesmo, através de captações de água subterrânea, o que ressalta a validade desses dados ora coletados.

De acordo com o modelo hidrogeológico conceitual da região, supõe-se que as principais zonas de descarga do Aquífero Carajás no Bloco D estão na vertente norte e leste da serra, nos afluentes do igarapé Sossego, denominados neste estudo, como drenagens C, B e A. Além destas regiões, interpreta-se que a vertente sudoeste da serra, na cabeceira do rio Itacaiúnas Leste, as bacias E1 e E2 correspondam a outra zona de descarga, sendo que neste trabalho convencionou-se que o Corpo S11 Bloco D contribui para a bacia E1 (situada mais a leste) e o Corpo "C" para a bacia E2 (situada mais a oeste).

Como as medições foram realizadas no final do período seco de 2007, ano excepcionalmente seco, deduz-se que as vazões obtidas nos cursos de água provenham unicamente de recursos subterrâneos. Sendo assim foram selecionados pontos que representassem a descarga do Aquífero Carajás, previamente identificados em etapa de campo, conforme apresentado na **Tabela 6.1.8.62** a seguir.

TABELA 6.1.8.62**VAZÕES MEDIDAS EM DRENAGENS DO CORPO S11 BLOCO D**

Vertente	Bacia Hidrográfica	Ponto de medição	Vazão medida (L/s)	Vazão medida (m ³ /h)
Norte	Igarapé Sossego - Drenagem C	F3PA236	82	295
Nordeste	Igarapé Sossego - Drenagem B	F3PA227	64,70	233
Leste	Igarapé Sossego - Drenagem A	F3PA231	41,10	148
Sudoeste	Igarapé Leste -E1	Itacaiúnas Drenagem	F3PA254	27
Total Bloco "D"			215	773
Recursos renováveis Bloco "D" (m³)			-	6778572

Fonte: HGM E Mdgeo, 2008

A **Figura 6.1.8.208 (Anexo XV-E)** exibe a localização dos pontos medidos junto às drenagens em torno do Corpo S11 Bloco D.

Entretanto o valor obtido (773 m³/h) pode não representar somente a descarga do Sistema Aquífero Carajás, uma vez que alguns pontos de medição encontram-se muito afastados da região de afloramento da formação ferrífera. Desta forma adotou-se a hipótese de existir contribuições de aquíferos superficiais na região a montante dos pontos F3PA236 e F3PA227, a exceção da área de afloramento da formação ferrífera.

Para definir então a contribuição do Sistema Aquífero Carajás foram consideradas as taxas de recarga e a área de afloramento de cada aquífero, de maneira que a recarga da formação ferrífera somado à recarga dos aquíferos superficiais se iguallassem ao valor obtido nas medições.

A área de recarga do sistema aquífero Carajás compreende praticamente todo o platô da serra Sul. Neste estudo a área de afloramento da formação ferrífera corresponde à área de recarga do sistema aquífero Carajás, tendo sido definida a partir dos dados do mapeamento geológico de superfície e também dados de sondagens e seções geológicas da área.

A estimativa da taxa de recarga dos aquíferos superficiais teve como critério as características dos aquíferos e a morfologia na região de afloramento, fatores condicionantes da infiltração e recarga. Foi definida uma taxa de recarga muito menor para os aquíferos superficiais em relação ao sistema aquífero Carajás. Os resultados são apresentados na **Tabela 6.1.8.63**, sendo o aumento dos valores percentuais das taxas de recarga equivalentes àqueles observados ao longo dos anos em diversas minas, dada a exposição acentuada das rochas e do aumento do grau de fraturamento.

TABELA 6.1.8.63**ESTIMATIVA DAS TAXAS DE RECARGA NA FORMAÇÃO FERRÍFERA**

Média pluriannual precipitação (mm)	Taxa de Recarga (de acordo com estimativas de recarga da Fm. Ferrífera)				Área de recarga Aquíferos Carajás (m ²)	Área de contribuição Aquíferos Superficiais (m ²)
	Condição natural	Cava inicial (até 6 anos)	Cava avançada (após 6 anos)	Recarga da área norte (Aquíferos Superficiais)		
1836	26%	30%	40%	5%	12.306.819	10.482.772

Fonte: HGM e Mdgeo, 2008

Foi realizada uma estimativa de recarga para a condição natural, ou seja, sem decapeamento e, também, considerando a abertura da mina, o que contribuiria para elevar a taxa de recarga, uma vez que com a abertura da mina, a vegetação é suprimida, o aquífero é exposto, e a drenagem natural sofre uma inversão, com acúmulo de água pluvial nas cavas.

O cálculo das reservas renováveis é feito considerando a precipitação média pluriannual, a taxa de recarga e a área dos aquíferos. Os resultados estão apresentados na **Tabela 6.1.8.64** a seguir.

TABELA 6.1.8.64**ESTIMATIVA DAS RESERVAS RENOVÁVEIS NO CORPO S11 BLOCO D**

Condição	Bloco D - Aquífero Carajás						Vertente Norte – Aquíferos Superficiais	
	Condição natural (m ³ /dia)	Condição natural (m ³ /h)	Cava inicial -até 6 anos (m ³ /dia)	Cava inicial -até 6 anos (m ³ /h)	Cava avançada - após 6 anos (m ³ /dia)	Cava avançada - após 6 anos (m ³ /h)	Contribuição Aquíferos Superficiais (m ³ /dia)	Contribuição Aquíferos Superficiais (m ³ /h)
Reserva Renovável	15.907	663	18460	769	24614	1026	2.621	109

Fonte: HGM e Mdgeo, 2008

Para a estimativa da taxa de recarga do sistema aquífero Carajás na condição natural foi feito um ajuste entre a vazão de descarga medida (**Tabela 6.1.8.64**) e a sua área de afloramento. A taxa de recarga foi então calculada de maneira que a descarga produzida pelo sistema aquífero Carajás (área de afloramento versus taxa de recarga) somada à contribuição dos aquíferos superficiais (109 m³/h) se igualasse, aproximadamente, à vazão de descarga total (773 m³/h).

Os números apresentados na **Tabela 6.1.8.64** acima representam a reserva renovável total de água que a formação ferrífera restitui anualmente para as bacias hidrográficas que contornam todo o Bloco D. Desta maneira, descontando-se a drenagem E que pertence à sub-bacia do igarapé Itacaiúnas leste, tem-se efetivamente 676 m³/h de água proveniente do Bloco D que deságuam no igarapé Sossego. A **Tabela 6.1.8.65** abaixo demonstra esses valores.

TABELA 6.1.8.65**VAZÕES RESTITUÍDAS NA SUB-BACIA DO IGARAPÉ SOSSEGO**

Vertente	Bacia Hidrográfica	Ponto de Medição	Vazão Medida (L/s)	Vazão Medida (m³/h)
Norte	Igarapé Sossego Drenagem C	F3PA 236	82,0	295
Nordeste	Igarapé Sossego Drenagem B	F3PA 227	64,70	233
Leste	Igarapé Sossego Drenagem A	F3PA 231	41,10	148
Total vazão restituída - Igarapé Sossego			187,8	676

Fonte: HGM e Mdgeo, 2008

Deste montante de 676 m³/h, foram descontados 109 m³/h, como sendo água produzida pelos aquíferos superficiais, e assim foi encontrado um valor de 567 m³/h de água subterrânea afluyente exclusivamente para a sub-bacia do Igarapé Sossego, originada do sistema aquífero Carajás no Bloco D. Em função da característica pontual das nascentes nas drenagens A e E1, foi considerado que toda a água surgente nas mesmas é proveniente do Sistema Aquífero Carajás, sem contribuição de aquíferos superficiais.

Os valores calculados revelam para todas as drenagens, números altamente expressivos e de elevadas contribuições específicas, o que serve para demonstrar que estas drenagens recebem as saídas naturais do reservatório subterrâneo constituído pela formação Carajás no Bloco D. A **Tabela 6.1.8.66** abaixo ilustra os valores de contribuições específicas para todas as drenagens medidas.

TABELA 6.1.8.66**CONTRIBUIÇÕES ESPECÍFICAS DAS DRENAGENS**

Vertente	Bacia Hidrográfica	Ponto de Medição	Vazão Medida (L/s)	Área Bacia (km²)	Rendimento Específico (L/s/ km²)
Norte	Igarapé Sossego - Drenagem C	F3PA236	82	10,9	7,52
Nordeste	Igarapé Sossego - Drenagem B	F3PA227	64,7	4,2	15,40
Leste	Igarapé Sossego - Drenagem A	F3PA231	41,1	2,6	15,81
Sudoeste	Itacaiúnas Leste Drenagem E	F3PA254	54,2	5,5	9,85

Fonte: HGM e Mdgeo, 2008

Os valores acima são bem mais elevados do que a contribuição média da sub-bacia do Igarapé Sossego calculada no ponto F3RPPA70 em 6,55 L/s/km², o que sustenta a tese de que essas cabeceiras recebem as restituições de água do sistema aquífero Carajás. Nota-se que a drenagem C, embora de maior vazão, apresenta menor contribuição específica, mais próxima da média da bacia.

Neste caso o valor de 82 L/s corresponde à soma da água que escoar por dois braços, sendo que a quase totalidade é proveniente do braço direito com 67 L/s, que provavelmente representa o exutório da formação Ferrífera e que tem rendimento comparável às drenagens A e B.

Os valores dos recursos hídricos renováveis apresentados são superiores aos calculados durante a Fase 1 (HGM & Mdgeo, 2007), principalmente quando considerada a condição natural. Tal discrepância se deve a taxa de recarga adotada (o valor anteriormente adotado foi de 10% e neste 26%), além de um pequeno acréscimo na área de afloramento da formação ferrífera.

A adoção desta taxa de recarga mais elevada é factível frente aos dados de vazões realmente medidos, devido às condições de escoamento no platô da serra Sul. Paralelamente, o entendimento sobre poderá ter seu conhecimento aprofundado com o monitoramento piezométrico de longo prazo citado anteriormente.

No entanto, pode-se admitir que a taxa de recarga mais elevada é mais realista, uma vez que no topo do platô há inúmeras áreas de drenagens concêntricas que dão origem a lagoas permanentes e temporárias ou intermitentes. Observa-se que há uma área representativa de drenagem centrípeta, que não gera escoamento superficial para as vertentes do Bloco D, principalmente na parte oeste do mesmo, onde se situam as lagoas do Violão e do Amendoim.

As lagoas permanentes devem representar importantes áreas de recarga para o sistema aquífero Carajás, uma vez que parecem estar em cotas superiores à superfície de saturação do maciço. Desta maneira o balanço hídrico dessas áreas é representado apenas pelas parcelas de evapotranspiração e infiltração versus a precipitação e o escoamento superficial nas suas áreas de contribuição. Assim, poderia haver uma recarga adicional para o aquífero, por filtração da água acumulada a partir de sua base. Supõe-se que as lagoas intermitentes situem-se nos locais em que a lâmina de água formada tem altura inferior à evapotranspiração real da região, estimada em 1.255 mm/ano.

j.3 Reservas geológicas ou permanentes

As reservas permanentes ou geológicas são constituídas pelas águas armazenadas abaixo da variação plurianual máxima do nível de saturação de água subterrânea. Essas reservas são comumente extraídas nos projetos de rebaixamento de nível de água, como aqueles já implantados nas minas da Serra Norte, processo que deverá se estender à mina a ser implantada no Bloco D.

HGM e Mdgeo (2008) consideraram nessa avaliação todas as seções geológicas do novo modelo geológico do Bloco D fornecidas pela Vale e, a partir destas foram elaboradas e analisadas as seções hidrogeológicas.

A ocorrência de duas nascentes inventariadas anteriormente e que constituem pontos de cota mínima para a restituição de água do aquífero Carajás no Bloco D permitiu a construção de uma superfície piezométrica aceitável, que serviu de base para a quantificação preliminar das reservas geológicas.

A quantificação da reserva permanente foi feita tomando-se o volume total de aquífero saturado e o coeficiente de armazenamento do aquífero na condição livre (S_y), parâmetro este considerado para o modelo calibrado da Mina N4WN da Serra Norte igual a 0,08 ou 8%.

Os cálculos realizados para conhecer o volume saturado de aquífero apresentaram valores de 480,6 e 630,1 milhões de metros cúbicos. O menor valor corresponde apenas ao da porção aflorante do aquífero e, o maior valor considera a extensão do aquífero para norte, que não é aflorante. Dessa forma, considerando a capacidade de armazenamento de 8%, valor este aceito para a tipologia aquífera em profundidade, cuja propriedade hidráulica é relativa à sua porosidade efetiva para fluxos, tem-se um volume de água explotável da ordem de 38,5 ou 50,1 milhões de metros cúbicos.

Tais reservas podem ser aproveitadas como recurso hídrico, sabendo-se que os métodos largamente empregados em mineração para rebaixamento de nível de água consistem nada menos que o esgotamento localizado das reservas geológicas nas partes mais profundas das cavas. Deve-se destacar, contudo, que o avanço do conhecimento sobre o maciço, permitirá confirmar tais estimativas.

Os dados assim calculados apontam para valores correspondentes de entre 38,5 a 50,1 milhões de metros cúbicos que poderão ser aproveitadas conforme as necessidades da VALE para o projeto dentro da limitação dessas próprias reservas. Desse modo tomando-se um tempo de 10 anos de bombeamento tem-se um potencial adicional de 439 a 575 m³/h disponíveis para captação, valores estes que naturalmente embutem um erro percentual natural, em função da complexidade geológica local.

j.4 Potencial de Explotação do Aquífero Carajás no Bloco “D” (Reservas Explotáveis)

O potencial de captação de água subterrânea, considerando-se apenas o Bloco D, pode ser quantificado tomando-se as reservas renováveis e geológicas simultaneamente. A **Tabela 6.1.8.67** abaixo mostra o potencial de captação das águas subterrâneas considerando-se as reservas renováveis e permanentes no sistema aquífero Carajás, na região do Bloco D.

TABELA 6.1.8.67

RESERVAS POTENCIAIS DO CORPO S11 BLOCO D

Vazões de Água Subterrânea	
Reserva Renovável	Reserva Geológica
Mínima -676 m ³ /h	Mínima -439 m ³ /h
Média -769 m ³ /h	Máxima -575 m ³ /h
Máxima -1026 m ³ /h	

Fonte: HGM e Mdgeo, 2008

Por outro lado a tabela apresenta as hipóteses possíveis para a captação de água subterrânea, considerando-se as vazões correspondentes às reservas renováveis e permanentes conforme a **Tabela 6.1.8.68**.

TABELA 6.1.8.68**ESTIMATIVAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA**

Reserva Renovável Vazão (m³/h)	Vazão Reserva Geológica (m³/h)	Vazões Totais (m³/h)
676 ⁽¹⁾	439 ⁽⁴⁾	1106 ⁽¹⁺⁴⁾
769 ⁽²⁾	575 ⁽⁵⁾	1242 ⁽¹⁺⁵⁾
1026 ⁽³⁾		1208 ⁽²⁺⁴⁾
		1344 ⁽²⁺⁵⁾
		1465 ⁽³⁺⁴⁾
		1601 ⁽³⁺⁵⁾

Fonte: HGM e Mdgeo, 2008

Obs.: (1) Reserva renovável mínima; (2) Reserva renovável intermediária; (3) Reserva renovável máxima; (4) Reserva geológica mínima; (5) Reserva geológica máxima.

Observa-se que, para um tempo considerado de 10 anos de extração ininterrupta, pode-se atingir um potencial de exploração de águas subterrâneas variável entre um mínimo de 1.106 m³/h até um valor máximo de 1.601 m³/h, admitindo-se como verdadeiras todas as condições e premissas teóricas citadas anteriormente. Deve-se registrar que houve anteriormente uma sub-avaliação das vazões mínimas passíveis de captação estimadas em 681 m³/h, que foram agora reavaliadas em 1.026 m³/h, mas que em relação às vazões máximas a alteração é pouco significativa, antes estimadas em 1.541 m³/h, e que estão estimadas agora em 1.601 m³/h.

Esses números demonstram que a principal parcela contribuinte para captação de água subterrânea é constituída pela reserva renovável, fenômeno observado em todas as minas em que existe um sistema de rebaixamento de nível de água por poços tubulares, que tendem a uma estabilização de vazões ao longo do tempo.

Há possibilidade ainda da captação do máximo teórico da reserva renovável somente ser possível com pelo menos 6 anos de abertura da cava, conforme dados tomados de modelo já desenvolvido para a Mina N4WN.

Admitindo-se para a formação ferrífera uma espessura saturada acima de 100 metros e uma condutividade hidráulica de 2,8 m/dia, conforme dados reais tomados na Mina N4WN, poderiam produzir, cada poço tubular, vazões entre 50 a 100 m³/hora. Por exemplo, dez poços tubulares convenientemente locados e projetados poderiam produzir entre 500 e 1.000 m³/h, a serem integralmente aproveitados no beneficiamento do minério.

k) Modelagem conceitual e matemática (com base em dados primários) dos recursos hídricos para análise da interconexão de aquíferos e cursos d'água

Os modelos hidrogeológicos conceitual e matemático são construídos sempre usando dados primários e secundários. Todos os dados usados para a construção dos modelos do Projeto Ferro Carajás S11D se referem a dados genéricos de literatura ou dados específicos da área. Não foram usados dados de monitoramento de outras minas para construção dos modelos pertinentes.

k.1 Definição do Modelo Hidrogeológico Conceitual

O modelo hidrogeológico conceitual tem como objetivo promover um entendimento físico da realidade hidrogeológica local, procurando representar esta realidade da forma mais fiel possível, limitada, porém, à disponibilidade de informações básicas sobre o sistema avaliado.

Independentemente das possíveis limitações que ocorram no processo, o modelo conceitual objetiva caracterizar as unidades hidrogeológicas existentes, determinando os fatores condicionantes do armazenamento e do fluxo das águas subterrâneas, além de outros aspectos específicos do sistema aquífero local. Para tanto, a concepção de um modelo desta natureza passa por uma série de etapas fundamentais, as quais são apresentadas abaixo.

k.1.1 Definição do Domínio de Interesse e das Condições de Contorno

O domínio de interesse hidrogeológico representa a região delimitada pelos contornos físicos e hidráulicos que estabelecem: o tipo e a geometria das unidades hidrogeológicas; as condições e as formas de circulação hídrica subterrânea; o tipo e o comportamento da dinâmica de fluxo; e, os processos de recarga e descarga do sistema aquífero. Estes contornos estão inseridos dentro do polígono de coordenadas UTM-E variando de 555.800 a 588.900 e UTM-N variando de 9.282.500 a 9.306.900, equivalendo a uma área retangular de 807,64 km² (**Figura 6.1.8.207**). Neste estudo, foi selecionado um domínio de interesse que permitisse avaliar tanto as condições hidrodinâmicas nas imediações do Bloco D, quanto às questões ambientais.

Neste estudo, foi selecionado um domínio de interesse que permitisse avaliar tanto as condições hidrodinâmicas nas imediações do Bloco D, quanto às questões ambientais relacionadas ao processo de desaguamento da mesma. Para isso, foram adotados os seguintes limites hidrogeológicos (**Figura 6.1.8.207**):

- na porção noroeste, por divisores de água do Corpo S11 Bloco A, por eixos de drenagem da bacia Itacaiúnas Leste e pela condição litológica predominante na área;
- na porção sudoeste, por divisores de água e por eixos de drenagens expressivas das bacias do igarapé Pacu e Itacaiúnas Leste;
- na porção sudeste, por divisores de água do Bloco D e pelo eixo de drenagem do igarapé Sossego;
- na porção nordeste, por divisores de água e por eixos de drenagens expressivas da bacia do igarapé Sossego;
- na porção de topo, pela topografia com cota mínima de 200 m e máxima de 850 m;
- na porção basal, pela superfície geológica profunda conformada até a cota -350m.

Já as condições de contorno adotadas para este domínio de interesse hidrogeológico são associadas aos tipos de limites físicos e hidráulicos ali presentes, quais sejam:

- condição de primeiro tipo, de carga constante, associada à distribuição da rede de drenagem superficial;
- condição de segundo tipo, de fluxo nulo, associada aos contornos hidráulicos, representados pela superfície basal do modelo e divisores topográficos de água; e,

- condição de segundo tipo, de fluxo conhecido, associada à recarga direta pela precipitação pluviométrica na parte superior do modelo.

De maneira geral, assume-se que estas condições estabelecem as fronteiras para avaliação da dinâmica de fluxo das águas subterrâneas e da questão ambiental relacionada ao processo de rebaixamento na área de influência do Corpo S11 Bloco D.

k.1.2 Caracterização das Unidades Hidrogeológicas

A distribuição dos sistemas e unidades hidrogeológicas identificadas na área do Bloco D é determinada pela estruturação geológica local, estando, portanto, diretamente relacionada às unidades litoestratigráficas existentes. Esta caracterização já foi realizada com bastante rigor e apresentada por Mdgeo (2006a, 2008), cabendo neste estudo apenas uma compilação e adequação dos dados já existentes para compor o modelo hidrogeológico conceitual e embasar o modelo matemático aqui desenvolvido.

A **Tabela 6.1.8.69** e a **Figura 6.1.8.209 (Anexo XV-F)** mostram estes sistemas e unidades hidrogeológicas, sendo sua descrição sucinta apresentada nos itens seguintes, considerando a distribuição cronológica das unidades, da base para o topo.

TABELA 6.1.8.69

CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS RECONHECIDAS NA ÁREA DO CORPO S11 BLOCO D

Sistema Hidrogeológico	Unidade Hidrogeológica	Tipo Hidrogeológico
-	Máficas Intrusivas	Aquiclude
Águas Claras	Águas Claras Alterada	Aquífero Misto
	Águas Claras Fraturada	Aquífero poroso
-	Coberturas Lateríticas	Aquífero poroso
Carajás	Superior	Aquífero Misto
	Inferior	Aquitardo
Parauapebas	Máfica Decomposta	Aquiclude
	Máfica Sã	Aquitardo
Cristalino	Cristalino Alterado	Aquífero poroso
	Cristalino Fraturado	Aquífero Fissural
	Cristalino Coeso	Aquifugo

Fonte: Elaborado com a base de dados de geologia

Sistema Cristalino

No Sistema Cristalino, o que determina a variabilidade das propriedades hidráulicas e a diferenciação das unidades hidrogeológicas é o perfil vertical de estado físico das rochas. Tal perfil consiste no resultado de processos geológico-estruturais e intempéricos, que culminaram na formação de porções de rocha alterada, fraturada e são, conforme descrição abaixo.

– Unidade Cristalino Coeso

Esta unidade constitui-se de rochas são, não fraturadas em profundidades superiores a 150 metros, pertencentes ao Complexo Xingu (gnaiesses, granitóides e rochas máficas), as quais ocorrem na porção sul da área em apreço, servindo de encaixante para as rochas vulcânicas máficas da Formação Parauapebas. Dadas as suas características físicas, esta unidade apresenta um potencial hidrogeológico muito baixo, com um comportamento típico de um aquífugo.

– Unidade Cristalino Fraturado

Corresponde à porção fraturada a Unidade Cristalino, a qual ocorre geralmente entre as profundidades de 50 e 150 metros. Apresenta um potencial hidrogeológico baixo e em função da interconexão de fraturas apresenta características de um aquífero fissural.

– Unidade Cristalino Alterado

Constitui-se na porção alterada das rochas do Complexo Xingu. No geral, apresentam um bom potencial hidrogeológico, podendo ser interpretados como aquíferos porosos livres, com uma espessura média de 50 metros.

Sistema Parauapebas

Ocorre contornando a formação ferrífera e é constituída por rochas máficas da Formação Parauapebas. Sua área de afloramento contorna a borda sul do Bloco D e mergulha sob a formação ferrífera em sentido norte. Apresenta-se com duas unidades, uma constituída por máfica decomposta e outra formada por rocha são.

– Unidade Máfica São

Esta unidade é formada por basaltos e metabasaltos compactos e são. A circulação de água nessas rochas se dá unicamente através de suas descontinuidades estruturais (sistemas de fraturas e ou falhas). Por similaridade com o platô Serra Norte, pode-se atribuir a essa unidade uma baixa capacidade de transmissão de água, classificando-a como um aquífardo.

– **Unidade Máfica Decomposta**

Esta unidade ocorre em superfície, em decorrência de processos intempericos que formam a zona de alteração da rocha máfica. Devido à sua constituição mineralógica, o produto de sua alteração é formado essencialmente por argilo-minerais, o que lhe atribui características de aquíclude, com mui baixa permeabilidade.

Sistema Carajás

Neste sistema hidrogeológico distinguem-se duas unidades principais: Unidade Inferior, em jaspelitos; e, Unidade Superior, em hematitas friáveis. Raramente, são verificadas camadas de hematitas compactas, intercaladas nas hematitas friáveis, mas que não caracterizam uma unidade individualizada devido a sua ocorrência restrita.

– **Unidade Inferior**

Esta unidade refere-se a uma camada de jaspelitos praticamente contínua e subjacente às hematitas friáveis, com espessura considerável de até mais de 100 metros. Devido suas características de material compacto, nesta unidade, a água subterrânea circula através de descontinuidades na rocha. Por analogia com o platô Serra Norte, atribui-se a essa unidade característica predominante de aquífero.

