

## 4. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

O Diagnóstico Ambiental representa a caracterização dos meios Físico, Biótico e Socioeconômico, contidos dentro das áreas de influência do Projeto. A diretriz de análise adotada para estudo do Projeto Expansão Corumbá teve como base as recomendações constantes dos Termos de Referência e pareceres técnicos do IBAMA (nº 39/2006; nº 018/2008; nº 55/2008; nº 116/2008 e nº 006/2009. Portanto, a partir de dados primários e secundários, seguem resultados e análises conferindo a realidade deste Diagnóstico Ambiental.

Para o item aspectos climáticos foram utilizados apenas dados secundários. Para os demais itens os dados secundários proporcionaram a contextualização regional e informações primárias obtidas por levantamentos de campo foram utilizadas para caracterização local durante um ciclo hidrológico completo, isto é, na época de chuva e seca.

### 4.1. MEIO FÍSICO

O Meio Físico constitui todos os aspectos do ambiente físico, a saber: Caracterização Climática; Qualidade do Ar, Ruídos, Geologia; Geomorfologia; Pedologia; Hidrologia, Qualidade das Águas e Hidrogeologia.

Os dados secundários pertinentes ao meio físico foram levantados a partir da base cartográfica do IBGE, folhas *georreferenciadas* do Centro de Imagens e Informações Geográficas do Exército. Também, utilizou-se de imagens Landsat 7 e Ikonos para as escalas regional e local destes trabalhos direcionados a 1:10.000. Os dados primários foram obtidos por meio de campanhas de campo realizadas no durante o ano de 2011, em períodos de seca e chuva.

#### 4.1.1 CLIMA E METEOROLOGIA

A definição de Clima encontrada em glossários de Meteorologia é a média das condições meteorológicas de certa área sobre determinado período. Nesse caso, como a climatologia baseia-se em dados estatísticos, quanto maior o período de

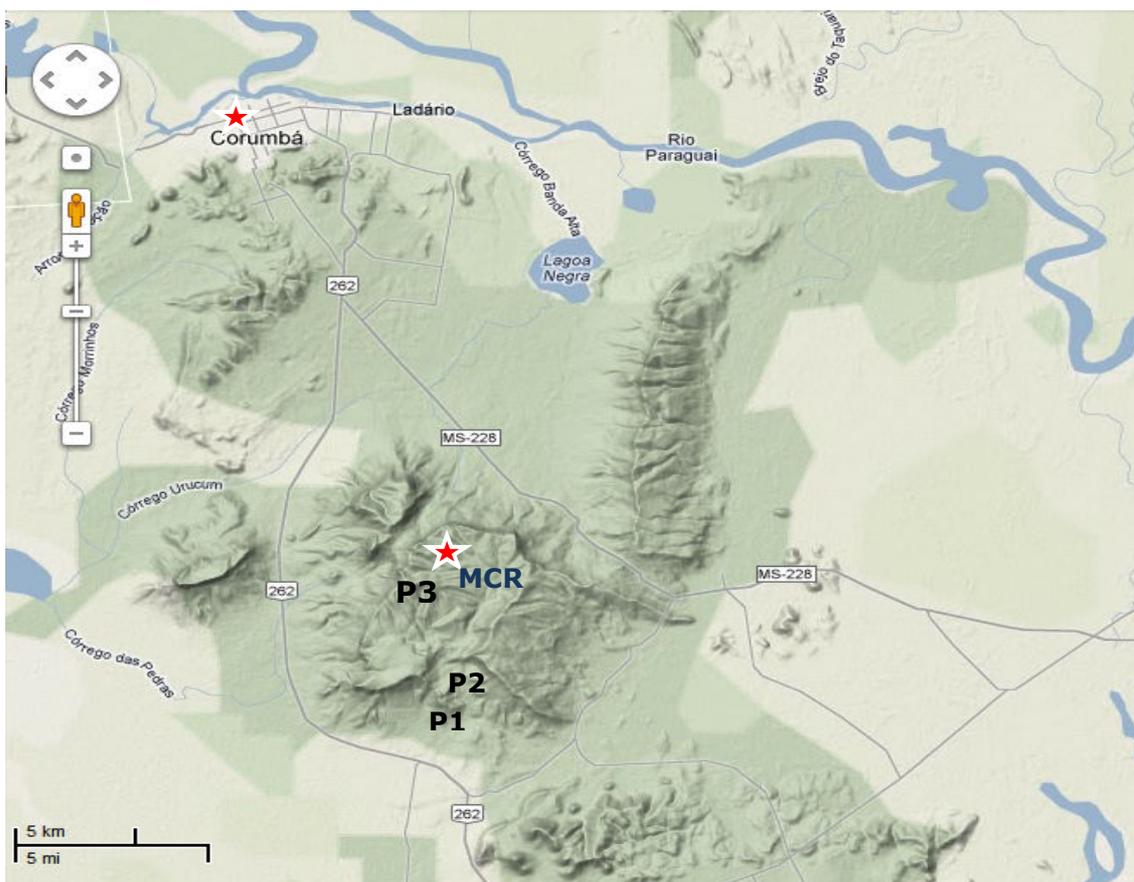
tempo analisado para a confecção de tal média, melhor será a classificação do estado médio dos parâmetros meteorológicos na região.

#### 4.1.1.1 METODOLOGIA

Os dados secundários aqui apurados referem-se, principalmente, aos dados da estação climatológica convencional (19,01°S; 57,39°W; altitude de 130m) de Corumbá do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período de 1980 a 2011. Estes dados foram obtidos a partir do website do *National Climate Data Center (NCDC)*. Os dados desta estação foram utilizados para as variáveis de temperatura; pressão atmosférica ao nível da estação e umidade relativa do ar. Para atestar a qualidade da informação obtida por essa base de dados, outros estudos já desenvolvidos para a região serão levados em consideração, com a finalidade balizar os resultados aqui expressos.

O primeiro destes estudos é a caracterização do clima desenvolvida pela BRANDT (2007) para a região do Projeto foco deste relatório. Tal trabalho se utilizou da série de dados do aeroporto de Corumbá no período de 1975 a 1990. O segundo estudo é o levantamento climatológico de Soriano, desenvolvido pela EMBRAPA. Esta referência se utiliza da estação climatológica de Corumbá no período de 1975 a 1996. Tal fonte será utilizada para a caracterização da insolação, devido à dificuldade de obtenção de dados mais atuais.

A respeito de precipitação, a região da morrarias, onde se localiza o Projeto conta com três estações localizadas no sopé da morrarias (P1); no viveiro localizado na parte intermediária (P2), e; no topo da morrarias (P3), ver Figura 4.1.1.1-1. Esta última estação conta também com um tanque evaporimétrico que terá seus dados utilizados para estimar a evaporação do lago da barragem presente na localidade. Os dados destas estações são referentes ao período de 2001 a 2011 para precipitação, e de 2003 a 2011 para a evaporação. Para a caracterização do vento, o estudo da BRANDT (2007) foi utilizado e comparado com dados horários de velocidade e direção do vento obtidos para o aeroporto de Corumbá, no período de 2007 a 2011. Esta nova série de dados foi utilizada para verificar se ocorreu alguma mudança no padrão da circulação atmosférica local.

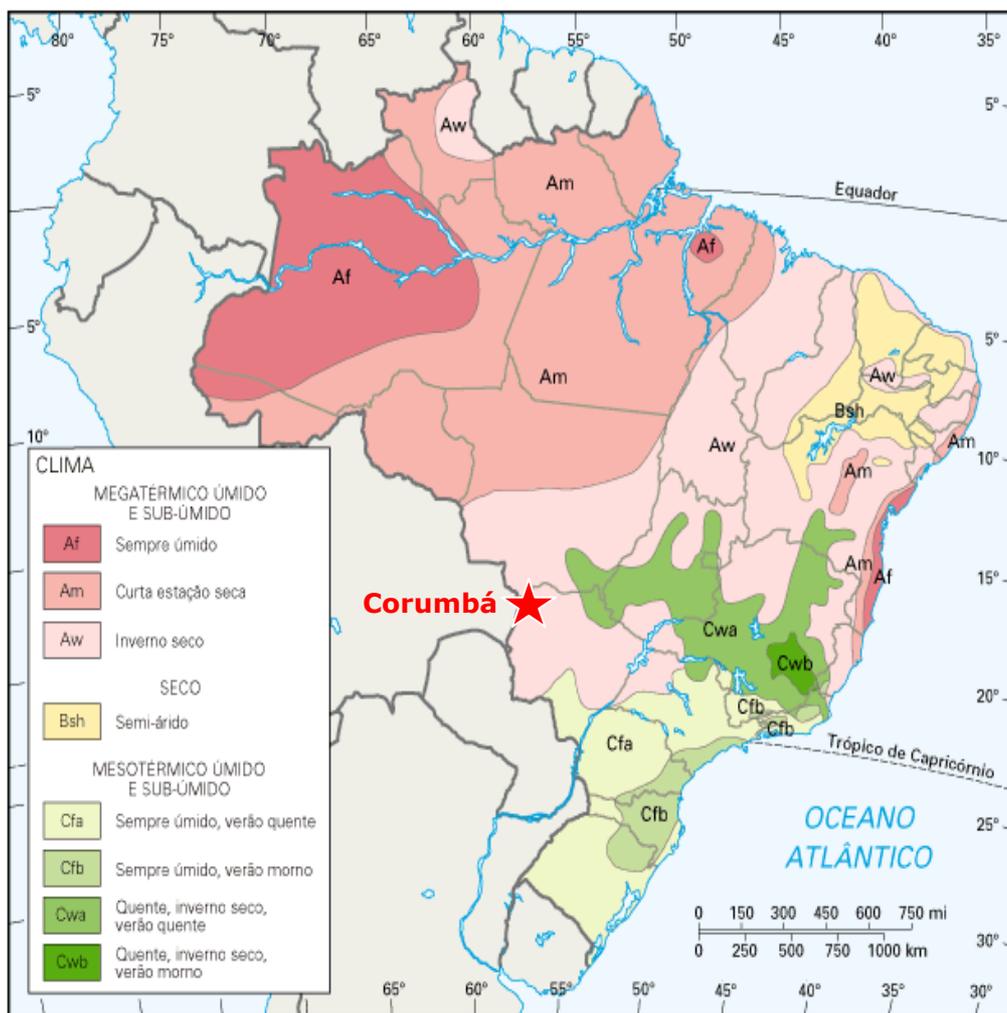


**Figura 4.1.1.1-1.** Mapa contendo as estações meteorológicas (estrela) e pluviométricas (P).

## 4.1.1.2 DIAGNÓSTICO LOCAL E REGIONAL

### 4.1.1.2.1 Contexto Regional

O mapa climático do Brasil (Figura 4.1.1.2.1-1) apresenta os climas das diversas regiões do Brasil segundo a classificação de Köppen. Esta classificação baseia-se, fundamentalmente, na quantidade e distribuição anual da precipitação e nos valores de temperaturas média mensal e anual durante as estações do ano. A região em estudo encontra-se no centro-oeste do país, e tem estações secas e chuvosas bem marcadas. Segundo classificação de clima de Köppen a região de Corumbá é do tipo Aw Quente e Úmida, com 3 meses de seca no ano, relacionados ao período de junho a agosto.



**Figura 4.1.1.2.1-1.** Mapa Climático do Brasil, e classificação Köppen para o Brasil (Fonte: GuiaNet). Estrela vermelha indica região de CORUMBÁ.

No período seco, que se prolonga de abril a setembro, a precipitação ocorre basicamente devido a passagem de frentes frias sobre a região. Nessa época do ano, a alta pressão do Atlântico Sul (ASAS) está mais próxima do continente Sul-americano. Este sistema de pressão faz com que as frentes frias que atingem a porção sul do país sejam forçadas a se mover mais rapidamente e mais para dentro do continente. Ainda neste período, a atividade convectiva é reduzida. Isso faz com que a frequência de tempestades se reduza acentuadamente.

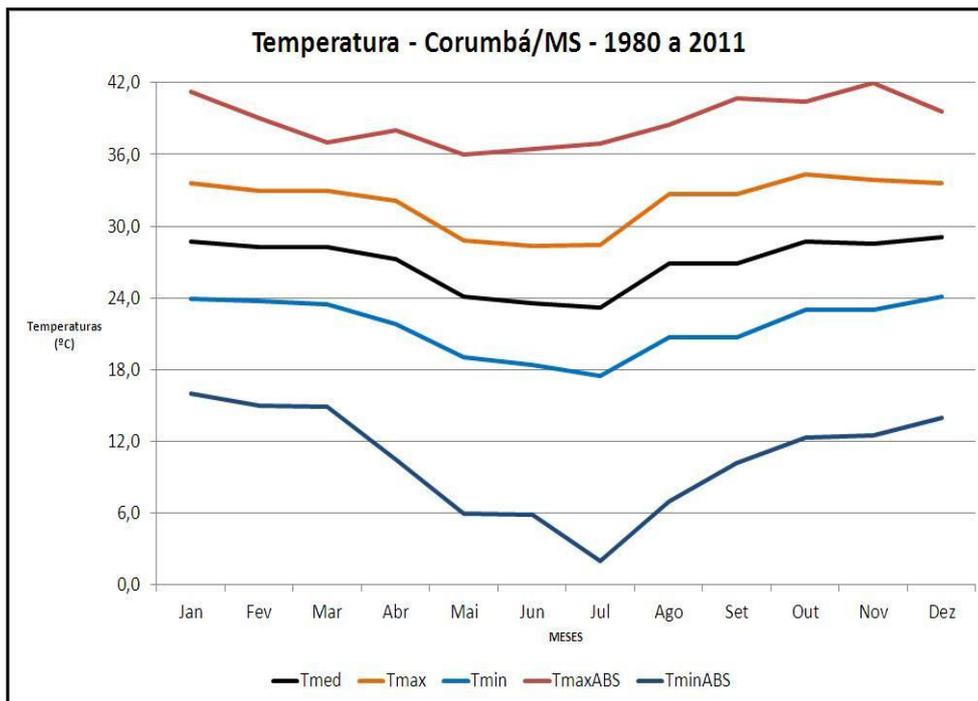
Nos meses de outubro a março, os acumulados mensais de precipitação se tornam bem mais altos. Nesse momento do ano (período chuvoso), as tempestades são recorrentes. Este processo ocorre porque a atmosfera está mais propícia a

movimentos ascendentes que aliados às altas quantidades de vapor de água no ar, promovem este tipo de sistema meteorológico. Também nesta época do ano, principalmente em janeiro, ocorrem as Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Este sistema tem como principal fonte de alimentação as correntes quentes e úmidas proveniente do bioma amazônico. A ZCAS provoca precipitação persistente e, ajuda na criação do ambiente atmosférico ideal para geração de tempestades.

#### **4.1.1.2.2 Contexto Local**

##### **4.1.1.2.2.1 Temperatura**

A Figura 4.1.1.2.2.1-1 apresenta o comportamento mensal dos valores médios das temperaturas média, máximas e mínimas, bem como as máximas e mínimas absolutas, para os dados da estação do INMET entre 1980 e 2011. Acerca da temperatura média os valores máximos e mínimos são 29,0°C no mês de dezembro e 23,2°C em julho. Estes valores são superiores àqueles apresentados no estudo da BRANDT (2007), que situam o máximo e mínimo em 27,2°C (dezembro) e 21,1°C (julho), respectivamente. A temperatura máxima média mensal está entre 34,4°C em outubro e 28,4°C em junho/julho. As temperaturas máximas absolutas se encontram entre 42,0°C em novembro e 36,0°C em maio.



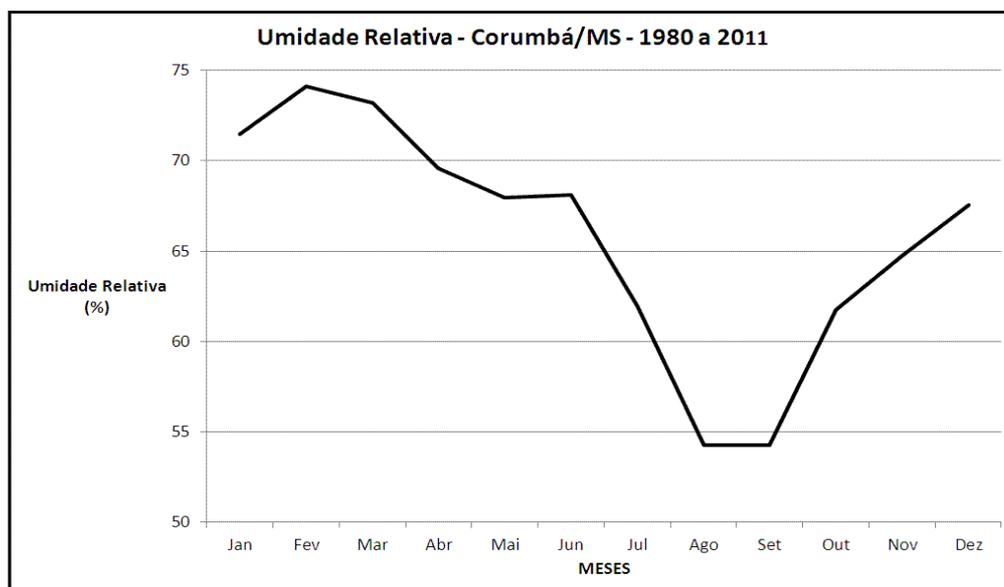
**Figura 4.1.1.2.2.1-1.** Temperaturas médias (Tmed), máximas (Tmax), mínimas (Tmin), máximas absolutas (TmaxABS) e mínimas absolutas (TminABS) mensais da estação INMET de Corumbá.

O estudo de 2007 (BRANDT) indica temperatura máxima média entre 33,1°C em novembro e 26,2°C em junho. A respeito das absolutas, o referido estudo aponta valores entre 40,5°C em outubro e 33,2°C em junho. As temperaturas mínimas médias mensais foram registradas entre 24,1°C no mês de dezembro e 17,4°C no mês de julho. As temperaturas mínimas absolutas foram registradas entre 16,0°C em janeiro e 2,0°C em julho. A BRANDT em seu levantamento assinalou as mínimas médias entre 23,5°C no mês de março e 17,2°C em junho. A respeito das mínimas absolutas, o intervalo apresentado está entre 16,2°C em dezembro e 1,4°C em julho. É possível notar o grande contraste térmico entre as temperaturas máximas e mínimas mensais da região, que se aproxima de 10°C em todos os meses do ano. A posição central da região no continente é um dos principais fatores desta grande diferença entre os extremos de temperatura. O estudo localizado no *website* de Empresa Brasileira de Agropecuária (EMBRAPA), realizado por Soriano mostra que as temperaturas médias, extraídas da mesma estação

meteorológica do INMET para o período de 1975 a 1996 apresentam valores entre 27,7°C em dezembro e 21,4°C em junho. As temperaturas máximas médias mensais apresentam valores entre 33,1°C em dezembro e 26,6°C em junho. As temperaturas mínimas médias mensais estão assinaladas entre 23,5°C em dezembro e 17,3°C em julho.

#### 4.1.1.2.2.2 Umidade relativa do ar

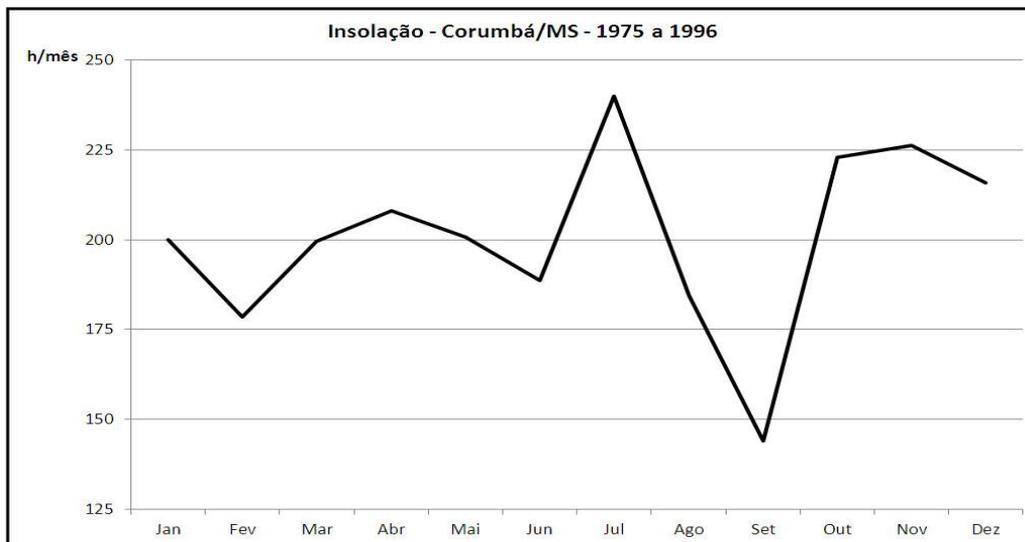
Pelos dados obtidos no período de 1980 a 2011 (Figura 4.1.1.2.2.2-1), a umidade relativa do ar está situada no intervalo entre 54,3% em junho/julho e 74,1% em fevereiro. É percebida a partir do mês de maio até setembro uma grande redução da umidade relativa. Tal constatação vem de encontro com a questão do período seco da região. No estudo da BRANDT (2007), a umidade relativa esteve entre 71,8% em outubro, e 81,6% em março. Segundo o trabalho de Soriano, os valores médios de mensais de umidade relativa do ar para o período de 1975 a 1996 da estação de INMET, situado em Corumbá, apresentam entre muito semelhante com aqueles apresentados pela BRANDT (2007).



**Figura 4.1.1.2.2.2-1.** Umidade relativa média mensal da estação INMET de Corumbá.

#### 4.1.1.2.2.3 Insolação

Segundo o estudo presente no site da EMBRAPA (Figura 4.1.1.2.2.3-1) para o período de 1975 a 1996, o número médio de horas de insolação a cada mês varia entre 144 em setembro, e 240 em julho.



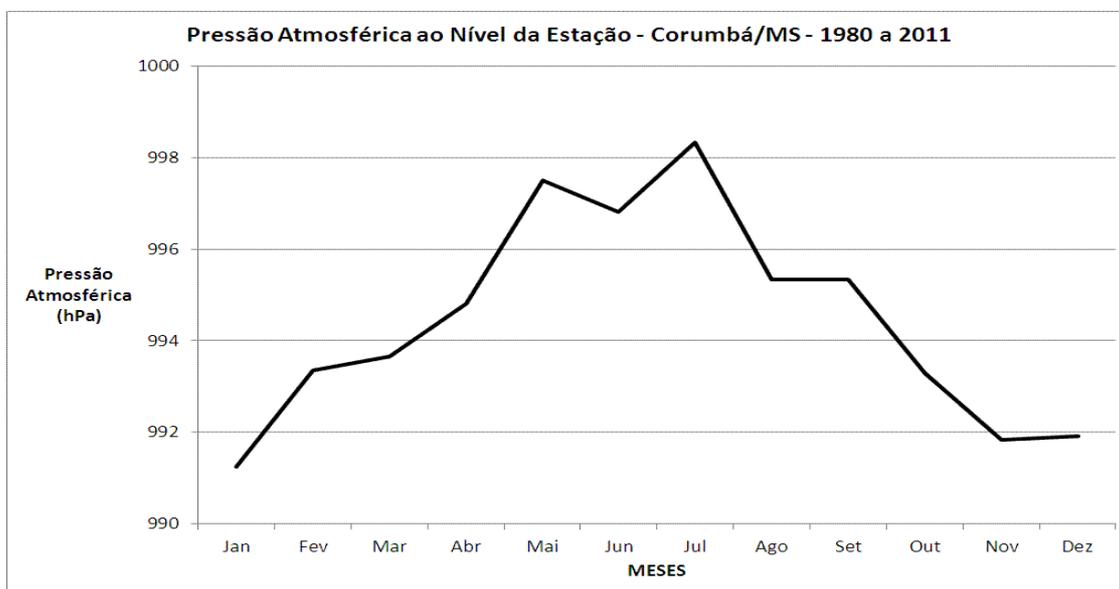
**Figura 4.1.1.2.2.3-1.** Insolação média mensal. Fonte: EMBRAPA.

Apesar das temperaturas mais baixas em julho, neste mês foi registrado maior período de insolação. Isso pode ser explicado pelo fato de que o inverno apresenta pequena atividade convectiva. As nuvens convectivas são as principais responsáveis pela redução de insolação, já que seus topos tendem a ser eficientes refletores da radiação solar.