– **Unidade Superior**

Esta unidade é constituída fundamentalmente por hematitas friáveis e pulverulentas de origem residual ou supergênica, representativas de um material poro-permeável que apresenta, pela suas características intrínsecas, um tipo de aquífero intergranular que permite a circulação de água através de seus interstícios. Apresentam espessura bastante variável, podendo alcançar até um máximo de 410 metros.

– **Unidade Coberturas Lateríticas**

Esse sistema é constituído pelas extensas e delgadas coberturas de material laterítico, de natureza eluvial e coluvial, que recobrem todos os platôs da Serra dos Carajás. Constituem camadas de até dezenas de metros de espessura, compostas por fragmentos das rochas subjacentes, cimentados por hidróxidos de ferro, com pouco ou nenhum transporte, denominados genericamente por cangas e que recobrem todo o Bloco D. Estas cangas funcionam como aquíferos porosos de circulação rasa que alimentam as lagoas no alto dos platôs e permitem a recarga dos sistemas aquíferos subjacentes.

– Sistema Águas Claras

Os metassedimentos da Formação Águas Claras ocorrem na porção norte da área de influência do Bloco D. Este sistema apresenta-se como aquíferos porosos, sobretudo nas porções mais superficiais intemperizadas (Unidade Águas Claras Rocha Alterada). Contudo, nas porções mais profundas, onde os metarenitos encontram-se mais compactados, cimentados e são, o fluxo é misto, ocorrendo tanto em meio poroso como fissural (Unidade Águas Claras Rocha São Fraturada).

– Unidade Águas Claras Fraturada

Esta unidade compõe-se pela intercalação de camadas pelíticas entre os metarenitos, promovendo um complexo arranjo hidrogeológico, onde folhelhos e siltitos atuam como aquíferos e aquícludes, enquanto os arenitos se constituem em aquíferos de médio a elevado potencial. Dessa maneira, constitui-se em um aquífero misto. Nas porções superiores são geralmente porosos, sendo que nas porções mais profundas o fluxo ocorre predominantemente ao longo das foliações ou das falhas e fraturas abertas (aquífero fissural).

– Unidade Águas Claras Alterada

Nesta unidade encontram-se as camadas de solo de alteração sobre as rochas metassedimentares são da Formação Águas Claras, predominam as porções arenosas que conferem taxas de recarga relativamente elevadas. Na zona vadosa, o fluxo nestas regiões é vertical descendente até atingir a zona saturada, normalmente localizada logo acima do contato com as rochas são. A região de contato, entre o solo de cobertura e as rochas, representa uma zona normalmente favorável ao fluxo das águas subterrâneas em ambiente de aquífero poroso.

– Unidade Máficas Intrusivas

Constitui-se de diques e sills de rochas básicas intrusivas apresentam características de aquíclude e funcionam como barreiras hidráulicas localizadas. Não apresentam potencial hidrogeológico.

k.1.3 Definição dos Intervalos dos Valores de Condutividade Hidráulica e Recarga

Neste estudo, os valores típicos de condutividade hidráulica foram obtidos a partir da compilação de dados da literatura hidrogeológica especializada e dos trabalhos hidrogeológicos já realizados em áreas semelhantes ao Corpo S11, como é o caso de Serra Norte. Com base nisto, apresentam-se na **Tabela 6.1.8.70** os intervalos dos valores típicos de condutividade hidráulica, K, para as unidades hidrogeológicas definidas na área de influência do Projeto Ferro Carajás S11D.

TABELA 6.1.8.70

**INTERVALOS DE VARIAÇÃO DOS VALORES TÍPICOS DE CONDUTIVIDADE
HIDRÁULICA DAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS RECONHECIDAS NA ÁREA
DO PROJETO S11D**

Nº de Ordem	Unidades Hidrogeológicas	Tipo Hidrogeológico	Intervalos dos Valores Típicos de K (cm/s)
01	Máficas Intrusivas	Aquiclude	$1,0 \times 10^{-8}$ a $5,0 \times 10^{-5}$
02	Águas Claras Alterada	Aquífero poroso	$5,0 \times 10^{-3}$ a $5,0 \times 10^{-2}$
03	Águas Claras Fraturada	Aquífero misto	$5,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-2}$
04	Coberturas Lateríticas	Aquífero poroso	$1,0 \times 10^{-3}$ a $1,0 \times 10^{-2}$
05	Superior	Aquífero Misto	$5,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-2}$
06	Inferior	Aquitardo	$5,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-3}$
07	Máfica Decomposta	Aquiclude	$5,0 \times 10^{-4}$ a $5,0 \times 10^{-3}$
08	Máfica São	Aquitardo	$1,0 \times 10^{-5}$ a $1,0 \times 10^{-4}$
09	Cristalino Alterado	Aquífero poroso	$1,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-3}$
10	Cristalino Fraturado	Aquífero Fissural	$1,0 \times 10^{-6}$ a $1,0 \times 10^{-5}$
11	Cristalino Coeso	Aquifugo	$1,0 \times 10^{-8}$ a $1,0 \times 10^{-5}$

Fonte: Elaborado com a base de dados de geologia.

Já para a definição dos valores de recarga, são sugeridos intervalos relacionados ao tipo, ocorrência, geometria e capacidade de infiltração das unidades hidrogeológicas de superfície. Neste sentido, foram considerados quatro intervalos distintos, obtidos a partir de um percentual de infiltração da precipitação média pluriannual registrada na estação pluviométrica implantada na Mina N4E, haja vista sua proximidade e similaridades com a área em apreço.

O primeiro intervalo refere-se à moderada taxa de infiltração associada à superfície de ocorrência da Unidade Cristalino Alterado. Neste caso, os valores de recarga podem variar de 10% a 20% da precipitação média considerada. Além disso, assume-se que as águas de precipitação que conseguem percolar através desta unidade passem a recarregar a unidade sotoposta (Cristalino Fraturado), constituindo-se, portanto, em um sistema aquífero livre.

O segundo intervalo de valores de recarga refere-se às áreas de ocorrência da Unidade Máfica Decomposta. Estas áreas apresentam-se com uma baixa capacidade de infiltração, onde os valores de recarga podem variar entre 0% e 15% da precipitação média considerada na área.

Neste caso, as águas que conseguem percolar por esta unidade de cobertura passam a recarregar determinadas porções da unidade sotoposta, relacionada à ocorrência de rochas máficas com algum grau de fraturamento.

O terceiro intervalo refere-se à alta taxa de infiltração associada à superfície de ocorrência da Unidade Coberturas Lateríticas. Neste caso, os valores de recarga podem variar de 20% a 40% da precipitação média considerada, sendo que as águas que conseguem percolar passam a recarregar as unidades sotopostas, associadas ao Sistema Aquífero Parauapebas (Unidade Superior e Inferior).

Por sua vez, o quarto intervalo refere-se à área de ocorrência da Unidade Águas Claras Alterada. Esta porção apresenta-se comumente com moderada a alta taxa de infiltração, com valores entre 15% e 40% da precipitação na área. Neste caso, admite-se que as águas infiltradas nesta unidade possam recarregar o aquífero sotoposto de maneira eficiente e rápida, constituindo-se em um sistema aquífero livre.

Tendo sido reconhecidas estas diferentes zonas com capacidade de infiltração diferenciada, na **Tabela 6.1.8.71** é apresentada uma expectativa sobre os intervalos de valores de recarga atuantes na área de influência do Bloco D.

TABELA 6.1.8.71

INTERVALOS DE RECARGA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO CORPO S11 - BLOCO D

Capacidade de Infiltração	Unidades Hidrogeológicas	Percentual de Infiltração (%)
Moderada	Unidade Cristalino Alterado	10 a 20
Baixa	Unidade Máfica Decomposta	0 a 15
Alta	Unidade Coberturas Lateríticas	20 a 40
Moderada a Alta	Unidade Águas Claras Alterada	15 a 40

Nota: Valor de precipitação média anual com base na série histórica da Estação da Mina N4E.

Por fim, cumpre destacar que estes intervalos de valores de condutividade hidráulica e de recarga servirão de referência durante o processo de calibração do modelo hidrogeológico matemático, bem como para a análise crítica e retroanálise dos resultados produzidos pelo mesmo.

k.1.4 Caracterização da Dinâmica de Fluxo das Águas Subterrâneas

Conforme já apresentado por Mdgeo (2006a, 2008c), reconhece-se que o principal sistema aquífero presente na área de influência do Corpo S11 seja aquele constituído pelas unidades ferríferas da Formação Carajás, limitado na base e lateralmente pelos basaltos da Formação Parauapebas. No geral, essas rochas básicas apresentam baixa permeabilidade e, à exceção de zonas cisalhadas, constituem aquícludes quando decompostas.

De acordo com seções geológicas disponibilizadas pela Vale, pode-se observar que o Sistema Hidrogeológico Carajás encontra-se bordejado pelas rochas impermeáveis do Sistema Hidrogeológico Parauapebas. No entanto, constitui-se em um sistema aquífero livre, haja vista que a sua recarga ocorre de forma direta, através de porções expostas da unidade Superior, seja de forma indireta, pela percolação de águas através da Unidade Coberturas Lateríticas.

Dessa maneira, admite-se que toda a área de ocorrência de Coberturas Lateríticas, ou seja, quase a totalidade da superfície do Corpo S11, pode ser considerada como área de recarga efetiva para os sistemas aquíferos sotopostos localmente.

Os perfis geológicos e o mapa geológico do Bloco D mostram uma segmentação do sistema aquífero em dois blocos, provocada pela presença de um espesso dique de rocha básica. Esse dique constitui uma importante barreira hidráulica, compartimentando o aquífero em dois blocos denominados: Bloco Leste e Bloco Oeste.

Em princípio, estes blocos são hidráulicamente desconectados. Além disso, como apresentado por Mdgeo (2008c), as seções geológicas disponibilizadas mostram uma notável diferença de espessura do Sistema Aquífero Carajás entre os dois blocos, sendo que no bloco Leste a espessura de aquífero é superior.

Os dados de monitoramento potenciométrico existentes na área indicam que a superfície piezométrica do Aquífero Carajás se posiciona a um nível relativamente profundo, da ordem de 100 metros, ou mais, dependendo da cota do terreno. Dessa maneira, admite-se que a espessura saturada de aquífero é relativamente pequena ao longo de todo o platô. Somente em regiões de grande espessura da formação ferrífera haveria uma maior espessura saturada que poderia sustentar poços tubulares com maior potencial para captação de água.

Segundo Mdgeo (2008c), foram identificados no entorno do Bloco D cinco drenagens principais que restituem água do Sistema Aquífero Carajás para as sub-bacias circunvizinhas, sendo que três delas, denominadas informalmente como A, B e C, deságuam na bacia do igarapé Sossego. A drenagem D restitui água para o igarapé Serra Sul, enquanto a drenagem E restitui água para a bacia Itacaiúnas Leste.

Ademais, as informações coletadas por Mdgeo (2006a, 2008c) mostram que no prolongamento da falha, onde se encaixa o dique citado anteriormente (Drenagem B), existe uma importante zona de descarga do Sistema Aquífero Carajás na borda norte do Corpo S11. A região de descarga se inicia na cota 575 metros, com uma vazão próxima de 5 m³/h. Esta drenagem ao atingir a cota 470 metros, cerca de 500 metros a jusante, apresenta um considerável incremento de vazão, medido em 64,7 m³/h.

À oeste da falha foi identificada outra região de descarga de água subterrânea, na drenagem C. O início desta zona seria correspondente às nascentes situadas nas elevações 625 a 635 metros, com vazões da ordem de 2 m³/h. No ponto de confluência dessa drenagem com o leito do igarapé Sossego mediu-se uma vazão de 295 m³/h. Trata-se da área de mais importante restituição de água ao Sistema Aquífero Carajás no Bloco Oeste.

A superfície piezométrica mostra que há um desnível entre os Blocos Leste e Oeste, delimitados pelo grande dique básico o que atestaria a estanqueidade dos mesmos. Esta superfície foi construída com dados incompletos e indica um caimento geral da mesma em sentido norte, sendo que as saídas de água encontram-se provavelmente no contato do Sistema Aquífero Carajás com a máfica decomposta de topo.

A partir de interpretações fundamentadas em dados de campo coletados em trabalhos anteriores (Mdgeo, 2006a; 2008c), aventa-se a hipótese de que o fluxo de água subterrâneo tenha caimento em sentido norte e as nascentes estariam, em princípio, no contato com as rochas máficas de topo situadas na vertente norte do platô. Dessa maneira, considera-se que a restituição de água a partir do Sistema Aquífero Carajás alimenta preferencialmente o vale do igarapé Sossego, e recebe ainda as contribuições de água restituída pelo Sistema Parauapebas. Por outro lado, as drenagens que se dirigem para o vale situado a sul do Bloco D, teriam origem fundamentalmente a partir da água de restituição da Formação Parauapebas.

De fato, parece haver uma maior taxa de restituição de água subterrânea no vale situado a norte do Bloco D (bacia do igarapé Sossego). Além disso, pode haver ainda um fluxo longitudinal, em direções opostas e confluentes para o alinhamento estrutural onde se aloja o dique básico que segmenta os Blocos Leste e Oeste.

Na bacia do igarapé Pacu, que tem origem na vertente sul do Bloco D, foi registrada uma restituição de apenas 30 m³/h, no ponto de jusante da área inventariada, todas as drenagens que descem da borda norte, na bacia do igarapé Sossego registram vazões superiores a 108 m³/h. Em termos mais específicos, as três drenagens que vertem água para o igarapé Sossego, na borda norte e leste do Bloco D, registram vazões de 148 m³/h (drenagem A), 233 m³/h (drenagem B) e 295 m³/h (na drenagem C).

Isto corrobora a hipótese de que a restituição da água subterrânea para as duas bacias citadas é proveniente de sistemas hidrogeológicos distintos. Neste sentido, as restituições de água para a bacia do igarapé Pacu estariam associadas ao Sistema Parauapebas, constituído por rochas máficas que originam solos essencialmente argilosos, com pequena capacidade de restituição de água subterrânea. Já a bacia do igarapé Sossego recebe água proveniente do Sistema Carajás, com muito maior capacidade de armazenamento e transmissividade.

Segundo Mdgeo (2008c), os parâmetros hidroquímicos de campo reforçam esta interpretação, uma vez que as drenagens e nascentes identificadas na bacia do igarapé Pacu registram, em geral, pH mais elevado e condutividade elétrica pouco maiores, quando comparadas aos registros efetuados nos pontos de água da bacia do igarapé Sossego.

Por sua vez, as cabeceiras das drenagens D (bacia do igarapé Serra Sul) e E (bacia Itacaiúnas Leste) estão alinhadas segundo importante lineamento estrutural que segmenta os Blocos C e D e cuja estrutura pode representar zona de percolação preferencial de água subterrânea para as duas vertentes do platô, nos limites dos blocos citados. Isto é sugerido pela alta vazão medida na drenagem E, que é geológica e morfológicamente semelhante às drenagens do igarapé Pacu, porém com uma elevada restituição de água.

Mdgeo (2008c) chama a atenção ainda para o fato de que devem ocorrer incrementos importantes de vazões em cotas mais baixas na vertente norte do Bloco D, que podem estar associadas à percolação de água em zonas de fraturamento preferencial, sendo em princípio identificados os alinhamentos estruturais nas drenagens B, D e E.

Com relação às lagoas existentes no Bloco D e nos demais Blocos do Corpo S11, segundo Mdgeo (2008c), representam zonas de drenagem endorreica, que recebem tanto a contribuição direta do escoamento superficial, como também recebem a contribuição de um importante escoamento hipodérmico originado principalmente das cangas de minério. Essas lagoas podem ser permanentes ou intermitentes, sendo que os principais corpos de água dessa natureza são representados no Bloco D pelas lagoas do Violão e do amendoim.

Há que se ressaltar que as cangas de minério representam um material muito poroso e permeável, com grande capacidade de infiltração. Na base dessa canga há um contraste de permeabilidade com os litotipos subjacentes, em cuja interface tem origem esse escoamento. Observa-se na época chuvosa que principalmente as cangas de minério sustentam um escoamento hipodérmico, persistente por todo esse período, o que atesta a sua grande capacidade de absorção de água. Via de regra, esse escoamento é desaguado para as bordas do platô ou para as regiões das lagoas, perenes ou intermitentes, que representam regiões rebaixadas com drenagem endorreica.

Os dados existentes indicam que o nível de água das lagoas permanentes está acima da superfície piezométrica do aquífero Carajás.

Este fato deve acarretar uma significativa taxa de recarga para o aquífero subjacente.

Em termos gerais, admite-se que a dinâmica de circulação das águas subterrâneas no domínio de interesse do modelo do Bloco D é sustentada pela boa porosidade apresentada pelas cangas, favorecendo a recarga nas porções mais elevadas da área, ou seja, nos platôs. Em contraposição, nas áreas de ocorrência de solos argilosos, originários da alteração das rochas máficas, a recarga é considerada substancialmente menor.

Neste contexto, as águas que percolam pela canga permeável conectam-se diretamente com a formação ferrífera, propiciando uma boa recarga deste aquífero profundo. Já quando se registra a ocorrência de solos de cobertura associados à alteração de rochas máficas, naturalmente de composição argilosa e, por conseguinte, de comportamento pouco permeável, observa-se a formação de aquíferos rasos nas unidades ferríferas subjacentes, com níveis de água suspensos e nascentes em cotas elevadas. Nestes locais, também é comum a formação de lagoas suspensas, as quais são formadas nos platôs sobre as cangas assentadas em solos argilosos.

Já em termos de zonas de descarga, estudos anteriores (Mdgeo, 2006a; 2008c), que incluem o cadastro de nascentes da região, apontam pontos específicos de desaguamento natural do sistema aquífero local associado às unidades ferríferas. Além disso, aventa-se a hipótese destas descargas ocorrerem de forma disseminada nas cangas ou através de fraturamentos regionais que possam conectar a formação ferrífera com as porções topográficas mais baixas.

k.2 Construção do Modelo Hidrogeológico Matemático

A partir da definição do modelo hidrogeológico conceitual pode-se então construir o modelo numérico, a fim de simular o comportamento hidrodinâmico das águas subterrâneas no cenário atual de desenvolvimento do Projeto Ferro Carajás S11D.

Para tanto, foram incorporados todos os elementos físicos e hidráulicos descritos no modelo conceitual, incluindo as unidades hidrogeológicas, as condições de recarga, os condicionantes das descargas no sistema de drenagem superficial, a conformação topográfica do terreno e os dados dos dispositivos de monitoramento. A partir disto, apresenta-se nos itens que se seguem a descrição e o desenvolvimento deste modelo matemático.

k.2.1 Aplicativo Computacional

A versão matemática do modelo que representa a dinâmica de fluxo das águas subterrâneas na área de influência do Projeto Ferro Carajás S11D foi desenvolvida através do aplicativo *VisualModflow®* (GUIGUER & THOMAS, 1998) elaborado pela *Waterloo Hydrogeologic Inc.* Este aplicativo computacional simula o escoamento da água subterrânea no solo, em uma configuração geométrica tridimensional, através de um modelo numérico de diferenças finitas que resolve a seguinte equação diferencial:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + R = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

onde:

K_{xx} , K_{yy} e K_{zz} = valores da condutividade hidráulica ($L T^{-1}$), ao longo dos eixos de coordenadas x, y e z, respectivamente;

h = carga hidráulica (L);

R = termo geral de fonte ou sumidouro de água, representando, respectivamente, a introdução ($R > 0$) ou a remoção ($R < 0$) de volume de água, por unidade de volume do meio, pelo tempo (T^{-1});

S_s = armazenamento específico do material poroso (L^{-1}); e,

t = tempo (T).

A solução desta equação pode ser obtida através de vários métodos numéricos, um dos quais é o método de diferenças finitas, utilizado no aplicativo *Modflow*. Tal aproximação implica em substituir o sistema contínuo, descrito na equação, por um conjunto finito de pontos discretizados no espaço e no tempo, ou seja, as derivadas parciais são substituídas por termos calculados a partir das diferenças nos valores de cargas hidráulicas nestes pontos, partindo de condições iniciais e de contorno conhecidas.

Esse aplicativo é amplamente utilizado e reconhecido na literatura internacional e foi adotado neste estudo por representar um programa de alta capacidade de interação de dados numéricos, com uma interface gráfica bem elaborada, permitindo que os elementos constituintes do modelo hidrogeológico conceitual fossem satisfatoriamente bem acomodados na sua versão matemática.

k.2.2 Consideração Temporal

O modelo matemático da área de influência do Projeto Ferro Carajás S11D foi desenvolvido para avaliar os possíveis impactos ambientais provocados a partir da operação do sistema de rebaixamento do nível de água da futura mina, pela comparação com o cenário atual sem desaguamento. Para tanto, o referido modelo foi calibrado em uma condição temporal estacionária (ou permanente), onde os valores de carga hidráulica variam apenas espacialmente.

Assim, o processo de calibração consistiu em ajustar os valores de recarga e de condutividade hidráulica, para favorecer a correlação entre as cargas hidráulicas calculadas e observadas. A escolha dos dados de observação, e, conseqüentemente, do momento para tal calibração, deu-se a partir da análise do universo de dados de monitoramento disponibilizados para este estudo. Ademais, definiu-se que a calibração estacionária seja feita com base nos dados médios de monitoramento do período seco da região.

k.2.3 Definição do Domínio e da Malha de Cálculo

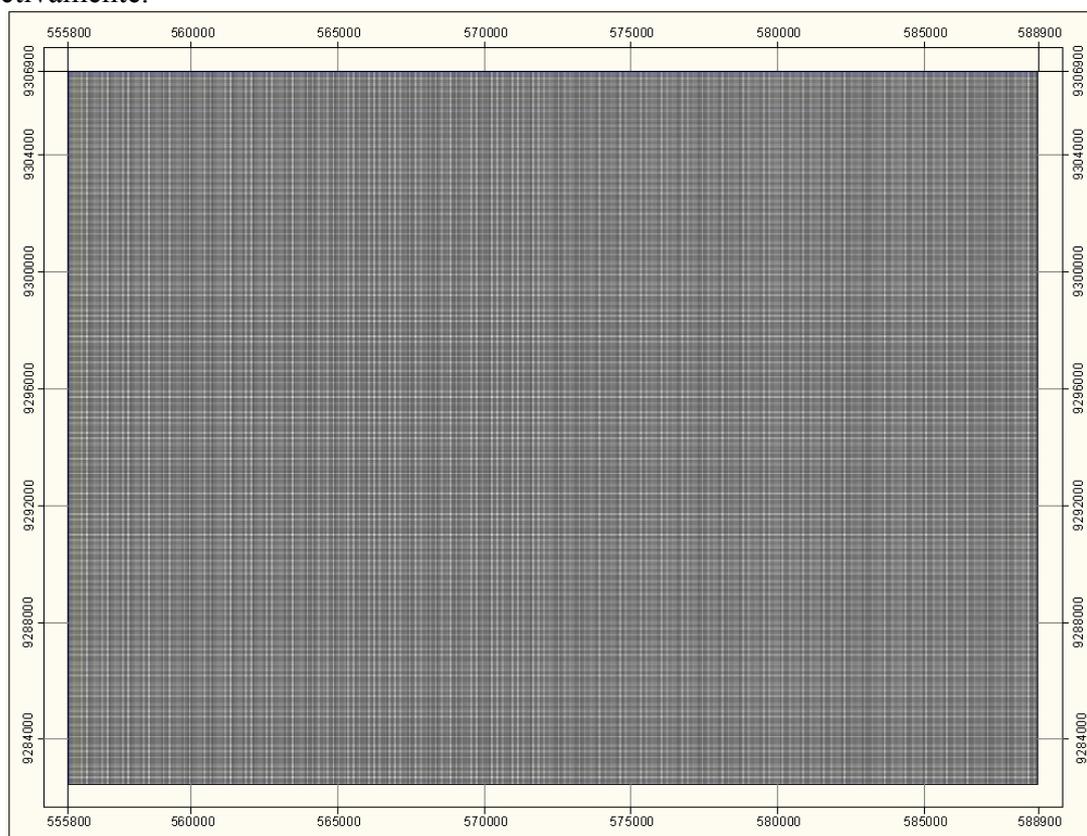
O domínio de cálculo do modelo hidrogeológico matemático da área de influência do Projeto Ferro Carajás S11D foi definido a partir dos limites físicos e hidráulicos estabelecidos pelo domínio de interesse e condições de contorno adotadas no modelo conceitual. Além disso, foram consideradas as condições e as formas de circulação hídrica subterrânea, o tipo e comportamento de fluxos e os processos de recarga e descarga do sistema aquífero envolvido.

Dessa maneira, o domínio de cálculo do modelo numérico resultou em um bloco cuja área superficial é de aproximadamente 807,64 km², com uma espessura ativa variando entre 600 metros e 1.200 metros (dependendo da variação de cota topográfica), inserido entre os limites de coordenadas UTM-E 555.800 a 588.900 e de coordenadas UTM-N 9.282.500 a 9.306.900.