#### 4.1.1.2.2.4 Pressão Atmosférica

A pressão atmosférica local também foi avaliada nos dados obtidos. Os valores médios mensais se apresentaram entre 998,3 hPa em julho e 991,2 hPa em janeiro. Os meses de inverno são aqueles que apresentam os maiores valores de pressão atmosférica (superiores a 995 hPa). A diminuição de temperatura, bem como o aumento de passagem de frentes frias são os principais fenômenos causadores deste aumento de pressão. Ao contrário, os meses de verão

apresentam os menores valores (inferiores a 992 hPa). Neste período do ano, o aumento de temperatura contribui para a redução da pressão atmosférica (Figura 4.1.1.2.2.4-1).

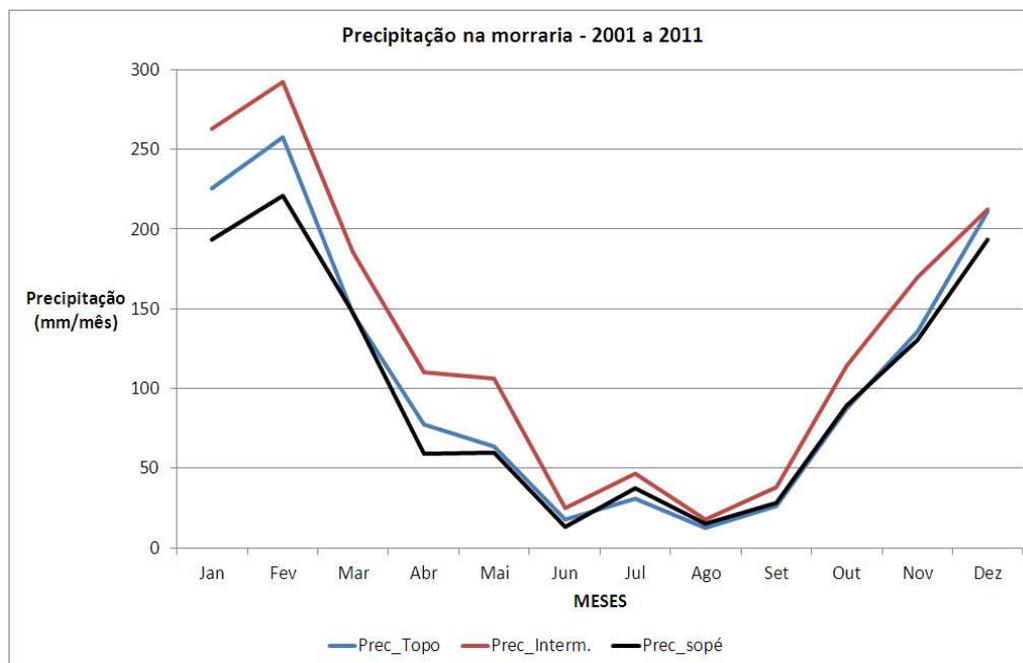


**Figura 4.1.1.2.2.4-1.** Pressão atmosférica média mensal ao nível da estação INMET de Corumbá.

#### 4.1.1.2.2.5 Precipitação Pluviométrica

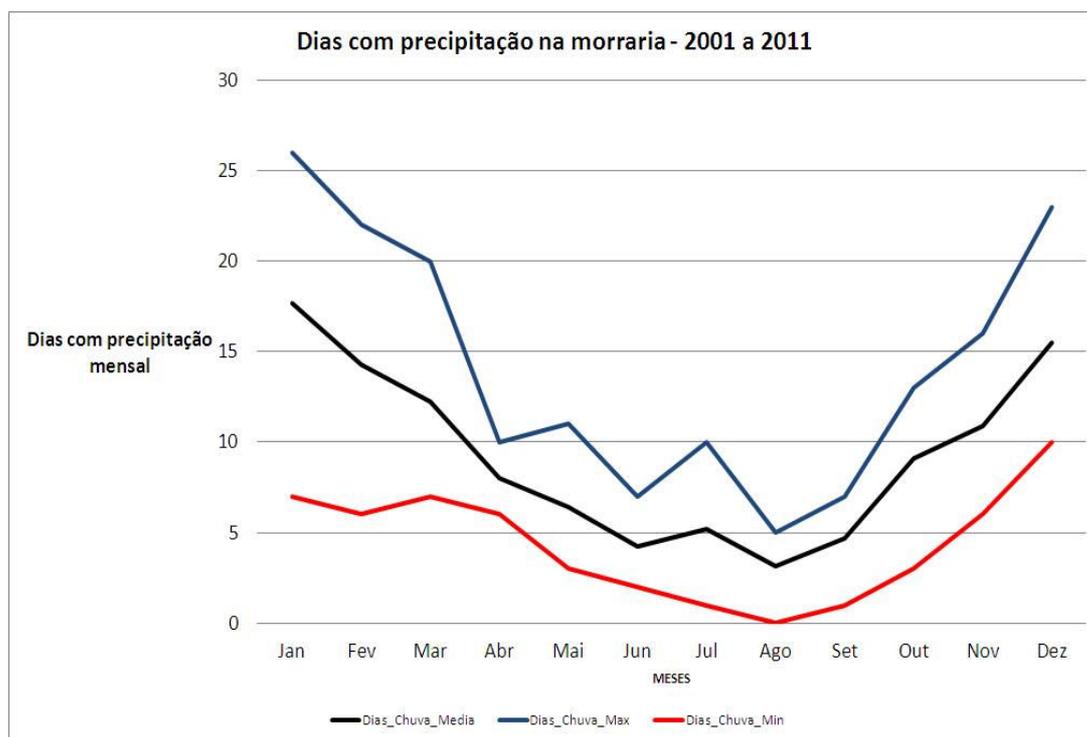
A precipitação analisada no estudo foi aquela obtida na própria morraria onde se localiza o Projeto. Os dados mensais obtidos a partir de estações monitoradas pela VALE na morraria onde o Projeto está instalado (Figura 4.1.1.2.2.5-1). Foram medidos no sopé, na parte intermediária e no topo da colina, no período de setembro de 2001 a agosto de 2011. Para o pluviômetro localizado na parte mais baixa, os valores mensais médios medidos estiveram entre 13,1mm em junho e 221,2mm em fevereiro. O acumulado anual mensal médio é avaliado em 1187,7mm. A respeito dos valores mensais médios para o pluviômetro localizado na parte intermediária da morraria, foram registrados entre 24,7mm em junho e 292,2mm em fevereiro. O acumulado anual mensal médio desta estação é 1581,8mm. Para finalizar, a precipitação média mensal no topo do morro esteve entre 17,3mm em junho e 257,5mm em fevereiro. O acumulado anual mensal médio da parte superior da morraria é 1292,2mm. Pelos dados encontrados das

três estações, é constatado que os meses da estação seca contribuem com algo em torno de 20% da precipitação total anual. A divisão entre os períodos é bem definida.



**Figura 4.1.1.2.2.5-1.** Precipitação acumulada média mensal no topo (Prec\_Topo), na parte intermediária (Prec\_Interm.) e no sopé (Prec\_sopé) da morraria. Estações pluviométricas da VALE.

Com os dados obtidos no topo da morraria, o número máximo, médio e mínimo de dias com precipitação a cada mês será avaliado. A escolha da estação da VALE localizada na parte mais alta da morraria pode ser justificada com a suposição que tal pluviômetro, além de medir a precipitação devido aos mesmos sistemas atmosféricos que atingem os dois outros postos, pode detectar os efeitos de orografia. O mês com maior quantidade de dias chuvosos é janeiro, com 18 dias em média. Ao contrário, agosto é o mês com menor quantidade de dias chuvosos, com 3 dias de chuva em média (Figura 4.1.1.2.2.5-2).



**Figura 4.1.1.2.2.5-2.** Dias com precipitação máxima (Dias\_Chuva\_Max), média (Dias\_Chuva\_Média) e mínima (Dias\_Chuva\_Min) mensal no topo da morraria. Estação pluviométrica da VALE.

#### 4.1.1.2.2.6 Evaporação

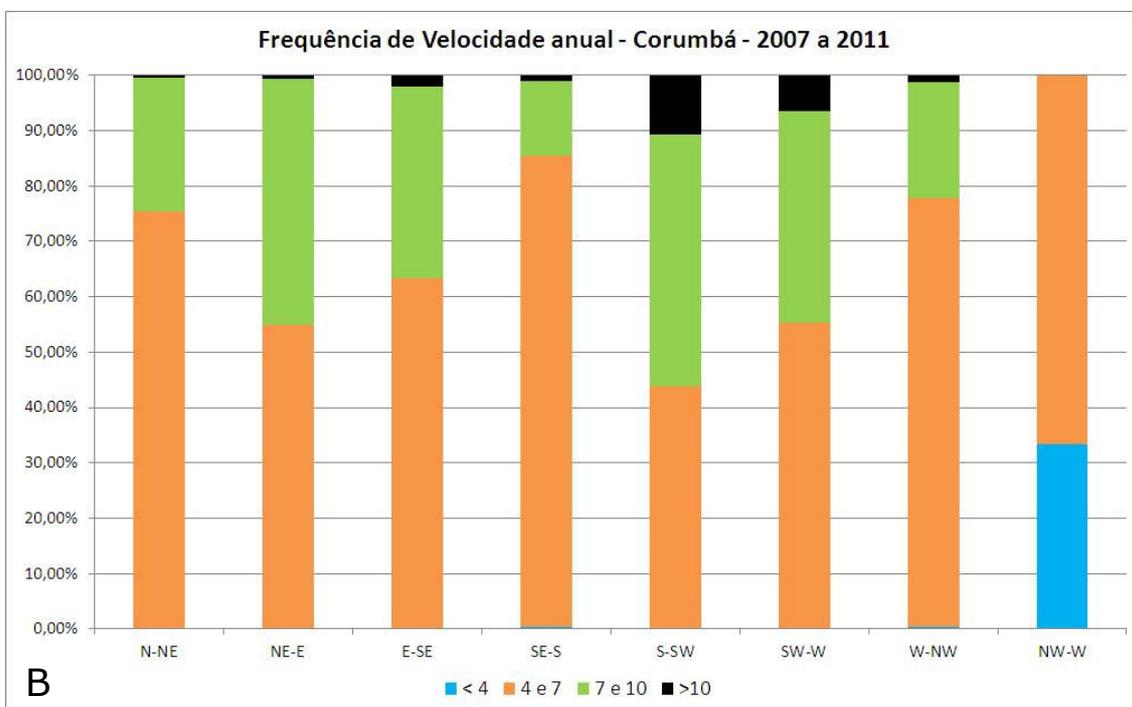
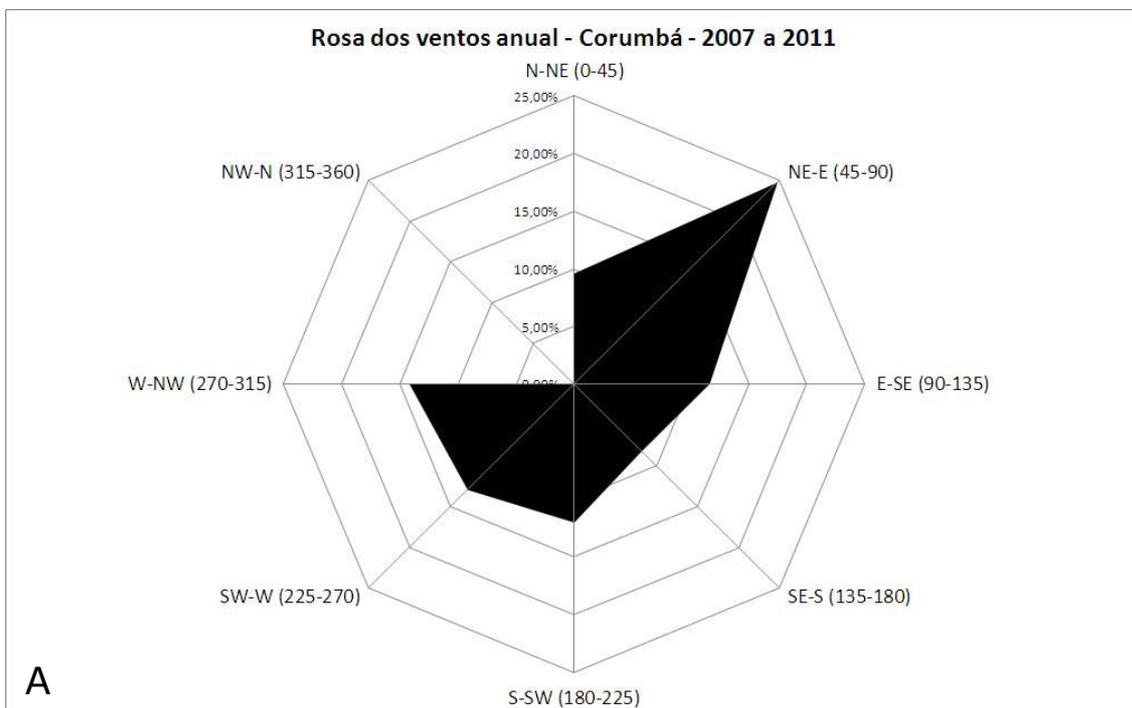
A evaporação do tanque classe A, o qual consiste de um tanque de evaporação direta, cheio de água, onde são feitas medidas, em milímetros, da água evaporada entre uma leitura e outra, também foi avaliada no acidente geográfico onde se localiza o Projeto. Porém, tal variável foi medida apenas no topo da elevação, a partir da estação de monitoramento da VALE, no período de janeiro de 2003 a maio de 2011 (Figura 4.1.1.2.2.6-1). Pelos dados obtidos a evaporação acumulada média mensal esteve entre 182,6mm em agosto e 88,6mm em fevereiro. Se comparada com a precipitação, é possível perceber uma grande perda de água do solo para a atmosfera no período seco, situação que se inverte durante a estação chuvosa.



**Figura 4.1.1.2.2.6-1.** Evaporação do tanque classe A acumulada média mensal no topo da morraria. Estação pluviométrica da VALE.

#### 4.1.1.2.2.7 Direção e Velocidade do Vento

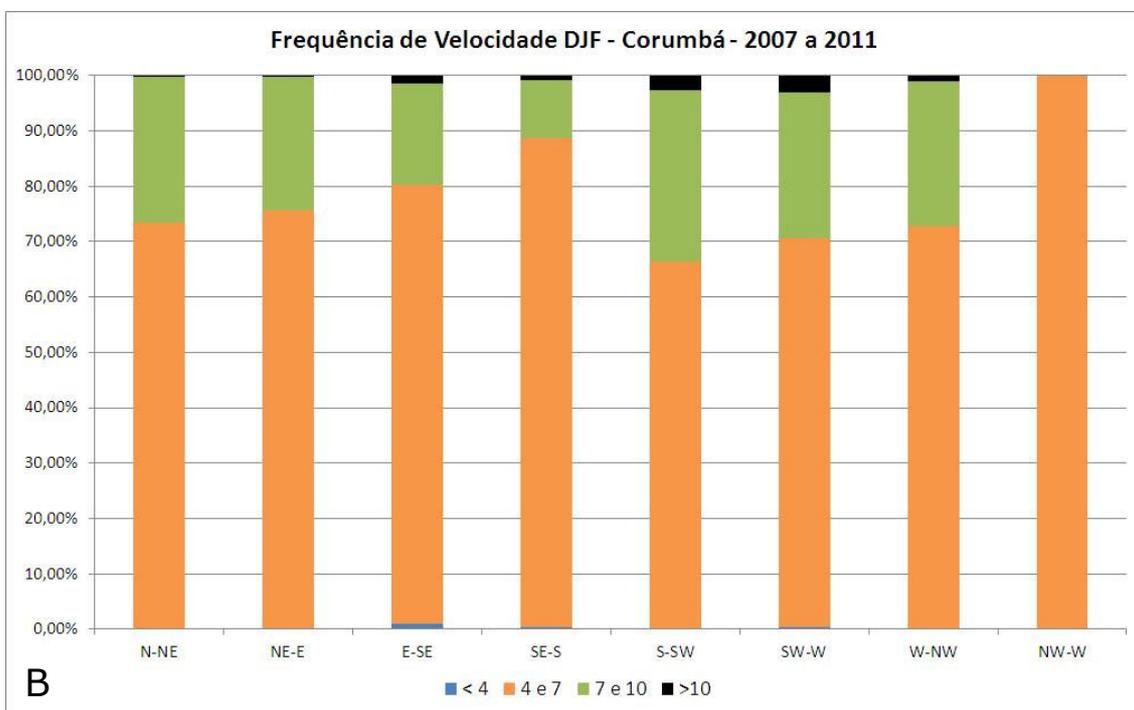
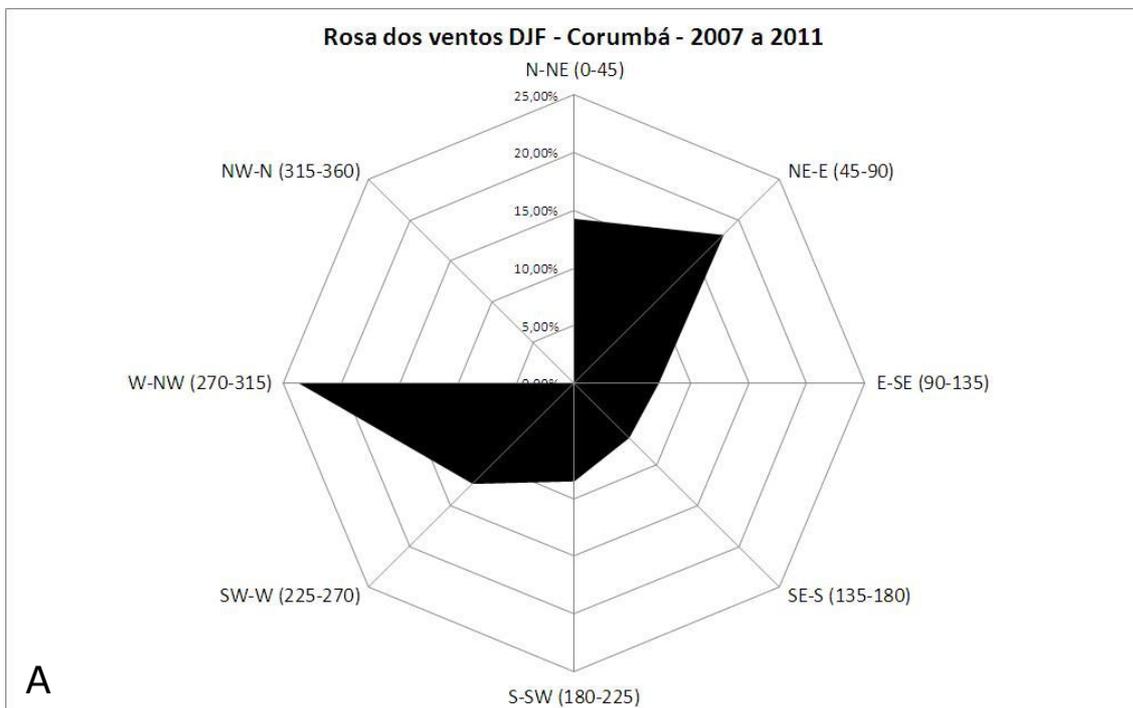
A análise de direção e velocidade do vento foi procedida a partir dos dados horários obtidos pela estação meteorológica do aeroporto de Corumbá, no período de janeiro 2007 a setembro 2011. O estudo mostrará o comportamento da movimentação atmosférica local durante o período anual, sazonal e diário. Do ponto de vista anual (Figura 4.1.1.2.2.7-1), o padrão de ventos tem direções predominantes no quadrante N-E, com 34% das medições; enquanto o quadrante S-W conta com 25% dos dados. A situação de calmaria está presente em 6,7% das medições. Interessante notar que as direções de NW-W só ocorreram em três dados horários, sendo estes assinalados no verão e primavera. No tocante a distribuição de velocidade do vento, a maioria dos dados aponta velocidade do vento entre 4 e 10m/s.



**Figura 4.1.1.2.2.7-1.** Rosa dos ventos para o período anual (A) e distribuição de velocidades anual (B).

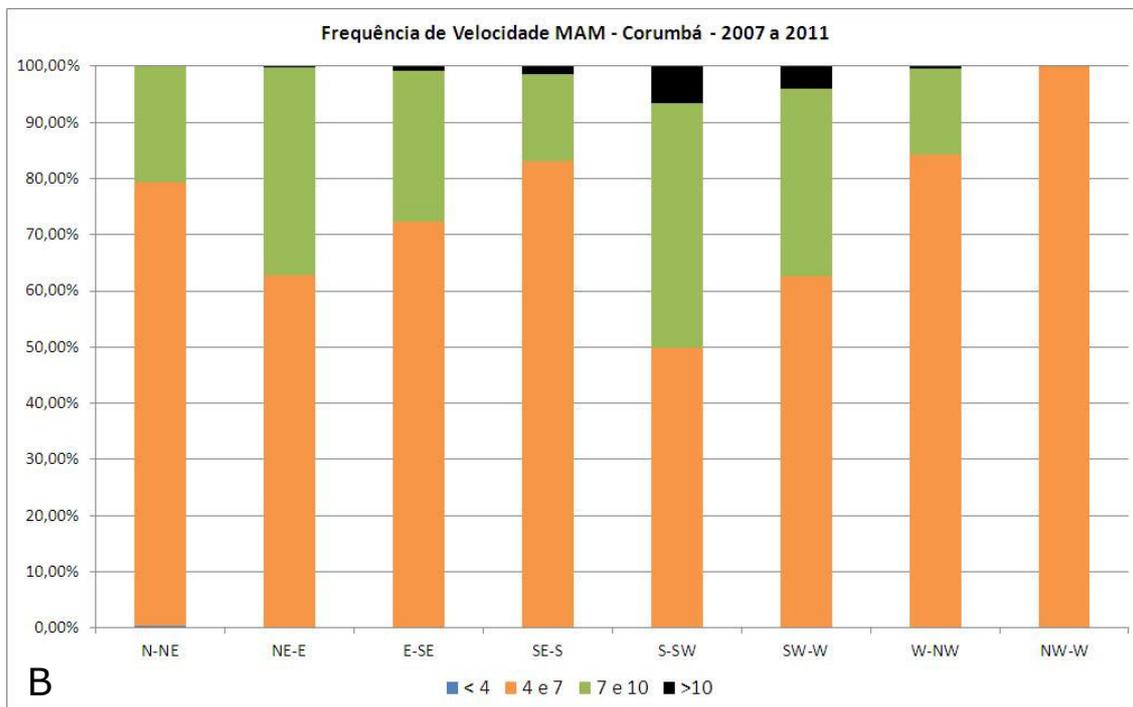
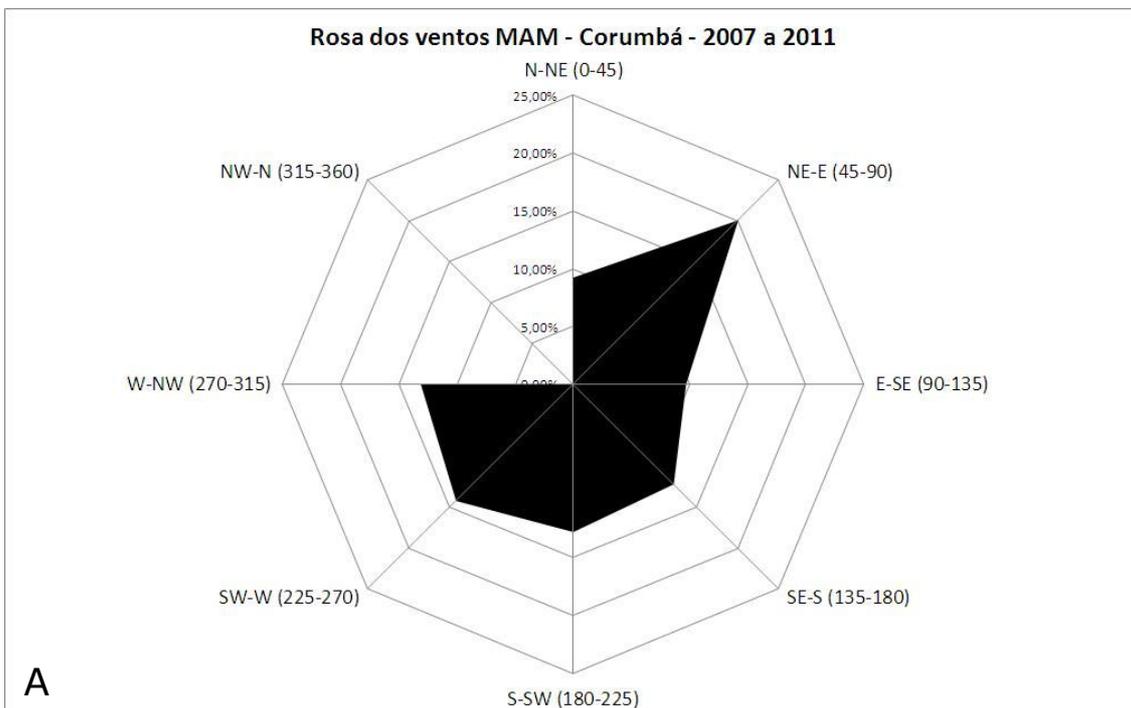
Quanto à distribuição sazonal de direção e velocidade do vento, os trimestres dezembro-janeiro-fevereiro (DJF, referente ao verão); março-abril-maio (MAM, referente ao outono); junho-julho-agosto (JJA, referente ao inverno) e setembro-outubro-novembro (SON, referente à primavera) foram analisados. Em relação ao trimestre DJF, as direções W-NW são predominantes com 23,7%, seguidas pelas direções NE-E com 18,2%. As situações de calmaria representam 9% das medições. As velocidades medidas no trimestre mostram que grande parte das medições está entre 4 e 7m/s. As direções S-W apresentam a maior incidência de velocidade superior a 10m/s. No estudo da mina realizado pela BRANDT (2007), os quadrantes N-E e S-W apresentam-se como quadrantes predominantes na direção do vento. Sendo que o quadrante S-W indicam maior frequência de velocidade superior a 6m/s.