Já a malha de cálculo adotada no modelo foi definida por 244 linhas, 331 colunas e 24 camadas horizontais, totalizando um conjunto de 1.938.336 células com tamanhos de 100x100x50 metros, nas direções x, y, e z, respectivamente. Esta configuração representa um domínio espacial tridimensional, não deformada, de forma paralelepípeda, com as seguintes dimensões:

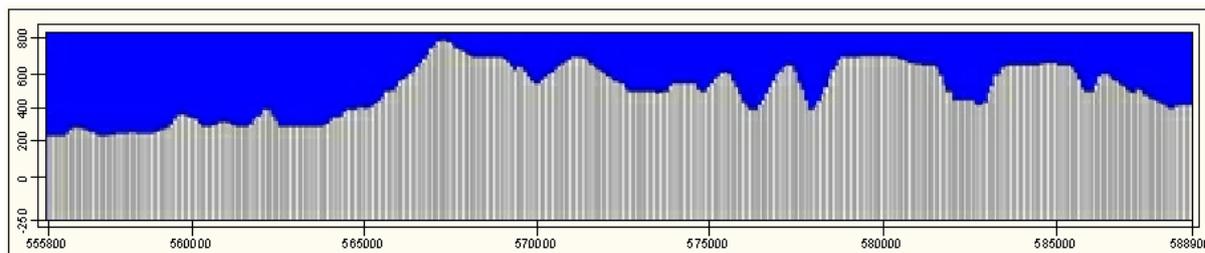
- 33.100 metros de comprimento – na direção EW, ao longo do eixo x;
- 24.400 metros de largura – na direção SN, ao longo do eixo y; e,
- 1.200 metros de espessura máxima e 600 m de espessura mínima, ao longo do eixo z.

Nas **Figuras 6.1.8.210 e 6.1.8.211** apresenta-se o domínio e a malha de cálculo do modelo hidrogeológico matemático, considerando o plano horizontal xy e o plano vertical xz, respectivamente.



Fonte: Modelo hidrogeológico matemático.

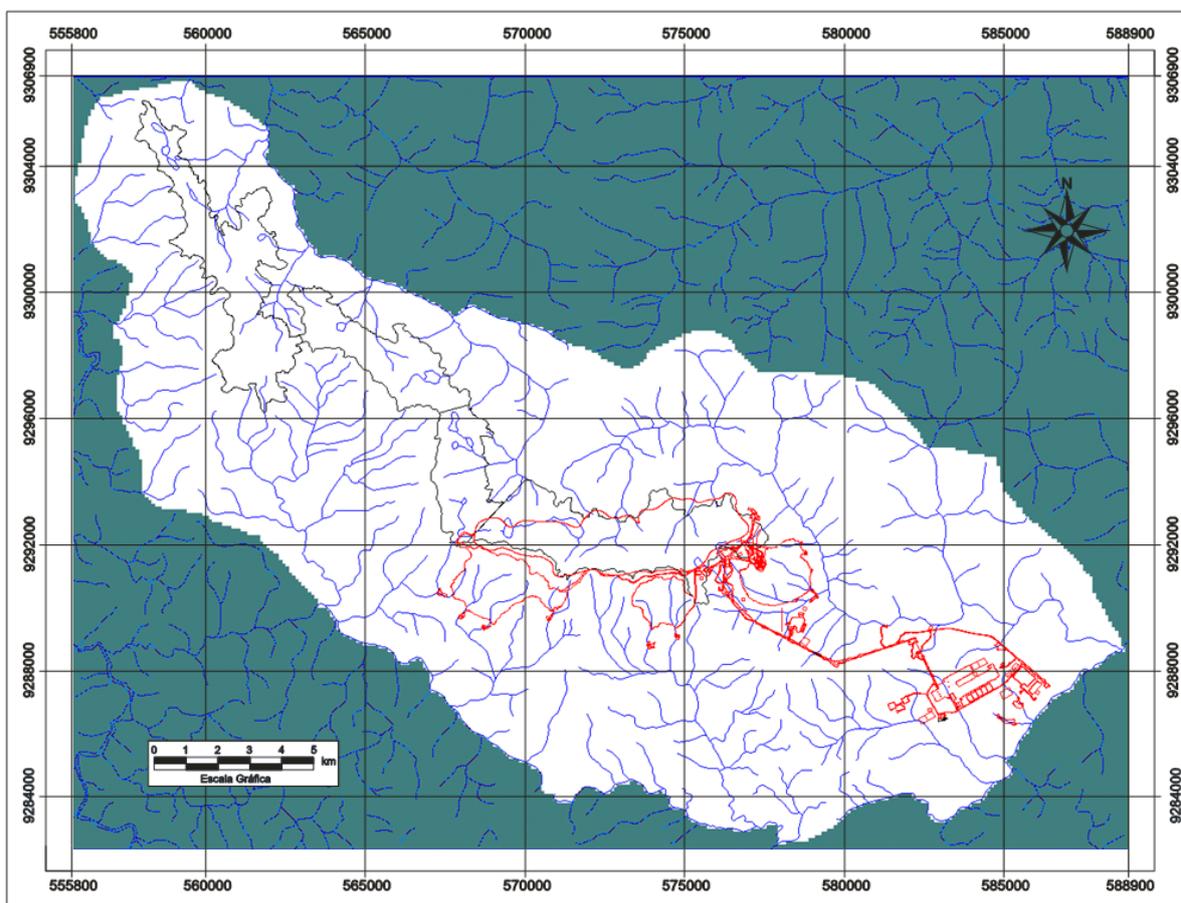
FIGURA 6.1.8.210 - Domínio e malha de cálculo do modelo numérico (plano horizontal xy).



Fonte: Modelo hidrogeológico matemático.

FIGURA 6.1.8.211 - Domínio e malha de cálculo do modelo numérico (plano horizontal xz).

Do conjunto total de células definidas pela malha de cálculo, uma determinada parcela foi especificada como “célula ativa”, ou seja, células que efetivamente participam do cálculo computacional, e outra parcela foi definida como “inativa”, ou seja, que não participam do cálculo. Na **Figura 6.1.8.212** é mostrada a diferenciação das células ativas e inativas separadas a partir do domínio de interesse hidrogeológico.



Fonte: Modelo hidrogeológico matemático.

FIGURA 6.1.8.212 - Células ativas (branco) e inativas (verde) do modelo matemático no plano xy.

k.2.4 Definição e Incorporação das Condições de Contorno

As condições de contorno do domínio de cálculo deste modelo estão associadas aos limites físicos e hidráulicos. Assim, para a incorporação das condições de carga hidráulica e de fluxo especificado foram utilizados os seguintes recursos internos do aplicativo VisualModflow:

- recurso dreno, para designar a condição de contorno do sistema de drenagem, cujos valores das cargas hidráulicas são definidos pelas cotas topográficas;
- recurso recarga, para designar a condição de contorno da superfície topográfica ou limite de topo, cujos valores são definidos como uma parcela da taxa de precipitação média anual. O valor adotado para recarga é definido pelo exercício de calibração.

A incorporação da condição de contorno de fluxo nulo, associada ao limite de base e aos divisores de água, se faz pela especificação das células inativas do modelo matemático.

k.2.5 Incorporação das Unidades Hidrogeológicas

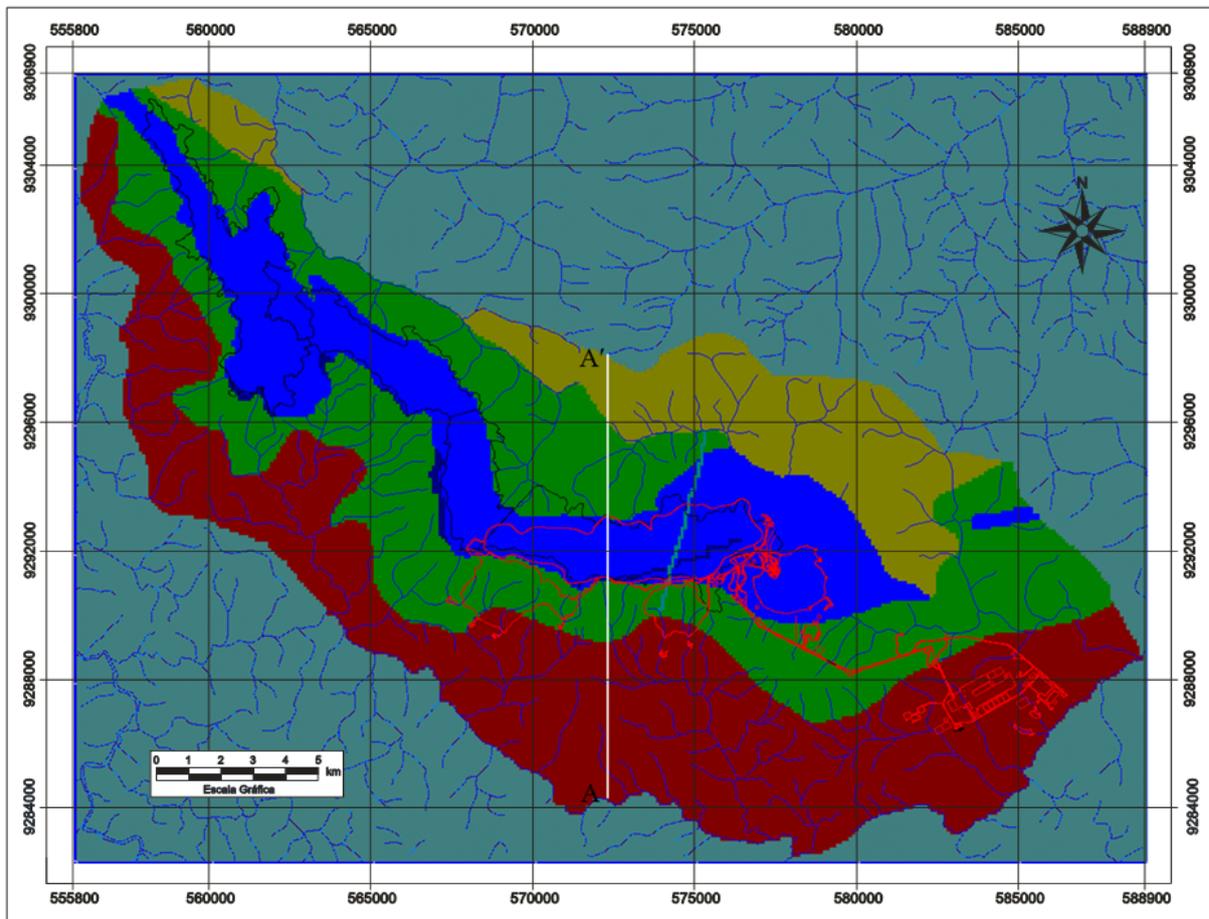
Todas as unidades hidrogeológicas definidas no modelo conceitual foram acomodadas no modelo matemático de acordo com as legendas numéricas e de cor apresentadas na **Tabela 6.1.8.72**. A distribuição espacial destas unidades é ilustrada nas **Figuras 6.1.8.213 e 6.1.8.214**.

TABELA 6.1.8.72

LEGENDA NUMÉRICA E DE COR ADOTADA PARA A CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DO MODELO MATEMÁTICO

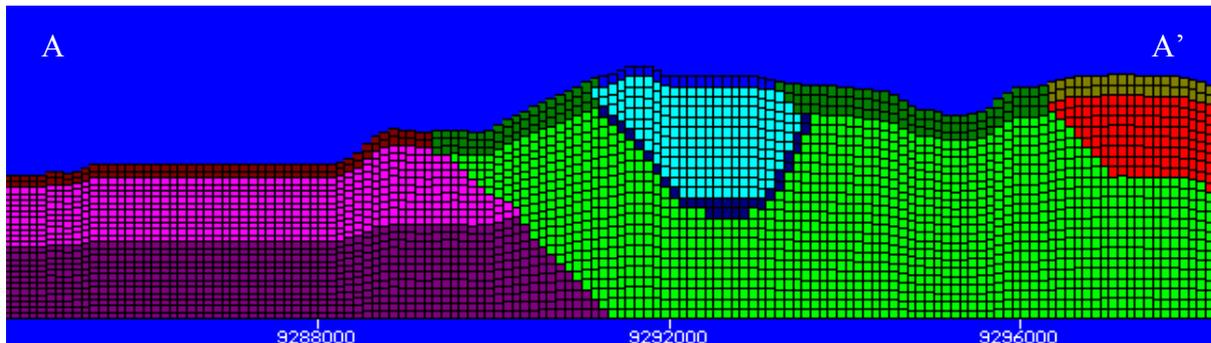
Sistema Hidrogeológico	Unidade Hidrogeológica	Tipo Hidrogeológico	Cód. Num. do Material	Código de Cor
-	Máficas Intrusivas	Aquiclude	4	
Águas Claras	Águas Claras Alterada	Aqüífero Misto	7	
	Águas Claras Fraturada	Aqüífero poroso	13	
-	Coberturas Lateríticas	Aqüífero poroso	10	
Carajás	Superior	Aqüífero Misto	12	
	Inferior	Aquitardo	2	
Parauapebas	Máfica Decomposta	Aquiclude	3	
	Máfica Sã	Aquitardo	11	
Cristalino	Cristalino Alterado	Aqüífero poroso	5	
	Cristalino Fraturado	Aqüífero Fissural	14	
	Cristalino Coeso	Aquifugo	6	

Nota: Código compilado do modelo matemático.



Nota: Código de cores apresentado na Tabela 6.1.8.71

FIGURA 6.1.8.213 - Distribuição espacial das unidades hidrogeológicas no plano horizontal xy.



Nota: Código de cores apresentado na Tabela 6.1.8.71

FIGURA 6.1.8.214 - Perfil AA' apresentando as unidades hidrogeológicas no plano vertical yz.

k.2.6 Calibração do Modelo Hidrogeológico Matemático

O modelo matemático, construído a partir das condicionantes estabelecidas pelo modelo conceitual, passou por um procedimento de calibração em regime de simulação permanente, no qual se buscou ajustar os dados de cota do nível de água simulados versus observado em um gráfico comparativo, a partir de ajustes em parâmetros hidrogeológicos de maior sensibilidade, quais sejam: condutividade hidráulica, recarga e condutância.

Os dados de observação usados na calibração consistiram de cotas de saída de água de nascentes (**Tabela 6.1.8.73**) cadastradas por Mdgeo (2008c), além de cotas de nível da água de poços piezométricos (**Tabela 6.1.8.74**) instalados pela Vale em furos de sondagem no Projeto Ferro Carajás S11D.

TABELA 6.1.8.73**DADOS DE NASCENTES USADAS NA CALIBRAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO**

Nº de Ordem	Código Mdgeo	Bacia Hidrográfica	UTM-E (m)	UTM-N (m)	Cota (m)
01	F3NA41A	Sossego	573.090	9.293.213	628,0
02	F3NA41B	Sossego	573.101	9.293.231	628,0
03	F3NA40	Sossego	573.004	9.293.148	631,0
04	F3NA181	Sossego	573.126	9.293.403	595,0
05	F3NA182	Sossego	573.236	9.293.410	601,0
06	F3NA183	Sossego	573.270	9.293.369	629,0
07	F3NA184	Sossego	572.477	9.296.101	644,0
08	F3NA185	Sossego	572.611	9.296.139	633,0
09	F3NA19	Sossego	575.941	9.293.500	592,0
10	F3NA187	Sossego	575.697	9.293.647	563,0
11	F3NA188	Sossego	575.361	9.293.592	578,0
12	F3NA189	Sossego	575.518	9.294.045	495,0
13	F3NA191	Sossego	576.688	9.290.622	450,0
14	F3NA192	Sossego	576.894	9.290.139	417,0
15	F3NA195	Sossego	576.734	9.289.883	431,0
16	F3NA196	Sossego	576.221	9.291.324	566,0
17	F3NA198	Sossego	576.018	9.290.966	566,0
18	F3NA199	Sossego	577.286	9.290.555	445,0
19	F3NA201	Sossego	577.417	9.292.606	493,0
20	F3NA202	Sossego	578.180	9.291.399	449,0
21	F3NA203	Pacu	572.765	9.291.016	712,0
22	F3NA204	Pacu	572.466	9.289.989	490,0
23	F3NA206	Pacu	572.260	9.290.471	611,0
24	F3NA207	Pacu	573.076	9.290.217	581,0
25	F3NA208	Pacu	573.016	9.289.860	475,0
26	F3NA216	Pacu	574.714	9.289.496	411,0
27	F3NA217	Pacu	574.779	9.289.620	445,0
28	F3NA218	Pacu	575.042	9.288.787	352,0
29	F3NA210	Serra Sul	570.310	9.293.989	619,0
30	F3NA211	Serra Sul	569.977	9.294.231	553,0
31	F3NA221	Serra Sul	569.733	9.294.465	539,0
32	F3NA224	Serra Sul	568.774	9.294.572	573,0
33	F3NA225	Serra Sul	569.003	9.294.710	580,0
34	F3NA250	Serra Sul	569.122	9.294.728	566,0
35	F3NA244	Itacaiúnas Leste	567.717	9.292.504	630,0
36	F3NA251	Itacaiúnas Leste	567.780	9.292.109	622,0
37	F3NA255	Itacaiúnas Leste	567.649	9.292.024	567,0

Fonte: Dados compilados de Mdgeo (2006a; 2008c).

TABELA 6.1.8.74
DADOS DE PIEZÔMETROS USADOS NA CALIBRAÇÃO DO MODELO
MATEMÁTICO

Nº de Ordem	Código Mdgeo	UTM-E (m)	UTM-N (m)	Cota da Boca do Poço (m)	Prof. (m)	Cota do Nível da Água (m)
01	S11D-103	575.930	9.293.180	732,5	120,0	622,3
02	S11D-116	574.795	9.292.430	725,5	150,0	592,9
03	S11D-117	574.738	9.292.628	706,0	120,0	587,0
04	S11D-154	574.315	9.292.290	806,4	150,0	685,3
05	S11D-156	574.603	9.292.370	719,2	150,0	597,6
06	S11D-159	574.767	9.292.530	720,0	120,0	604,7
07	S11D-177	574.320	9.292.609	713,0	100,0	637,2
08	S11D-237	572.703	9.291.510	819,8	150,0	662,5
09	S11D-239	575.906	9.292.560	732,0	120,0	650,5
10	S11D-266	571.717	9.292.020	787,0	150,0	704,1
11	S11D-274	575.449	9.292.810	708,8	120,0	591,1

Fonte: Dados compilados de Mdgeo (2006a; 2008c).

A distribuição de todos estes pontos na área de interesse do modelo matemático pode ser visualizada na **Figura 6.1.8.215**.

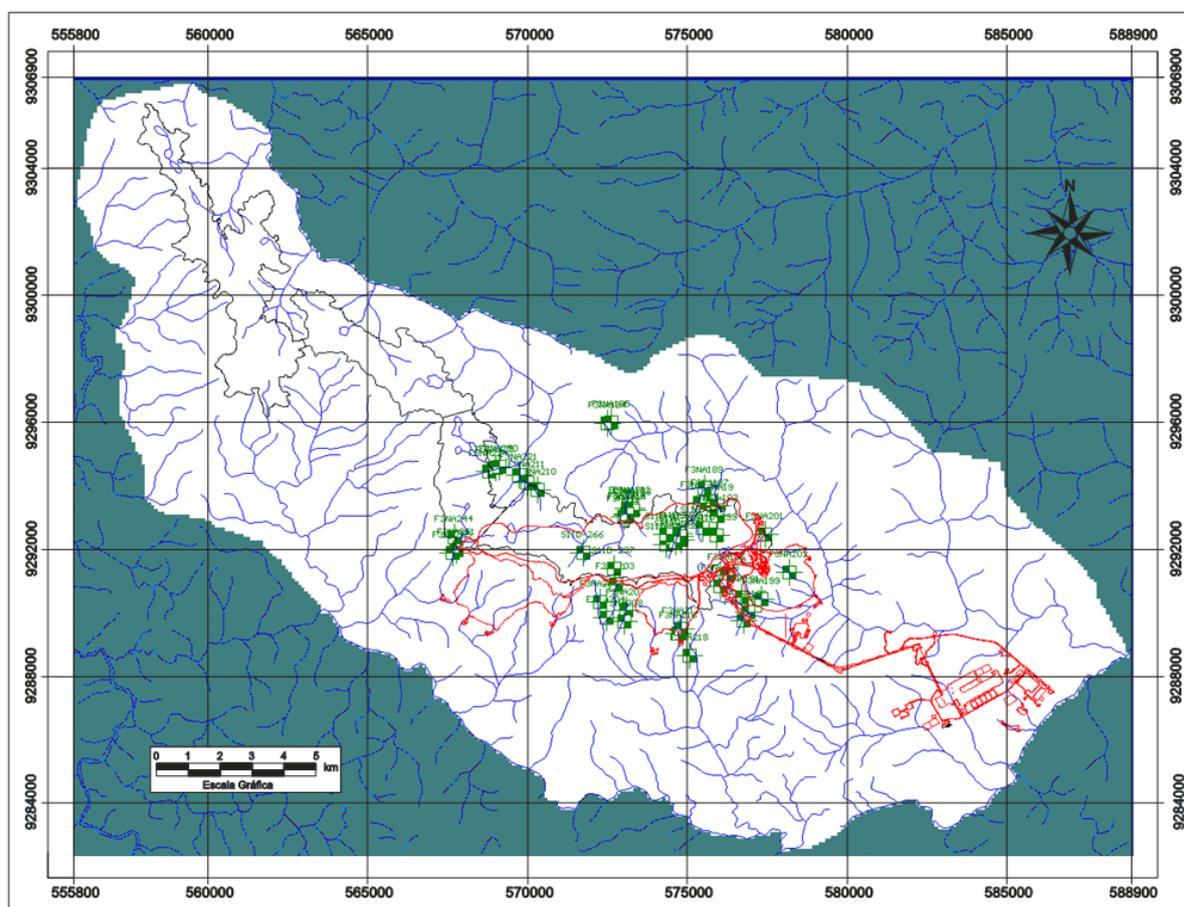


FIGURA 6.1.8.215 - Distribuição das nascentes e piezômetros na área de interesse do modelo matemático do Corpo S11 Bloco D.

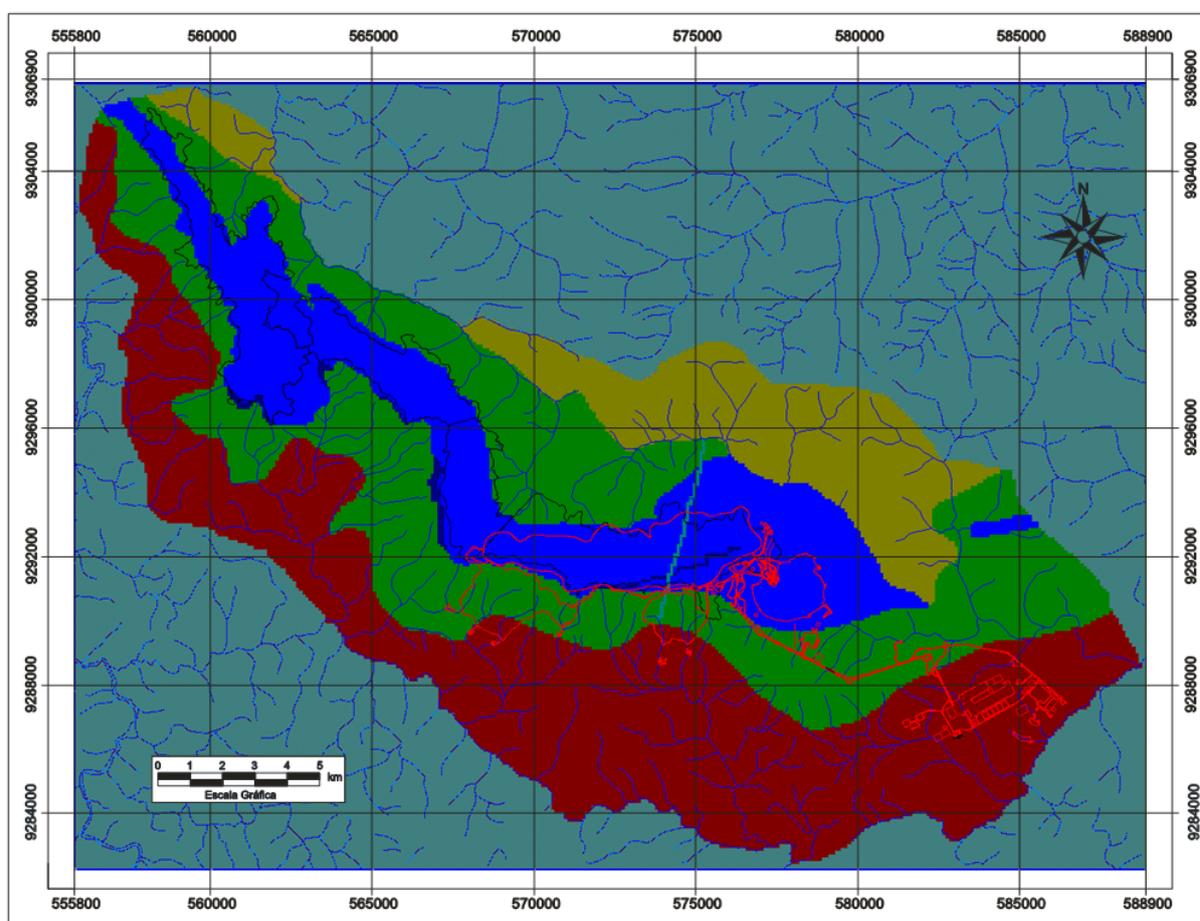
A calibração permanente foi realizada a partir dos dados coletados no período seco da região, buscando representar uma condição de equilíbrio crítico do sistema aquífero modelado. Para tanto, a calibração foi obtida mediante ajustes dos valores de recarga e condutividade hidráulica das unidades hidrogeológicas, de tal maneira que os valores de carga hidráulica calculados pelo modelo fossem satisfatoriamente comparados com os dados de campo.

Na **Tabela 6.1.8.75** são apresentados os diferentes valores de recarga obtidos na calibração. A distribuição destes valores foi introduzida a partir de diferentes zonas conforme pode ser visualizado na **Figura 6.1.8.216**.

TABELA 6.1.8.75
VALORES DE RECARGA OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO

Capacidade de Infiltração	Unidades Hidrogeológicas	Percentual de Infiltração (%)	Código de Cor no Modelo	Recarga (mm/ano)
Moderada	Unidade Cristalino Alterado	10		180
Baixa	Unidade Máfica Decomposta	2,5		45
Alta	Unidade Coberturas Lateríticas	35		630
Moderada a Alta	Unidade Águas Claras Alterada	15		270

Nota: Valores de recarga atribuídos com base na calibração.



Fonte: Modelo hidrogeológico matemático.

FIGURA 6.1.8.216 - Distribuição das zonas de recarga utilizadas na calibração do modelo matemático.

Os valores de condutividade hidráulica das unidades hidrogeológicas também foram ajustados. De maneira geral, os valores adotados no modelo, após os procedimentos finais de calibração, são apresentados na **Tabela 6.1.8.76**.

TABELA 6.1.8.76

**VALORES DE CONDUTIVIDADE OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO PERMANENTE
DO MODELO NUMÉRICO**

Nº de Ordem	Unidades Hidrogeológicas	Código Numérico do Modelo	Código de Cor do Modelo	Intervalos dos Valores Típicos de K (cm/s)	Condutividade Hidráulica K (cm/s)		
					Kx	Ky	Kz
01	Máficas Intrusivas	4		$1,0 \times 10^{-8}$ a $5,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-5}$
02	Águas Claras Alterada	7		$5,0 \times 10^{-3}$ a $5,0 \times 10^{-2}$	$8,0 \times 10^{-3}$	$8,0 \times 10^{-3}$	$8,0 \times 10^{-3}$
03	Águas Claras Fraturada	13		$5,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-2}$	$4,0 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-4}$
04	Coberturas Lateríticas	10		$1,0 \times 10^{-3}$ a $1,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-2}$
05	Superior	12		$5,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$5,0 \times 10^{-3}$
06	Inferior	2		$5,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^{-4}$
07	Máfica Decomposta	3		$5,0 \times 10^{-4}$ a $5,0 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^{-3}$
08	Máfica Sã	11		$1,0 \times 10^{-5}$ a $1,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-6}$
09	Cristalino Alterado	5		$1,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^{-4}$	$5,0 \times 10^{-4}$	$5,0 \times 10^{-5}$
10	Cristalino Fraturado	14		$1,0 \times 10^{-6}$ a $1,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-5}$
11	Cristalino Coeso	6		$1,0 \times 10^{-8}$ a $1,0 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-6}$

Fonte: Modelo hidrogeológico matemático.

Já os resultados relativos aos valores simulados e aqueles medidos são apresentados nas **Tabelas 6.1.8.77 e 6.1.8.78**.

TABELA 6.1.8.77

RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO POR PIEZÔMETROS

Nº de Ordem	Ident. do Ponto	Valor Observado (m)	Valor Simulado (m)	Diferença Simulado – Observado (m)
01	S11D-103	622,3	607,2	-15,1
02	S11D-116	592,9	591,8	-1,1
03	S11D-117	587,0	586,3	-0,7
04	S11D-154	685,3	665,5	-19,8
05	S11D-156	597,6	599,2	1,6
06	S11D-159	604,7	589,1	-15,6
07	S11D-177	637,2	625,1	-12,1
08	S11D-237	662,5	665,6	3,1
09	S11D-239	650,5	630,7	-19,8
10	S11D-266	704,1	696,2	-7,9
11	S11D-274	591,1	592,6	1,5

Fonte: Dados compilados de Mdgeo (2006a; 2008c) e do modelo hidrogeológico matemático.

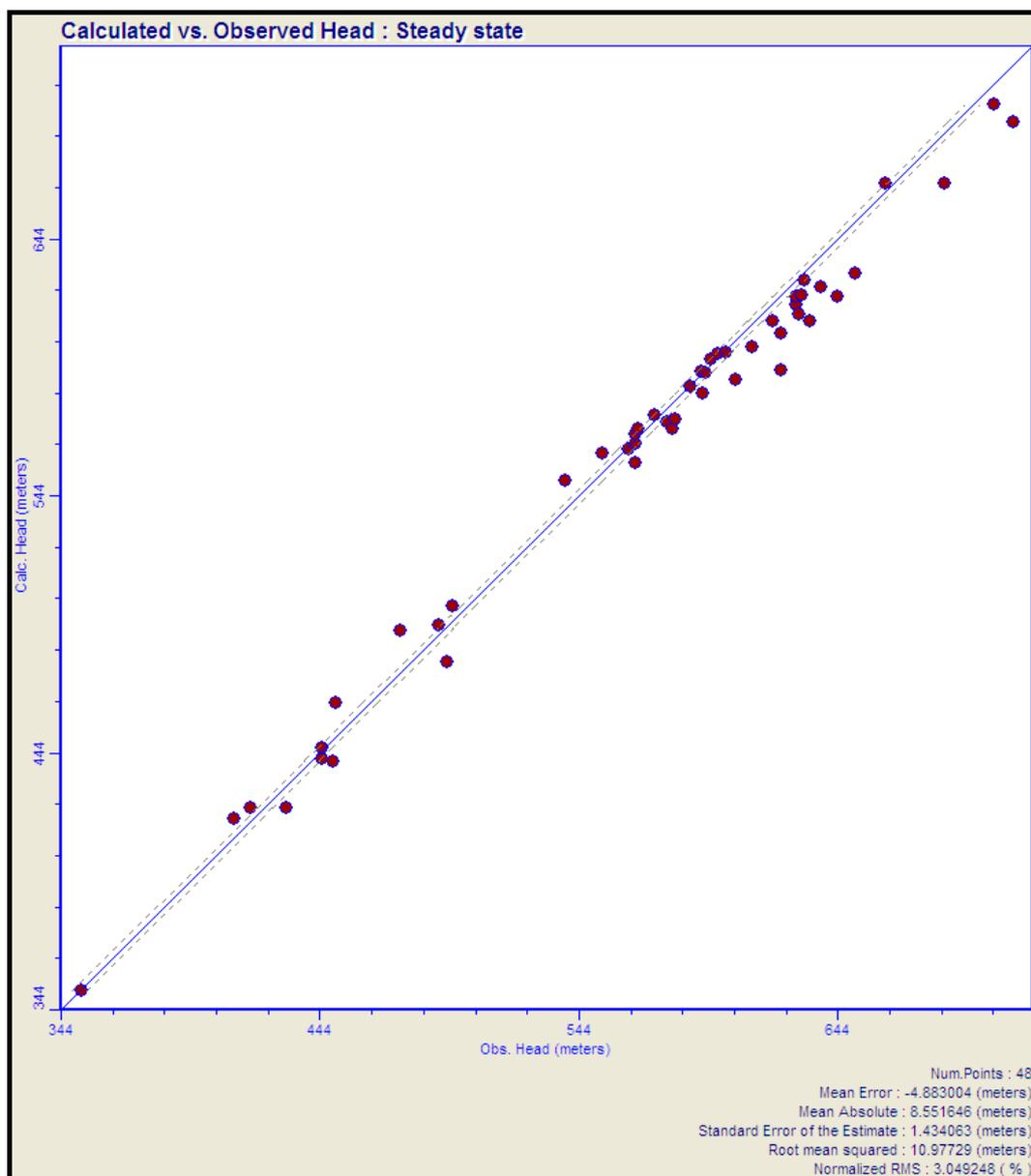
TABELA 6.1.8.78**RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO POR NASCENTES**

Nº de Ordem	Ident. do Ponto	Valor Observado (m)	Valor Simulado (m)	Diferença Simulado – Observado (m)
01	F3NA41A	628,0	618,4	-9,6
02	F3NA41B	628,0	621,7	-6,3
03	F3NA40	631,0	628,0	-3,0
04	F3NA181	595,0	597,2	2,2
05	F3NA182	601,0	600,0	-1,0
06	F3NA183	629,0	614,4	-14,6
07	F3NA184	644,0	621,3	-22,7
08	F3NA185	633,0	612,1	-20,9
09	F3NA19	592,0	584,0	-8,0
10	F3NA187	563,0	561,9	-1,1
11	F3NA188	578,0	572,9	-5,1
12	F3NA189	495,0	501,1	6,1
13	F3NA191	450,0	463,2	13,2
14	F3NA192	417,0	422,6	5,6
15	F3NA195	431,0	422,5	-8,5
16	F3NA196	566,0	564,3	-1,7
17	F3NA198	566,0	557,0	-9,0
18	F3NA199	445,0	441,5	-3,5
19	F3NA201	493,0	479,6	-13,4
20	F3NA202	449,0	440,8	-8,2
21	F3NA203	712,0	689,3	-22,7
22	F3NA204	490,0	493,6	3,6
23	F3NA206	611,0	601,8	-9,2
24	F3NA207	581,0	573,8	-7,2
25	F3NA208	475,0	491,6	16,6
26	F3NA216	411,0	418,5	7,5
27	F3NA217	445,0	445,9	0,9
28	F3NA218	352,0	351,2	-0,8
29	F3NA210	619,0	611,7	-7,3
30	F3NA211	553,0	560,3	7,3
31	F3NA221	539,0	550,0	11,0
32	F3NA224	573,0	575,6	2,6
33	F3NA225	580,0	570,2	-9,8
34	F3NA250	566,0	568,2	2,2
35	F3NA244	630,0	622,2	-7,8
36	F3NA251	622,0	593,1	-28,9
37	F3NA255	567,0	570,2	3,2

Fonte: Dados compilados de Mdgeo (2006a; 2008c) e do modelo hidrogeológico matemático.

A **Figura 6.1.8.217** apresenta os resultados da calibração do modelo em um gráfico de valores observados em campo versus valores calculados pelo modelo. A ocorrência de pontos que se alinham com a reta de 45° indica uma calibração favorável, onde se pode observar que a dispersão é nula.

No entanto, o melhor ajuste encontrado apresentou valores de -4,88 m e 1,43 m, respectivamente, para o erro médio e a raiz quadrada do erro médio, e fator de normalização de 3,05%. Este nível de tolerância é considerado adequado para a calibração do modelo no estágio atual de entendimento sobre o comportamento hidrogeológico da região. Assim, assume-se que o mesmo tenha sido satisfatoriamente bem calibrado em regime permanente.



Fonte: Modelo hidrogeológico matemático.

FIGURA 6.1.8.217 - Curva de calibração do modelo hidrogeológico matemático.

l) Proposta de uso pela empresa dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos

Os cenários de exploração que foram simulados correspondem àquele atual, sem a presença do empreendimento, ao cenário de máximo rebaixamento, correspondente ao planejamento de exaustão da lavra do minério, e o cenário de fechamento da mina, onde ocorrerá o enchimento e vertimento dos lagos de cava e estabilização das condições hidrodinâmicas dos aquíferos.

As condições estabelecidas no cenário atual servem como base de comparação para a avaliação das condições hidrodinâmicas dos cenários futuros. Dessa maneira, assume-se que no cenário atual não existe o aproveitamento quantitativo de águas subterrâneas para suprir necessidades do empreendimento. Já para o cenário de máximo rebaixamento prevê-se a exploração de 1.000 m³/h, durante 24 horas por dia. O planejamento de poços tubulares para a produção dessa vazão de água subterrânea depende do avanço da lavra em seu cenário de operação, não podendo ser avaliado nesta ocasião.

Já para o cenário de fechamento estimou-se uma contribuição de água do aquífero para o lago Leste da ordem de 880 m³/h e para o lago Oeste da ordem de 100 m³/h, durante 24 horas por dia, sendo, por conseguinte, a vazão de vertimento prevista para os futuros lagos de cava.

Os itens abaixo demonstram as condições descritas acima.

1.1 Avaliação de cenários de evolução do empreendimento

Após uma calibração satisfatória, o modelo hidrogeológico matemático pode ser utilizado para simulação de casos específicos de comportamento hidrodinâmico do sistema aquífero sob diferentes condições pré-determinadas a partir da proposição de cenários evolutivos.

Diante desta possibilidade, avaliou-se então o cenário hidrodinâmico atual e o cenário de máximo rebaixamento do nível de água subterrânea ao final da vida útil do empreendimento. Este procedimento tem o intuito de estabelecer resultados que possibilitem reconhecer as possíveis alterações hidrogeológicas ambientais na área de influência investigada. Neste caso, tais pontos se materializam nas nascentes cadastradas no entorno imediato do Corpo S11 Bloco D.

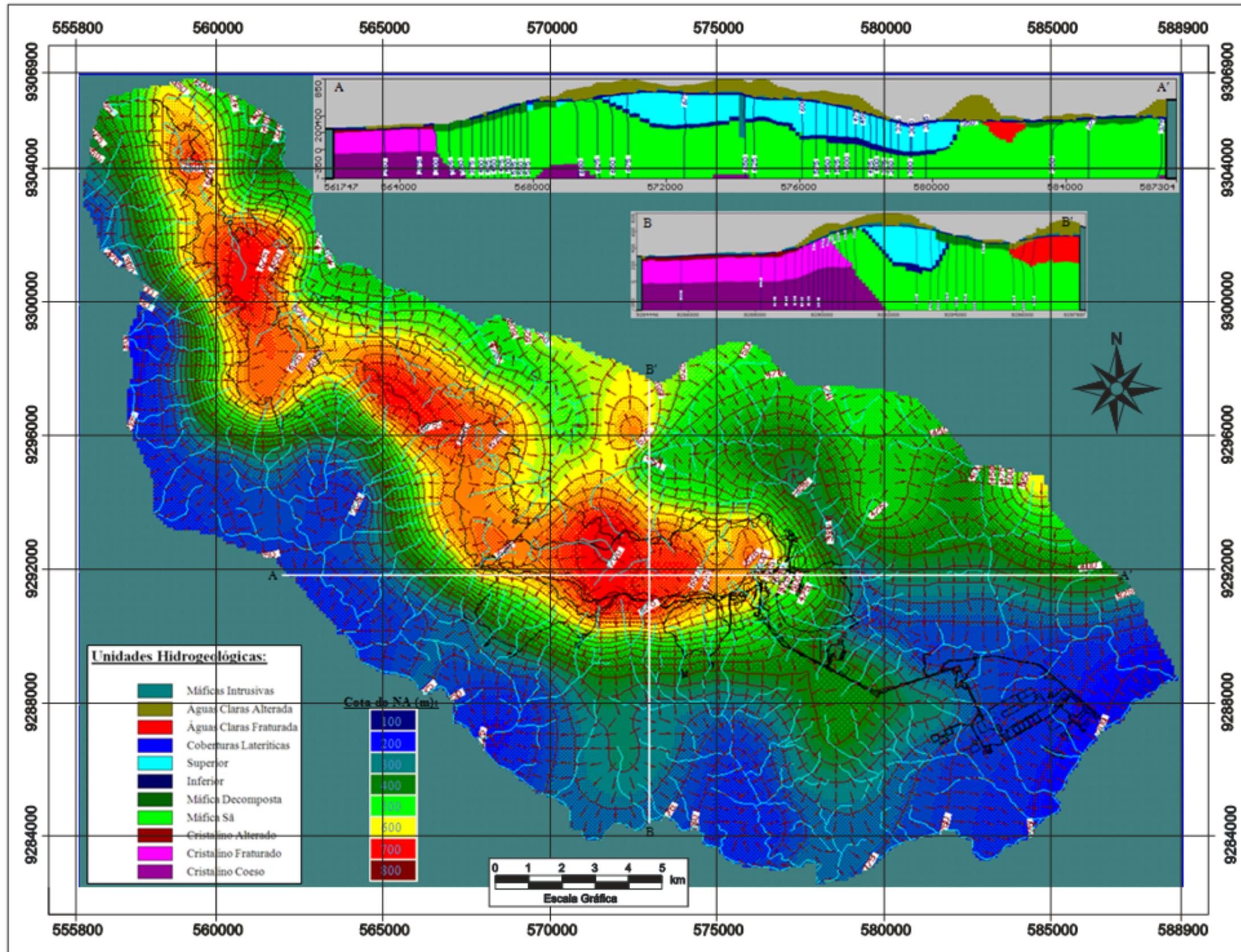
Além destes, foi também simulado o cenário de fechamento da mina, provendo-se a formação de lagos nas cavas abertas da mina. Os resultados destas simulações são apresentados a seguir e podem ser entendidas como a proposta de uso da empresa para os recursos hídricos subterrâneos uma vez que a análise implica na determinação de quantitativos de utilização de águas subterrâneas para o máximo rebaixamento da mina e para a recuperação do nível de água original após o seu fechamento.

1.1.1 Cenário Hidrodinâmico Atual

Na concepção do cenário hidrogeológico atual da área de influência do Projeto Ferro Carajás S11D adotou-se a conformação topográfica original da área. Neste cenário, o contexto hidrodinâmico na área de influência investigada pode ser traduzido pela superfície potenciométrica gerada pelas condições de recarga natural, de escoamento intermediário e de descarga do sistema aquífero, conforme apresentado na **Figura 6.1.8.218**.

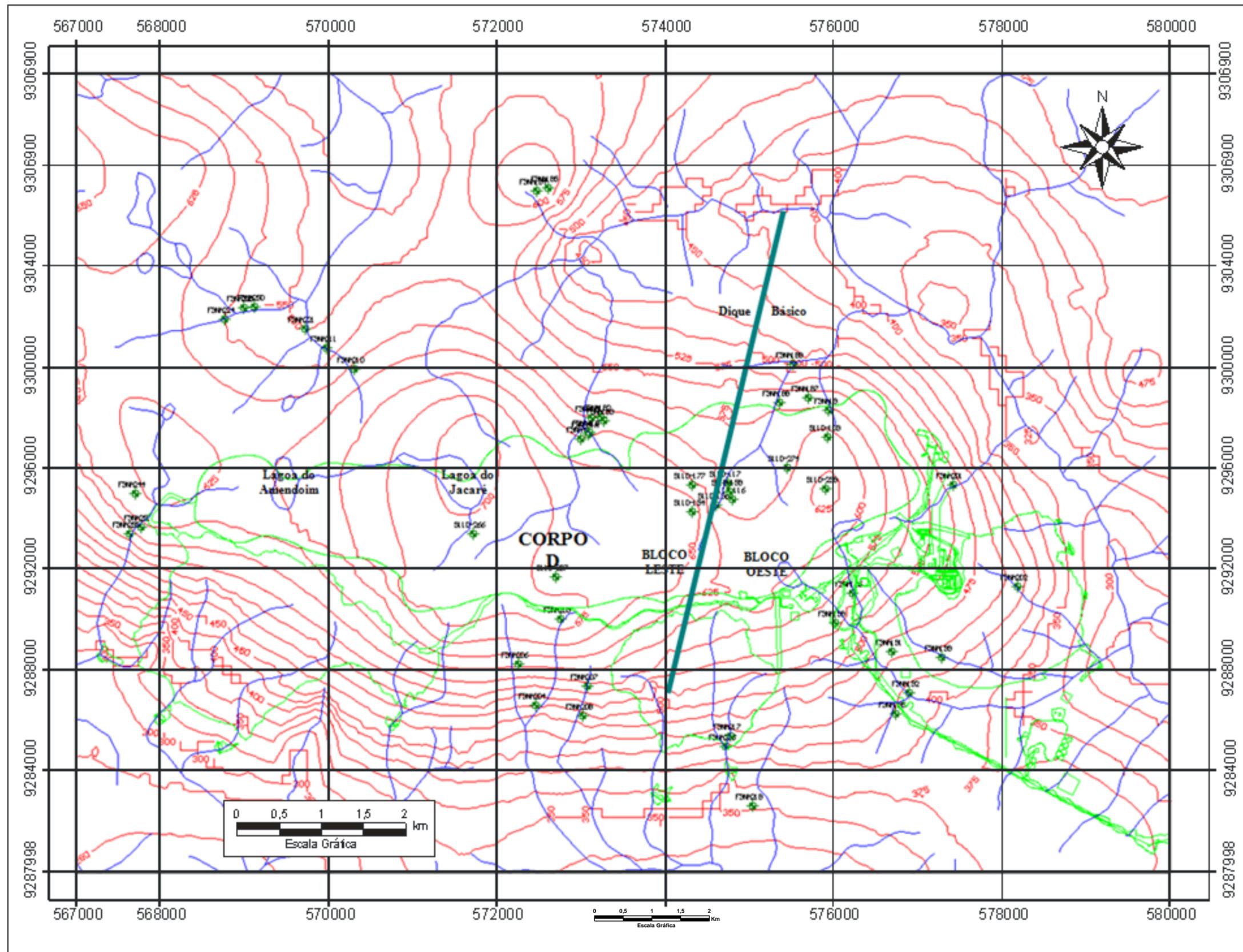
Nesta figura, notam-se as principais direções de fluxo do sistema aquífero local de caracterização da dinâmica de fluxo das águas subterrâneas. Neste sentido, o modelo matemático corrobora o fato de que a superfície piezométrica mostra um desnível entre os Blocos Leste e Oeste, delimitado pelo grande dique básico mapeado em superfície (ver Perfil AA'). Além disso, pelos resultados apresentados pelo modelo, é possível afirmar que a unidade Carajás Superior apresenta as maiores velocidades de fluxo e funciona como a principal zona de recarga do domínio hidrogeológico avaliado, sendo as zonas de descargas preferenciais representadas pelos diversos córregos afluentes do igarapé Sossego.

Na **Figura 6.1.8.219**, por sua vez, é apresentado o mapa de cotas do nível da água subterrânea para a área de entorno do Corpo S11 Bloco D, indicando a diferenciação de profundidade entre os blocos hidrogeológicos Leste e Oeste, antes e depois do dique máfico, além de corroborar a falta de conexão hidráulica direta com as lagoas no alto do platô. Cumpre ressaltar que a condição hidrodinâmica simulada no modelo matemático consiste numa situação representativa de uma realidade possível, uma vez que o processo de calibração se mostrou satisfatório.



Fonte: Modelo hidrogeológico matemático

FIGURA 6.1.8.218 - Superfície do nível de água subterrânea gerada a partir da calibração permanente do cenário hidrogeológico atual.

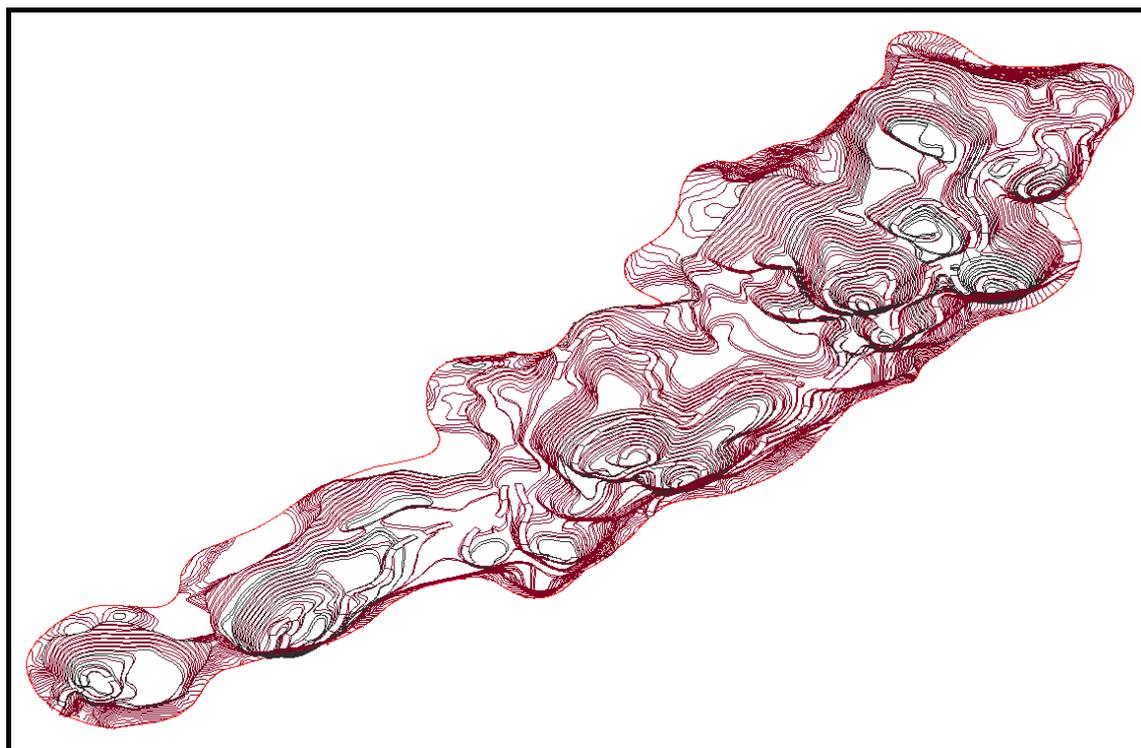


Fonte: Modelo Hidrogeológico matemático.