A Figura 4.1.1.2.2.7-2 A mostra a rosa dos ventos para o trimestre e a Figura 4.1.1.2.2.7-2 B aponta a distribuição de velocidade para os diferentes setores da rosa dos ventos no trimestre de verão (DJF).



**Figura 4.1.1.2.2.7-2.** Rosa dos ventos para o período DJF (A) e distribuição de velocidades para o trimestre DJF (B).

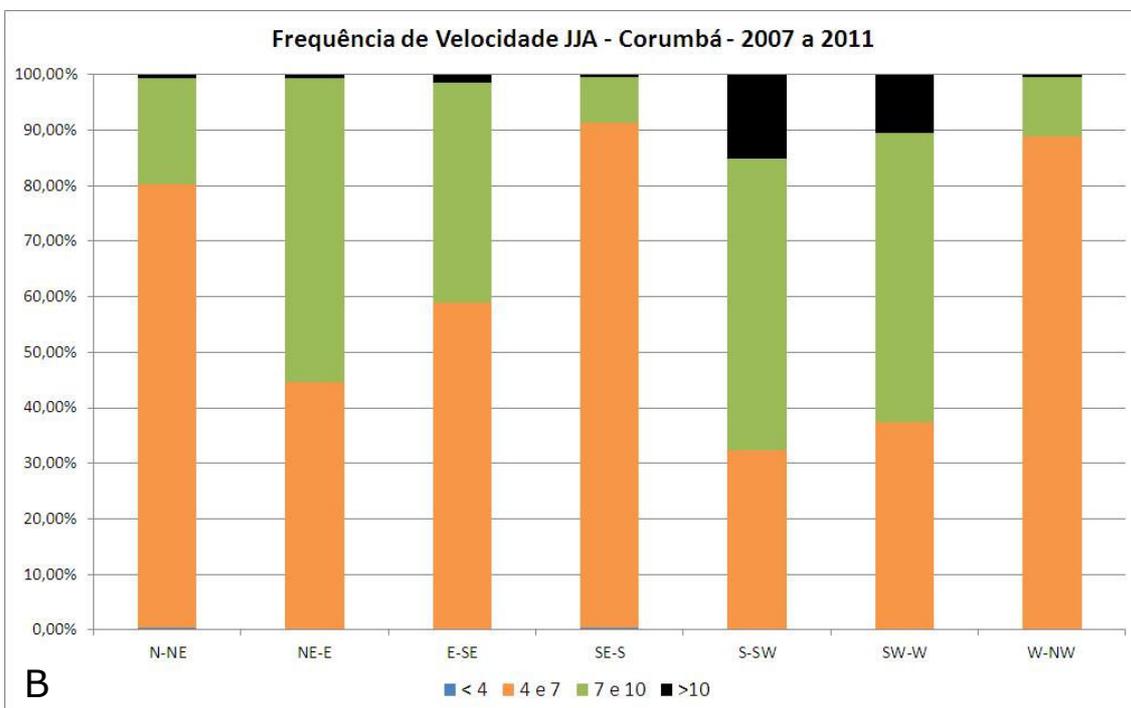
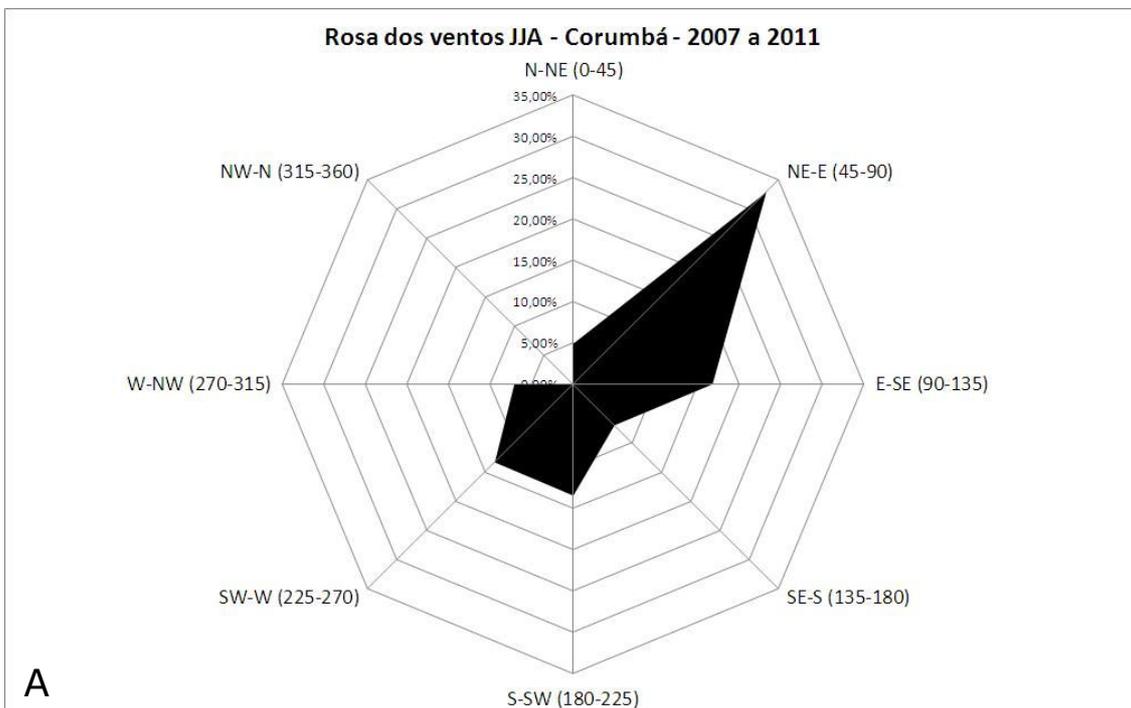
No tocante ao período de outono (trimestre MAM), as direções NE-E são predominantes com 20,1%, seguidas pelas direções SW-W com 14,3%. As situações de calmaria representam 8,6% das medições. As direções S-W apresentam a maior incidência de velocidade superior a 10m/s. A Figura 4.1.1.2.2.7-3 A mostra a rosa dos ventos para o período de outono, e a Figura 4.1.1.2.2.7-3 B aponta a distribuição de velocidade para os diferentes setores da rosa dos ventos neste período.



**Figura 4.1.1.2.2.7-3.** Rosa dos ventos para o período MAM (A) e distribuição de velocidades para o trimestre MAM (B).

A respeito do trimestre JJA (inverno), as direções NE-E são predominantes com 32,9%, seguidas pelas direções E-SE com 16,8%. As situações de calmaria representam 4,5% das medições. As velocidades medidas no trimestre mostram as maiores incidências de velocidade alta, principalmente nas direções S-W apresentam a maior incidência de velocidade superior a 10m/s.

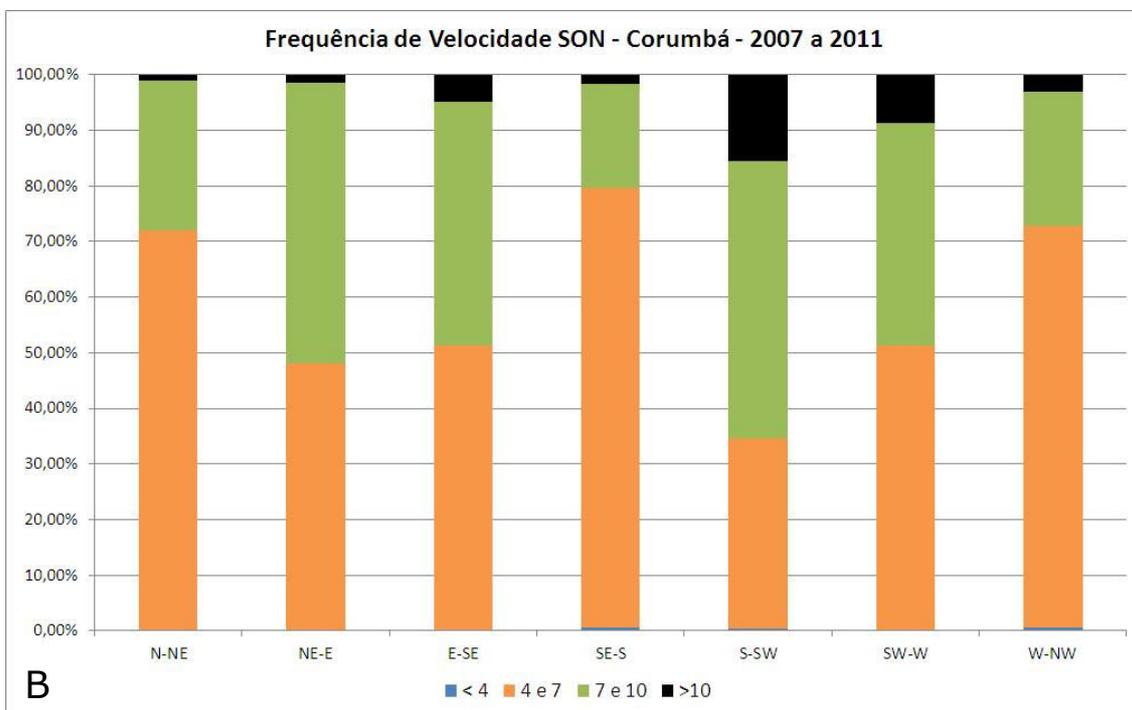
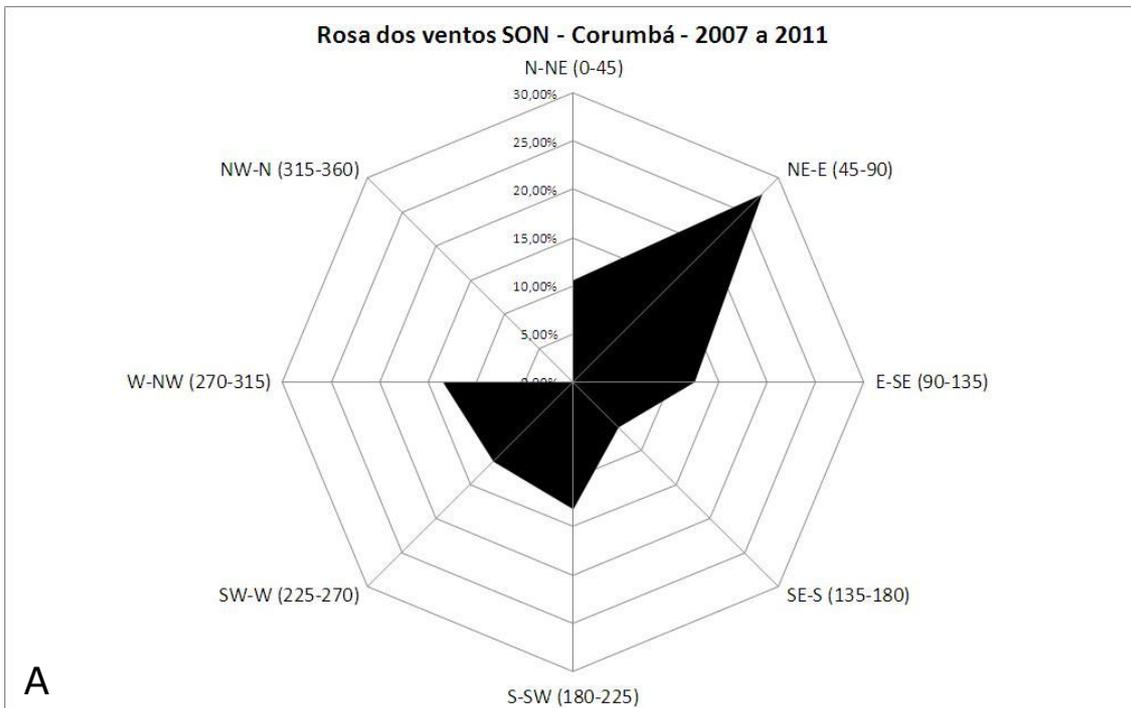
A Figura 4.1.1.2.2.7-4 A mostra a rosa dos ventos para o período de inverno, e Figura 4.1.1.2.2.7-4 B aponta a distribuição de velocidade para os diferentes setores da rosa dos ventos neste período.



**Figura 4.1.1.2.2.7-4.** Rosa dos ventos para o período JJA (A) e a distribuição de velocidades para o trimestre JJA (B).

O último trimestre (primavera, SON) indica em sua amostra que as direções NE-E são predominantes com 27,6%, seguidas pelas direções W-NW com 13,5%. As situações de calmaria representam 4,4% das medições. A grande predominância do quadrante NE-E na direção de vento de junho a novembro também é constatada no estudo da BRANDT (2007) para a área de mina. O quadrante SW-W é o segundo com a maior porcentagem de fluxo de vento. A direção SW têm a maior registro de ventos com velocidade superior a 9m/s.

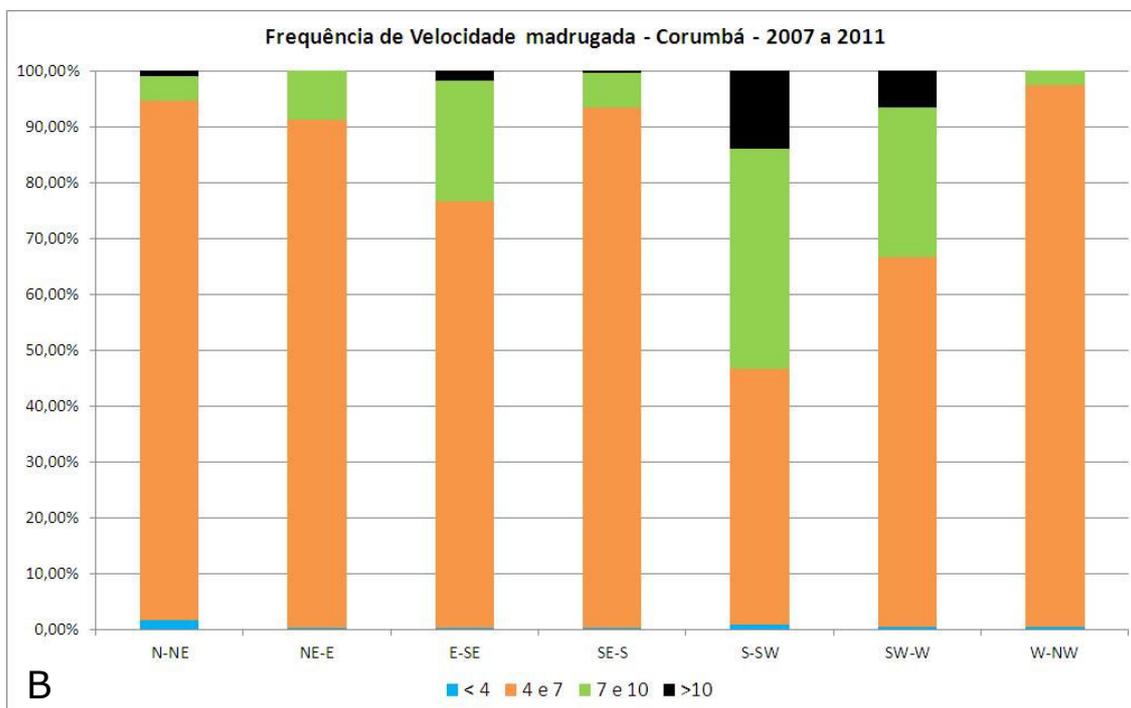
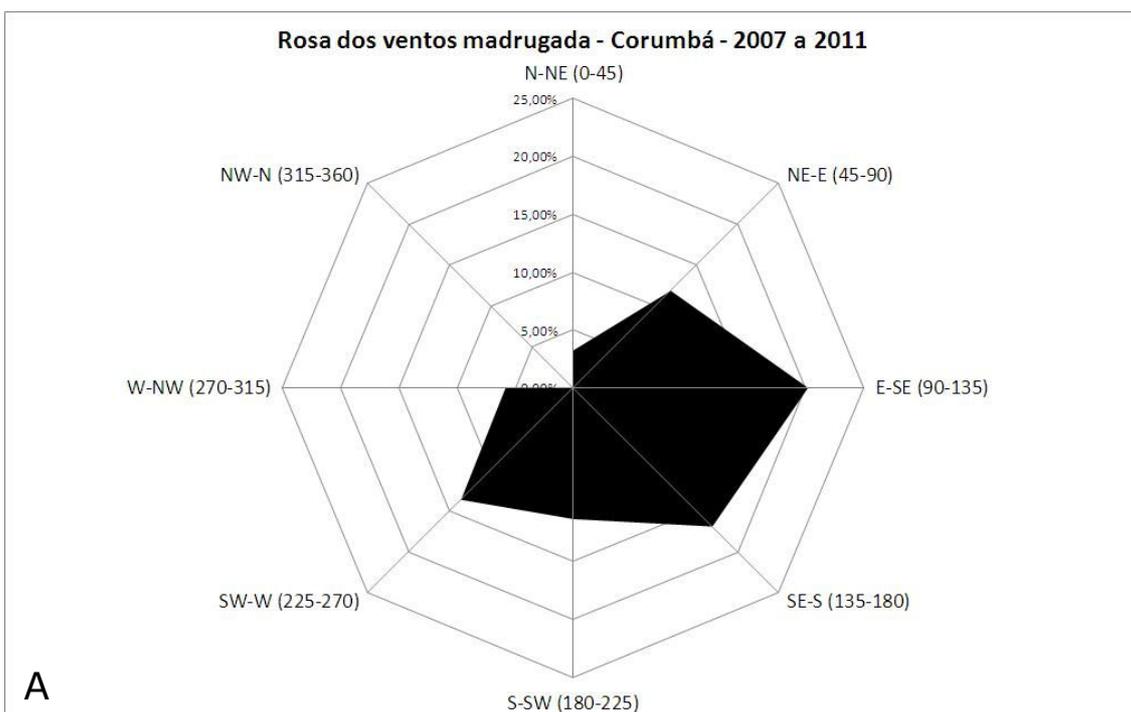
A Figura 4.1.1.2.2.7-5 A mostra a rosa dos ventos para o período de primavera, e Figura 4.1.1.2.2.7-5 B aponta a distribuição de velocidades para os diferentes setores da rosa dos ventos neste período.



**Figura 4.1.1.2.2.7-5.** Rosa dos ventos para o período SON (A) e a distribuição de velocidades para o trimestre SON (B).

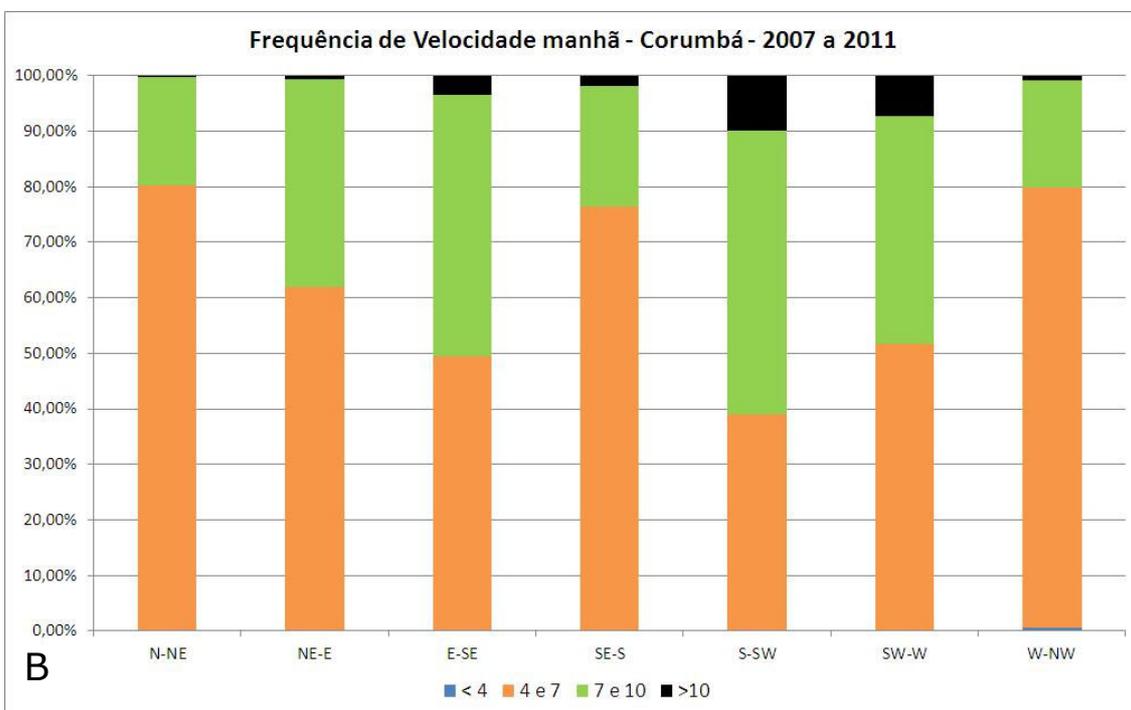
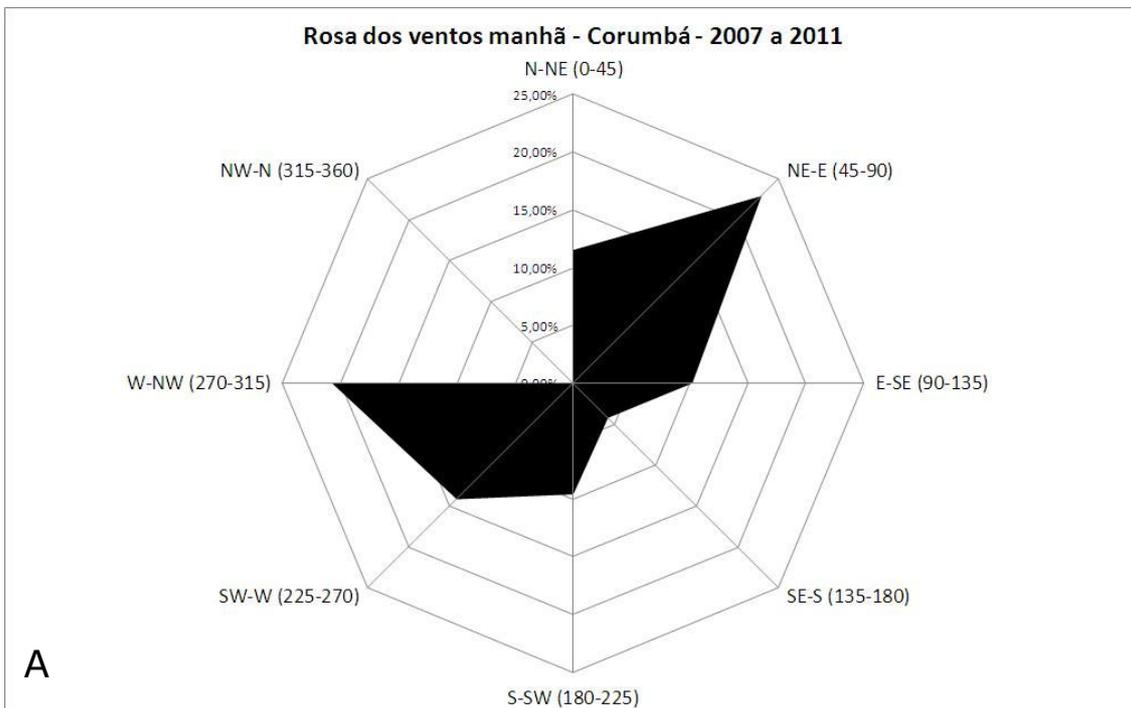
Nota-se que as estações de outono e inverno denotam um aumento da incidência dos ventos de sul, principalmente no quadrante S-W. A situação muda na primavera e verão, quando o quadrante N-W passa a ter maior presença na direção do vento.

Com relação às velocidades, é percebido que as calmarias são mais recorrentes no verão e no outono. Os ventos de sul são aqueles com maior velocidade, pois, os mesmos tem como principal meio de formação os sistemas polares, que trazem alta pressão e as chuvas advectivas (frentes frias). O período diário foi dividido em quatro partes: madrugada (0 a 6 horário local, HL); manhã (6 a 12HL); tarde (12 a 18HL) e noite (18 a 24HL). O período da madrugada tem as direções do quadrante E-S como predominantes com 32% das medições, seguidas pelas direções S-W com 25%. As situações de calmaria representam 17% das medições. As velocidades medidas neste período do dia mostram as maiores incidências de velocidade alta, principalmente nas direções S-W, apresentando a maior incidência de velocidade superior a 10m/s. A Figura 4.1.1.2.2.7-6 A mostra a rosa dos ventos para o período da madrugada, e a Figura 4.1.1.2.2.7-6 B aponta a distribuição da velocidade para os diferentes setores da rosa dos ventos neste período.



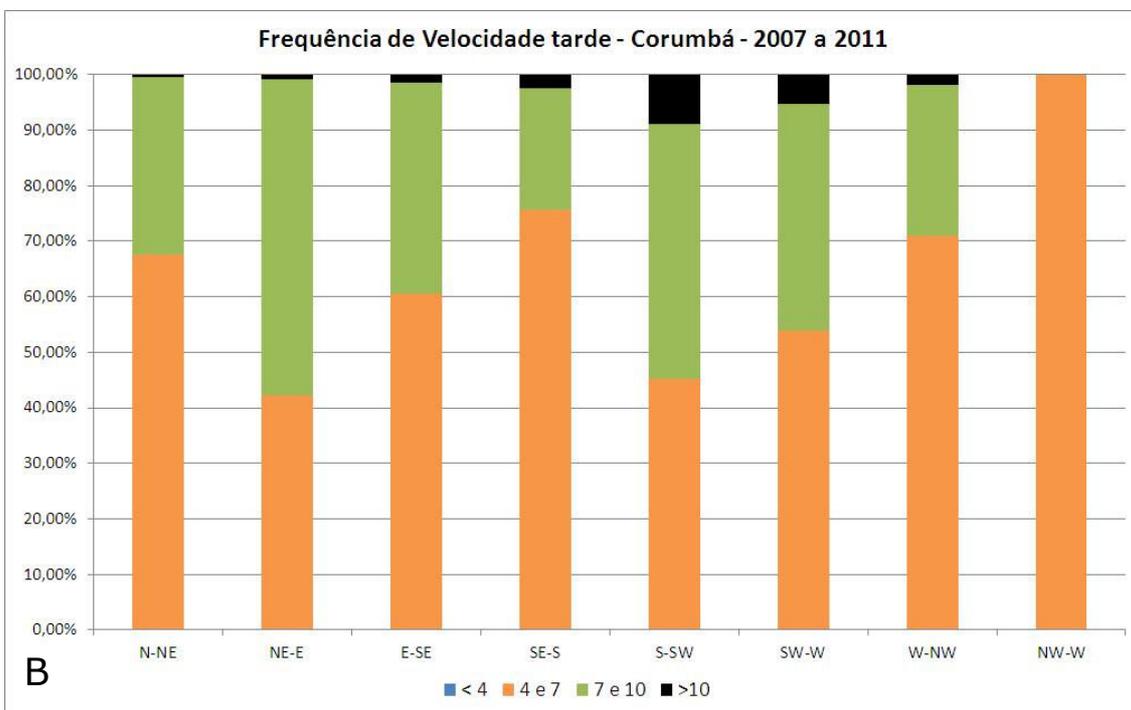
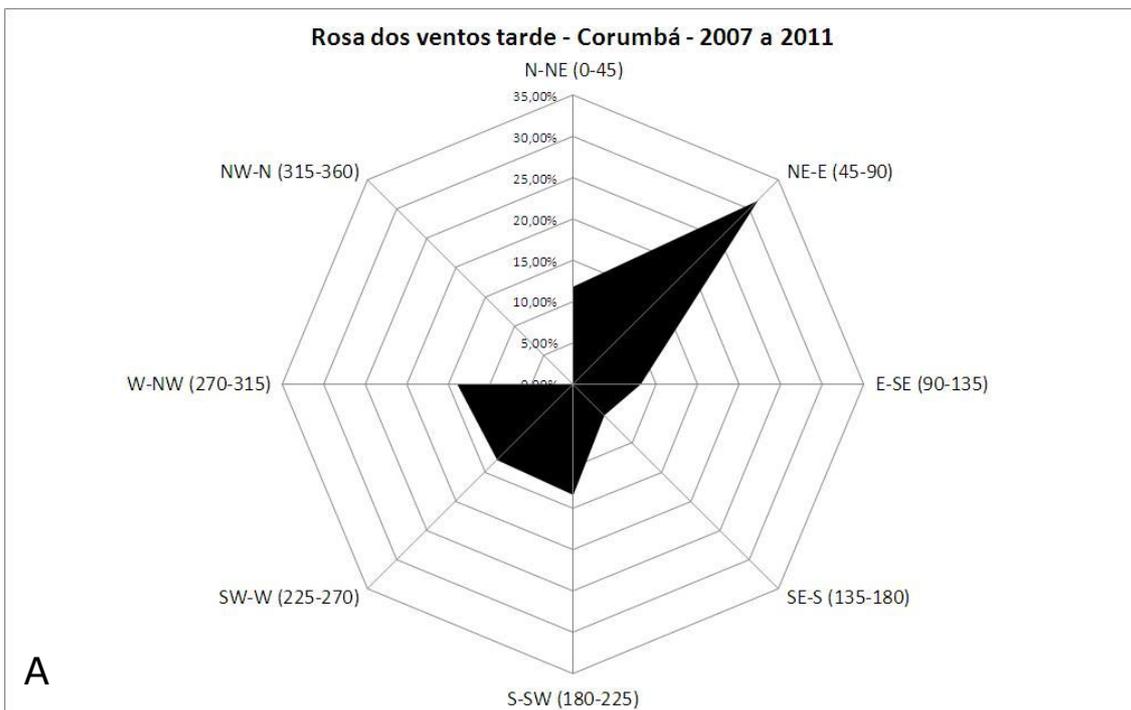
**Figura 4.1.1.2.2.7-6.** Rosa dos ventos para o período da madrugada (A) e a distribuição de velocidades para a madrugada (B).

Para o período da manhã, as direções do quadrante NE-E aparecem como predominantes com 22,9%, seguidas pelas direções W-NW com 20,8%. As situações de calmaria representam 6,6% das medições. As velocidades medidas mostram as maiores incidências de velocidade alta, principalmente nas direções S-W que apresentam a maior incidência de velocidade superior a 10 m/s. A Figura 4.1.1.2.2.7-7 A mostra a rosa dos ventos para o período da manhã, e a Figura 4.1.1.2.2.7-7 B aponta a distribuição de velocidades para os diferentes setores da rosa dos ventos neste período.



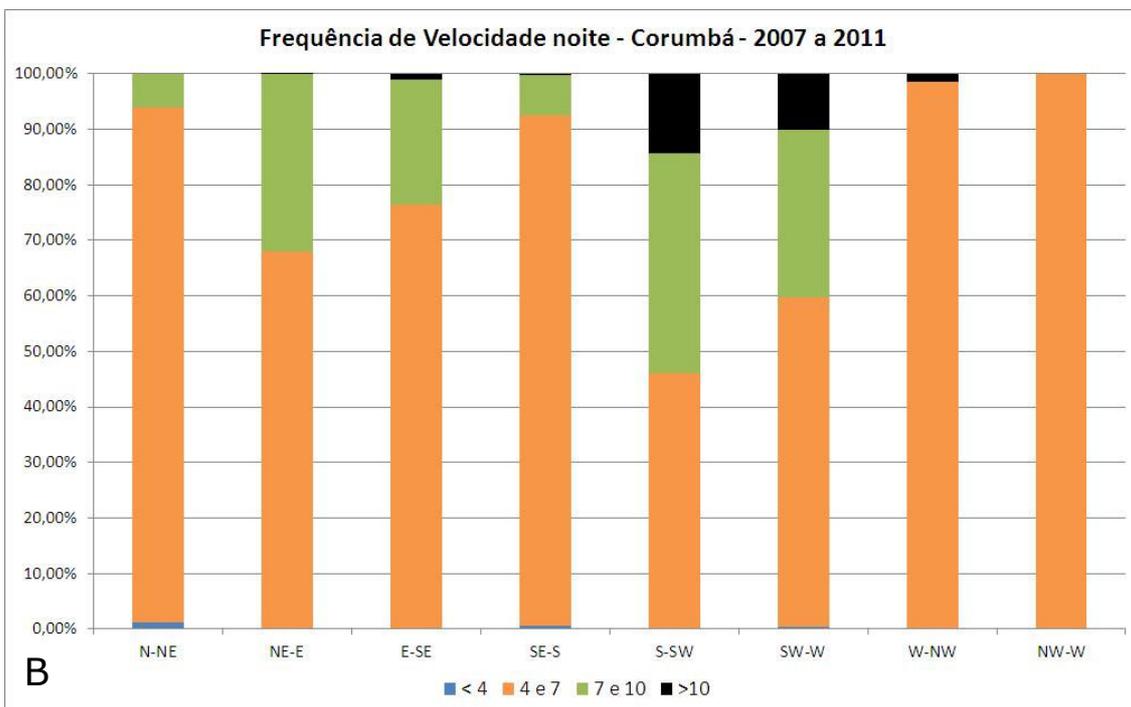
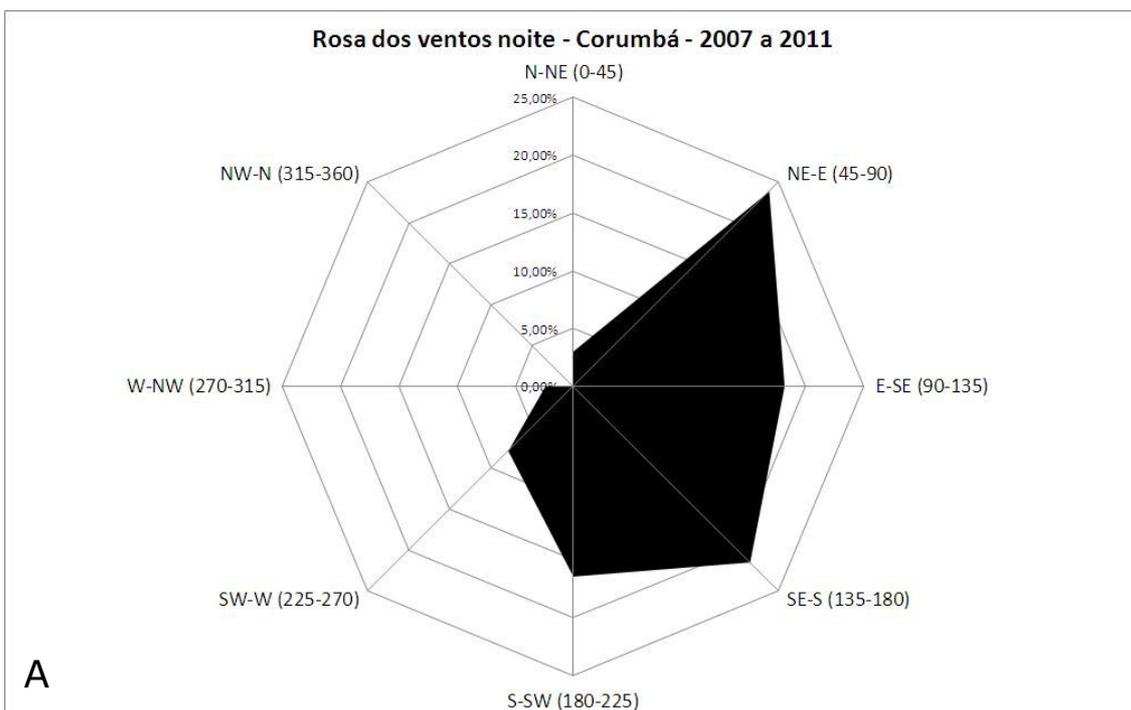
**Figura 4.1.1.2.2.7-7.** Rosa dos ventos para o período da manhã (A) e distribuição de velocidades para a manhã (B).

Analisando o período da tarde, as direções do quadrante NE-E aparecem como predominantes com 31,4%, seguidas pelas direções W-NW com 14%. As situações de calmaria representam 3% das medições. As velocidades medidas neste período do dia mostram as maiores incidências de velocidades altas, principalmente nas direções S-W apresentam a maior incidência de velocidade superior a 10m/s. A Figura 4.1.1.2.2.7-8 A mostra a rosa dos ventos para o período da tarde, e a Figura 4.1.1.2.2.7-8 B aponta a distribuição de velocidade para os diferentes setores da rosa dos ventos neste período.



**Figura 4.1.1.2.2.7-8.** Rosa dos ventos para o período da tarde (A) e distribuição de velocidades para a tarde (B).

Por fim, o período da noite, as direções do quadrante NE-E aparecem como predominantes com 23,8%, seguidas pelas direções SE-S com 21,5%. As situações de calma representam 6,7% das medições. As velocidades medidas neste período do dia mostram as maiores incidências de velocidade alta, principalmente nas direções S-W que apresentam a maior incidência de velocidade superior a 10m/s. A Figura 4.1.1.2.2.7-9 A mostra a rosa dos ventos para o período da noite, e a Figura 4.1.1.2.2.7-9 B aponta a distribuição de velocidades para os diferentes setores da rosa dos ventos este período.



**Figura 4.1.1.2.2.7-9.** Rosa dos ventos para o período da noite (A) e distribuição de velocidades para a noite (B).

Na análise do período diário, é visto que ocorre um giro da direção predominante do vento, dos quadrantes de NE a SW, com presença significativa de Norte no período da manhã. Da mesma forma, o vento reduz sua velocidade, aumentando a presença de calmarias, chegando ao máximo na madrugada. A redução da velocidade dos ventos no período noturno, principalmente no período da madrugada, pode ser explicada pelo resfriamento da atmosfera. Tal resfriamento provoca aumento de pressão, aumentando a estagnação da atmosfera neste horário.

#### **4.1.2 QUALIDADE DO AR**

As atividades de mineração nas morrarias de Urucum geram material particulado em suspensão (PTS), em geral por produção e ressuspensão de partículas, efeito proporcional ao tráfego veicular e atividades de exploração e produção de minério na área. Segundo estudo realizado pelo Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA, 2008) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) são produzidos 12.339 toneladas de PTS ao ano no pólo mineiro da região. Segundo estimativas de LIMA (2008), a Mineração Corumbaense Reunida (MCR), com uma extração de 4.47Mtpa contribui com 5400 toneladas de PTS ao ano.

Segundo Lima, "No Maciço do Urucum e na Planície Pantaneira encontram-se várias fontes de emissão de material particulado para a atmosfera: atividades extrativas minerais, indústrias, tráfego em vias não pavimentadas para o transporte de minério, queimadas e queima de carvão vegetal. Os resultados obtidos em monitoramentos realizados pelas empresas têm evidenciado a degradação da qualidade do ar nos limites do perímetro urbano de Corumbá, com frequentes violações dos padrões de qualidade. Nessas áreas, as concentrações de material particulado têm sido mais elevadas no período seco".

Segundo os autores, na Área de Influência Direta (AID) do Projeto, as concentrações de partículas em suspensão indicam que este poluente se encontra dentro dos limites fixados pela legislação, evidenciando-se a eficácia do controle de material particulado por meio da umidificação das vias, controle do tráfego e principalmente reflorestamento para diminuir processos erosivos geradores de PTS. Destaca-se que além das fontes de produção, as concentrações de PTS estão

diretamente relacionadas a processos climáticos e meteorológicos que podem incrementar ou diminuir os níveis de PTS na troposfera gerando variações sazonais, as quais podem ter repercussão em saúde pública. (Muñoz, F. e Carvalho, M. 2008).

No Brasil, a Resolução CONAMA Nº 003/90 estabelece os padrões de qualidade ambiental do ar (Tabela 4.1.2-1), métodos de amostragem, análise dos poluentes atmosféricos e os níveis de concentração de poluentes atmosféricos que, ultrapassados, poderão afetar a saúde humana (Tabela 4.1.2-2), a segurança e o bem-estar da população (padrões primários), bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral (padrões secundários). No ambiente de trabalho da mineração, a Portaria Nº 3214 do Ministério do Trabalho, instituiu a NR – 15, que estabelece o limite de tolerância de exposição ocupacional a poeiras minerais de manganês. Além destas, apresentam-se os valores de exposição ocupacionais estabelecidos pela ACGIH indicado na NR-9, e os sugeridos para uma exposição ambiental a poeiras minerais principalmente de ferro e manganês pela Organização Mundial da Saúde (OMS) (Tabela 4.1.2-3).

**Tabela 4.1.2-1.** Padrão Primário de Qualidade Ambiental do Ar para PTS - Resolução CONAMA Nº 003/90.

Poluente	Padrão Primário	
	Concentração ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Referência Temporal
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	80	1 ano (anual)
	240	24 horas (diária)

**Tabela 4.1.2-2.** Índices de Qualidade Ambiental do Ar (IQA) para PTS - Resolução CONAMA Nº 003/90.

Faixas do IQA	PTS [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] Média 24h	Classificação
0-50	0-80	Boa
21-100	81-240	Regular

Faixas do IQA	PTS [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] Média 24h	Classificação
101-199	240-375	Inadequada
200-299	376-625	Má
>299	> 625	Péssima

**Tabela 4.1.2-3.** Referências do conteúdo metálico nas partículas de ar para Ferro (Fe) e Manganês (Mn).

Metal	Linha Base no Ar ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Referências* ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Classificação	Referências
Manganês (Mn)	0,01-0,07 Rural - Cidade 0,5 Área Industrial	0,05 IRIS/EPA <sup>1</sup> 0,15 OMS <sup>2</sup> 200 (prop) OSHA <sup>3</sup> 5 MTA <sup>4</sup>	(NC) Não Cancerígeno	(1) IRIS/EPA: Integrated Risk Information System/ Environmental Protection Agency. (2) OMS: Organização Mundial da Saúde. (3) OSHA: Occupational Safety and Health Administration. (4) MTA: Ministério do Trabalho de Brasil. NR-15, Anexo 12 sobre limite de tolerância para poeiras minerais.
Ferro (Fe)	Não Existe <i>Muita variabilidade</i>	10 OSHA <sup>3</sup> 5 ACGIH <sup>5</sup> 5 NIOSH <sup>6</sup> 0,012 (mineração) e 0,0013 (urbana) OMS <sup>2</sup>	(NC) Não Cancerígeno	(5) ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienist. (6) NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health

#### **4.1.2.1 METODOLOGIA**

Considerando que o presente documento objetiva realizar uma avaliação da qualidade do ar nas áreas de Influência Direta (AID) e Indireta (AII) do projeto, os padrões primários da Resolução CONAMA Nº 003/90 foram usados como diretriz para estabelecer a qualidade ambiental do ar nestas duas áreas usando como indicador ambiental a concentração de PTS contida na troposfera. A informação e registros usados nesta análise foram extraídos da rede de monitoramento de qualidade do ar da VALE-MCR. Além disso, foi avaliado o conteúdo metálico do PTS especialmente das partículas com diâmetro menor que  $10\mu\text{m}$  capturadas dentro da AID com o intuito de avaliar e caracterizar a exposição populacional a poeiras minerais.

#### **4.1.2.2 HISTÓRICO DE REGISTROS DE PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO (PTS) – MONITORAMENTO VALE-MCR**

A Vale realiza atualmente o monitoramento sistemático da qualidade do ar nas áreas de Influência Direta (AID) e Indireta (AII) ao projeto incluindo o período de estiagem e chuva da região. Foram utilizados dados obtidos a partir de sete (7) estações de monitoramento equipadas com Amostradores de Grande Volume para Material Particulado em Suspensão Total (AGV/PTS) conforme descrito na Tabela 4.1.2.2-1. Destaca-se que a amostragem de partículas realizadas pela VALE nas estações de monitoramento seguiram o estabelecido na Resolução CONAMA Nº 003/90, ABNT 13.412/95 e ABNT 9547/86. A técnica consiste em passar por um filtro de microfibras de vidro, isento de impurezas e inerte, um grande volume (AGV) de ar durante 24 horas a cada 6 dias (frequência de amostragem). Destaca-se que os AGV/PTS (Energética Ltda.) usados nas estações possuem uma capacidade nominal de  $1,7\text{ m}^3/\text{min}$ , e conseguem reter partículas, em média, menores a  $50\mu\text{m}$  de diâmetro (PTS) com uma representatividade analítica aproximada de  $1,0\text{km}^2$  (Figura 4.1.2.2-1). Os resultados são expressos em microgramas de partículas em suspensão total (PTS) por metro cúbico de ar ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). A identificação das estações da rede de monitoramento da VALE-MCR é apresentada a seguir na Tabela 4.1.2.2-1. O MAPA 4.1-1 presente no Anexo 2 apresenta o mapa com a localização das estações.

**Tabela 4.1.2.2-1. Pontos de Monitoramento da Qualidade do Ar – PTS (VALE).**

Estação	Data de Amostragem	Área Influência	Local de Amostragem	UTM
AGV/PTS-1	Jan 2002 - Jan 2011	INDIRETA	Estrada Ladário/Corumbá	435035 E 7896341 S
AGV/PTS-2	Jan 2002 - Jan 2011	INDIRETA	Comunidade Previsul /Corumbá	433946 E 7897366 S
AGV/PTS-3	Jan 2002 - Jan 2011	INDIRETA	Comunidade Vitória Régia/Corumbá	433391 E 7897022 S
AGV/PTS-4	Jan- Out 2010	DIRETA	Pátio Estocagem Antônio Maria Coelho	438042 E 7865964 S
AGV/PTS-5	Jan- Out 2010	DIRETA	Escola Antônio Maria Coelho	438219 E 7865596 S
AGV/PTS-6	Jan- Out 2010	DIRETA	Porto Gregório Curvo	440988 E 7875595 S
AGV/PTS-7	Jan- Out 2010	DIRETA	Planta de Secagem (atualmente fora de operação)	452200 E 7831672 S


**Figura 4.1.2.2-1.** Exemplos dos amostradores de Grande Volume (AGV/PTS) da rede de monitoramento da VALE-MCR.

#### 4.1.2.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO (PTS) – MONITORAMENTO VEREDA

Para a amostragem de partículas do ar, foi utilizado um amostrador de médio volume (AMV/PTS, ENERGETICA LTDA) de ar durante 24 horas em cinco (5) setores dentro da AID. Foram utilizados filtros de fibra de vidro (GF1102MM) a uma vazão

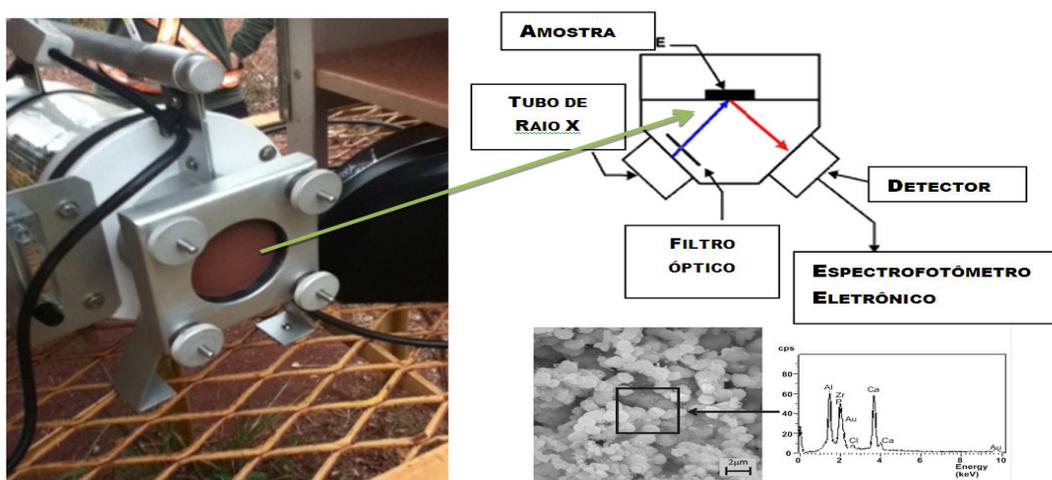
nominal de  $0,2\text{m}^3/\text{min}$  para capturar o PTS (PTS/QUIM) ambiental. A identificação das estações da rede de monitoramento executada pela Vereda é apresentada na Tabela 4.1.2.3-1 e o MAPA 4.1-1 (Anexo 2) apresenta o mapa com a localização das estações.