FIGURA 6.1.8.219 - Mapa de cotas do nível de água subterrânea segundo o cenário atual da área de entorno do Corpo S11 Bloco D.

1.1.2 Cenário de Máximo Rebaixamento

O cenário de simulação do máximo rebaixamento refere-se à configuração espacial planejada para a mina em seu estágio final de vida útil, conforme detalhe da cava apresentado na **Figura 6.1.8.220**. Conforme se observa na referida figura, na futura mina S11D prevê-se um cenário de lavra com várias cavas interligadas. Este cenário de lavra é introduzido no cenário hidrogeológico local, de maneira a permitir a sua simulação matemática e a reconhecer as alterações hidrodinâmicas provocadas no contexto da área de influência considerada no Projeto Ferro Carajás S11D.



Fonte: Dados disponibilizados pela Cia. Vale.

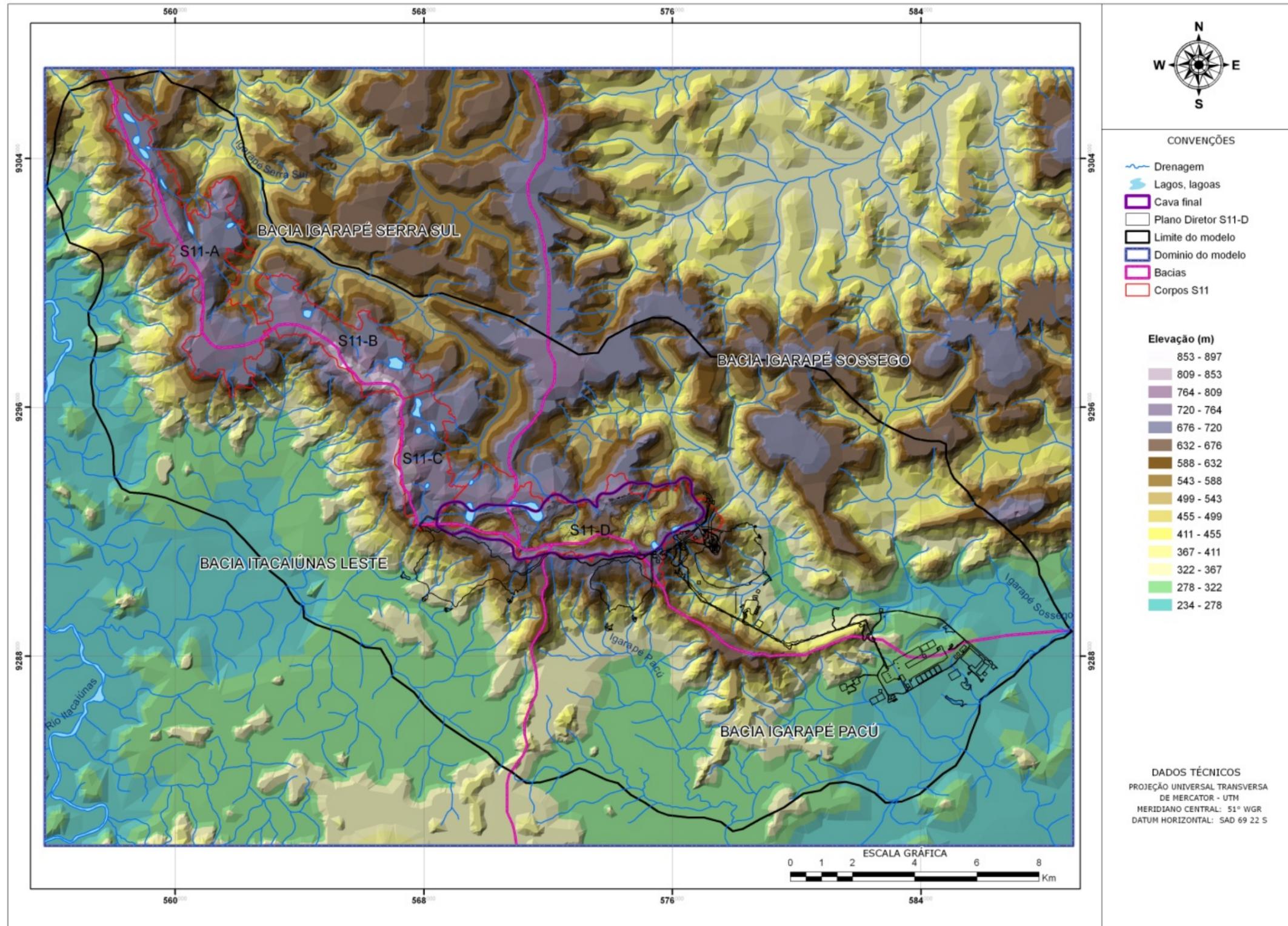
FIGURA 6.1.8.220 - Plano de lavra ao final da vida útil da mina de S11D.

Para esta simulação matemática, considerou-se uma condição de regime permanente, na qual as nascentes inventariadas na área de entorno Corpo S11 Bloco D constituem-se nos pontos de avaliação dos possíveis impactos nas disponibilidades hídricas da área de influência do projeto.

Nestas condições, os resultados da simulação demonstram que o contexto hidrodinâmico na área de influência do empreendimento, fora da região de cava, mostra uma configuração de cotas de nível de água praticamente inalterada em relação à situação estabelecida para o cenário atual. Já na região de entorno da cava projetada da mina a situação é bastante diferente, uma vez que se percebe uma diminuição acentuada das cotas de nível da água subterrânea em função do procedimento de rebaixamento necessário ao avanço da lavra (**Figura 6.1.8.221**).

Neste cenário, nota-se que o rebaixamento pode alcançar até a cota de 325 m, ou seja, cerca de 5 metros abaixo do pit final de uma das cavas projetada, como mostra a **Figura 6.1.8.222**. Com este rebaixamento, percebe-se que muitos pontos são afetados, principalmente em direção à porção norte da área. Assim, os efeitos hidráulicos induzidos pelo procedimento de rebaixamento das águas subterrâneas se estendem em profundidade e lateralmente, o que permite a lavra até a profundidade determinada, mas acaba afetando inevitavelmente as nascentes situadas principalmente nas cabeceiras do igarapé Sossego.

Na **Figura 6.1.8.223**, corroborando a influência do cone de rebaixamento gerado na região da cava, observam-se as curvas equipotenciais e os vetores direcionais evidenciando o aprofundamento da superfície freática e a mudança notória da condição hidrodinâmica originais.



Fonte: Base: Modelo digital de terreno construído a partir de dados fornecidos pela Vale.

FIGURA 6.1.8.221 - Cenário futuro com a disposição da cava da mina na área de influência do Corpo S11 Bloco D.

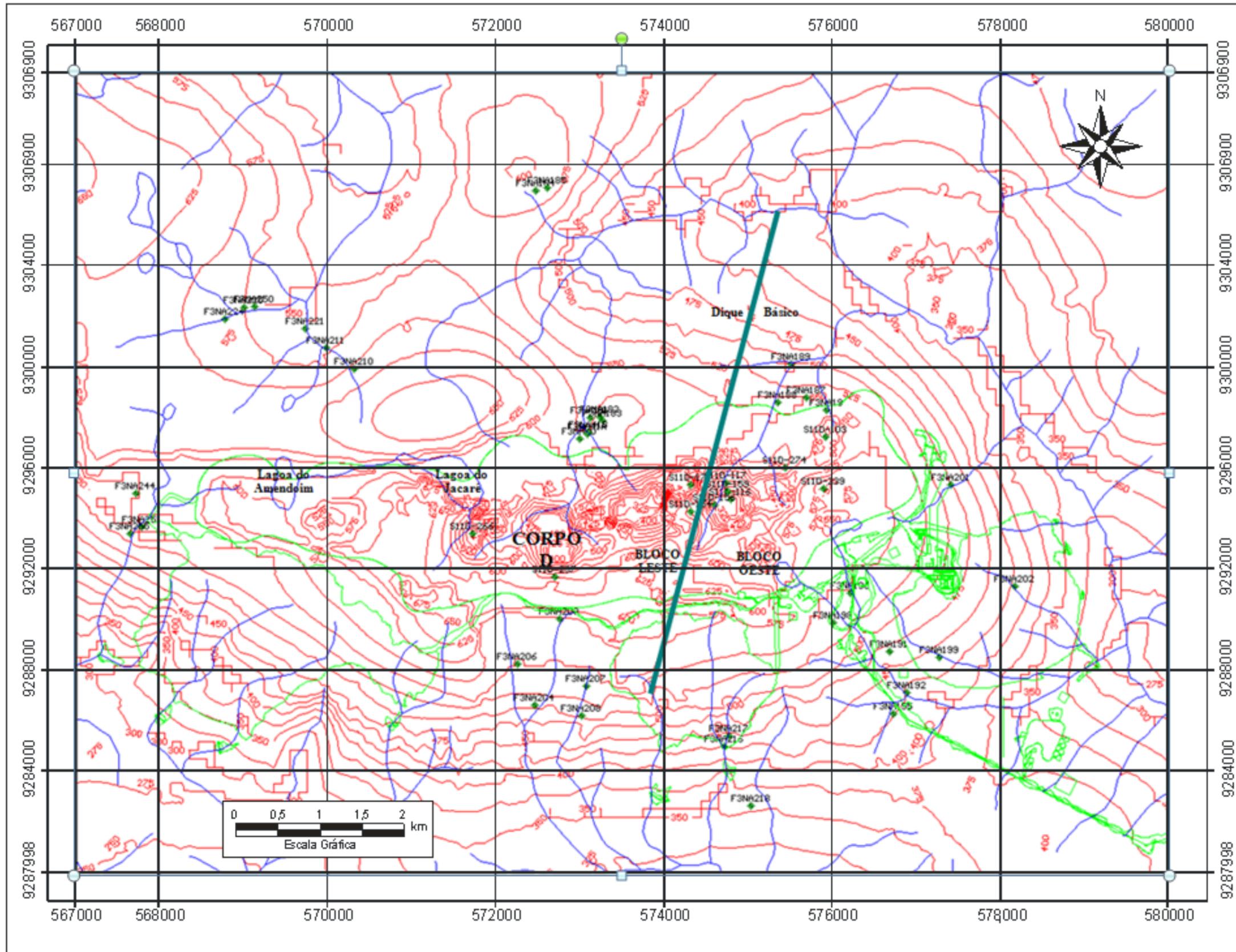


FIGURA 6.1.8.222 - Mapa de profundidade do nível de água subterrânea segundo o cenário futuro de máximo rebaixamento da área de entorno do Corpo S11 Bloco D.

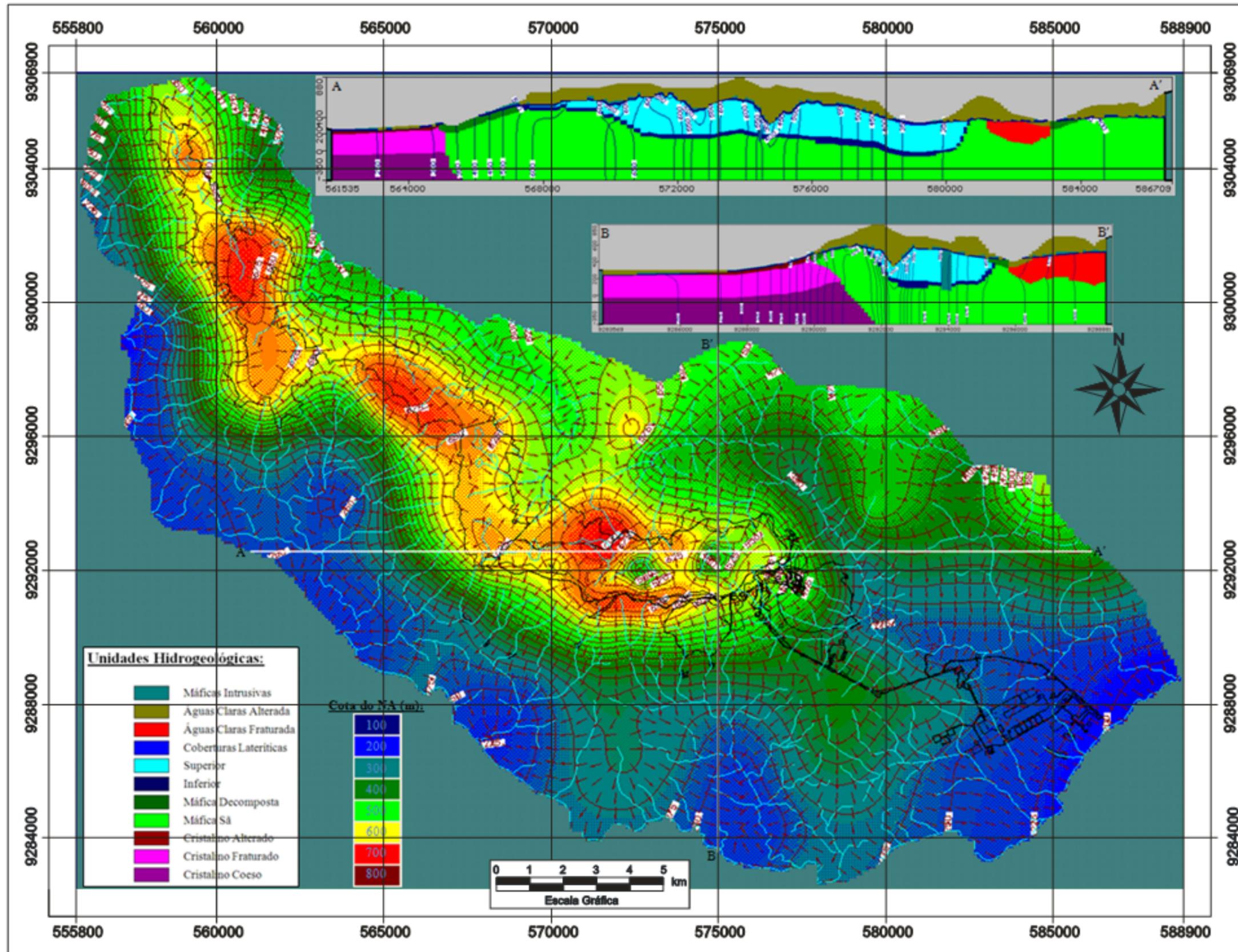
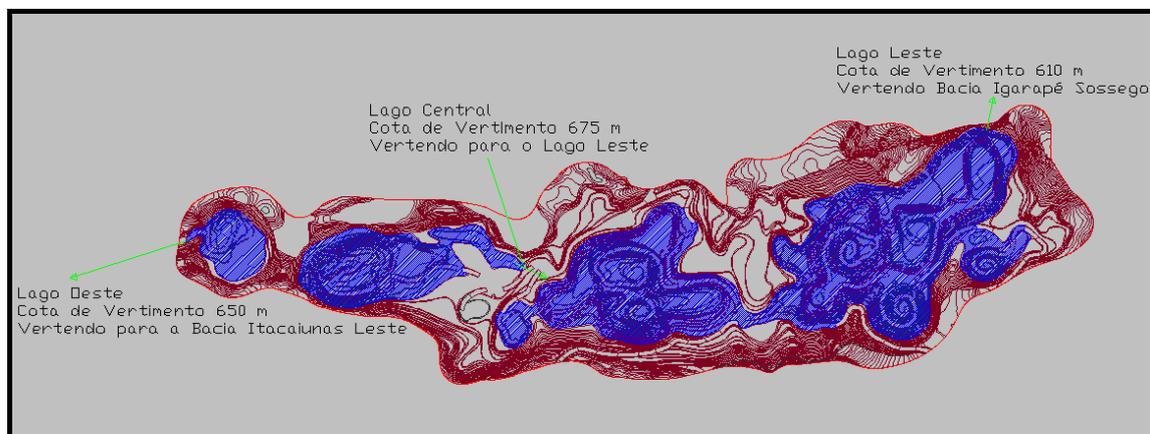


FIGURA 6.1.8.223 - Superfície do nível de água subterrânea gerada a partir da simulação do cenário de máximo rebaixamento.

1.1.3 Cenário de Fechamento

Durante a fase de fechamento do empreendimento o cenário local passará a contar com a formação de 3 lagos que preencherão as cavas da mina S11D, conforme apresentado abaixo, na **Figura 6.1.8.224**.



Fonte: Cenário de fechamento estabelecido com base nas condições finais de lavra.

FIGURA 6.1.8.224 - Distribuição dos lagos (em azul) nas áreas das cavas da mina S11D.

Nestas condições, são previstas alterações nas condições de circulação e recarga das águas subterrâneas na área de entorno da mina, em função do estabelecimento de uma região de carga hidráulica constante (lagos) nas áreas de cava da mina S11D em seu cenário de fechamento. Neste sentido, conforme mostra a figura acima, são previstos 3 lagos na configuração final de fechamento da mina. Quais sejam: Lago Oeste, Lago Central e Lago Leste.

O Lago Oeste deverá ser o menor deles, com um volume aproximado de 2.062.610 m³ e o seu vertimento ocorrerá a partir da cota 650m, em sentido à bacia Itacaiúnas Leste. Já o Lago Central apresentará um volume de aproximadamente 52.642.970 m³ e seu vertimento deverá ocorrer a partir da cota 675m, em sentido ao Lago Leste. Por sua vez, o Lago Leste deverá ser o maior deles, com um volume aproximado de 215.085.837 m³, tendo o seu vertimento a partir da cota 610m, em sentido à bacia do igarapé Sossego (**Figura 6.1.8.224**). Vale ressaltar que os volumes e as cotas apresentadas acima se refere à estimativas feitas com base no cenário de configuração final da cava, não considerando a possível deposição de sólidos em fundo de lado.

Em termos hidrogeológicos, o estabelecimento de lagos na região das cavas pode gerar novas condições de circulação e recarga de águas subterrâneas, podendo favorecer o aparecimento de nascentes e alterar as vazões de determinados cursos de água. Já em termos geológicos, os aspectos ambientais relacionam-se principalmente à possibilidade de ocorrência de ravinamentos e erosões com potencial de carreamento de sedimentos para os cursos de água locais.

Posto isto, para a avaliação do cenário apresentado acima foram feitas acomodações no modelo matemático de modo a simular a presença dos referidos lagos nas cavas da mina. Os resultados obtidos no que se refere à distribuição espacial e a conformação de curvas equipotenciais deste cenário podem ser visualizadas na **Figura 6.1.8.225**. Nesta Figura estão ainda representados cortes W/E e S/N ilustrativos da condição de fluxo das águas subterrâneas em profundidade.

Neste cenário, percebe-se a retomada do nível de água subterrânea no entorno da cava da mina S11D para uma posição próxima àquela original (**Figura 6.1.8.226**). No entanto, é importante ressaltar que os lagos que foram gerados encontram-se ainda numa posição de cota abaixo das cotas do nível da água subterrânea original, o que os caracterizará como corpos receptores e de controle das cargas hidráulicas locais.

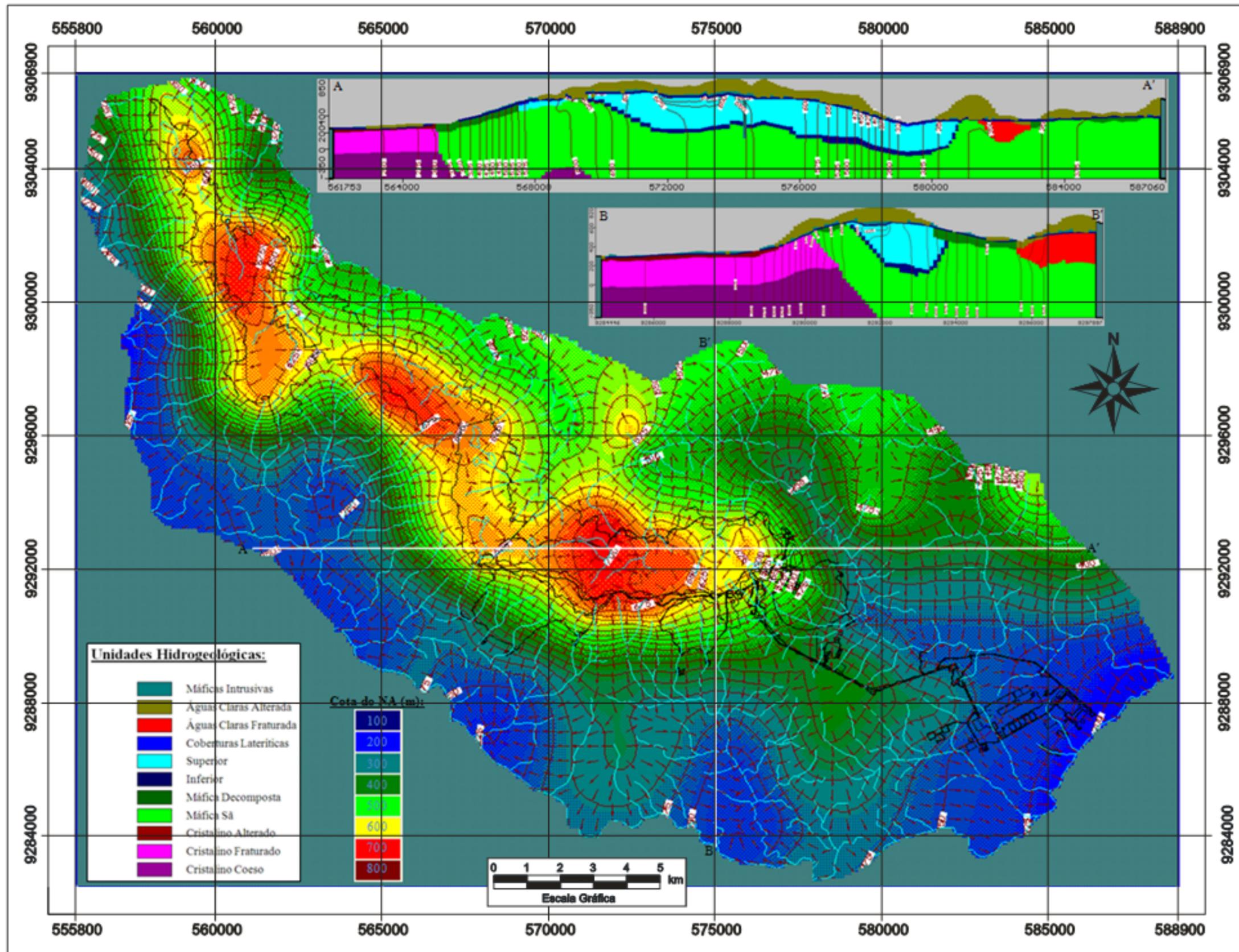


FIGURA 6.1.8.225 - Superfície do nível da água subterrânea gerada a partir da simulação do cenário de fechamento.

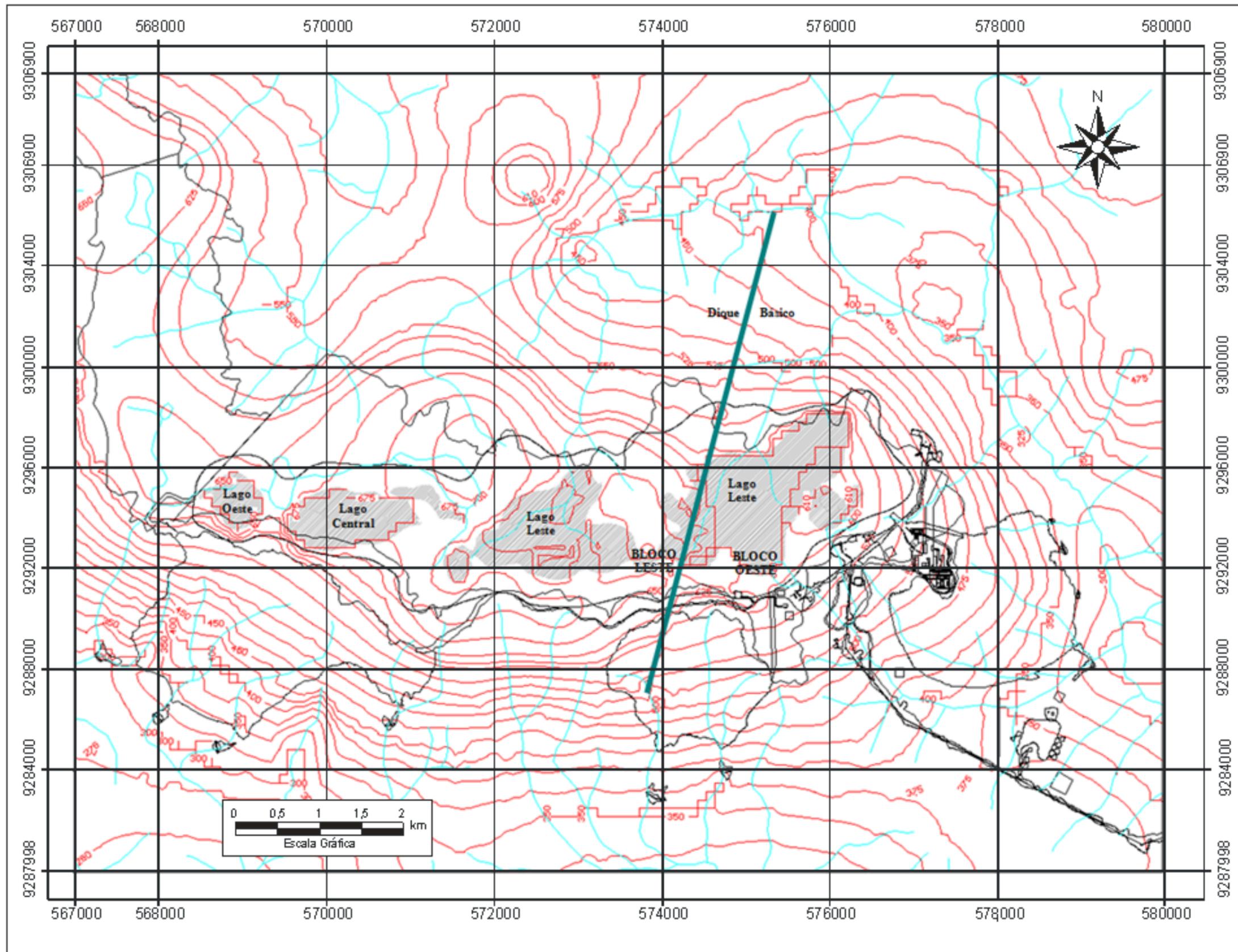


FIGURA 6.1.8.226 - Mapa de profundidade do nível da água subterrânea segundo o cenário futuro fechamento da mina S11D.