**Tabela 4.1.2.3-1.** Pontos de Monitoramento da Qualidade do Ar - análise química do PTS.

<b>y</b>	<b>Data Amostragem</b>	<b>Área Influência</b>	<b>Local de Amostragem</b>	<b>UTM</b>
PTS/QUIM-1	7/11/2011	DIRETA	Estrada Adutora	447558 E 7865513 N
PTS/QUIM-2	8/11/2011	DIRETA	Porto de Albuquerque	457144 E 7853960 N
PTS/QUIM-3	9/11/2011	DIRETA	Mina - MCR	440949 E 7875532 N
PTS/QUIM-4	16/11/2011	DIRETA	Escola Antônio Maria Coelho	437978 E 7865914 N
PTS/QUIM-5	17/11/2011	DIRETA	Estrada Acesso Mina	439994 E 7867552 N

A amostragem de ar seguiu as diretrizes da NBR 12085/91 sobre agentes químicos no ar - Coleta de aero-dispersores por filtração. Destaca-se que a análise de tamanho e composição química do PTS retido nos filtros do AMV/PTS foi determinada usando um microscópio de varredura (MEV) JEOL - JSM-6510LV *Scanning Electron Microscope*, acoplado a um sistema de energia dispersiva (EDS) no laboratório de engenharia de materiais da PUC-RJ. O EDS (*energy dispersive x-ray detector*, EDX ou EDS) é um acessório essencial no estudo de caracterização microscópica de materiais. Quando o feixe de elétrons incide sobre uma partícula, os elétrons mais externos dos átomos e os íons constituintes são excitados, mudando de níveis energéticos. Ao retornarem para sua posição inicial, liberam a energia adquirida a qual é emitida em comprimento de onda no espectro de raios-x. Um detector instalado na câmara de vácuo do MEV mede a energia associada a esse elétron. Como os elétrons de um determinado átomo possuem energias

distintas, é possível, no ponto de incidência do feixe, determinar quais os elementos químicos estão presentes naquele local e, assim, identificar em instantes, que mineral está sendo observado numa determinada ou em um grupo de partículas, ver Figura 4.1.2.3-1. O diâmetro reduzido do feixe permite a determinação da composição de metais em amostras de tamanhos muito reduzidos ( $< 5\mu\text{m}$ ), permitindo uma análise química da partícula quase pontual.

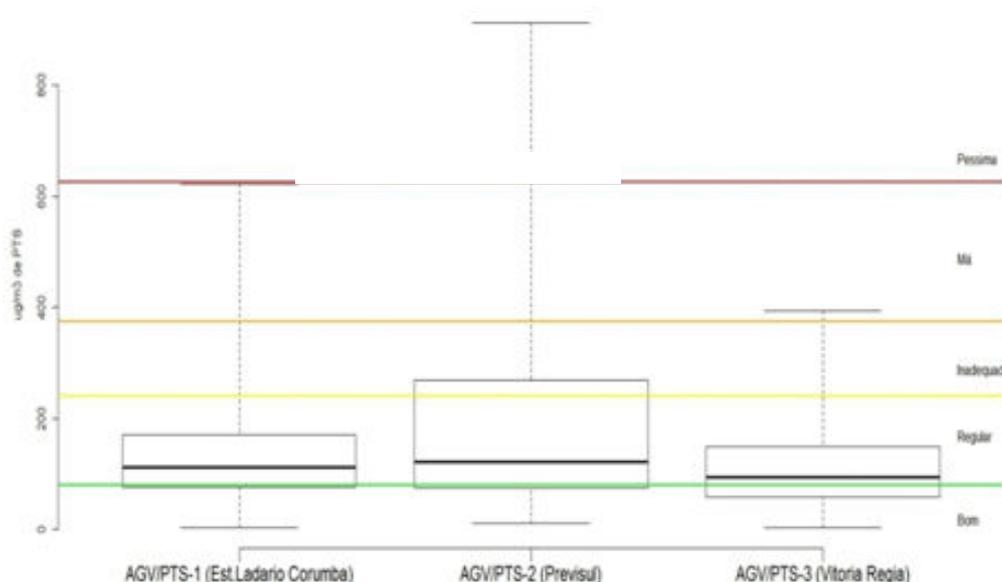


**Figura 4.1.2.3-1.** Amostrador de Partículas (AMV/PTS) e diagrama de funcionamento do analisador de partículas por MEV-EDS.

#### 4.1.2.4 ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR

##### 4.1.2.4.1 Área de Influência Indireta (AII)

A Figura 4.1.2.4.1-1 apresenta o histórico do monitoramento de PTS - Partículas Totais em Suspensão - obtido no monitoramento sistemático da Vale, considerando as estações AGVPTS-1 (Estrada Ladário - Corumbá), AGVPTS-2 (comunidade Previsul) e AGVPTS-3 (comunidade Vitória Régia) localizadas na Área de Influência Indireta (AII). Os dados referentes ao período de janeiro de 2002 a janeiro de 2011, mostram que os níveis médios de PTS (linha grossa na caixa) têm apresentando resultados dentro das referências legais para este parâmetro, com concentrações entre  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $240\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dentre os resultados obtidos, a estação AGVPTS-2 localizada na comunidade Previsul, em Corumbá, apresentou a maior variabilidade nos níveis médios de PTS, medida pelo Coeficiente de variação (% CV), conforme Tabela 4.1.2.4.1-1.



**Figura 4.1.2.4.1-1.** Variação média de concentração de PTS nas estações de AGV/PTS localizadas na cidade de Corumbá (jan/2002 até jan/2011) dentro da AII (Boxplot).

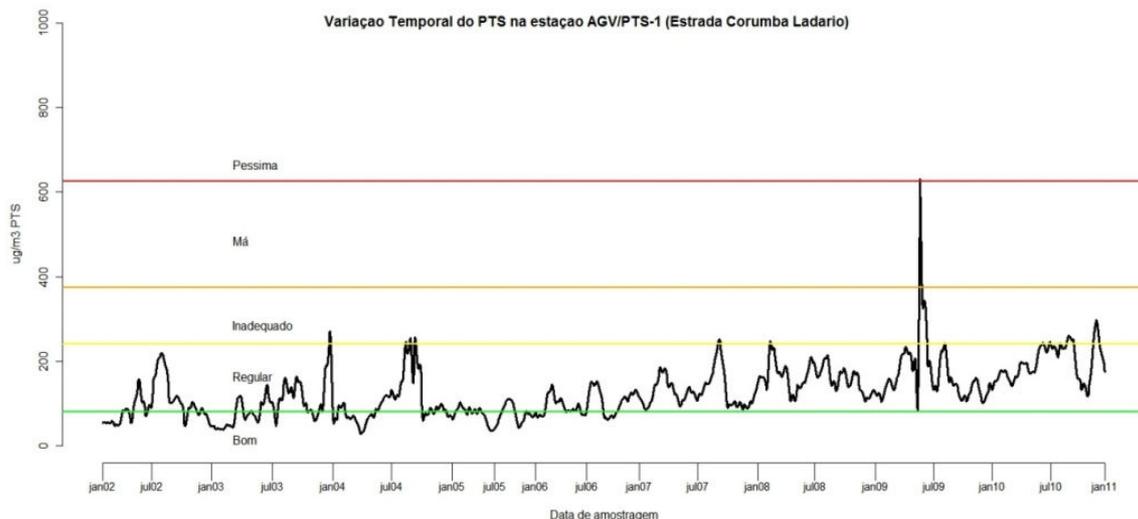
**Tabela 4.1.2.4.1-1.** Concentrações médias de PTS obtidas das estações da rede de monitoramento da VALE-MCR localizadas na cidade de Corumbá na AII.

Estação	Média (ug/m <sup>3</sup> )	Mediana (ug/m <sup>3</sup> )	Desvio Padrão	Coefficiente Variação (%CV)
AGV/PTS-1	128,72	111,96	74,40	57,7 %
AGV/PTS-2	177,34	122,00	139,99	78,9 %
AGV/PTS-3	109,56	93,69	68,61	62,6 %

As Figuras 4.1.2.4.1-2, 4.1.2.4.1-3 e 4.1.2.4.1-4 a seguir apresentam a comparação das concentrações de poluentes atmosféricos verificadas nas medições com o padrão primário de qualidade do ar estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/1990.

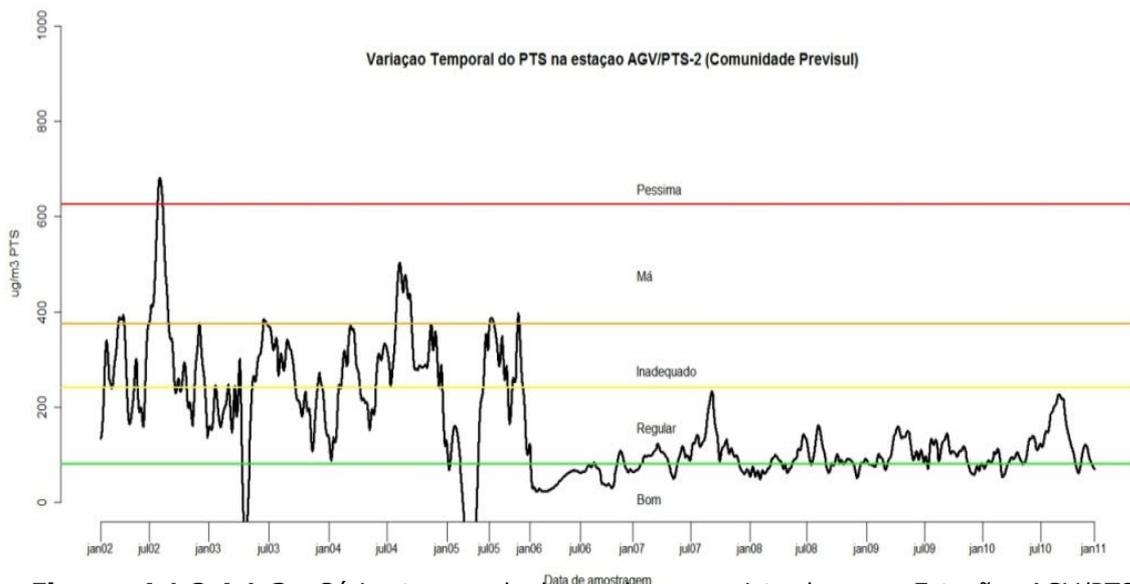
A variação temporal das três estações foi analisada separadamente, sendo possível observar um leve incremento nos meses de inverno, especialmente na Estação AGVPTS-1 que fica do lado da Rodovia Ladário-Corumbá, que captura principalmente informação do fluxo veicular. Durante o período de medição, além

da variação sazonal (inverno), existe um incremento de longo prazo no PTS, possivelmente relacionado ao aumento do tráfego veicular (Figura 4.1.2.4.1-2).



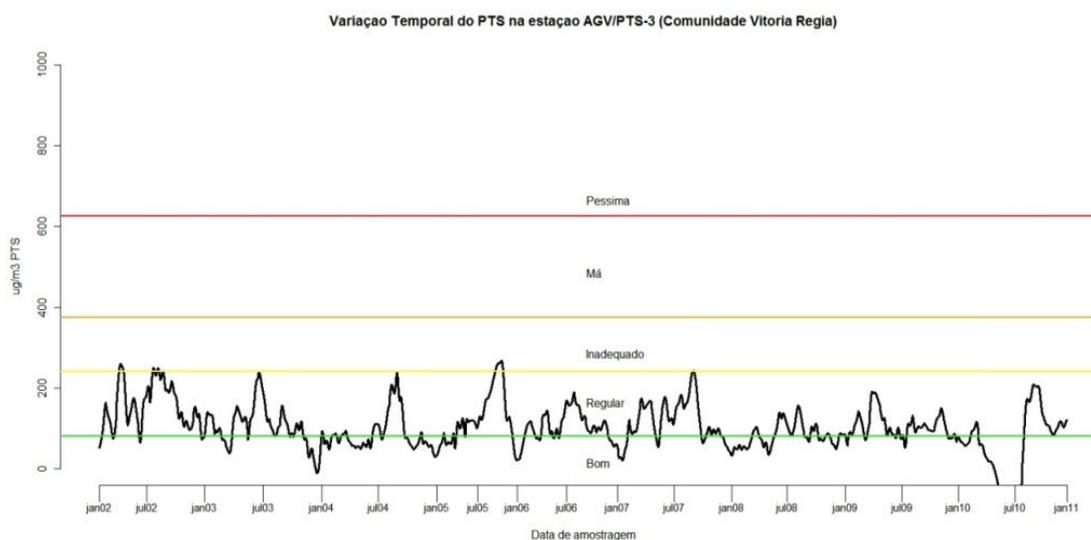
**Figura 4.1.2.4.1-2.** Série temporal dos valores registrados na Estação AGV/PTS-1, localizada na estrada Ladário-Corumbá (jan/2002 até jan/2011).

Na Estação AGVPTS-2, localizada na comunidade Previsul, observou-se grande variação nas concentrações de PTS durante o período de 2002 a 2006. Após esse período notou-se uma estabilização das concentrações com níveis inferiores  $240\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nesta estação, não foi observada uma tendência de longo prazo, e sim de curto prazo ou sazonal, com incremento em inverno (Figura 4.1.2.4.1-3).



**Figura 4.1.2.4.1-3.** Série temporal dos valores registrados na Estação AGV/PTS-2, localizada na comunidade Previsul (jan/2002 até jan/2011).

O mesmo padrão pode ser observado na Estação AGVPTS-3 localizada na comunidade de Vitória Régia, com incremento das concentrações de PTS (variações sazonais) no período de inverno, mantendo no longo prazo um comportamento estável para concentrações inferiores à  $240\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Figura 4.1.2.4.1-4). As concentrações de PTS nos locais avaliados ficaram abaixo dos limites de referência ambiental na maioria dos casos, observando-se incremento nos períodos de estiagem possivelmente relacionada à ressuspensão de partículas (baixa umidade), queima de matéria vegetal e diminuição da dispersão vertical (frente fria em altura).

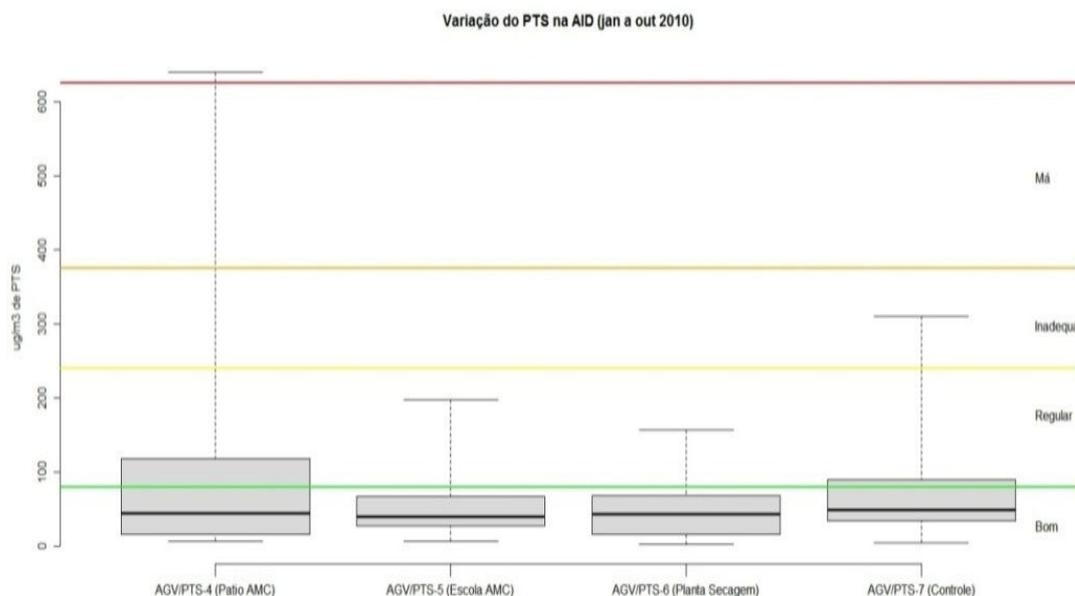


**Figura 4.1.2.4.1-4.** Série temporal dos valores registrados na Estação AGV/PTS-3, localizada na comunidade Vitória Regia (jan/2002 até jan/2011).

A variação de dados registrados na cidade de Corumbá (AII) entre 2002 e 2011 mostra duas situações, em primeiro um efeito sazonal nas três estações estudadas onde a concentração de PTS tende a incrementar durante o período de inverno, efeito da maior pressão atmosférica pelas frentes frias (inversão térmica) e sequeidão do solo gerando de forma concomitante incremento de PTS por fenômenos de ressuspensão como foi comentado na secção de clima e meteorologia. Outra situação é observada na estação AGV/PTS1, a qual mostra um claro incremento das concentrações de PTS ao longo do tempo devido ao incremento do fluxo veicular na região de Corumba-Ladario.

#### 4.1.2.4.2 Área de Influência Direta (AID)

Na Área de Influência Direta ao projeto existem quatro (4) estações de monitoramento de PTS pertencentes a rede de monitoramento da VALE-MCR. A AGV/PTS-4, localizada perto do Pátio de Estocagem-AMC, a AGV/PTS-5 localizada na Escola Antônio Maria Coelho (AMC), a AGV/PTS-6 localizada no Porto Gregório Curvo e a AGV/PTS-7 localizada perto da planta de secagem, próxima a portaria de entrada da mina. Destaca-se que devido ao tipo de informação coletada nestas estações, a qual se apresentou segmentada, não foi possível trabalhar com séries temporais, e sim com representações que avaliam a dispersão média de todos os dados registrados, técnica denominada de caixas o de *boxplot* (Figura 4.1.2.4.2-1).



**Figura 4.1.2.4.2-1.** Variação média de valores (*Boxplot*) das estações localizadas na AID e no Porto Gregório Curvo (PGC).

A Tabela 4.1.2.4.2-1 apresenta os valores médios de concentração de PTS obtidos a partir das estações de monitoramento. Os dados apresentados referentes ao período de janeiro a outubro de 2010 registram maior variação (caixa cinza) de concentração de PTS na estação AGV/PTS-4. Nesta estação localizada no pátio de estocagem AMC, ainda que os valores médios (linha preta) representem níveis de qualidade do ar considerados como BOM, a variação dos dados apresenta-se

extremamente alta, com um coeficiente de variação de 126%. As estações localizadas na Escola AMC (AGV/PTS-5) e em Porto Gregório Curvo (AGV/PTS-6) apresentam a menor variação de concentração das estações (72%, vide Tabela 4.1.2.4.2-1) ficando em nível considerado BOM. Uma situação similar é observada no Porto Gregório Curvo (AGV/PTS-6), considerando que ambas as estações ficam a 500 metros de distância. A estação de controle AGV/PTS-7, com qualidade do ar considerada BOA apresenta um maior valor médio de 77.03  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Apesar das elevadas emissões de material particulado inerentes à atividade de mineração na lavra, as concentrações de partículas totais em suspensão, nas proximidades das áreas de mineração da MCR (pátio e escola AMC), encontram-se em níveis considerados BOM segundo CONAMA 003/90, evidenciando a eficácia do programa de umidificação de vias e reflorestamento, controle ambiental usualmente empregado pela VALE.

**Tabela 4.1.2.4.2-1.** Concentrações Médias PTS obtidas das estações da rede de monitoramento localizadas na Área de Influência Direta - AID.

<b>Estação</b>	<b>Média</b> $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<b>Mediana</b> $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<b>Desvio Padrão</b> <b>(DP)</b>	<b>Coeficiente Variação</b> <b>(%CV)</b>
AGV/PTS-4	82,78	44,35	104,55	126%
AGV/PTS-5	51,37	40,50	37,38	72%
AGV/PTS-6	46,64	43,68	33,69	72%
AGV/PTS-7	77,03	48,98	72,63	94%

Para avaliar o conteúdo metálico das partículas totais em suspensão existente na AID, foi realizada a amostragem de PTS em 5 locais. Conforme Tabela 4.1.2.4.2-2. Considerando um volume de ar total de 288 $\text{m}^3$ , os valores registrados mostram que os maiores níveis de PTS foram observados na amostragem PTS/QUIM-3 (Mina) com 127,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e PTS/QUIM-5 (Estrada de Serviço) com 225,34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Já os valores de PTS medidos na estrada adutora (PTS/QUIM-1) e na área do Porto de

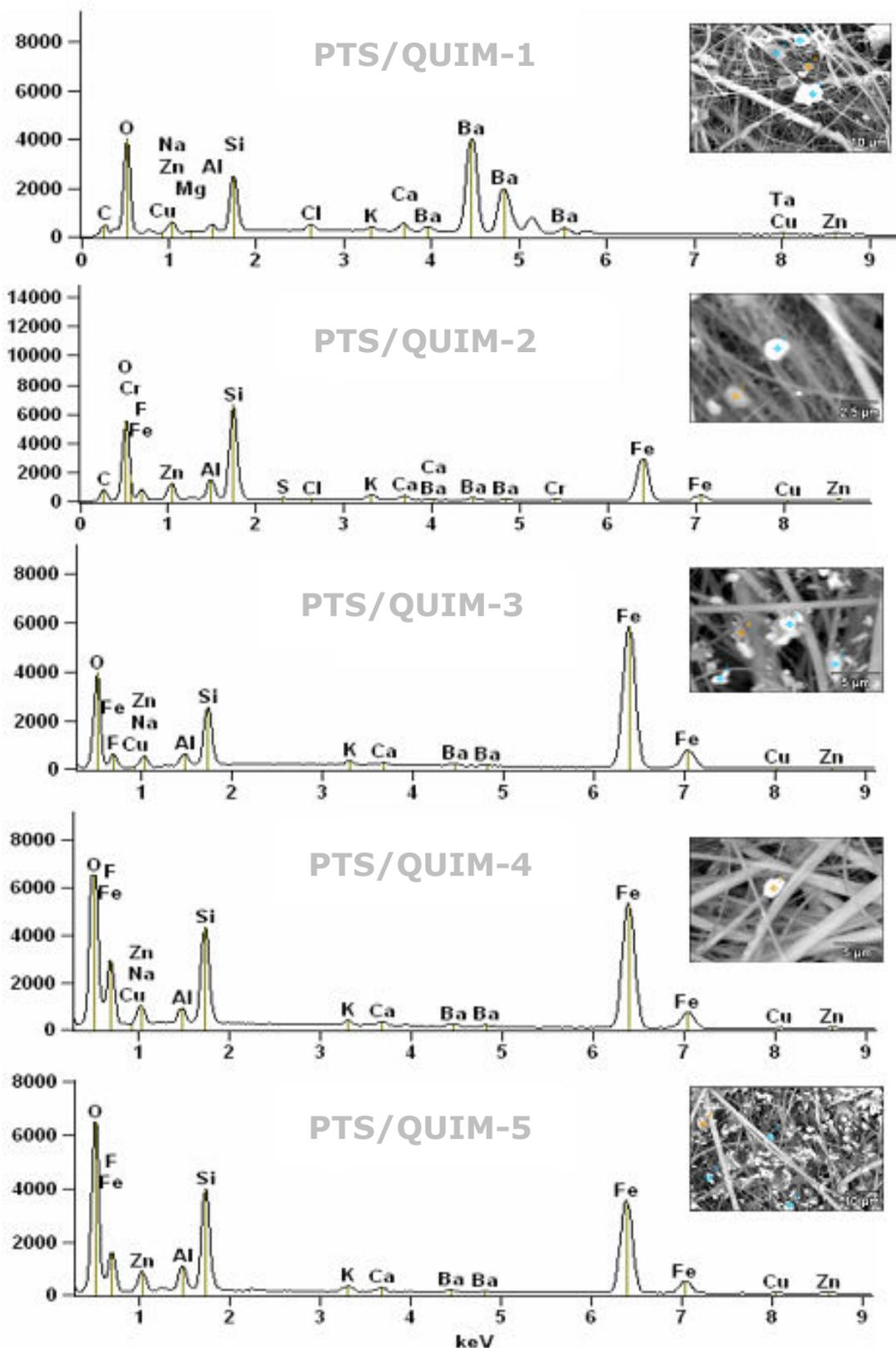
Albuquerque (PTS/QUIM-2) foram  $56,25\mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $20,13\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. O nível de  $29,51\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PTS foi observado na Escola AMC (PTS/QUIM-4).