6.1.9 Patrimônio Espeleológico

6.1.9.1 Geoespeleologia da Área de Influência Indireta (AII)

Segundo Piló & Auler (2009), a primeira referência a cavernas na região da Serra dos Carajás, no sudeste do Pará, deve-se a Tolbert *et al.* (1971), que relata sobre as grandes cavernas encontradas sob o manto de canga.

Os estudos espeleológicos tiveram um grande avanço a partir dos trabalhos do Grupo Espeleológico Paraense - GEP, notadamente Clóvis W. Maurity e Roberto Vizeu L. Pinheiro. Em seu primeiro relatório, Pinheiro *et al.* (1985) detalhou aspectos geoespeleológicos de quatro cavernas na Serra Norte, além de discorrer sobre sua possível gênese. Essas revelações foram ampliadas em Pinheiro & Maurity (1988), momento em que a interpretação espeleogenética foi aprimorada. Maurity & Kotschoubey (1995) posteriormente produziram um detalhado estudo não só sobre a gênese das cavidades, como também da geoquímica e da mineralogia dos espeleotemas.

Ainda na região de Carajás, mais especificamente na Serra Leste, Atzingen & Crescêncio (1999) apresentaram uma descrição, acompanhada de mapas, de algumas cavernas da região. A partir do ano 2000 teve início um dos maiores levantamentos espeleológicos já realizados no Brasil. O Grupo Espeleológico de Marabá - GEM, por meio de convênio com a Casa de Cultura de Marabá - FCCM e a Vale, realizou prospecções nas serras Norte, Sul, Leste, Tarzan e Bocaina. Essas investidas levaram a descoberta de mais de 1.000 cavidades na região. Em poucos anos, a região de Carajás surge como a área com a maior concentração de cavernas no Brasil. Cavernas na formação ferrífera e sob a cobertura de canga já representam cerca de 20% das cavernas oficialmente cadastradas no Brasil.

A maioria das cavernas já registradas na região de Carajás é constituída por dois litotipos: a Formação Ferrífera Bandada - FFB e a canga detrítica. Muitas cavernas apresentam os dois litotipos. Em outras litologias, tais como arenitos, máficas alteradas e ferricretes, cavernas também já foram identificadas, mas em menor número (Piló & Auler, 2009).

Os planos do bandamento normalmente estão bem preservados. Representam estruturas reliquias do jaspelito transformado em minério de ferro. Essas estruturas, localmente, podem apresentar um arranjo caótico, muito deformado. Nessas situações, as lâminas apresentam-se fragmentadas ou exibem *kinks* e dobras. O bandamento inclinado da rocha ferrífera é a descontinuidade principal no controle morfológico das seções das cavidades. Sistemas de fraturas (juntas) inclinadas também podem guiar o desenvolvimento de condutos. No geral, o controle pelas estruturas não é marcante nas cavernas de Carajás.

Já a canga detrítica é constituída por clastos subangulares (tamanho seixo a calhau) de minério de ferro, caoticamente arranjados e cimentados por matriz reduzida, constituída por agregados de óxidos e hidróxidos de ferro (hematita e goethita), além de água. Trata-se de um produto da degradação da formação ferrífera, cujos detritos foram transportados por meio do *creep* e de fluxos hídricos concentrados. Na canga, predominam fraturas atectônicas de alívio de pressão. Essas juntas influenciam a ocorrência de movimentos de massa do tipo abatimentos, que são corriqueiros no interior das cavidades. Frentes de alteração química da rocha também são guiadas por essas juntas irregulares.

As cavernas inseridas na formação ferrífera e na canga são em geral de pequenas dimensões. Em torno de 70% das cavidades de Carajás estão no intervalo entre 20-30 m de projeção horizontal. Cavernas com projeções superiores a 100 m são menos freqüentes, mas ocorrem em todas as serras da região. A maior caverna nesses litotipos, até o momento, encontra-se na Serra Norte, com 372 m de projeção horizontal.

Dois padrões planimétricos já podem ser identificados: *cavernas de câmaras irregulares e cavernas retilíneas* (Piló & Auler, 2009). Essas cavernas se caracterizam por condutos irregulares, normalmente globulares, de tamanho variado que se interconectam. A conexão entre câmaras maiores é feita, muitas vezes, por meio de condutos estreitos. As maiores cavernas da região apresentam esse padrão. Assemelha-se ao padrão esponjiforme definido por Palmer (1991).

Os processos hidrológicos associados a cursos de água são restritos no interior das cavernas da região, só ocorrendo em cavernas localizadas nas proximidades de igarapés. Surgências e canais de drenagem temporários ocorrem, gerados pela concentração do gotejamento ou percolação de águas pluviais infiltradas via canalículos ou juntas. O gotejamento no interior das cavernas é expressivo durante a estação chuvosa, em função da alta porosidade da rocha e proximidade da superfície.

Os depósitos clásticos predominantemente autogênicos são constituídos por clastos de hematita originados do minério de ferro, da canga e, por vezes, de rochas máficas em contato com a FFB. Esses clastos são originados principalmente de processos gravitacionais do tipo abatimentos de porções do teto e das paredes. Diante disso, os depósitos apresentam uma estreita relação com os constituintes do substrato subjacente. O transporte sedimentar é geralmente restrito no interior das cavernas. Os depósitos mistos também são muito freqüentes nas cavernas. Os alogênicos são originados principalmente dos canalículos e juntas alargadas existentes na grande maioria das cavernas, como também de clarabóia e cones sedimentares de entrada. A injeção de sedimentos via canalículos da rocha pode ser originada do interior do próprio maciço ou da superfície. Os sedimentos alogênicos são, freqüentemente, mais finos e de cor predominantemente vermelha (2.5YR). Pequenos leques de sedimentos finos, na saída dos canalículos, são muito comuns nas cavernas.

Os depósitos químicos (espeleotemas) podem ser identificados em praticamente todas as cavernas da região de Carajás. Neste momento, vários espeleotemas estão em pleno processo de formação. As crostas e os coralóides são os mais abundantes espeleotemas das cavernas de Carajás. Dados de difração de Raios X evidenciaram uma grande diversidade de minerais, superior daquela encontrada nas cavernas carbonáticas. O óxido de ferro do tipo hematita (Fe_3O_4) é o mineral mais abundante nos espeleotemas analisados, juntamente com a goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$).

6.1.9.2 Geoespeleologia Preliminar da Área de Influência Direta (AID) e Diretamente Afetada (ADA)

Neste item serão apresentados os resultados geoespeleológicos preliminares da área do Projeto S11D obtidos por meio do estudo de 129 cavernas das 174 cavernas inventariadas. No **Anexo III-H** é apresentado um plano de trabalho para elaboração dos estudos complementares de espeleologia. A **Figura 6.1.9.2 (Anexo XVI)** apresenta o mapa de localização das cavidades.

– Inserção das Cavernas na Paisagem

A Serra dos Carajás encontra-se inserida no domínio do Planalto Dissecado do Sul do Pará, caracterizado por maciços residuais de topo aplainado ou ondulado, além de cristas e picos interpenetrados por faixas de terrenos rebaixados (Radambrasil, 1974). Essa unidade apresenta-se intensamente dissecada por vales encaixados, adaptados às redes de fraturas em rochas arqueanas, além de algumas estruturas proterozóicas.

Destacam-se, nesse domínio, serras com amplitude de 300 m, com altitude média de 700 m, chegando a 900 m nas partes mais elevadas. Entre as principais serras, tem-se: as serras Norte e Leste, do Rabo ou do Buriti, do Tarzan e a Serra Sul. Alguns autores colocam essas elevações como testemunhos de uma superfície de aplainamento resultante de uma pediplanação terciária que reelaborou um pediplano cretácico ou pré-cretácico (Radambrasil, 1974).

Nas porções mais altas das serras, muitas vezes ocorrem coberturas lateríticas que recobrem as rochas ferríferas arqueanas, pertencentes à Formação Carajás (Grupo Grão-Pará). Esses platôs de canga ferrífera apresentam-se como fragmentos de dimensões variadas, apresentando uma evolução morfodinâmica singular no contexto regional. Possuem encostas com predomínio de feições côncavas portadoras de depósitos de tálus grosseiros originários da erosão e solapamento da cobertura de canga que reveste e mantém os platôs. A dissolução química da base dos saprolitos ferríferos, abaixo da canga cimentada, possibilita o desenvolvimento de feições “doliniformes” e cavernas.

Quanto à inserção na paisagem, as cavernas estudadas no Bloco D podem ser divididas em três grupos: cavernas posicionadas nas bordas de lagoa; cavernas localizadas nas bordas de drenagens e cavernas inseridas nas bordas do planalto dissecado.

As cavernas posicionadas na borda de lagoa, a exemplo das cavernas S11D-01, S11D-03, S11D-07, S11D-12 e S11D-16 estão inseridas no topo do planalto dissecado, particularmente nas bordas da lagoa Violão. Essas cavidades se encontram na base de pequenas escarpas rochosas acima dos 730 m de altitude, dispostas, preferencialmente, de forma perpendicular a maior inclinação da vertente. Mas podem se apresentar na forma de anfiteatros, a exemplo da S11D-01. Essas pequenas escarpas podem apresentar certa continuidade lateral ou serem descontínuas; as escarpas apresentaram uma altura média de 4 m, mas podem atingir até 8 m de altura, como observado na cavidade S11D-12. No entorno dessas cavernas se destacam os campos rupestres mais abertos e baixos, com predomínio de Velloziaceae e os Campos Rupestres Arbustivos. Localmente podem ser registradas manchas de Capões Florestais.

Segundo Ribeiro (2003), as lagoas presentes na serra dos Carajás estão fortemente associadas aos grandes depósitos de alto teor em ferro (aproximadamente 66% em Fe). As jazidas N4E, N4W e N5, segundo o referido autor, possuem zonas profundas de enriquecimento associadas às lagoas. Linhas de sondagem indicaram que a maior profundidade de enriquecimento (em torno de 400 m) ocorreu sob a depressão preenchida por 50 m de depósitos argilosos lacustres e sedimentos rolados.

De acordo com os estudos da Golder (2008), os lagos doliniformes parecem associados à dissolução e abatimento da crosta laterítica, provocados pela fragilidade e instabilidade da zona de baixa densidade, além da presença provável de cavidades subterrâneas e *pipes*.

Esse tipo de inserção não é muito freqüente nas cavernas das serras Norte e Leste, mas mereceu destaque no Corpo S11, onde várias cavidades estão inseridas em pequenas escarpas na borda de lagoas, particularmente nos Blocos A e D do Corpo S11 (**Foto 6.1.9.1**).

As cavernas posicionadas na borda de calhas fluviais também ocorrem, ou seja, algumas cavernas estão localizadas nas proximidades de drenagens internas do topo do platô ou em suas bordas com vertentes inclinadas (**Foto 6.1.9.1**). Essas cavernas também estão inseridas na base de escarpas rochosas, que podem ser descontínuas lateralmente ou apresentar uma continuidade maior, como em S11D-39 e S11D-72. A altura média desses afloramentos é de 5 metros, mas podem atingir 8 metros, a exemplo da escarpa que guarda a entrada da cavidade S11D-84. Essas estruturas rochosas estão dispostas de forma perpendicular a maior inclinação da vertente e paralela ao eixo da calha de drenagem.

As cavernas posicionadas nas bordas do platô representam a grande maioria das cavidades estudadas. Após a grande ruptura de declive, ocasionada muitas vezes pela quebra da cobertura de canga ou pelo afloramento da formação ferrífera, a topografia torna-se mais acidentada. Essa unidade é constituída por um conjunto de vertentes inclinadas, que fazem a conexão morfológica entre o planalto dissecado e as planícies aluviais/áreas rebaixadas marginais ao planalto. Nessas vertentes predominam duas classes de declividades: inclinada (20-45%) e moderadamente íngreme (45-100%). Localmente as vertentes podem apresentar um maior escalonamento topográfico. Esse escalonamento é ocasionado, principalmente, por afloramentos de canga e/ou minério que formam pequenos paredões subverticais. Pavimentos de canga também estão presentes em várias posições das vertentes. Paredões e pequenas escarpas ocorrem nas vertentes, cujos sopés são marcados, muitas vezes, por nascentes de água. Com freqüência, abrem-se cavernas na base dessas escarpas.

Nesse contexto, podemos destacar as cavidades S11D-23, S11D-33, S11D-47, dentre outras. Essas cavidades podem ser identificadas na alta e média vertente inclinada do planalto dissecado, na base de pequenas escarpas rochosas com cinco metros de altura média. Essas escarpas estão dispostas, frequentemente, de forma perpendicular a maior inclinação da vertente. No entanto, também foram registradas escarpas paralelas ao maior pendente da vertente (S11D-23, S11D-94). Assim como na forma de anfiteatros (meia-lua), a exemplo da cavidade S11D-55. No entorno dessas cavernas foi registrada a presença da Floresta Ombrófila. Nas serras Norte, Leste, Tarzan e Bocaina já foram identificadas muitas cavidades na alta e média vertente dos chamados platôs. Estes locais são *loci* favoráveis para que o processo erosivo seja acelerado e cavernas sejam geradas.

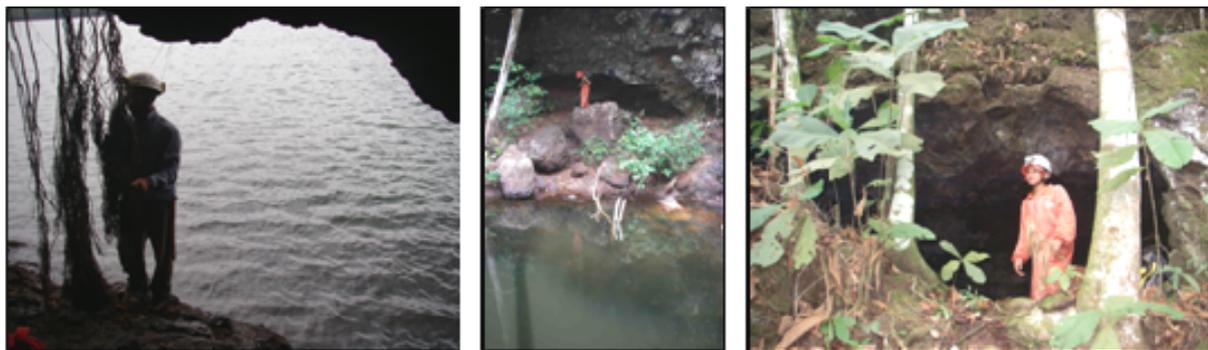


FOTO 6.1.9.1 - À esquerda, cavidade S11D-07 na borda da lagoa Violão; no centro, caverna S11D-100 na borda de drenagem temporária; à direita, caverna S11D-33, inserida em afloramento na borda do planalto dissecado.

Também foram identificadas cavernas no sopé da Serra Sul, em áreas rebaixadas próximas a Mozartinópolis, a exemplo das cavernas S11-07, S11-08 e S11-14. Essas áreas rebaixadas são constituídas por colúvios ferruginizados, que podem formar discretos afloramentos onde se inserem as cavernas.

Em síntese, é possível registrar cavernas em um leque diversificado de sítios geomorfológicos, incluindo o topo do platô, a borda de lagoas e drenagens, nas vertentes inclinadas do platô e no sopé da serra, ou seja, nas áreas rebaixadas.

– Litologia e Estrutura

Os tipos litológicos observados nas cavernas da área do Projeto S11D podem, como mencionado anteriormente, serem divididos em quatro grupos principais:

- Formação ferrífera – este grupo é composto por 112 cavernas distribuídas entre o minério de ferro, a canga e o jaspelito, além daquelas cavernas inseridas no contato entre a formação ferrífera e metabasaltos;
- Metabasaltos – grupo composto por nove cavernas;
- Ferricretes – grupo composto por sete cavidades;
- Xisto – apenas uma caverna.

Cavernas na formação ferrífera

Entre as 112 cavidades estudadas na formação ferrífera, vinte e sete estão inseridas no minério de ferro e representam 24% do total. Cavernas em canga representam 43% da amostra, com 49 cavidades. Trinta e três cavidades estão no contato entre esses dois litotipos e representam 29% do total. O jaspelito é responsável por 5% do total, com apenas quatro cavidades.

O minério de ferro observado nas cavernas do Projeto S11D é constituído predominantemente por bandas de hematita com espessura variando entre poucos milímetros e cerca de dois centímetros. Entre as camadas é comum a ocorrência de vazios milimétricos a centimétricos, outrora preenchidos por material silicoso (jaspe). No entanto, a ocorrência de vazios não é uma regra, uma vez que as camadas hematíticas podem por vezes se apresentar bem compactas. O estado de intemperismo químico é bastante variável, sendo comum a ocorrência de rocha sã (**Foto 6.1.9.2**) e alterada em uma mesma cavidade, como é o caso das cavernas S11D-60 e S11D-61. Normalmente a rocha mais alterada ocorre nas zonas mais distais da cavidade, onde a umidade é mais elevada.



FOTO 6.1.9.2 - Minério de ferro pouco alterado na caverna S11D-67.

A canga representa o litotipo com o maior número de ocorrência de cavernas. Foram observados dois tipos de canga na área de estudo: a canga detrítica e a canga terrígena, ou canga química. A primeira se caracteriza pela ocorrência de fragmentos clásticos da formação ferrífera cimentados por limonita (hematita+goethita+água). A dimensão do material clástico observado varia entre grânulo a matacão, com predomínio de seixos (**Foto 6.1.9.3**). A forma dos clastos varia entre arredondada e angulosa, predominando a subangulosa. Nas cavernas S11D-99 e S11D-100, que estão inseridas nas margens de uma drenagem, foi observada canga detrítica mal selecionada, com ocorrência de clastos de tamanhos variados e predomínio de matações arredondados. Tal arredondamento indica maior transporte e energia antes da cimentação dos clastos.

A canga terrígena é caracterizada pela ausência de clastos. Muitas vezes sua ocorrência se dá juntamente com a canga detrítica ou o minério de ferro, onde é comum estar depositada em descontinuidades na rocha, como juntas de alívio e canalículos.

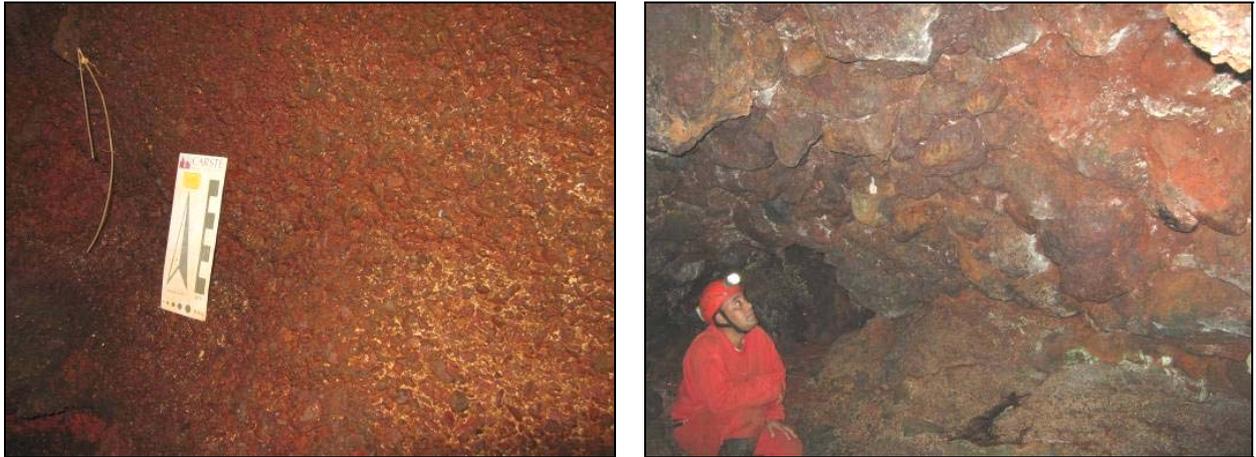


FOTO 6.1.9.3. Variação granulométrica da canga detrítica: à esquerda clastos com tamanho grânulos e seixos (S11D-59) e matacão (S11D-99).

O jaspelito foi observado em apenas quatro cavidades, localizadas na meia encosta próximo à Mozartinópolis. A rocha se caracteriza pela ocorrência de bandas alternadas de hematita, jaspe e localmente quartzo. A espessura destas camadas é milimétrica podendo atingir um ou dois centímetros no caso da hematita (**Foto 6.1.9.4**). As bandas de material silicoso são milimétricas. Não se observam vazios entre as camadas. Em duas cavernas foi observada a rocha sã (S11-26 e S11-27). Nas cavernas S11-01 e S11-28 o jaspelito encontra-se intemperizado em superfície.

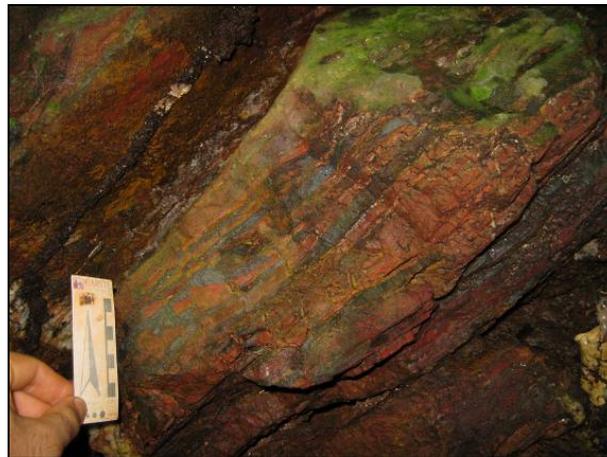


FOTO 6.1.9.4. Jaspelito na caverna S11-27.

Cavernas no metabasalto

Foram registradas nove cavidades em metabasalto na área do Projeto Ferro Carajás S11D. Essas estão distribuídas nas bordas do platô e nas encostas inclinadas da serra. A rocha se mostrou bastante alterada em oito das cavernas visitadas (S11-12, S11-31, S11D-25, S11D-44, S11D-45, S11D-46, S11D-47 e S11D-101). Sua coloração varia do vermelho ao vermelho amarelado. Tem aspecto saprolítico e alta porosidade. É comum a ocorrência de crostas ferruginosas irregulares entrecortando a rocha (**Foto 6.1.9.5**). Na caverna S11-12 observam-se veios de hematita compacta que formam bancos endurecidos com atitude N30E/42NW. Esses bancos atingem cerca de 20 cm de espessura. A dureza dessa ocorrência contrasta enormemente com o metabasalto. O contato é abrupto e marcado por fraturas. Localmente ocorre hematita cristalizada com hábito botrioidal em algumas reentrâncias do veio. Apenas na caverna S11-30 foi observado metabasalto pouco alterado e maciço, com coloração cinza esverdeada e granulação fina. Localmente apresenta-se alterada com concentração de hematita principalmente entre fraturas, nestes pontos a coloração torna-se castanho-avermelhada.

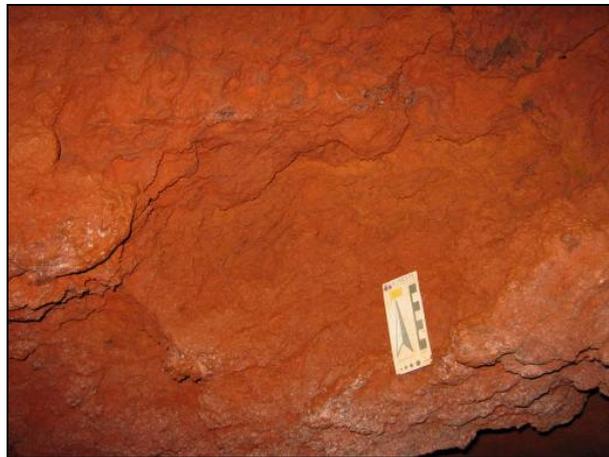


FOTO 6.1.9.5. Metabasalto alterado na caverna S11D-47.