**Tabela 4.1.2.4.2-2.** Valores médios das concentrações de PTS amostrados em locais na Área de Influência Direta - AID.

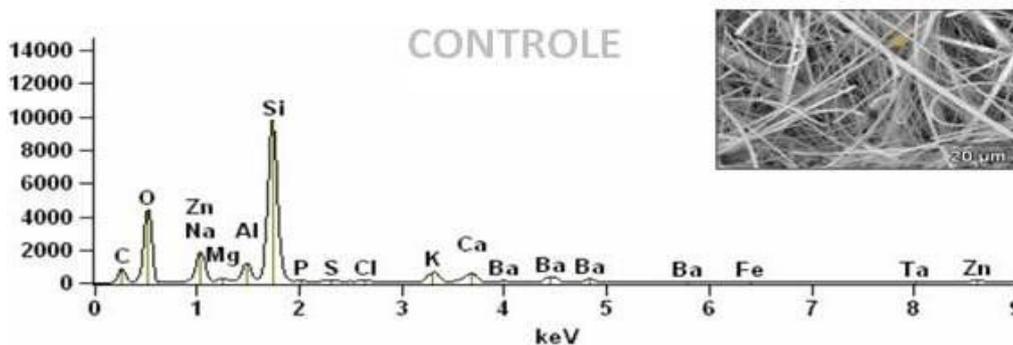
Estação	Peso I (g)	Peso F (g)	Microgramas ( $\mu\text{g}$ )	PTS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
PTS/QUIM-1	0,4232	0,4394	16200	56,25
PTS/QUIM-2	0,4285	0,4343	5800	20,13
PTS/QUIM-3	0,4169	0,4537	36800	127,77
PTS/QUIM-4	0,4280	0,4365	8500	29,51
PTS/QUIM-5	0,4246	0,4895	64900	225,34

A Figura 4.1.2.4.2-2 evidencia a análise das partículas ( $< 10 \mu\text{m}$ ) encontradas nas amostras de ar e seu perfil químico segundo local amostrado. O controle foi conformado apenas por fibra de vidro usada como filtro de partículas, a qual é abundante em óxidos de silício, bário, zinco, sódio, magnésio e alumínio (Figura 4.1.2.4.2-3).

No diagrama de dispersão de energia, na Figura 4.1.2.4.2-2, nota-se a existência de mais de um sinal por elemento contido nas partículas menores a  $10\mu\text{m}$ , indicativo da presença de diferentes metais em diferentes estados de oxidação. Desta forma, quanto mais à direita for o sinal, maior o estado de oxidação. Na amostragem, observou-se que as partículas menores a  $10\mu\text{m}$  retidas no filtro são majoritariamente ferro (Fe,  $>95\%$ ) em três estados de oxidação, Fe0, Fe+2 e Fe+3, sendo o estado +2, o de maior concentração nas partículas hidratadas. Destaca-se que as amostras de ar coletadas na estação estrada para Albuquerque, a PTSQUIM-1 apresentou elementos como bário (Ba), carbono (C) e magnésio (Mg) nas amostras, e menor presença de Fe.



**Figura 4.1.2.4.2-2.** Composição química das partículas menores que 10µm amostradas na AID.

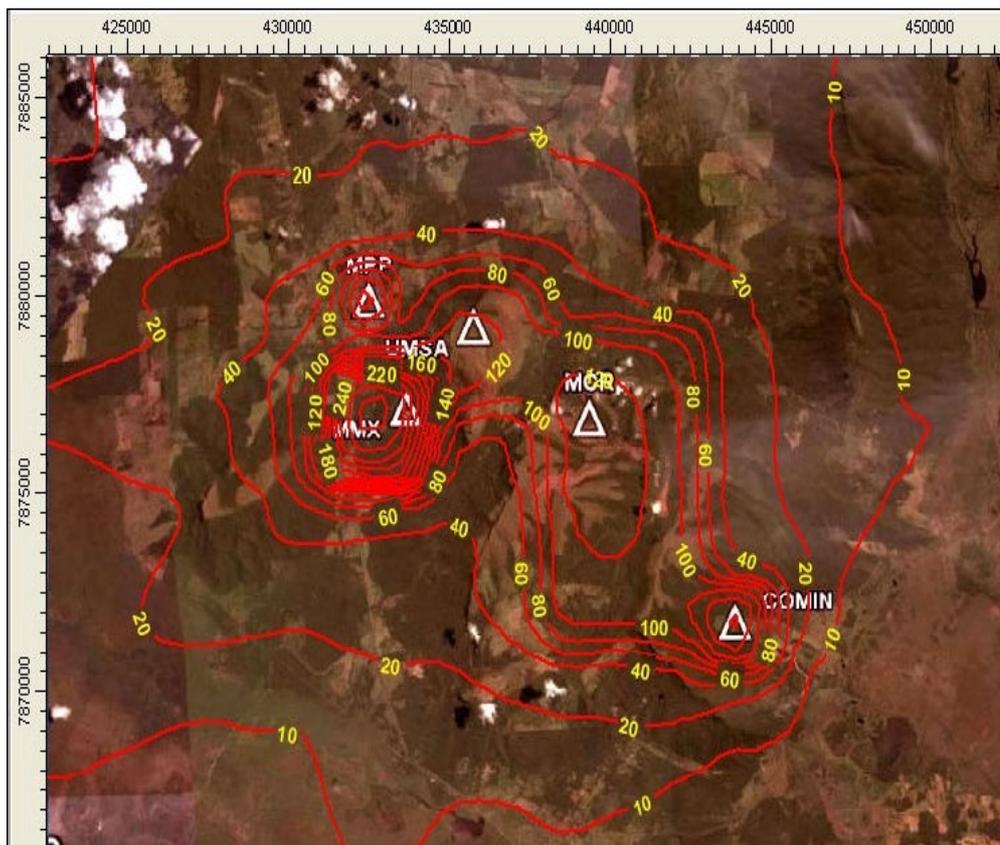


**Figura 4.1.2.4.2-3.** Composição química das fibras de vidro do filtro.

#### 4.1.2.5 MODELAMENTO MATEMÁTICO (DADOS SECUNDÁRIOS – LIMA, 2008)

O Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente (LIMA, 2008) utilizou a técnica de modelagem matemática para avaliar o impacto cumulativo das emissões atmosféricas provenientes da operação das várias mineradoras, localizadas na Borda Oeste da Morraria. Dessa forma, desenvolveu-se um estudo de simulação da dispersão de poluentes, a partir das condições atmosféricas locais e das emissões atmosféricas provenientes das várias áreas de mineração (Figura 4.1.2.5-1). Segundo Lima (2008), para uma produção de ROM de 4,47Mta/ano, a estimativa de produção de PTS para a troposfera é da ordem de 5.400ton/ano. Sob este cálculo, foi simulada a dispersão das partículas utilizando apenas um ano de dados meteorológicos horários do Aeroporto de Corumbá, considerando-se como indicador da poluição atmosférica das atividades de extração mineral a concentração de partículas totais em suspensão (PTS), por ser o material particulado o poluente característico das emissões deste tipo de atividade. O modelo de dispersão empregado foi o *Industrial Source Complex, ISC3*, desenvolvido e recomendado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA). Ao aplicar a técnica de modelagem considerou-se, conservadoramente, que toda a área reservada à atividade de extração mineral estaria sendo minerada na totalidade de seu potencial, de forma que se obtivesse a situação de capacidade máxima de emissão de material particulado. Os valores estimados de concentração de PTS foram remetidos à média anual, de forma a serem comparados ao padrão legal de qualidade do ar – 80µg/m. Os resultados obtidos para a concentração média anual de PTS alcançaram um valor máximo de cerca de 300µg/m<sup>3</sup>, cerca de quatro vezes

o citado valor de referência. Tais concentrações máximas, conforme estimadas pela modelagem, apresentam-se significativamente elevadas na área efetivamente minerada, decrescendo à medida que se distanciam das fontes de emissão, alcançando valores bem reduzidos, de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ou menos, próximo às comunidades e vias de maior movimento.



**Figura 4.1.2.5-1.** Simulação da dispersão de PTS na área das morrarias. Linhas representam concentrações de PTS  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . As concentrações estão indicadas em amarelo. Fonte: Adaptado de LIMA, 2008.

As estimativas geradas na simulação de LIMA (2008) são condizentes com os resultados obtidos neste trabalho, sendo conclusiva a classificação de qualidade de ar da região como BOA especialmente nas áreas próximas à mineração, na comunidade de Antônio Maria Coelho (AGVPTS-4 e AGVPTS-5). Segundo estudo do LIMA (2008) o incremento de PTS na região das morrarias, será diretamente

proporcional à quantidade extraída, assim como a pluma de dispersão. Recentemente, segundo previsões (LIMA, 2008), a pluma não atinge uma distância superior a 5km. Num cenário de incremento na extração de minério de até 20Mtpa nas mesmas condições, estima-se que a pluma poderia alcançar acima de 10km. Como as partículas de PTS tratam-se, notavelmente de óxidos de ferro hidratadas, seu significado de risco poderia variar conforme a exposição humana de tipo ambiental ou ocupacional. Para os limites de exposição ambiental definidos pela OMS, na AID, as comunidades estariam sobre expostas à partículas de ferro. Esta situação se contrasta ao considerar os limites de exposição ocupacional da ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienist*) e da NR-15 (atividades e operações insalubres), os valores detectados na AID estariam inclusive abaixo do limite máximo para exposição ocupacional segundo legislação brasileira. Através de Resolução específica do CONAMA, enquanto cada Estado não definir as áreas de Classe I, II e III mencionadas no item 2, subitem 2.3, da Resolução CONAMA Nº 005/89 serão consideradas de classe II, isto é, serão válidos e considerados os padrões primários de qualidade ambiental do ar estabelecidos na Resolução CONAMA Nº 003/90.

Destaca-se que os metais diferenciam-se dos compostos orgânicos tóxicos por serem absolutamente não degradáveis, de maneira que possam acumular-se no ambiente e manifestar sua toxicidade.

Recentes estudos (LIMA, I, *et al.* 2001) têm mostrado sólida evidência de relação entre os efeitos sobre a saúde humana decorrentes da inalação de material particulado em suspensão formado por metais e óxidos metálicos contidos nas partículas. No entanto, a evidência de toxicidade na exposição aos óxidos de ferro em humanos é controversa. Não se descarta que os efeitos decorrentes da exposição a partículas de ferro possam ser de tipo dérmico em população sensível, principalmente pela redução de pH que ocorre quando os óxidos se solubilizam na pele.

#### 4.1.3 NÍVEIS DE RUÍDO

A avaliação dos níveis de ruído na área de influência do Projeto de Expansão Corumbá tem por objetivo identificar os níveis de emissões sonoras na fase que

antecede a implantação e operação do Projeto e desta forma analisar o nível de ruído ambiente atual, e sua relação com os limites estabelecidos em norma. A Resolução CONAMA nº 01, de 08 de março de 1990 que estabelece os padrões, critérios e diretrizes para emissão de ruídos em território nacional referenda a Norma ABNT/NBR 10.151 - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, visando o conforto da comunidade. De acordo com a ABNT/NBR 10.151, são estabelecidos níveis de critério de avaliação de ruído para ambientes externos, de acordo com a tipologia da área considerada. Entretanto, considerando-se a área monitorada em questão, esta constitui-se em uma área mista, com propriedades rurais, porém contendo locais recreacionais (balneários e clubes) e atividades industriais.

#### **4.1.3.1 METODOLOGIA**

##### **4.1.3.1.1 Amostragem**

A avaliação dos níveis de ruído foi realizada de acordo com os procedimentos estabelecidos na norma ABNT NBR 10.151/2000 – Acústica – Avaliação de ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Seu uso é determinado pela Resolução CONAMA nº 01 de 08 de Março de 1990. O método de avaliação do nível de ruído ambiente ( $L_{ra}$ ) envolve as medições do nível de pressão sonora equivalente ( $L_{Aeq}$ ) em decibéis ponderados em "A", usualmente chamados dB(A). A ABNT NBR 10.151/2000 estabelece os Níveis Critério de Avaliação (NCA) que devem ser comparados com os níveis de ruído medidos. A especificação dos valores de NCA para cada tipo de ocupação é exibida na Tabela 4.1.3.1.1-1.

A campanha de levantamento dos níveis de ruído para o presente EIA foi realizada entre os dias 08 e 11 de novembro de 2011, com medições no período diurno e noturno. As medições ocorreram com a disposição do equipamento a uma distância mínima de 1,2m do solo e de 3,0m de qualquer superfície refletora, como árvores e edificações.

**Tabela 4.1.3.1.1-1.** NCA para ambientes externos, em dB(A).

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

Fonte: NBR 10.151 - "Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento"

Todas as medições foram realizadas em ausência de interferências audíveis advindas de fenômenos naturais, como trovões e chuvas intensas. Para a mensuração utilizou-se um medidor de nível de pressão sonora (decibímetro). O equipamento foi protegido com atenuador de ventos com o fim de minimizar as influências climáticas nos resultados. O período de integração do  $L_{Aeq}$  foi determinado em 10 minutos, tempo amostral significativo para todos os locais. O decibímetro utilizado (Figura 4.1.3.1.1-1) é da marca ICEL, modelo DL-4020, número de série DL-4020.3097. O modelo possui recursos de medição a partir do valor médio quadrático da pressão sonora, com ponderação em A, referente a todo o intervalo de medição, atendendo às especificações da norma da Comissão Eletrotécnica Internacional, IEC 60804, citada como referência na ABNT NBR 10.151/2000. O aparelho possui exatidão de  $\pm 1.5$  dB (94dB / 1KHz), resolução de 0,1 dB e apresenta certificado de calibração nº 201103315314 (Anexo 2).



**Figura 4.1.3.1.1-1.** Decibilímetro utilizado nas medições de ruído.

#### **4.1.3.1.2 Dados Complementares - Monitoramento VALE-MCR**

De forma complementar ao estudo, foram analisados os níveis de ruído medidos em campanha para atendimento ao monitoramento periódico de ruído da mina em atividade, ocorrida nos dias 20 e 21 de junho de 2011. O monitoramento é realizado pela VALE com medições de 10 minutos em cada local, em período diurno e noturno, eliminando as interferências de trânsito e outras ocorrências, não originadas pelo processo produtivo da atividade da mina. Os níveis de ruído da campanha de monitoramento foram medidos em decibéis ponderados em A (dB(A)), utilizando-se medidor de nível de pressão sonora da marca 01dB, modelo Solo, série 30324 e calibrador de nível sonoro da marca 01dB e série 35242208.

#### **4.1.3.1.3 Locais de Amostragem**

Para a estimativa dos níveis de ruído foram definidos locais de medição de acordo com a distribuição da ocupação na Área de Influência Direta (AID). Alguns locais encontram-se na Área de Influência Indireta (AII) e foram selecionados devido à existência de comunidades próximas à AID. O MAPA 4.1-2 do Anexo 2 ilustra a localização de todos os locais amostrados. Os locais de medição foram definidos de modo a refletir as condições sonoras dos receptores potencialmente críticos. Foram observadas as áreas que acompanham o traçado do Projeto e que porventura

possam sofrer incremento durante sua implantação e operação. Para definição dos locais foram considerados os seguintes fatores:

- Áreas habitadas e de movimentação de pessoas em posição geograficamente mais próximas ao Projeto;
- Estradas de acesso, devido ao aumento de tráfego de veículos;
- Locais de maior sensibilidade ao incremento ao nível de ruído.

Com base nos fatores acima citados, bem como na Resolução CONAMA nº 01 de 08 de Março de 1990 e na ABNT NBR 10.151/2000, foram selecionados os locais para o levantamento de níveis de ruído.

A Tabela 4.1.3.1.3-1 identifica os 5 locais de monitoramento periódico de ruído realizados pela VALE (M01 a M05) utilizados neste documento como fonte de dados secundários e a Tabela 4.1.3.1.3-2 apresenta a localização dos 11 locais de amostragem de níveis de ruído realizados pela VEREDA (L01 a L11).

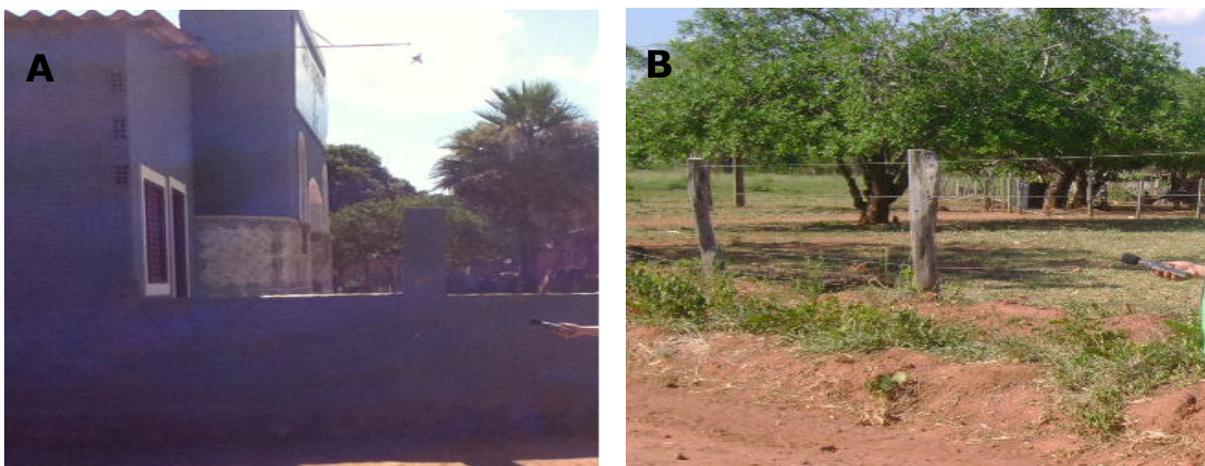
**Tabela 4.1.3.1.3-1.** Locais de Monitoramento de níveis de ruído (Vale, 2011).

ID	Localização	Coordenadas UTM	
		Leste	Norte
M01	Casario/Mangueiral.	434290	7881210
M02	Escola Municipal Castro Alves.	438042	7865957
M03	Igrejinha.	437054	7867002
M04	Posto de Abastecimento Porto Gregório Curvo.	452190	7831651
M05	Estação Férrea Porto Gregório Curvo.	452268	7831527

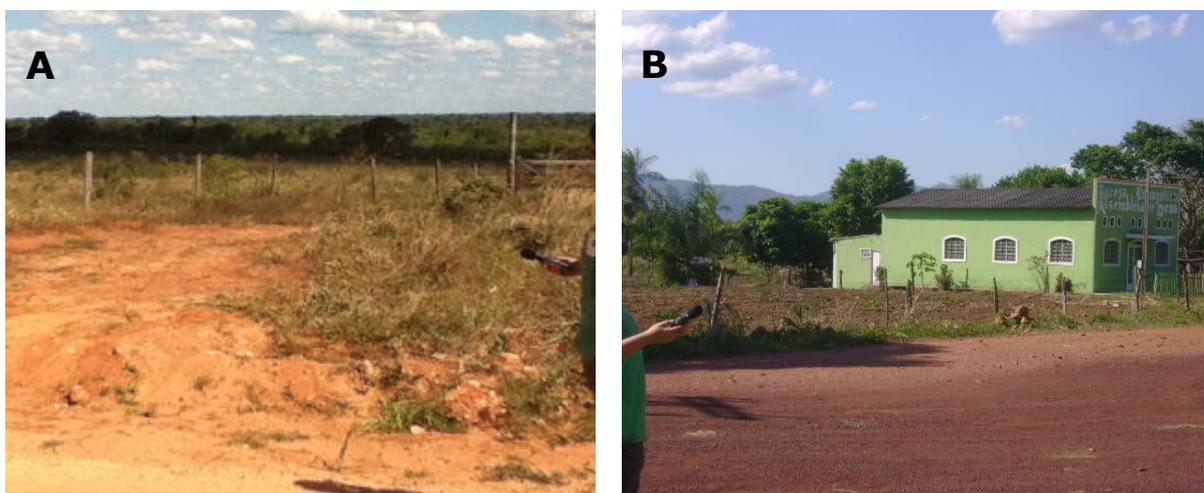
**Tabela 4.1.3.1.3-2.** Locais de Levantamento de níveis de ruído (Vereda,2011).

ID	Tipos de áreas	Coordenadas UTM	
		Leste	Norte
L01	Albuquerque – Local com poucas residências e vegetação intensa.	457120	785392
L02	Albuquerque – Área residencial pouco arborizada e de movimentação diária de pessoas.	457026	7854160
L03	Albuquerque – Escola em área residencial de movimentação diária de pessoas.	456866	7854722
L04	Albuquerque – Portal da fazenda da Vale. O local é inabitável e possui vegetação de pasto nas margens.	455041	7853994
L05	Estrada para Albuquerque – Área de pastagens e fazenda à margem da estrada.	450603	7864570
L06	Assentamento Mato Grande – Concentração de residências em uma única rua situada em área de vegetação esparsa.	449979	7865668
L07	Estrada para Albuquerque – Local com poucas habitações ao longo da estrada e vegetação esparsa.	447535	7865474
L08	Antônio Maria Coelho – Área de residências de vegetação esparsa e com estrada de terra a frente do local de medição.	436701	7866650
L09	Antônio Maria Coelho – Local junto à escola próxima ao pátio de armazenamento.	437988	7865966
L10	Antônio Maria Coelho – Ferrovia.	437905	7865833
L11	Balneário Lago Azul.	439619	7867743

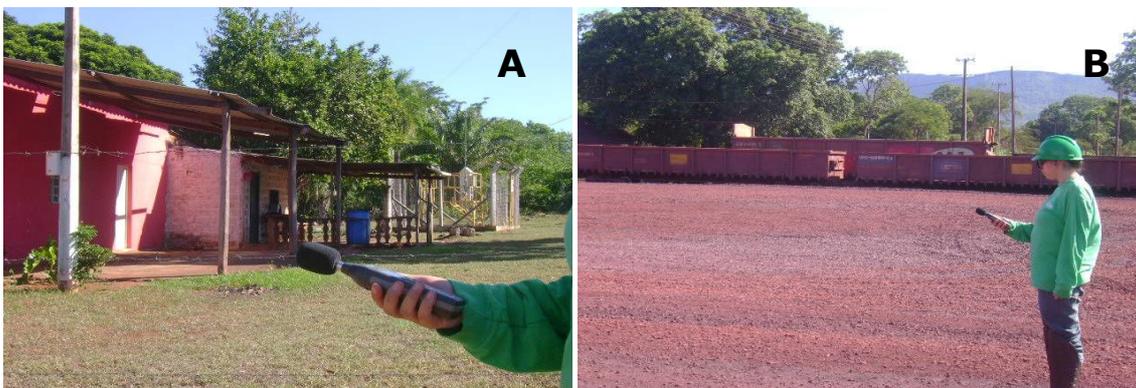
As Figuras 4.1.3.1.3-1 a 4.1.3.1.3-7 a seguir caracterizam os locais de levantamento dos níveis de ruído no entorno do Projeto.



**Figura 4.1.3.1.3-1.** Medições diurnas de ruído com uso de decibímetro em 08 de novembro de 2011. (A) Local L02, (B) Local L05.



**Figura 4.1.3.1.3-2.** Medições diurnas de ruído com uso de decibímetro em 08 de novembro de 2011. (A) Local L04 e (B) Local L06.



**Figura 4.1.3.1.3-3.** Medições diurnas de ruído com uso de decibímetro em 09 de novembro de 2011. (A) Local L08 e (B) Local L10.



**Figura 4.1.3.1.3-4.** Medições noturnas de ruído com uso de decibímetro em 09 de novembro de 2011. (A) Local L01, (B) Local L09 e (C) Local L10.



**Figura 4.1.3.1.3-5.** Medições de ruído com uso de decibímetro no local L03. (A) Medição noturna em 10 de novembro de 2011 e (B) Medição diurna em 11 de novembro de 2011.



**Figura 4.1.3.1.3-6.** Medições diurnas de ruído com uso de decibímetro em 11 de novembro de 2011. (A) Local L07 e (B) Local L09.



**Figura 4.1.3.1.3-7.** Medições diurnas de ruído com uso de decibímetro em 11 de novembro de 2011. (A) Local L01 e (B) Local L11.

#### 4.1.3.2 RESULTADOS

Os locais de monitoramentos utilizados como fonte de dados secundários da região M02 (Escola Municipal Castro Alves) e M03 (Igrejinha) localizam-se no interior da AID e AII, respectivamente, nas proximidades dos locais de levantamento L09 (próximo à escola AMC) e L08 (comunidade AMC), nesta ordem. Os locais M01 (casario), M04 e M05 (Porto Gregório Curvo), encontram-se situados fora da área de influência do Projeto, portanto, não são objeto do estudo aqui apresentado.

Durante a campanha de monitoramento foi considerado o NCA (Tabela 4.1.3.1.1-1) para Área Predominantemente Industrial, de limites de 70 dB(A) no período diurno e 60 dB(A) no período noturno. Os resultados são apresentados nas Tabelas 4.1.3.2-1 e 4.1.3.2-2 a seguir.

**Tabela 4.1.3.2-1.** Resultados das medições diurnas do monitoramento de ruído (Vale, 2011).

Local	Data	Hora	L <sub>Aeq</sub> (dB(A))
M01	20/06/2011	16:39	41,27
M02	20/06/2011	19:20	57,39
M03	20/06/2011	20:00	45,19
M04	21/06/2011	19:30	47,93
M05	21/06/2011	19:35	48,38

**Tabela 4.1.3.2-2.** Resultados das medições diurnas do monitoramento de ruído (Vereda, 2011).

Local	Data	Hora	L <sub>Aeq</sub> (dB(A))
M01	20/06/2011	22:00	37,77
M02	20/06/2011	22:22	59,55
M03	20/06/2011	22:34	44,54
M04	21/06/2011	22:48	50,09
M05	21/06/2011	22:58	49,25

De acordo com o Nível Critério de Avaliação considerado na campanha de monitoramento, todos os locais estão de acordo com o padrão estabelecido pela legislação. Embora a área alvo do projeto de expansão da mina esteja localizada em zona rural, os locais onde foram realizados os levantamentos de níveis de ruídos são constituídos de tipologias diversas, considerando a classificação NCA da

ABNT NBR 10.151/2000 (Tabela 4.1.3.1.1-1). Os locais L01, L02, L03, L06, L07, L08 e L09 foram avaliados de acordo com o NCA para áreas estritamente residenciais urbanas ou de hospitais e escolas, cujos limites são de 50dB(A) no período diurno e 45dB(A) no período noturno. Os locais L04 e L05 estão enquadrados na tipologia de áreas de sítios e fazendas, com NCA de 40dB(A) diurno e 35dB(A) noturno. O local L10 foi considerado situado em área predominantemente industrial, de limite de 70dB(A) durante o dia e de 60dB(A) pela noite.

O local L11 é localizado em um balneário, sendo classificado para este estudo como área mista, com vocação recreacional, cujos limites diurno e noturno são 65dB(A) e 55dB(A), respectivamente. Os resultados são apresentados a seguir (Tabela 4.1.3.2-3 e Tabela 4.1.3.2-4), tomando-se como base a classificação de ruído máximo admissível da NBR 10.151/2000 (Tabela 4.1.3.1.1-1).

**Tabela 4.1.3.2-3.** Resultados das medições diurnas do levantamento de ruído.

Local	Data	Hora	Duração Medida	L <sub>Aeq</sub> (dB(A))	NCA
L01	08/11/2011	14:27	10 min.	47,2	50
L02	08/11/2011	15:10	10 min.	45,6	50
L03	11/11/2011	06:10	10 min.	50,9	50
L04	08/11/2011	15:31	10 min.	41,6	40
L05	08/11/2011	16:34	10 min.	41,8	40
L06	08/11/2011	16:53	10 min.	45,1	50
L07	11/11/2011	06:40	10 min.	47,8	50
L08	09/11/2011	08:43	10 min.	52,8	50
L09	11/11/2011	07:03	10 min.	57,2	50
L10	09/11/2011	09:11	10 min.	62,1	70
L11	11/11/2011	08:03	10 min.	59	65

**Tabela 4.1.3.2-4.** Resultados das medições noturnas do levantamento de ruído.

Local	Data	Hora	Duração Medida	L <sub>Aeq</sub> (dB(A))	NCA
L01	09/11/2011	20:43	10 min.	40,5	45
L02	09/11/2011	21:05	10 min.	41,3	45
L03	10/11/2011	21:38	10 min.	42,5	45
L04	09/11/2011	21:37	10 min.	35,3	35
L05	09/11/2011	22:15	10 min.	35,4	35
L06	09/11/2011	22:42	10 min.	38,4	45
L07	09/11/2011	23:08	10 min.	40,9	45
L08	09/11/2011	23:38	10 min.	40,5	45
L09	09/11/2011	00:10	10 min.	47,8	45
L10	09/11/2011	23:55	10 min.	50,9	60
L11	10/11/2011	23:41	10 min.	48,7	55

Tomando como base a classificação de ruído máximo admissível da ABNT NBR 10.151/2000 (Tabela 4.1.3.1.1-1), os locais L04, L05 e L09 apresentaram valores um pouco acima do estabelecido pela legislação em todos os períodos de medição. Os locais L04 e L05 localizam-se em áreas de campo aberto e podem apresentar ventos de intensidade moderada a forte que podem incrementar o nível de ruído na área. O local L09 é próximo a leito de córrego e pertence a área envolta por vegetação, fatores que incrementam o nível de ruído.

Os locais L03 e L08 apresentaram valores de ruído acima do admissível na medição durante o período diurno. Estes locais estão situados em áreas urbanas com movimentação considerável de pessoas e veículos, condição que provocam aumento no nível de ruído. Os resultados mostram que as principais fontes geradoras de ruído observadas nos locais de medição são de origem natural (como sons emitidos pelo vento na vegetação e em áreas abertas, e sons gerados pela movimentação da água) e devido à movimentação mais intensa de pessoas e veículos. A norma ABNT NBR 10.151/2000 prevê que o NCA seja substituído caso o

Nível de Ruído Ambiental ( $L_{ra}$ ) seja superior ao estabelecido na Tabela 4.1.3.1.1-1. Portanto, os novos níveis critérios para avaliação de ruído válidos para a região do entorno da área proposta para o Projeto são estabelecidos na Tabela 4.1.3.2-5 abaixo.

**Tabela 4.1.3.2-5.** Novos níveis de critério de avaliação (NCA) para ambientes externos da região, em dB(A)

Tipos de áreas	Locais de Levantamento	Novo NCA (dB(A))		
		Diurno	Noturno	Referência
Áreas de sítios e fazendas	L04 e L05	41,8	35,4	$L_{ra}$
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais e escolas	L01, L02, L03, L06, L07, L08, L09	57,2	47,8	$L_{ra}$
Área mista, com vocação recreacional	L11	65	55	Tabela 1 da ABNT NBR 10151/2000
Área predominantemente industrial	L10	70	60	Tabela 1 da ABNT NBR 10151/2000

## 4.1.4 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

### 4.1.4.1 GEOLOGIA

#### 4.1.4.1.1 Metodologia

Para caracterização da geologia, considerando o contexto regional da área do Projeto Expansão Corumbá, foi feita inicialmente uma análise de dados secundários disponíveis, referentes aos estudos geológicos e geotécnicos realizados na área. De acordo com os dados e informações secundárias compilados, foi possível gerar um conhecimento integrado sobre os aspectos de relevância para a caracterização do tema geologia dentro da área de estudo regional. Desta forma, foram descritas as

principais unidades litoestratigráficas e o contexto litoestrutural da área de estudo regional.

Para a elaboração do diagnóstico ambiental da área de estudo local, os procedimentos metodológicos empregados consistiram na execução das atividades descritas abaixo:

- Compilação de Dados e Trabalho de Campo

A compilação de dados consistiu na análise crítica de bibliografias e de documentos técnicos disponíveis, com o intuito de contextualizar os dados e informações secundárias sobre geologia.

Aliando-se as informações bibliográficas e cartográficas, foi realizada vistoria técnica nos dias 31 de julho a 2 de agosto de 2011, a partir da qual foram feitas avaliações expeditas na Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA).

- Diagnóstico do Tema Geologia

Com base nas avaliações de campo, e mediante a um levantamento de dados bibliográficos, relatórios técnicos fornecidos pela Vale, foi elaborado um mapeamento geológico-geotécnico para área de influência do projeto. Estas informações foram complementadas com os dados primários coletados em campo.

De posse de informações primárias e secundárias buscou-se então a caracterização do tema geologia, apontando aspectos relacionados aos elementos tectono-estruturais significativos, aos estratos litológicos dominantes, além de outras características de interesse para análise integrada aos demais temas.

#### **4.1.4.1.2 Geologia Regional**

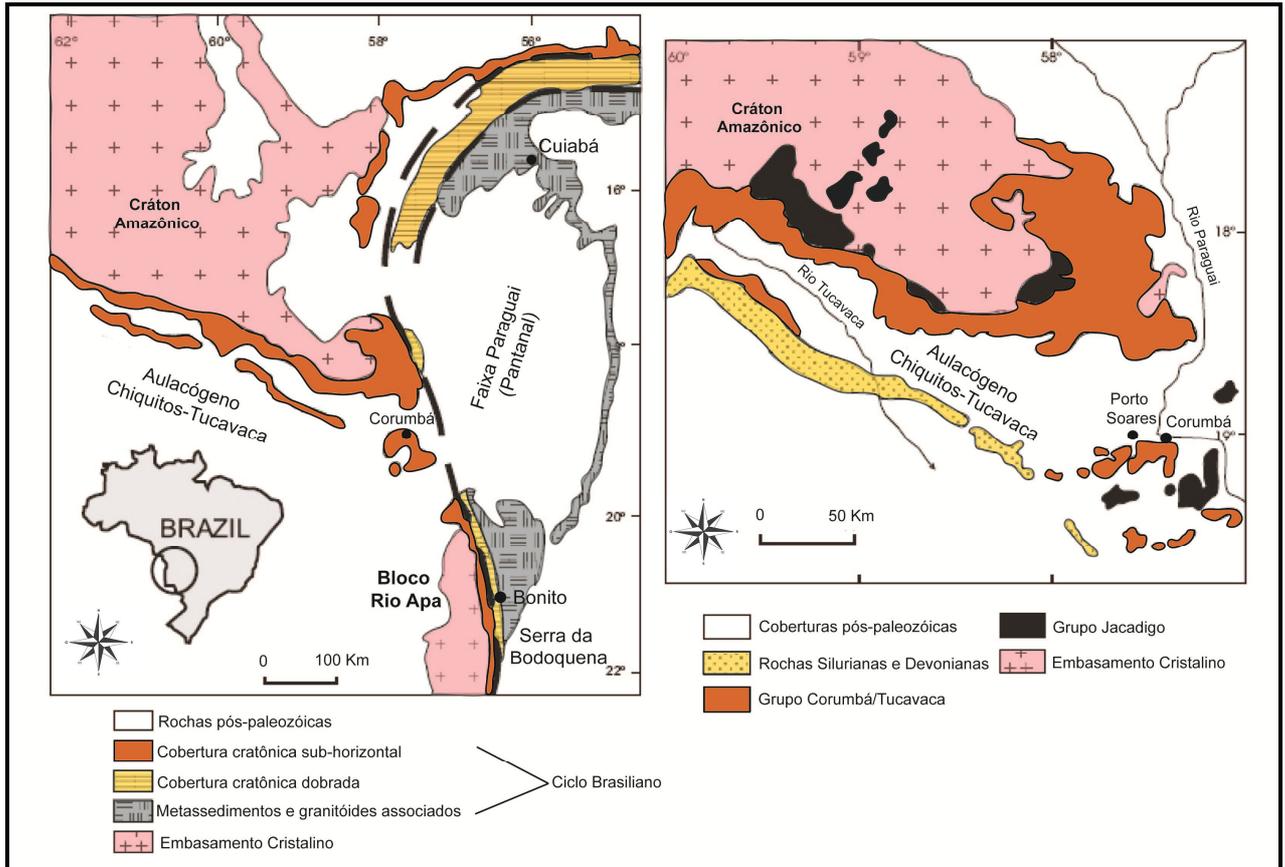
##### **4.1.4.1.2.1 Contexto Geotectônico**

A região de Corumbá está localizada próximo à junção de duas províncias brasileiras (Figura 4.1.4.1.2.1-1) o aulacógeno de Chiquitos-Tucavaca, que corta o cráton Amazonas-Bloco Rio Apa, e a Faixa Paraguai (Trompette et al., 1998). Essa junção é interpretada como sendo uma junção tríplice resultante de atividade ígnea relacionada à atividade de um hot spot em um ambiente intracratônico (Jones,

1985), originando as bacias Paraguai, norte e sul, e o aulacógeno Chiquitos-Tucavaca. A formação do aulacógeno é cronocorrelata à estruturação da Faixa Brasília (590 Ma) e à estruturação da Faixa Paraguai, que ocorreu entre 545 e 500 Ma (Trompette et al., 1998). Os dobramentos no aulacógeno são mais jovens, tendo ocorrido entre 500 e 480 Ma (Trompette et al., 1998).

A sucessão estratigráfica caracterizada na região de Corumbá está associada ao graben de Corumbá (Trompette et al., 1998). Essa estrutura, localizada a leste do aulacógeno Chiquitos-Tucavaca, apresenta direção NE-SW e largura de 10-20 km, é extensional e relacionada à flexura do cráton do Amazonas ao longo da borda oeste da bacia Paraguai (Trompette et al., 1998).

O Cráton Amazonas-Bloco Rio Apa, de idade paleoproterozóica, constitui o embasamento da região e é composto por gnaisses e xistos (Godoy et al., 2009). Segundo Haralyi & Walde (1986) na região de Corumbá ocorrem, sobre esse embasamento, rochas siliciclásticas e sedimentares químicas neoproterozóicas pertencentes aos grupos Jacadigo e Corumbá (Figura X.1). O embasamento é intrudido por rochas de natureza básica, as quais pertencem à Fm. Taquaral que, segundo esses autores, pertence ao Grupo Jacadigo. Em discordância angular sobre o embasamento encontra-se a Fm. Urucum, que é constituída por conglomerados, arenitos e arcóseos. Sobre essa, encontra-se a Fm. Santa Cruz, que por sua vez, é dividida em dois membros: Córrego das Pedras (inferior), constituído por arenitos e arcóseos com cimento hematítico, conglomerados intraformacionais, níveis de hematita bandada e lentes de minérios de manganês e o membro Banda Alta, de sedimentação química, formada por um pacote de jaspilitos, com intercalações de arcóseos, jaspe e camadas de minérios de manganês. Nesse membro, ocorrem matações de rochas provenientes do embasamento. Estudos recentes (Freitas et al., 2011) apresentam um maior detalhamento estratigráfico sobre as rochas do Grupo Jacadigo.



**Figura 4.1.4.1.2.1-1:** Mapa geológico da Faixa Paraguai e Aulacógeno Chiquitos-Tucavaca (à direita) e localização do graben Corumbá. Modificado de Trompette et al. (1998).

#### 4.1.1.1.2.2 Contexto Litoestratigráfico

Na área de estudo regional foram reconhecidas rochas arqueanas que compõem o embasamento cristalino; rochas neoproterozóicas correspondentes às sequências de coberturas plataformais; e, rochas fanerozóicas representativas de sequências de coberturas superficiais. Essas informações, coligadas e reunidas aos dados geológicos dos trabalhos anteriores de cunho regional, permitiram o estabelecimento das seguintes unidades litoestratigráficas:

- **Complexo Rio Apa (Ara)**, definido por Araújo & Montalvão (1980), é composto por terrenos granito-gnáissicos, além de xistos e anfibolitos, representando o substrato arqueano da região (GODOI et al., 2001);
- **Grupo Jacadigo (NPj)**, definido por Lisboa (1909), de idade neoproterozóica e constituído pela Formação Urucum (NPju), de Oliveira & Moura (1944), composta por grauvas, arcóseos e arenitos, que passam gradacionalmente para a Formação Santa Cruz (NPjsc), de Almeida (1945), a qual se desenvolveu em ambiente epicontinental com influências glaciais, caracterizado por arenitos arcosianos, jaspilotos hematíticos, hematita e lentes de manganês. Vale ressaltar que a proposta de Almeida (1945) para a Formação Santa Cruz engloba as formações Córrego das Pedras (NPjcp) e Band'Alta (NPjba), de Dorr II (1945), mas que motivos de escala são representadas na cartografia geológica apresentada por Godoi et al. (2001);
- **Grupo Corumbá (NPc)**, definido por Evans (1894), representado pela Formação Puga (NPcp), de Maciel (1959), unidade basal, caracterizada por paraconglomerados petromíticos; Formação Cerradinho (NPcc), de Almeida (1965), na qual observam-se alternâncias de calcários calcíticos, arcóseos, arenitos e folhelhos; Formação Bocaina (NPcb), de Almeida (1945), com predominância de calcários dolomíticos; e, Formação Tamengo (NPct), definida por Almeida (1945), unidade de topo, onde predominam calcários calcíticos com abundante conteúdo fóssilífero. A sedimentação desse grupo iniciou-se em um ambiente periglacial (Formação Puga), transicionando para costeiro a marinho profundo (Formação Cerradinho), regredindo a marinho raso de águas quentes (Formação Bocaina). O conteúdo fóssilífero permite colocar o Grupo Corumbá no Neoproterozóico (GODOI et al., 2001). Vale

ressaltar que as formações Puga e Cerradinho não ocorrem na área de estudo regional definida para este estudo;

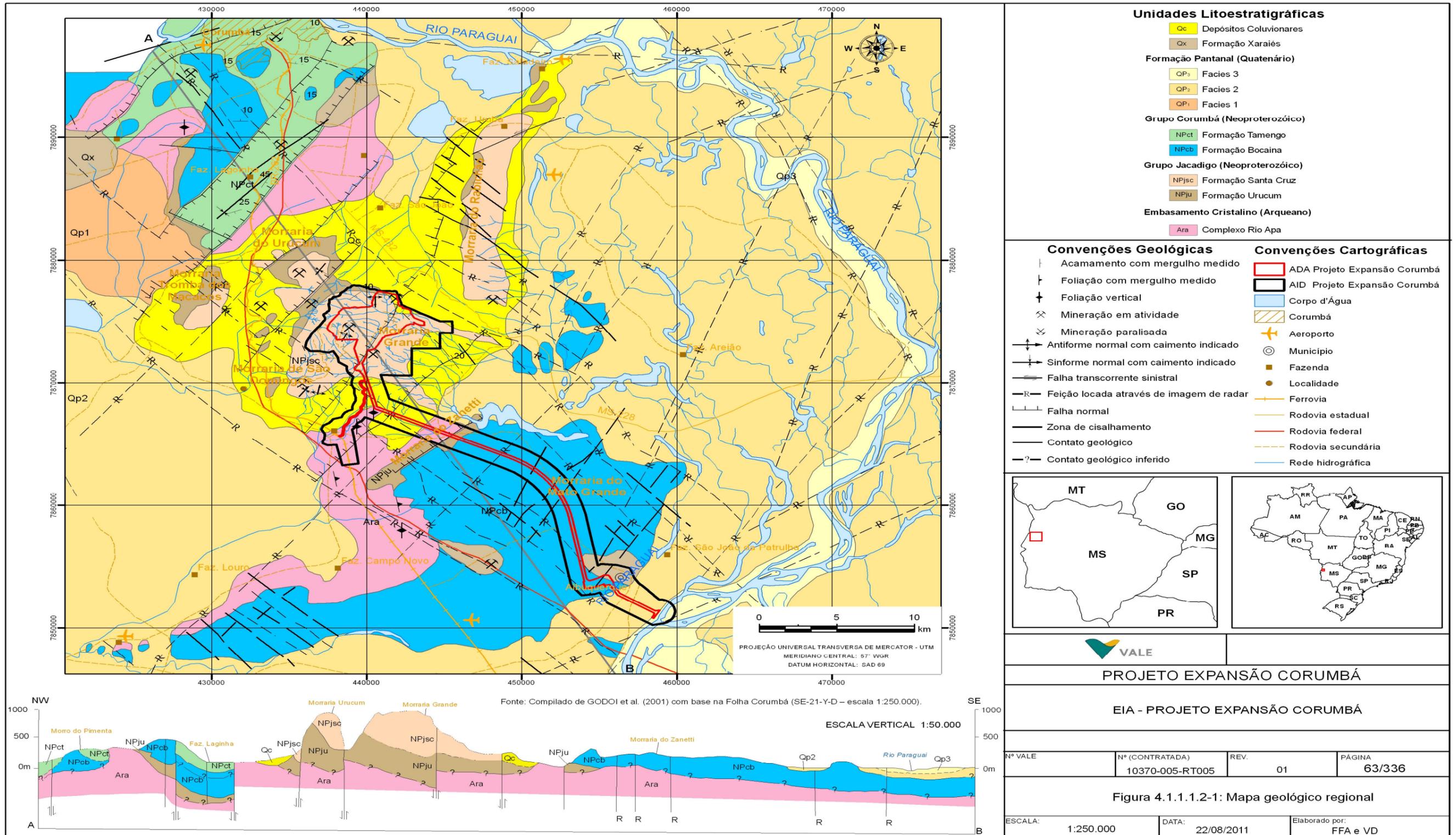
- **Formação Pantanal (Qp1, Qp2, Qp3)**, definida por Oliveira e Leonardos (1943), constituída por depósitos quaternários areno-argilosos continentais (fluviais, lacustres e/ou fluviolacustres), com a deposição iniciada com a abertura da “Depressão do rio Paraguai”;
- **Formação Xaraiés (Qx)**, definida por Almeida (1945), composta por um depósito tipo caliche, do quaternário, que é uma rocha sedimentar de carbonato de cálcio originada pela dissolução e reprecipitação de carbonatos oriundos do Grupo Corumbá;
- **Depósitos Coluvionares (Qc)**, constituídos por fragmentos, predominantemente angulosos, que vão de seixos a matacões, compostos de sedimentos ferríferos (hematita fitada, jaspilite e arcóseo ferruginoso) oriundos, principalmente, das formações Córrego das Pedras e Band’Alta (GODOI et al., 2001). Ocorrem nas bordas das morrarias do Urucum, Santa Cruz, São Domingos e Grande. Esta denominação se identifica com os depósitos detríticos (coluviões-aluviões) descritos por Del’Arco et al. (1982) e com os chamados Depósitos de Talude ou Brechas de Talude, definidos por Almeida (1945).

A coluna litoestratigráfica da área de estudo regional é apresentada na Tabela 4.1.4.1.2.1-1. Já a distribuição das unidades pode ser visualizada no Mapa Geológico Regional na Figura 4.1.1.1.2-1.