Cavernas em ferricrete

As cavidades inseridas em ferricrete estão distribuídas no sopé da Serra Sul, nas áreas rebaixadas próximas a Mozartinópolis. São ao todo sete cavidades (S11-07, S11-08, S11-14, S11-15, S11-16 e S11-24). A rocha é caracterizada por um colúvio ferruginizado localmente alterado com coloração vermelha a amarela. A porosidade é alta, apresentando localmente estrutura vesicular. É comum a presença de clastos subarredondados de máfica alterada, quartzo e hematita. Na parte externa das cavernas, o ferricrete está mais endurecido, possivelmente devido à desidratação, formando uma carapaça dura que recobre a superfície sustentando o teto da cavidade (**Foto 6.1.9.6**).



FOTO 6.1.9.6 - Ferricrete no interior da caverna S11-07 (esquerda) e na superfície próximo à entrada da caverna (direita).

Caverna em xisto

A caverna S11-02 é a única cavidade, até o momento, inserida em xisto na região de Carajás (**Foto 6.1.9.7**). A rocha tem cor amarelo-claro a branca-amarelada e textura siltosa. A rocha é bastante porosa, apresentando alvéolos com diâmetros milimétricos. Apresenta xistosidade bem definida. De modo geral, a rocha é bem friável. A superfície está recoberta em grande parte por uma fina camada de óxido de ferro vermelha bem mais dura que o xisto. Este litotipo não está representado na carta geológica 1:1.000.000, da CPRM, talvez em função da escala. A caverna está localizada na zona de contato entre os metabasaltos da Formação Parauapebas e o Complexo Xingu, que se dá segundo a carta, por falha de cavalgamento.



FOTO 6.1.9.7. Xisto na caverna S11-02.

Estruturas

As estruturas observadas nas cavernas de S11D podem ser caracterizadas pelo bandamento, fraturas, juntas de alívio, dobras e falhas. O bandamento foi observado em 63 cavidades, perfazendo 49% das cavernas amostradas. Nas cavernas inseridas no minério de ferro, as bandas são compostas de hematita, intercaladas ou não com vazios. Nos jaspelitos alternam-se bandas de material silicoso e hematita. A atitude varia entre N85E e N85W com mergulho entre 16° a subvertical. Na versão final do relatório de espeleologia esses dados serão apresentados com maior detalhe.

Fraturas foram observadas em 69 cavernas, o que representa 53% do total estudado, independente da litologia. Este tipo de estrutura não foi observado nas cavernas em ferricrete e em algumas em canga. Nas fraturas observadas em cavernas de canga (S11D-91, S11D-93 e S11D-94), o alinhamento na direção N50E foi recorrente e o mergulho variou entre 60SE a subvertical (**Foto 6.1.9.8**). Estas fraturas encontram-se preenchidas por crostas ferruginosas e estão, provavelmente, associadas a eventos neotectônicos. O eixo das fraturas é bem próximo ao alinhamento de uma drenagem a cerca de 100 m ao sul das cavernas.



FOTO 6.1.9.8 - Fratura preenchida por crostas na caverna S11D-93.

Fraturas muitas vezes podem exercer influência na espeleogênese da cavidade. Essas discontinuidades por facilitarem o fluxo da água no interior do maciço rochoso, acabam sofrendo maior intemperismo físico ou químico, degradando-se com mais facilidade que a rocha menos fraturada. Na caverna S11D-93, alguns condutos se desenvolvem no alinhamento de fraturas subverticais. Nas cavidades S11-26, S11-27, S11D-40, S11D-41, S11D-91, S11D-92 e S11D-94 foi possível observar de forma clara a relação entre essas estruturas e a morfologia da caverna.

Juntas de alívio ocorrem em 89% das cavernas estudadas, estando presentes em 115 cavidades. São caracterizadas por alinhamento irregular, na posição subhorizontal, subvertical ou mesmo inclinada. A espessura varia entre milimétrica e centimétrica. O xisto é o único litotipo a não apresentar este tipo de estrutura.

Dobras foram observadas em 52 cavidades, correspondendo a 40% do total de cavernas estudado. Sua ocorrência se limitou às cavernas na formação ferrífera e xisto (**Foto 6.1.9.9**). A dimensão das dobras observadas variou de milimétrica a métrica. Na caverna S11-03, o conduto está alinhado concordantemente com o eixo de uma dobra, com cerca de 2 m entre os dois flancos. Essa dobra é responsável pela seção arqueada do teto da caverna. No entanto, a maior parte dos dobramentos observados atinge poucos centímetros, exercendo pouca ou nenhuma influência na morfologia das cavernas.



FOTO 6.1.9.9 - Dobra na caverna S11D-56.

Falhas foram registradas nas cavernas S11-03, S11-27, S11D-51 e S11D-53, representando 3% do total de cavernas estudadas. Em todas essas cavernas as estruturas se limitaram ao deslocamento pontual e em escala milimétrica (**Foto 6.1.9.10**).

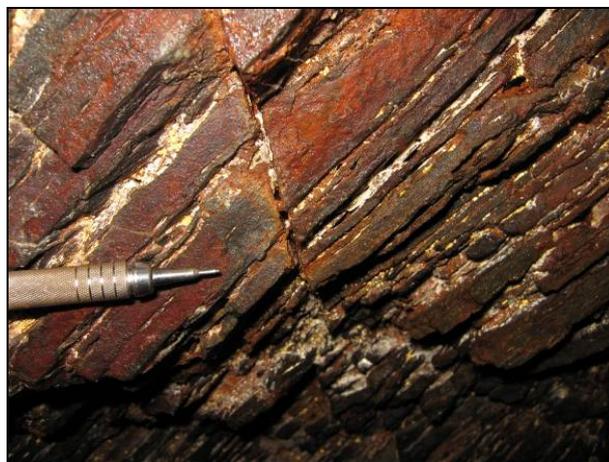


FOTO 6.1.9.10 - Falha na caverna S11-27.

Espeleometria

Os estudos geoespeleológicos precederam o mapeamento em grande parte das cavidades do Projeto S11D. Dessa forma, a análise espeleométrica tem caráter preliminar, pois se limitou aos valores de projeção horizontal disponíveis nos croquis e fichas do GEM, assim como nas observações de campo. Até o momento, destacaram-se nove cavidades na formação ferrífera em função da projeção horizontal: S11D-01 (114,80 m); S11D-12 (141 m); S11D-13 (124,40 m); S11D-33 (97,60 m); S11D-39 (107,20 m); S11D-55 (86,30 m); S11D-64 (157,50 m); S11D-78 (133,60 m) e S11D-83 (94,40 m).

Com relação à área e volume podemos mencionar as cavidades S11D-01, S11D-10, S11D-11 (apenas volume); S11D-12, S11D-13, S11D-22 (apenas volume); S11D-33, S11D-39, S11D-55, S11D-61 (apenas volume), S11D-64, S11D-78, S11D-83 e S11D-96. Essas cavidades se destacaram por apresentarem dimensões relativamente superiores às demais. É importante, no entanto, salientar que estas observações se baseiam apenas em impressões visuais obtidas em campo. As únicas cavidades deste grupo que foram topografadas foram a S11D-83 e S11D-96. No entanto, a ausência de informação sobre a espeleometria das demais cavidades na área do projeto impossibilita qualquer análise comparativa.

Entre as cavidades inseridas em metabasalto, a caverna S11D-47 se destaca pela projeção horizontal, de aproximadamente 83 m. A amostra em metabasalto é composta por nove cavidades, onde apenas três estão acima de 20 m: S11D-101 com 39 m, S11D-45, com 30 m e a própria S11D-47. Estas cavidades também se destacam das demais nos atributos área e volume.

Nos ferricretes, o destaque é a caverna S11-07, com valores espeleométricos muito superiores às demais cavernas que compõem a amostra local. Em escala regional, seus valores espeleométricos também estão bem acima do apresentado pela segunda maior caverna nesta litologia, a NV-11, no Projeto Níquel do Vermelho (**Tabela 6.1.9.1**).

TABELA 6.1.9.1
ESPELEOMETRIA DAS CAVIDADES EM FERRICRETE NA ÁREA DO PROJETO
S11D E DA SEGUNDA MAIOR CAVERNA EM FERRICRETE NA ESCALA
REGIONAL.

Cavidade	PH (m)	Desnível (m)	Área (m)	Volume (m)
S11-07	1.546	5,3	4224	4340
S11-08	5	2	ND	ND
S11-13	13	0,5	ND	ND
S11-14	20,7	1,5	ND	ND
S11-15	8	0,5	ND	ND
S11-16	29,9	0,5	ND	ND
S11-24	7	0,5	ND	ND
NV-11	347	4.2	946	900

A caverna S11-02 é até o momento a única cavidade inserida em xisto registrada na região de Carajás.

Morfologia das Cavernas

A análise do padrão planimétrico (planta baixa) geral das cavernas do Projeto S11D ainda tem caráter preliminar, já que a análise foi realizada diante de croquis, ou seja, em documentos sem maior detalhamento da planimetria. No entanto, foi possível registrar algumas tendências.

Entre as 129 cavernas analisadas neste estudo foram identificados quatro tipos de padrão morfológicos. O mais recorrente foi o padrão retilíneo com um total de 37 cavidades (29%). O segundo mais freqüente foi o espongiforme, com 23 cavidades, representando 18% do total. O padrão curvilíneo foi o terceiro a apresentar maior número de cavernas, com o total de 8 cavidades (6%), seguido pelo labiríntico observado em apenas uma cavidade, a S11-07. Dezenove cavernas (15%) são constituídas de apenas um salão e juntamente com outras 41 cavidades (32%) não apresentaram padrão morfológico definido.

As seções transversais e longitudinais das cavidades demonstraram, nas paredes e teto, maiores irregularidades na canga, merecendo destaque os pendentes. Pendentes são projeções com formato aproximadamente cônico invertido, embora bastante irregular, que se projetam do teto. São formados preferencialmente na canga e conferem uma grande irregularidade ao teto das cavernas. Suas dimensões são variáveis, mas podem ultrapassar 1 m de comprimento.

Em geral ocorrem em conjunto, sendo que o espaço entre pendentes corresponde a zonas com o teto mais elevado. Os pendentes têm sua origem no contato entre o solo e o teto parede, representando projeções reliquiárias de canga que cessam no contato com o minério de ferro. Os pendentes ficam preservados devido à ausência de fluxo hídrico na gruta e ao fato de serem foco concentrador de águas de percolação que tendem a depositar uma delgada camada de óxido de ferro (crosta) que solidifica o pendente (**Foto 6.1.9.11**). Supõe-se que os pendentes representam feições geradas a partir da evolução de pilares, que tiveram sua base solapada pela ação erosiva, muitas vezes associadas à presença de canalículos de pequeno diâmetro. Bons exemplos de pilares foram identificados nas cavernas S11D-12, S11D-59 e S11D-64.

Os pilares são freqüentes nas cavernas da área do Projeto S11D, sendo constituídos por canga, minério de ferro ou ferricrete (**Foto 6.1.9.11**). Os pilares constituem elementos verticais da estrutura da caverna, ocasionando a formação de passagens laterais. Os pilares são formas freqüentes nas cavernas de minério de ferro e canga.

FOTO 6.1.9.11 - À esquerda, pendente na caverna S11D-37; à direita, pilar na caverna S11D-100.

Também já foram registradas clarabóias, a exemplo da caverna S11D-60. As cavernas de minério de ferro e canga constituem feições muito rasas, muitas vezes a apenas 1,5 m de profundidade (a exemplo da S11D-74) em relação à superfície da vertente, o que favorece aos processos de abatimento e a formação de pequenas dolinas. Simmons (1963) foi o primeiro a mencionar as clarabóias como uma característica peculiar de muitas cavernas em minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero. Essa feição foi descrita por outros autores que se seguiram, como Bowden (1980), Maurity e Kotschoubey (1995) e Piló e Auler (2009).

No teto também podem se formar, ocasionalmente, feições denominadas de pontões estruturais (**Figura 6.1.9.1**). Essa morfologia é caracterizada por pontas retangulares (decimétricas), subretangulares, que se projetam do teto de forma escalonada. Ocorrem mais claramente quando a FFB apresenta mergulho concordante com o maior prolongamento do conduto. Essas feições também já foram observadas nas cavernas da serra dos Carajás. Bons exemplos de pontões podem ser vistos na caverna S11D-60.

Nas paredes das cavernas, geralmente ao nível do piso, podemos destacar numerosos canais (canalículos) de pequeno diâmetro (muitas vezes milimétricos). Esses canalículos encontram-se muitas vezes associados aos pilares e pendentes na rocha, exercendo aparentemente papel de agente individualizador dos mesmos. Os canalículos também afetam a morfologia das cavernas, pois sua evolução gera apêndices ou expansões laterais que podem eventualmente evoluir para condutos laterais. Piló e Auler (2005) estudando as grutas de minério e canga de Capão Xavier, observaram que há uma relação diretamente proporcional entre o perímetro da caverna e o número de canalículos, mostrando que a presença dos mesmos representa um “alongamento” do perímetro da caverna.

Os canalículos também podem injetar, no interior da caverna, solutos vindos do interior do maciço. A desidratação e reprecipitação desses solutos formam importantes depósitos químicos (espeleotemas) nas cavernas de Serra Sul, principalmente crostas de piso e parede.

Nas paredes rochosas de algumas cavernas foi observada uma morfologia importante. Destacam-se buracos e furos milimétricos a centimétricos, configurando um aspecto alveolar à formação ferrífera ou mesmo na canga. Essas cavidades são formadas, preferencialmente, no contato entre as bandas, mas também podem se instalar de forma aparentemente fortuita. Essas feições, muito provavelmente, ocorrem em zonas de menor densidade da rocha. As cavernas S11D-07, S11D-54, S11D-59 e S11D-83 apresentam bons exemplos de feições alveolares.

O piso de várias cavernas é ligeiramente inclinado, seguindo a direção do maior declive das vertentes (**Figura 6.1.9.1**). Esse comportamento é provavelmente influenciado pelo fluxo de águas pluviais que, por processos de erosão, carregam material fino para o exterior da caverna, segundo o gradiente hidráulico.

Sendo o gradiente hidráulico, no caso suspenso, um reflexo suavizado da linha de maior declive da encosta é natural que a cavidade seja condicionada segundo essa inclinação. À medida que as galerias se aprofundam na rocha, tornam-se também verticalmente mais profundas em relação à superfície. Bons exemplos desse aprofundamento podem ser observados nas cavernas S11D-22 e S11D-39.

Cavernas com o piso inclinado para o interior da caverna também foram registradas (a exemplo da S11D-11). Isso pode ocorrer quando há um abatimento na entrada da caverna, o qual cria um cone de blocos que avança para o interior da cavidade. Destacam-se ainda as cavidades de piso predominantemente plano (S11D-12 e S11D-84).

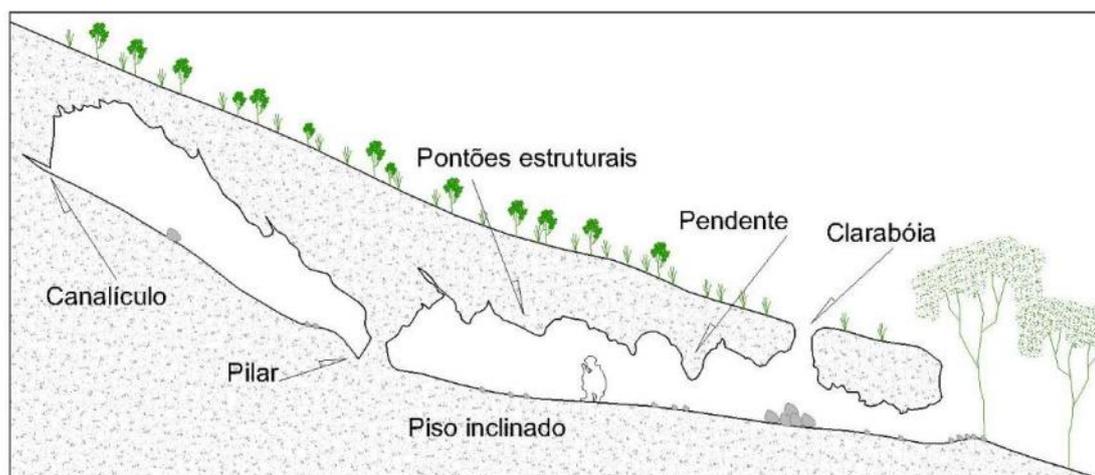


FIGURA 6.1.9.1 - Perfil esquemático composto por feições morfológicas identificadas com freqüência nas cavernas de minério de ferro e canga.

– Hidrologia

A grande maioria das cavernas desenvolvidas na formação ferrífera e na canga descritas na literatura não apresenta drenagem interna. Alguns autores, no entanto, comentam brevemente sobre a existência de drenagens hipógeas. Simmons (1963), por exemplo, descreve uma cavidade no Quadrilátero Ferrífero que comporta uma surgência temporária (ativa apenas durante a estação chuvosa). Bowden (1980) também comenta sobre cavernas com drenagens ativas na África. De uma forma geral, diversos autores comentam que cavidades na borda de platôs de canga podem comportar surgências temporárias, em geral de pequeno porte.

Entre as cavernas do Projeto S11D, cinco cavidades (4%) apresentaram drenagem perene (S11-07, S11-08, S11-24, S11-28 e S11D-70). Com exceção de S11-08, em todas as demais o corpo hídrico surge no interior da cavidade, constituindo drenagens de pequeno porte. Apenas na caverna S11-07 o fluxo d água não atinge o exterior, sendo infiltrado no sedimento do piso.

Pequenos lagos ou poças foram observados em 11 cavernas (9%) do total (S11-07, S11-15, S11-16, S11D-33, S11D-39, S11D-40, S11D-41, S11D-42, S11D-86, S11D-87 e S11D-101). Apenas nas cavernas S11D-01, S11-16, S11D-33, S11D-77, S11D-83 e S11D-96 essas feições atingem dimensões representativas. Na caverna S11D-16, o lago que ocupa todo o piso da caverna é abastecido pela drenagem externa em períodos mais úmidos. Nas demais cavidades sua origem está associada à percolação de águas pluviais.

Gotejamento foi registrado em 102 cavernas, representando um total de 79% do total. Os estudos ocorreram em período úmido e algumas cavidades foram visitadas em dias chuvosos. É provável que entre abril e setembro (período de estiagem) esses gotejamentos diminuam consideravelmente. Em 34 cavernas (26%), houve registro de percolação. Em duas cavidades, S11D-01 e S11D-101 foi possível notar a influência da percolação sobre os depósitos químicos.

Na caverna S11D-01 a percolação é responsável pela deposição de escorrimentos com a formação de pingentes e uma cortina. Na caverna S11D-101 existem escorrimentos, pingentes e cortinas com até 25 cm, além de microtravertinos depositados logo abaixo dessas. Em ambas as cavidades os espelotemas estão em processo de formação, sendo possível observar a atuação do fluido percolante (**Foto 6.1.9.12**).



FOTO 6.1.9.12 - Espelotemas ativos na caverna S11D-101.

– Depósitos Clásticos e Orgânicos

Os sedimentos clásticos compreendem todos os detritos depositados ao longo dos condutos das cavernas. A análise desses registros tem se mostrado importante para resgatar a história deposicional das cavernas e sua evolução. Os depósitos clásticos das cavernas de minério de ferro e canga podem ser divididos em dois tipos:

- Depósitos formados por sedimentos predominantemente de caráter autogênico, gerados a partir de material do próprio substrato encaixante (formação ferrífera, canga ou ferricrete);
- Depósitos formados por sedimentos mistos: autogênicos e alogênicos, ou seja, gerados tanto no interior da caverna como fora.

O sedimento clástico observado nas cavernas do Projeto S11D não apresentou diferenças significativas se comparado a outras cavidades estudadas na região de Carajás. Entre as cavernas da formação ferrífera foram observados clastos líticos de granulometria variada, comumente entre grânulos a matacões.

O tamanho predominante em grande parte das cavernas é o seixo. No entanto, quando o substrato é composto por clastos maiores como é o caso da canga observada na caverna S11D-99, é comum que o tamanho dos clastos seja maior. Nessa caverna, o tamanho predominante dos clastos é o matacão. Isso indica a estreita relação entre o sedimento e o substrato rochoso. A forma dos clastos variou de arredondado a anguloso, com predomínio do subanguloso. Nota-se que nas cavernas onde o litotipo predominante é o minério de ferro bandado, os clastos tendem a ser mais angulosos, principalmente quando a rocha está muito fraturada. As formas mais arredondadas dos clastos estão normalmente associadas a cangas cujos constituintes sofreram maior transporte antes da cimentação, como é o caso das cavernas S11D-99 e S11D-100 (**Foto 6.1.9.13**).

Sedimento terrígeno também foi observado em grande parte das cavidades estudadas. Com exceção da caverna S11-26, esse tipo de sedimento quando presente possui textura argilo-arenosa e coloração avermelhada. Em algumas cavidades, a exemplo de S11D-12 e S11D-33, foi possível observar o aporte de sedimento terrígeno por canalículos, demonstrando a autogenia desses depósitos. Na caverna S11D-26, o sedimento de granulometria fina tem textura arenosa e pode ter origem tanto autóctone, resultante do intemperismo da sílica existente no jaspelito, quanto alóctone, resultante do aporte de material externo, trazido pela drenagem existente na entrada da caverna.

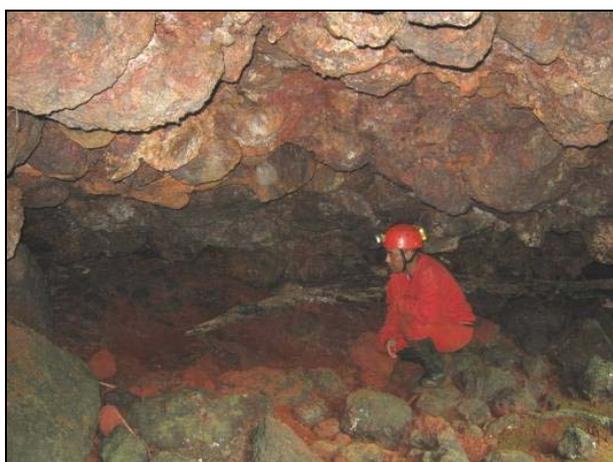


FOTO 6.1.9.13 - À esquerda, matacões arredondados desprendidos do teto na caverna S11D-99; à direita, aporte de sedimento de granulometria fina através de um canalículo na caverna S11D-33.

Cones de abatimento foram registrados em 25 cavidades (S11D-01, S11D-06, S11D-11, S11D-12, S11D-13, S11D-22, S11D-29, S11D-33, S11D-34, S11D-35, S11D-37, S11D-38, S11D-39, S11D-40, S11D-43, S11D-45, S11D-46, S11D-64, S11D-76, S11D-78, S11D-80, S11D-83, S11D-88, S11D-96 e S11D-101), representando 19% do total. Esses depósitos, constituídos de matacões e calhaus, se formam a partir do desprendimento de rocha do teto ou da escarpa à frente da caverna.

Sedimento de origem alóctone foi registrado em 12 cavernas (S11-01, S11-02, S11-07, S11-08, S11-11, S11-13, S11-16, S11-16, S11-26, S11-31, S11D-18, S11D-20, S11D-31 e S11D-48), independente de sua litologia. A composição desses depósitos varia de material terrígeno, folhiços, pequenos troncos e até blocos desprendidos da escarpa. Na caverna S11-07 o sedimento terrígeno forma rampas a partir das entradas em direção ao interior da cavidade. Essas rampas podem indicar que parte do sedimento da caverna tenha origem alóctone, sendo sua deposição pouco compreendida, uma vez que as entradas da caverna encontram-se elevadas em relação ao nível de base externo.

– Depósitos Químicos

Depósitos químicos foram registrados em todas as cavidades na área do Projeto S11D. O tipo mais recorrente é a crosta de óxido-hidróxido, presente em 127 cavidades (98%). Essas crostas podem ter coloração cinza com aspecto metálico, vermelha ou amarelada. Depositam-se sobre blocos, piso, paredes e teto das cavernas, com espessura milimétrica a centimétrica (**Foto 6.1.9.14**).

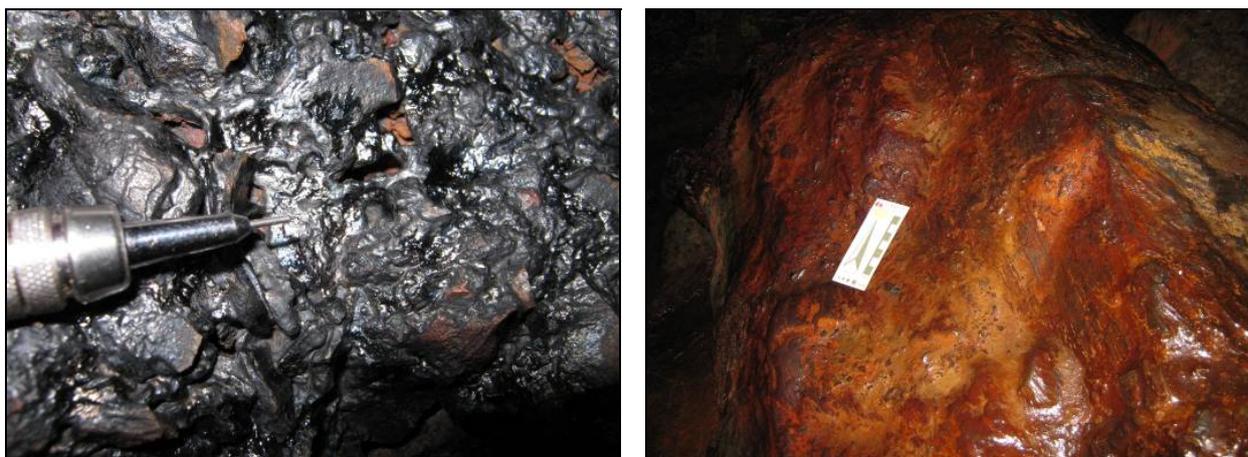


FOTO 6.1.9.14 - Crostas de óxido-hidróxidos nas cavernas S11D-63 (à esquerda) e S11D-77.

Coralóides foram registrados em 94 cavernas (73%). Com dimensões milimétricas a até 1 cm, esses espeleotemas têm formas variadas, podendo ser alongados (tipo agulha), em forma de couve-flor ou rombudos (de morfologia mais arredondada). Segundo Piló & Auler (2009), há maior incidência de coralóides do tipo agulha em locais onde o fluxo de ar é mais acentuado, ao passo que os coralóides de topo arredondado (rombudos) são mais recorrentes em ambientes onde a atmosfera é mais estável e com maior umidade. É comum que esses espeleotemas estejam associados a crostas, o que determinará sua coloração, que pode ser branca, branco-amarelada, marrom, cinza ou preta. Os coralóides ocorrem em paredes, sobre blocos abatidos, no piso ou no teto das cavernas (**Foto 6.1.9.15**).



FOTO 6.1.9.15 - Coralóides do tipo rombudo sobre crostas de óxido-hidróxidos na caverna S11D-05 (à esquerda) e do tipo agulha, na caverna S11D-51 (à direita).

Crostas brancas foram registradas em 77 cavidades, o equivalente a 60% das cavernas estudadas. Este tipo de espeleotema possui textura sedosa e é extremamente sensível ao toque. Ocorrem em paredes e no teto das cavidades. Crostas, possivelmente fosfáticas, de coloração cinza esverdeada, foram observadas em 12 das cavidades estudadas, representando 9% da amostra. As mais expressivas encontram-se na caverna S11D-64. Nessa cavidade parte das paredes, piso, além de inúmeros blocos abatidos estão recobertos por este espeleotema (**Foto 6.1.9.16**).



FOTO 6.1.9.16 - Crosta cinza-esverdeada na caverna S11D-55.

Escorrimentos foram observados em 14 cavidades, representando 11% da amostra, sendo que em sete dessas cavidades os escorrimentos apresentaram textura de microtravertinos (5,5%). Em cinco cavidades os escorrimentos adquirem a forma de cortinas (4%) e em quatro cavidades (3%) formam pingentes. As maiores dimensões para este tipo de espeleotema ocorreram na caverna S11D-01, onde se observou um escorrimento com cerca de 2 m de comprimento, além de pingentes com cerca de 15 cm (**Foto 6.1.9.17**). Na caverna S11D-83 ocorrem cortinas com dimensões superiores a 50 cm. Os depósitos na forma de microtravertinos mais expressivos foram registrados na caverna S11D-101. Esses ocupam uma área com cerca de 1,5 x 2 m no piso e se eleva cerca de 80 cm.



FOTO 6.1.9.17 - Escorrimento formando microtravertinos e pequenas cortinas na caverna S11D-101.

Grande parte dos espeleotemas observados na caverna S11D-83 constitui formas raras em cavernas da formação ferrífera e litologias associadas. Nessa cavidade foram registradas estalactites com até 1 m de comprimento, colunas, cortinas, crostas e capas estalagmíticas. Algumas estalactites fragmentadas na base demonstram deposição concêntrica. Espeleotemas menores como coralóides do tipo rombudo, outros bem arredondados, além de alguns pontudos de morfologia anelar. As dimensões variam de 1 a 4 cm aproximadamente. Grande parte da superfície da caverna é recoberta por crostas esbranquiçadas a amarelas, de composição química ainda desconhecida. Localmente essas crostas estão capeadas por fina película de óxi-hidróxidos de coloração vermelha (**Foto 6.1.9.18**).

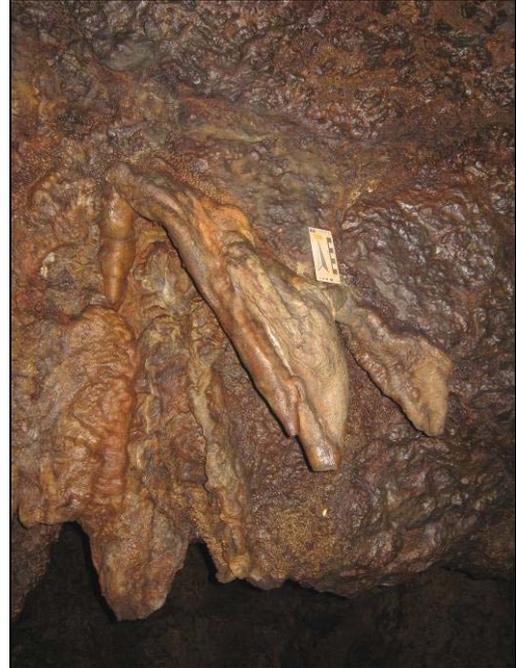
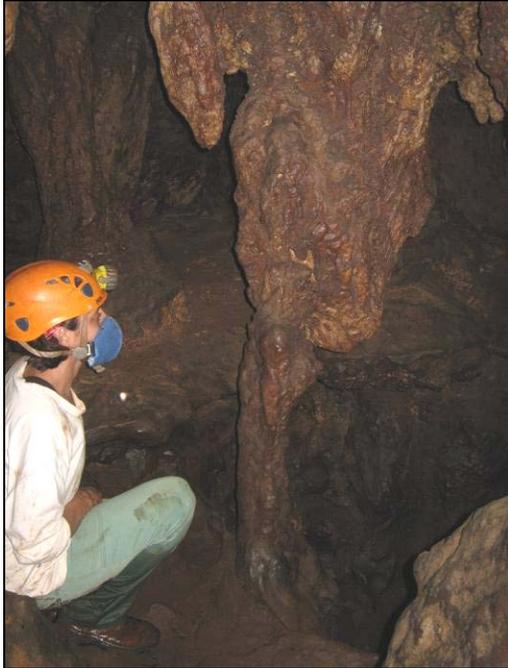


FOTO 6.1.9.18. Coluna com cerca de 1,5 m de comprimento e cortinas observadas na caverna S11D-83.

Aspectos Espeleogenéticos

Simmons (1963), trabalhando em áreas com presença de minério de ferro dolomítico no Quadrilátero Ferrífero, foi pioneiro em atribuir a gênese de cavernas em minério de ferro e canga a processos de dissolução. Segundo ele, a dissolução do dolomito, mas também de quartzo e hematita, leva à formação de uma zona de minério de ferro alterado de alta porosidade que chega a atingir 50% do volume da rocha. Em regiões de minério de ferro silicoso, a dissolução da sílica também exerce um papel importante.

Uma vez que o enriquecimento supergênico (ou hidrotermal) consiste na retirada de matéria do protominério (lixiviação), além do aumento residual do teor em ferro, o processo promove também um significativo aumento da porosidade e permeabilidade do corpo mineral. Ribeiro (2003), também trabalhando no Quadrilátero Ferrífero, demonstrou que pode haver uma redução de até 40% do volume da rocha, resultando em minério friável com alta porosidade. A remoção de sílica e/ou dolomita resulta em uma concentração e conseqüente geração de zonas com minérios de ferro de alto teor.

Autores como McFarlane e Twidale (1987) acreditam que a dissolução dos óxidos de ferro, e não somente de sílica e dolomita, são essenciais à carstificação em minério de ferro. A criação do que McFarlane e Twidale (1987) chamaram de “zonas pálidas” no saprólito dependeria da lixiviação de ferro. Devido ao caráter pouco solúvel de óxidos de ferro, esses autores evocam a atuação de agentes microbiológicos, já que existem microorganismos capazes de remover Fe por meio de complexação e formação de quelatos que possuam afinidade com o ferro. Ainda não se tem dados para quantificar a perda de volume da rocha via dissolução do Ferro. Expressivos espeleotemas formados por oxi-hidróxidos demonstram a solubilidade do ferro.

Na Serra dos Carajás, particularmente, duas fases espeleogenéticas foram propostas por Pinheiro e Maurity (1988). Durante a primeira fase, inteiramente na zona freática, ocorreria a formação de complexos alumino-ferrosos e argilo minerais instáveis de Fe, Al e Si que preenchem os vazios da canga endurecida, mas também ocorrem em níveis inferiores a esta. A remoção deste material residual instável leva à formação de cavidades irregulares que podem ser ainda observadas nas paredes e cavidades das cavernas (Pinheiro e Maurity, 1988). A segunda etapa, ainda na zona freática, envolve processos erosivos (*piping*) que basicamente expandem as cavidades geradas na primeira etapa, levando então à formação de galerias e salões.

Estes processos erosivos serão intensificados quando a caverna passar a ser exposta à atuação de processos vadosos, propiciando também a atuação de processos de abatimento (Pinheiro e Maurity, 1988).

Estudos posteriores sobre espeleogênese em minério de ferro e canga (ver Piló e Auler, 2005) consideram a existência de duas etapas distintas, a primeira delas com predominância de processos dissolutivos (químicos) e a segunda sob a ação de processos erosivos (físicos). A primeira etapa, endógena, envolve reações químicas no interior da massa rochosa na zona freática, gerando zonas de alta porosidade.

Posteriormente o material friável resultante será lixiviado para o exterior por meio de processos similares ao *piping*, descrito para cavidades em rochas siliciclásticas. Essa segunda etapa, iniciada na zona freática, pode ter continuidade na zona vadosa, quando os processos de *piping* podem vir a serem favorecidos.

Iniciada a etapa erosiva das cavidades e sendo estabelecida uma saída para o exterior, os processos físicos serão incrementados. Material de granulometria fina será aportado para o interior das cavernas via canalículos, de onde será evacuado para o exterior.

A gênese das cavernas do Bloco D apresentou mecanismos diferenciados. Nas altas e médias vertentes, áreas onde haja quebra de relevo, ou encostas íngremes, são locais em que o gradiente hidráulico do lençol freático será mais pronunciado, resultando em uma maior velocidade da água subterrânea e concomitantemente maior capacidade erosiva da mesma. Este processo parece responsável pela formação das cavernas estudadas na área do platô de S11D e aquelas posicionadas na encosta da serra.

Por outro lado, a caverna S11-07 parece ter sua gênese ligada a processos de dissolução. Não se observa uma saída para o sedimento gerado na caverna. As saídas e as extremidades estão 5 m mais elevadas que o nível de base da cavidade, indicando um dolinamento na parte central. As seções arredondadas e regulares de seus condutos sugerem ação freática.

A morfologia espongiiforme de algumas das cavernas estudadas (sugere que algumas câmaras (globulares) podem ter evoluído independentemente, tendo sido tardiamente conectadas por galerias mais estreitas (canalículos alargados).

A zona de contato irregular entre dois litotipos – canga e minério de ferro parece, favorecer a espeleogênese de algumas das cavernas estudadas. A ocorrência de cavernamento neste tipo de contato litológico é bastante comum na região de Carajás e no Quadrilátero Ferrífero, MG. Estes locais constituem pontos favoráveis para que o processo de dissolução e erosão seja acelerado e cavernas sejam geradas.

Poucas inferências têm sido feitas a cerca da idade das cavernas em minério de ferro e canga. Em Carajás, Pinheiro *et al.* (1985) e Pinheiro & Maurity (1988) teceram breves considerações sobre o tema. Esses autores associam o início da formação das cavidades ao processo de geração da canga, atrelando a idade das cavernas à idade da canga. No entanto, existem grandes incertezas com relação à idade do início da formação da canga. Uma idade aproximada, final do Cretáceo/início do Terciário e desenvolvimento durante o Pleistoceno foi aventada por Pinheiro *et al.* (1985) e Pinheiro & Maurity (1988).

Segundo Spier (2005), os intensos processos de intemperismo químico que atuaram nas formações ferríferas do Quadrilátero Ferrífero permitiram a completa dissolução da dolomita e a formação de minerais de manganês a partir das FFBs. Datações, pelo método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, forneceram idades entre 61,5 Ma a 14,2 Ma, sugerindo uma longa história de intemperismo na região. No entanto, a maior parte dos óxidos de Mn precipitou no intervalo entre 51 e 41 Ma, com pico por volta de 46,7 Ma. Os dados cronológicos também confirmaram que o perfil de intemperismo das formações ferríferas já tinha atingido o atual estágio de desenvolvimento há cerca de 50 Ma, sugerindo que a frente intempérica avançou muito pouco durante o Neógeno. Esses dados indicam que a partir do Eoceno as formações ferríferas já apresentam boas condições para a espeleogênese. Apesar da falta de dados demonstrativos e cronológicos absolutos, acreditamos que as cavernas desenvolvidas no minério de ferro são realmente muito antigas (acima de 2 milhões de anos), com idades bem superiores às cavernas carbonáticas.

Vale lembrar que ainda não temos, no interior destas cavernas, métodos de datação absoluta passíveis de serem aplicados na escala de tempo da história evolutiva das cavernas. Registros do Holoceno poderão ser balizados, via ^{14}C , através de sedimentos antropogênicos (carvão de fogueira, restos vegetais etc.).

6.1.10 Áreas Protegidas – Áreas de Preservação Permanente – APP

Áreas de Preservação Permanente – APPs são espaços ambientais públicos ou privados, cobertos ou não por vegetação nativa, especialmente protegidos por lei, em razão da importância da conservação de sua vegetação natural, como forma de garantir o equilíbrio dos ecossistemas nos quais estão inseridas, o que se faz, fundamentalmente, através da proteção dos recursos hídricos, da paisagem, da estabilidade geológica, do solo, da biodiversidade, do fluxo gênico da fauna e da flora, e do resguardo ao bem-estar das populações humanas.

De maneira a permitir uma melhor visualização das áreas de preservação permanente, os mapeamentos produzidos no âmbito deste trabalho foram agrupados por categoria da função ambiental.

6.1.10.1 Áreas de Preservação Permanente - APP de Nascentes, de Cursos de Água e de Lagoas

Para mapeamento das APPs de nascentes e cursos de água que ocorrem na área do Projeto Ferro Carajás S11D foram delimitados círculos com raios de cinquenta metros no entorno de cada nascente e faixas com 30 metros de largura, a partir do nível mais alto dos cursos de água, os quais caracterizam-se por drenagens com menos de 10 metros de largura. No caso das lagoas, foram mapeadas faixas marginais de 50 metros, uma vez que nenhuma das lagoas tem área maior que 20 hectares.

As áreas de preservação permanente de nascentes, lagoas e cursos de água a serem interferidas pelas estruturas do Projeto Ferro Carajás S11D totalizam cerca de 232 hectares. Essas APPs estão apresentadas na **Figura 6.1.10.1** no **Anexo XVII**.

6.1.10.2 Área de Preservação Permanente - APP de Topos de Montanha e de Encostas ou Parte de Encostas com declividade superior a 100%

A Resolução CONAMA 303/2002 em seu Artigo 2º, estabelece as definições que foram consideradas para classificação das formas de elevação da paisagem a serem preservadas. Ali são distinguidos quatro tipos de elevação: morros, montanhas, tabuleiros e chapadas. Para diferenciá-los, usam-se combinações exclusivas de altura e declividade de suas encostas na linha mais íngreme, cujos critérios estão descritos de forma detalhada nos incisos IV, V, VI e XI.

Por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE) apresentado na **Figura 6.1.10.2 (Anexo XVII)**, a forma de relevo identificada na AID do Projeto Ferro Carajás S11D foi ‘montanha’, considerando o que se segue:

- Nível de base: correspondente ao plano horizontal da planície da AID, que equivale à cota 320m, segundo diagnóstico da geomorfologia que consta no **item 6.1.6**.

- Cota de Topo: a Resolução CONAMA 303/02 considera montanha como sendo a elevação do terreno com cota em relação à base superior a 300 metros e morro como sendo a elevação do terreno com cota do topo em relação à base entre 50 e 300 metros. Conforme pode ser observado na **Figura 6.1.10.2 (Anexo XVII)**, as cotas dos topos das elevações demonstram valores maiores que 620 metros, o que configura a existência de ‘montanha’ AID do Projeto Ferro Carajás S11D.

A APP de topo de montanha foi calculada conforme se segue.

Inicialmente foi identificada a cota do topo de menor altura por meio da análise de perfis longitudinais da montanha a ser interferida pelo Projeto Ferro Carajás S11D. As seções encontram-se apresentadas na **Figura 6.1.10.2 (Anexo XVII)**. A análise dos topos foi realizada a partir da cota mínima que define montanha (acima de 620m). A cota do topo de menor altura identificada equivale a 630 metros.

A APP dessa montanha foi, então, delimitada a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura mínima (630m) da elevação em relação à base (320 metros), que equivale à 527 metros. Essa APP, que pode ser visualizada na **Figura 6.1.10.2 (Anexo XVII)**, totaliza aproximadamente 2.066 hectares.

Ressalta-se que as linhas de cumeada, identificadas pela união dos pontos mais altos da seqüência de montanhas, que se constitui no divisor de águas da área em estudo, encontram-se inseridos nos domínios da APP de topo de montanha.

Para identificação das APPs em encostas ou parte dessas com declividade superior a 100%, foi desenvolvida a Rede Irregular de Triangulação (TIN), conforme apresentado na **Figura 6.1.10.3 (Anexo XVII)**. Essas APPs correspondem a 6 hectares a serem interferidos pelas estruturas do Projeto Ferro Carajás S11D.

6.1.10.3 Conclusão

Ao se analisar todas as áreas de preservação permanente mapeadas de forma conjunta, quais sejam, APPs de nascentes, de cursos de água, de lagoas e de topo de montanha verifica-se que, o empreendimento irá interferir em 2.158 hectares de área de preservação permanente, o que representa cerca de 76 % da área total de ocupação (2.856 hectares).

A **Figura 6.1.10.4 (Anexo XVII)**, mostra essa área total, gerada a partir da integração da sobreposição das referidas modalidades de APP mapeadas.

6.1.11 Análise do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) na Área de Influência Direta (AID) do Projeto Ferro Carajás S11D

Discussão dos Resultados

Durante a análise do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) na AID do Projeto Ferro Carajás S11D foram encontrados valores de resposta espectral dos alvos entre -0,371 e 0,82, com uma média global de 0,61 e desvio padrão da ordem 0,15. Sabendo-se que o índice varia entre -1 e +1. A **Figura 6.1.11.1**, mostra a frequência das respostas dos alvos ao NDVI e confirma a concentração das mesmas nos valores acima de 0,3, intervalo este onde a fitomassa, em qualquer estágio de conservação, começa a despontar. Tal fenômeno se explica pela grande presença de formações florestas, nos seus mais variados estágios conservação/regeneração presentes na AID.

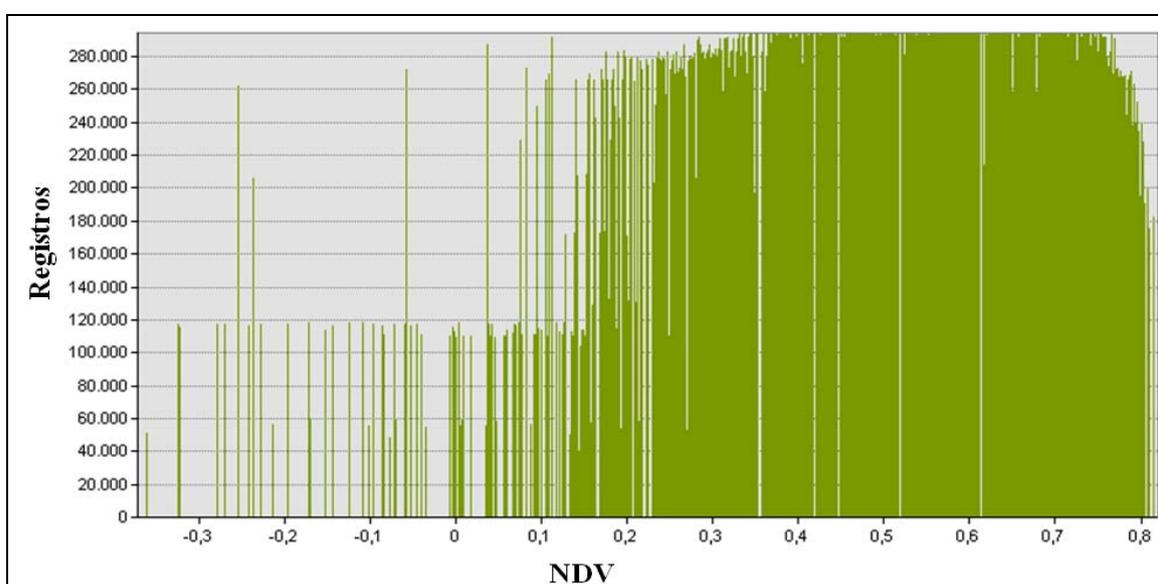


FIGURA 6.1.11.1 – Distribuição da frequência do NDVI na Área de Influência Direta (AID) do Projeto Ferro Carajás S11D.

A **Tabela 6.1.11.1** e o **Figura 6.1.11.2**, também confirmam a prevalência da formação florestal na área em estudo.

TABELA 6.1.11.1

DISTRIBUIÇÃO DAS RESPOSTAS DAS TIPOLOGIAS DA COBERTURA VEGETAL E USO DO SOLO AO NDVI NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA (AID) DO PROJETO FERRO CARAJÁS S11D

Resposta ao NDVI	Tipologia	Desvio Padrão	Área (ha)	Percentual
< 0,15	Corpo de água	3,07	99,36	0,38%
0,154 a 0,523	Formação Savânica/Campestre e Pastagem	28,84	6231,85	23,53%
0,524 a 0,628	Formação Florestal Alteradas	10,91	3418,15	12,90%
0,629 a 0,82	Formação Florestal	60,65	16740,59	63,20%
TOTAL			26489,95	100,00%

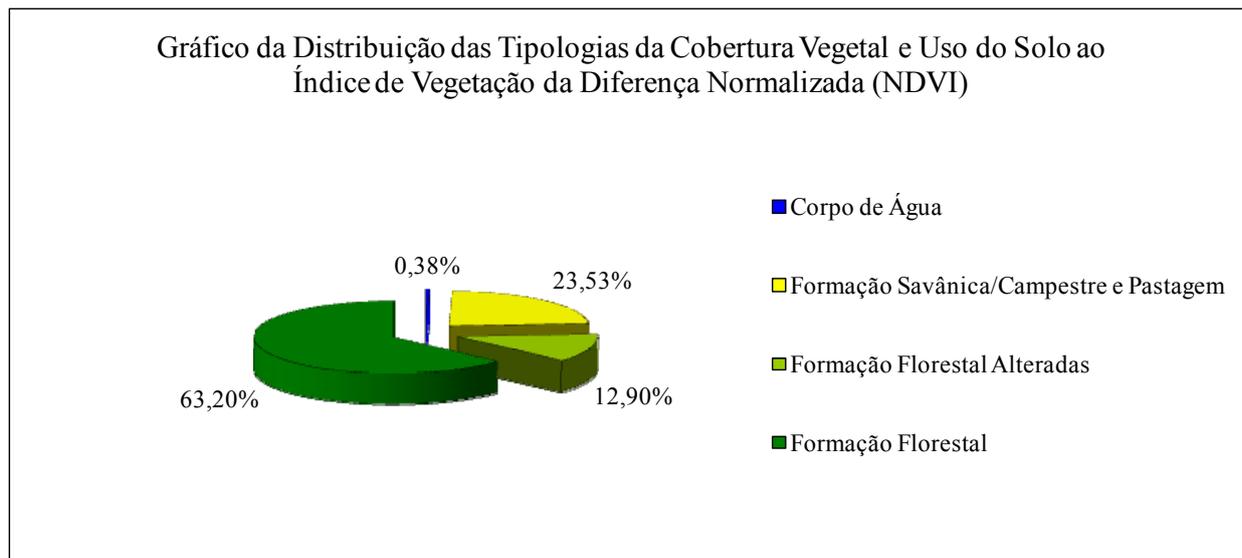


FIGURA 6.1.11.2 – Distribuição das tipologias da Cobertura Vegetal e Uso do Solo ao NDVI na Área de Influência Direta (AID) do Projeto Ferro Carajás S11D.

A **Figura 6.1.11.3 (Anexo VII)** apresenta a imagem resultante do cálculo do NDVI.

Apesar de apresentar a distribuição das tipologias pelo cálculo de NDVI, no presente estudo encontram-se disponíveis a imagem de satélite IKONOS, datada de 2007, com resolução 1x1. Trata-se de uma imagem de alta resolução autoexplicativa. Esta imagem foi também interpretada, resultando num mapa que permite um conhecimento da cobertura vegetal e do uso do solo mais aprofundado (**Figura 6.1.6.8 - Anexo X-F**) do que aquele apresentado na imagem tratada para obtenção da NDVI.