**Tabela 4.1.4.1.2.1-1.** Estratigrafia da região de Corumbá.

UNIDADE GEOCRONOLÓGICA			UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA	SÍMBOLO				DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	
EON	ERA	PERÍODO							
FANEROZÓICO	CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	DEPÓSITOS COLUVIONARES		Qc				Tálus, cones aluviais e colúvios. Fragmentos e matações de rochas com matriz areno-argilosa parcialmente laterizados.
			FORMAÇÃO XARAIÉS		Qx				Depósitos superficiais relacionados às rochas calcárias, constituídos de tufo calcários, travertinos e conglomerados com cimento calcífero.
			FORMAÇÃO PANTANAL		Q	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	Qp <sub>3</sub> - Sedimentos areno-argilosos semiconsolidados. Qp <sub>2</sub> - Sedimentos argilo-arenosos semiconsolidados. Qp <sub>1</sub> - Sedimentos areno-conglomeráticos semiconsolidados.
PROTEROZÓICO	NEOPROTEROZÓICO		GRUPO CORUMBÁ	FORMAÇÃO TAMENGO	NPct				Calcários calcíticos, por vezes brechados, com níveis oolíticos e abundante conteúdo fossilífero. Apresenta intercalações de arenitos, siltitos e folhelhos.
				FORMAÇÃO BOCAINA	NPcb				Calcários dolomíticos e calcíticos, por vezes silicificados com níveis oolíticos, intraclastos e raras estruturas estromatolíticas.
			GRUPO JACADIGO	FORMAÇÃO SANTA CRUZ  (corresponde às formações Córrego das Pedras e Band'Alta, sem representação na escala do mapa regional)	NPjsc				Formação Band'Alta (NPjba) - Jaspilitos hematíticos com intercalações de siltitos e arenitos ferruginosos, mais freqüentes no topo da seqüência. Na porção basal ocorre a intercalação com três camadas de manganês.  Formação Córrego das Pedras (NPjcp) - Arenitos arcósianos de granulação fina a média, em camadas centimétricas, bem estratificadas, exibindo níveis de cimento manganêsífero, jaspilítico ou hematítico. No topo desta seqüência ocorre uma camada de óxido de manganês, denominada de Mn-1
				FORMAÇÃO URUCUM	NPju				Arcóseos ferruginosos e/ou calcíferos, conglomerados petromíticos com matriz arcósiana, siltitos e arenitos.
ARQUEANO			COMPLEXO RIO APA		Ara				Rochas gnáissicas, ortocristalinas, de composição granítica e com anfíbolitos subordinados.

Fonte: Compilado de GODOI *et al.* (2001), com base na Folha Corumbá (SE-21-Y-D - escala 1:250.000).



### **Complexo Rio Apa (Ara)**

O Complexo Rio Apa (ARAÚJO & MONTALVÃO, 1982) representa o substrato das coberturas plataformais neoproterozóicas e coberturas superficiais quaternárias. No trabalho de Godoi *et al.* (2001), este complexo foi posicionado no Arqueano, sendo correlacionável ao Complexo Xingu.

As rochas gnáissicas constituem os espécimes de maior expressão geográfica, onde predominam biotita gnaisses, moscovita-biotita gnaisses, hornblenda-biotita gnaisses e gnaisses graníticos. Estes gnaisses, em geral, encontram-se intemperizados, apresentando coloração creme-clara. Quando pouco alterados exibem cores cinza ou rosa. Por vezes são encontrados corpos anfibolíticos, de espessuras variáveis, dispostos paralelamente à foliação dos gnaisses encaixantes.

Na área de estudo regional predominam os metagranitos. Na estrada para Maria Coelho (MS-432), aproximadamente 6,5km após o entroncamento da estrada para Albuquerque, ocorre excelente exposição de um granitóide de cor variando de cinza-clara a rósea, textura granular média a grossa, estrutura foliada, sendo constituído por quartzo, feldspato e biotita. A rocha está bastante cisalhada. O local corresponde a uma zona de falha normal, com direção N-S, que separa as morrarias Grande e Zanetti.

Os contatos com os grupos Jacadigo e Corumbá, em geral, são discordantes e erosivos, e raramente tectônicos (por falhas extensionais). Já com as coberturas superficiais recentes (formações Pantanal e Xaraiés, além dos Depósitos Coluvionares) os contatos são sempre através de discordâncias erosivas.

### **Grupo Jacadigo**

As primeiras informações sobre as rochas do Grupo Jacadigo devem-se a Fonseca (1880) que observou depósitos constituídos por óxidos de ferro e manganês capeando rochas ígneas em Urucum, próximo à cidade de Corumbá. Lisboa (1909) introduziu a denominação "Série" Jacadigo para designar os sedimentos clásticos e os depósitos ferromanganesíferos a eles associados. Almeida (1945), estudando a "Série" Jacadigo, reconheceu que a mesma era composta de duas unidades, designando a inferior de Grupo Urucum e a superior de Grupo Santa Cruz.

Posteriormente, Dorr II (1945) efetuou estudos na "Série" Jacadigo, restritos ao morro do Urucum e considerou a Formação Urucum como basal, e composta por sedimentos clásticos; dividiu a seqüência ferromanganesífera da Formação Santa Cruz em duas formações, às quais deu os nomes de Córrego das Pedras e Band'Alta.

Vale ressaltar que as formações Córrego das Pedras e Band'Alta (DORR II, 1945) não são representadas no mapa geológico de Godoi *et al.* (2001) por questões de escala. Por esta razão, Godoi *et al.* (*op. cit.*) preferiu manter no mapa a denominação de Formação Santa Cruz (ALMEIDA, 1945). Apesar disso, faz-se a descrição dessas unidades em separado.

### **Formação Urucum (NPju)**

Esta formação tem a sua seção-tipo na morraria do Urucum, a sul da cidade de Corumbá, tendo sido definida originalmente por LISBOA (1909) sob a denominação "Brécia do Urucum". Aflora em todo o maciço do Urucum, ou seja, nas morrarias Urucum, Santa Cruz, Grande, Rabichão, Tromba dos Macacos e São Domingos.

Esta formação é constituída predominantemente por uma seqüência de sedimentos terrígenos, com raras lentes de calcário intercaladas. Entre os litotipos dominam os arcóseos que exibem granulação média a conglomerática. Integram ainda a seqüência paraconglomerados, grauvas, arenitos, siltitos e localmente calcários.

Os arcóseos são, em geral, cinza-escuros, e por vezes esverdeados; possuem granulação fina a grossa, estrutura maciça, e constituem-se de quartzo e feldspato. O cimento pode ser calcífero, ferruginoso ou manganésífero. Arcóseos ferruginosos e manganésíferos ocorrem no topo da formação. Os arcóseos conglomeráticos possuem cimento calcífero e chegam a conglomerados petromíticos na parte norte da morraria Rabichão e nas morrarias Santa Cruz, Zanetti e Urucum.

Em termos de estruturas primárias são comuns nos arcóseos a estratificação gradacional e horizontes com estratificação cruzada e plano-paralela. O ambiente de deposição da Formação Urucum pode ser interpretado como continental, com esporádicas e tênues transgressões marinhas, de âmbito restrito. Ademais, coloca-se que a Formação Urucum assenta-se em não-conformidade (discordância erosiva) sobre as rochas cristalinas do Complexo Rio Apa, apresentando contatos transicionais com a Formação Córrego das Pedras.

### **Formação Santa Cruz (NPjsc)**

No trabalho de Godoi *et al.* (2001) as formações Córrego das Pedras e Band'Alta são descritas e apresentadas de maneira unificada na Formação Santa Cruz por motivos de falta de representatividade na escala de mapeamento adotada (1:250.000). Contudo, neste documento, tais unidades são descritas em separado, pois constituem o alvo de caracterizações locais mais detalhadas.

### **Formação Córrego das Pedras (NPjcp)**

A Formação Córrego das Pedras (DORR II, 1945), porção basal da Formação Santa Cruz (ALMEIDA, 1945), é responsável pelas elevações que formam o maciço do Urucum, em função direta da alta resistência de seus litotipos aos processos erosivos. Apresenta contato gradacional com a Formação Urucum que lhe é sotoposta e localmente é recoberta por sedimentos quaternários.

Os litotipos que a compõem são sedimentos clásticos vermelhos que se sobrepõem aos arcóseos conglomeráticos do topo da Formação Urucum. A seqüência começa com arenitos arcósianos de granulação fina a média, em camadas centimétricas, bem estratificadas, exibindo níveis de cimento jaspilítico ou hematítico alternados, e apresentando, localmente, estratificações cruzadas e plano-paralelas. Seguem-se em sentido ao topo e com freqüência cada vez maior, intercalações de camadas de jaspilito hematítico e hematita, até a ocorrência da primeira camada de óxido de manganês da morraria do Urucum, denominada de Mn-1.

### **Formação Band'Alta (NPjba)**

As rochas que correspondem à Formação Band'Alta (DORR II, 1945), porção de topo da Formação Santa Cruz (ALMEIDA, 1945), são representadas por camadas e lâminas de hematita e jaspe, que formam uma rocha do tipo *banded ironstone*, e por camadas e lentes de óxido de manganês intercaladas. Ocorrem, subordinadamente, camadas lenticulares de arcóseo ferruginoso, siltito, arenito quartzoso, arenito conglomerático, jaspilito e jaspilito conglomerático.

As camadas ou lentes de óxido de manganês (criptomelana) encontram-se intercaladas com arenito/arcóseo ferromanganesífero e/ou com lentes de hematita ou jaspilito hematítico, que variam em número de níveis, espessura, cor e tipo do minério. Na morraria Santa Cruz, por exemplo, foram observadas quatro camadas.

As cores são caracteristicamente escuras com tonalidades que variam de preto-cinza a preto azulado e cinza-aço, em exposições frescas. O minério que forma as camadas e/ou lentes tem aspecto uniforme. Em termos gerais, são reconhecidos quatro tipos de minério: denso, baço ou granular, cor de aço e estrutura gráfica.

### ***Grupo Corumbá (NPc)***

O nome deriva de Corumbá *Limestone*, dado por Evans (1894) aos calcários aflorantes nos arredores da cidade homônima, os quais foram observados, inicialmente, às margens do rio Paraguai, nas regiões de Corumbá, Albuquerque e Coimbra. Olivatti (1974) sugeriu a unificação dos grupos Corumbá e Alto Paraguai, sendo o nome Corumbá mantido por ser mais antigo, e relacionou-o, da base para o topo, às formações: Puga, Cerradinho, Bocaina, Araras, Raizama e Diamantino. Del'Arco *et al.* (1982), concluíram que, apesar das semelhanças das seqüências de ambos, os grupos Alto Paraguai e Corumbá devem ser considerados separadamente.

Considerando o trabalho de Godoi *et al.* (2001), o Grupo Corumbá apresenta idade neoproterozóica, dividindo-se em quatro formações: Puga, Cerradinho, Bocaina e Tamengo. Contudo, vale ressaltar que as formações Puga e Cerradinho não ocorrem na área de estudo regional, portanto não estão representadas no mapa e nem na coluna estratigráfica.

### **Formação Puga**

Sua área de ocorrência é restrita ao morro do Puga, a sudoeste de Porto Esperança, na margem direita do rio Paraguai. Apesar de não se observar a parte basal, sua espessura aparente foi estimada em 95m (Almeida, 1965). Para o topo, grada para a Formação Cerradinho, estando circundada, discordantemente, por sedimentos da Formação Pantanal. Os litotipos predominantes são paraconglomerados e tilitos com siltitos e margas subordinados. Os tilitos apresentam coloração cinzenta a roxa, matriz arenosa a argilosa. A fração rudácea é formada, predominantemente, de seixos de até 10cm de diâmetro, de granito pórfiro, gnaiss, quartzito e xisto. Verificou-se que os fragmentos de rochas apresentam características de seixos glaciais, como marcas de percussão e de compressão, e estrias. Tais rochas são extremamente duras e apresentam metamorfismo incipiente e esfoliação quando pouco alteradas.

### **Formação Cerradinho**

Em termos gerais, a formação encerra na base, conglomerados, passando a arenitos arcossianos e folhelhos. Da base da porção média para o topo ocorrem calcários e dolomitos com alternância de siltitos, folhelhos, margas e arenitos. Os arenitos arcossianos têm coloração cinza médio, passando a cinza-claro e até rosado; granulação variando de fina a muito grossa e, na base, observam-se pequenos leitos de conglomerados, mal selecionados e estratificados. Em direção ao topo, os sedimentos quartzosos diminuem em frequência e espessura, passando a pelitos intercalados nos arenitos e calcários. São, em geral, micáceos, laminados e de coloração cinza quando frescos, passando a amarelo com tons esverdeados, quando alterados. Os dolomitos, intercalados aos calcários são cinza-claro e bem estratificados em camadas pouco espessas. Os calcários, predominantes, são de cor cinza azulado ou preto-azulado, bem estratificados e apresentam veios milimétricos de calcita formando, por vezes, bolsões, exibindo estratificação plano-paralela.

### **Formação Bocaina (NPcb)**

A Formação Bocaina (ALMEIDA, 1945) é a de maior distribuição do Grupo Corumbá. Ocorre nos morros que circundam a cidade de Corumbá, nas morrarias do Zanetti, Mato Grande e Sajutá. Tem contatos transicionais com as formações Cerradinho, inferior, e Tamengo, superior. Está separada das formações fanerozóicas (Xaraiés e Pantanal) por discordância paralela ou angular. Recobre, discordantemente, as rochas do Complexo Rio Apa, e, em discordância paralela, a Formação Urucum, do Grupo Jacadigo, na parte norte da morraria Tromba dos Macacos. O contato com as formações Cerradinho, Tamengo e Urucum pode ser localmente tectônico.

Na unidade predominam calcários dolomíticos e, subordinadamente, calcários calcíticos e mármores. As rochas dolomíticas estão silicificadas, recristalizadas e localmente brechadas. A cor varia de cinza-claro a escuro. Os dolomitos exibem aspecto maciço, granulação fina a média e estratificações plano-paralela e cruzada. As camadas são tabulares, onduladas, e por vezes, em forma de cunha, tendo espessuras variáveis de 5 cm até 1m. Os mármores ocorrem sempre em áreas afetadas por falhas, e são, em geral, diaclasados, por vezes silicificados e com cores variáveis (cinza claro, branco e rosa).

A verificação de oólitos, pisólitos, marcas de onda, estratificação cruzada, sigmóides e fósseis (estromatólitos, algas e oncólitos), bem como a petrografia dos litotipos, sugerem, para a deposição da seqüência carbonática da Formação Bocaina, um ambiente marinho de plataforma rasa e águas quentes com fases de maior ou menor energia.

### **Formação Tamengo (NPct)**

Esta unidade ocorre na margem direita do rio Paraguai, no trecho que engloba as áreas urbanas de Corumbá e Ladário, no Graben da Lajinha, e ao longo da estrada para a morraria Jacadigo, até a região de Paiolzinho. A Formação Tamengo (ALMEIDA, 1945) faz contato transicional com a Formação Bocaina e está em contato discordante e erosivo sobre as rochas do Complexo Rio Apa. É parcialmente encoberta, em discordância angular ou paralela, pelas formações Xaraiés e Pantanal. Seu contato com as formações Urucum e Bocaina, bem como com os litotipos do Complexo Rio Apa, podem ser, localmente, tectônicos.

Os litotipos da Formação Tamengo constituem uma seqüência "carbonática-terrígena". Os calcários são predominantes, ocorrendo subordinadamente folhelhos, siltitos e arenitos. Foram também verificadas brechas carbonáticas de origem sedimentar e/ou tectônica. Os calcários calcíticos (calcarenitos, calcissiltitos, calcilutitos) têm cor cinza-escuro a preto e são, quase sempre, finamente cristalinos, exibindo, em geral, recristalização. As camadas são tabulares e extensas, com espessuras de até 0,30 m, ocorrendo, localmente, sob a forma de lentes, quando intercaladas nos termos pelíticos e siliciclásticos. A silicificação é menos intensa do que aquela observada nos carbonatos da Formação Bocaina. As principais estruturas sedimentares observadas são: estratificações plano-paralela, laminar e cruzada, intraclastos, marcas de onda, estilólitos, gretas de ressecamento e concreções. Os arenitos são cinza-escuros, granulação fina a média, micáceos e com cimento calcífero. Como estruturas sedimentares, essas rochas apresentam estratificação cruzada e marcas de onda que ocorrem em níveis com espessuras decimétrica, quase sempre associados aos siltitos e intercalados aos calcários. Os siltitos e folhelhos são esverdeados a amarronzados. Formam camadas e lentes intercaladas nos calcários, com pequenas espessuras, porém, podem formar pacotes com dezenas de metros.

Seu conteúdo fossilífero é o mais rico dentre as formações do Grupo Corumbá e tem sido alvo de trabalhos de vários autores que indicam possível idade neoproterozóica para essa formação (ZAINÉ, 1991). A diversidade dos litotipos e suas características indicam que os sedimentos da Formação Tamengo se depositaram em ambiente de plataforma carbonática, com oscilações do nível do mar e/ou movimentação tectônica, resultando em situações de infra-marés, até exposição subaérea com consequentes variações no suprimento de sedimentos terrígenos nos sítios deposicionais.

### **Formação Xaraiés**

A primeira definição dessa unidade deve-se a Almeida (1945). A distribuição da Formação Xaraiés na área de estudo regional é muito irregular e os depósitos ocorrem, em geral, em domínios aplainados de relevo mais baixo, recobrando, indistintamente, em discordância erosiva, litotipos do Complexo Rio Apa e dos grupos Jacadigo e Corumbá.

Os depósitos da Formação Xaraiés são recobertos em discordância paralela pela Formação Pantanal. As evidências de campo sugerem que a Formação Xaraiés é contemporânea dos depósitos de tálus e das partes inferiores da Formação Pantanal.

Almeida (1945) distinguiu nesta unidade quatro litotipos principais, com passagens transicionais entre si: tufo calcário, com vegetais; fósseis, tufo calcário leve, muito esponjoso; travertino, com gastrópodes, e conglomerados com cimento calcífero. Incluiu também, rochas estratificadas que resultaram da substituição de folhelhos da Formação Tamengo pelo calcário Xaraiés.

Ao microscópio mostrou tratar-se de uma rocha carbonática, com aspecto micrítico, nodular, peloidal, com fragmentos de rocha metamórfica e calcita espática diagenética preenchendo os vazios, sendo classificada como caliche (solo carbonático). Apresenta coloração branca, estrutura esponjosa e baixa densidade. A origem da Formação Xaraiés está diretamente relacionada com os processos intempéricos atuantes sobre as litologias carbonáticas preexistentes.

### **Formação Pantanal**

Oliveira & Leonardos (1943) deram o nome de Formação Pantanal aos depósitos aluvionares do pantanal, constituídos arenitos e argilas. Correa et al. (1976) subdividiram a Formação Pantanal em três unidades, sendo que a mais antiga, Qp1, representa a planície aluvial antiga, com sedimentos de natureza arenosa e conglomerática; a segunda, Qp2, aflorante nas zonas alagáveis do pantanal, mais argilosa; e a terceira, Qp3, é restrita às calhas dos principais drenos da planície, sendo predominantemente areno-argilosa.

A Unidade Qp1 se estende próximo às áreas de topografia mais elevada, apresentando-se quase sempre livre das cheias, mesmo nos períodos de maior inundação da planície. É constituída de depósitos colúvio-aluvionares portando sedimentos grosseiros, classificados como arenitos conglomeráticos ou conglomerados polimíticos, de coloração pardacenta variada, semiconsolidados, bastante porosos, sem estrutura planar aparente, compostos predominantemente de fragmentos angulosos de rocha e quartzo, pouco trabalhados e mal selecionados, cimentados por material ferruginoso, e possuindo, principalmente matriz composta por argilas caulínicas.

A Unidade Qp2 é formada por depósitos fluviolacustrinos e corresponde à parte periodicamente alagável da planície pantaneira, sendo, portanto, a unidade de maior distribuição geográfica desta formação. Predominam sedimentos argilo-arenosos pardacentos, semiconsolidados, porosos, cimentados por material ferruginoso, macroscopicamente homogêneo, exibindo estratificação incipiente.

A Unidade Qp3 corresponde aos depósitos aluvionares essencialmente fluviais, restritos às margens e calhas dos principais rios da planície do pantanal, destacando-se, os rio Paraguai.

O ambiente de sedimentação da Formação Pantanal, cuja deposição vem continuamente se processando, é continental, dos tipos fluvial, lacustre e fluviolacustre. À época do início da sedimentação, concomitante à abertura da "Depressão do Paraguai", predominava na região um clima semi-árido.

### **Depósitos Coluvionares (Qc)**

Segundo Godoi *et al.* (2001), a denominação de “Depósitos Coluvionares” se identifica com os depósitos detríticos (coluviões-aluviões) descritos por DEL'ARCO *et al.*, (1982) e com os chamados Depósitos de Talude ou Brechas de Talude, definidos por Almeida (1945).

Estes depósitos ocorrem circundando o maciço do Urucum: morrarias Urucum, Tromba dos Macacos, Santa Cruz, São Domingos, Grande, Rabichão e a serra do Jacadigo. Estão confinados entre a base das escarpas e as áreas dos sedimentos das formações Xaraiés e Pantanal, apresentando contato transicional com a primeira e discordante com a segunda. Recobrem, em não-conformidade, os litotipos do Complexo Rio Apa e da Formação Urucum. A espessura é muito variável, podendo chegar a mais de 15 m, como se observa na mina Laís, parte sul do morro Urucum. Almeida (1945) refere-se a espessuras da ordem de até 20 m.

Os depósitos são constituídos por fragmentos, predominantemente angulosos, que vão de seixos a matações, compostos principalmente de sedimentos ferríferos (hematita fitada, jaspilite e arcóseo ferruginoso) derivadas da erosão das formações Urucum e Band'Alta, expostas nas escarpas que limitam estas morrarias. Localmente, podem estar recobertos por solos vermelhos a marrom-escuro, de caráter argilo-silto-arenoso e ferruginoso, ocorrendo, também, blocos e matações soltos, comprovando que os processos intempéricos continuam atuando sobre as escarpas. Os fragmentos distribuem-se caoticamente, observando-se, entretanto, uma diminuição de tamanho proporcionalmente ao aumento da distância da base das escarpas. Como se trata de um relevo de evolução muito recente, estes blocos não são encontrados a distâncias maiores que 3 quilômetros a contar do pé das morrarias. Recobrem, em não-conformidade, as rochas do embasamento e aquelas da Formação Urucum. Sua espessura é extremamente irregular; conforme mostrado pelas exposições existentes na região, situando-se a média em algo entre 5 e 10 metros.

A idade atribuída como sendo quaternária antiga segundo Del'Arco *et al.* (1982), relaciona-se às fases erosivas que devem ter atuado na região, após a abertura da “Depressão do rio Paraguai” e à natureza dos sedimentos, quase sempre colúvio-aluviais.

A formação destes depósitos se constitui num processo ainda em evolução, portanto muito imaturo, já que continuamente desprendem-se blocos e fragmentos das encostas. O colúvio é totalmente inconsolidado, solto, movimentando-se encosta abaixo por deslizamento. Constitui-se em clara evidência deste fenômeno o fato das árvores mais velhas e maiores apresentarem troncos inclinados, ao passo que as árvores mais novas ainda têm seus troncos verticalizados.

A geologia da área em discussão é amplamente dominada por este tipo de depósito, que recobre integralmente as encostas da morraria da Tromba dos Macacos. É esperado que este colúvio apresente características conforme mostradas na Figura 4.1.4.1.2.1-2, onde é ressaltada a aleatória e comum presença de grandes blocos de jaspilito.



**Figura 4.1.4.1.2.1-2.** Aspecto dos colúvios que recobrem as encostas das morrarias constituídas por rochas do Grupo Jacadigo.

#### **4.1.4.1.2.2 Contexto Litoestrutural**

Em termos litoestruturais, Godoi *et al.* (2001) reconheceram e caracterizaram três domínios tectono-estruturais na região (Figura 4.1.4.1.2.2-1). Quais sejam: 1) Fragmento Cratônico (Núcleo Antigo), representado pelas rochas do Complexo Rio Apa; 2) Sequências de Coberturas Plataformais, representadas pelos grupos Jacadigo e Corumbá; e, 3) Sequências de Coberturas Superficiais, representadas pelas formações Xaraiés e Pantanal, além dos Depósitos Coluvionares.

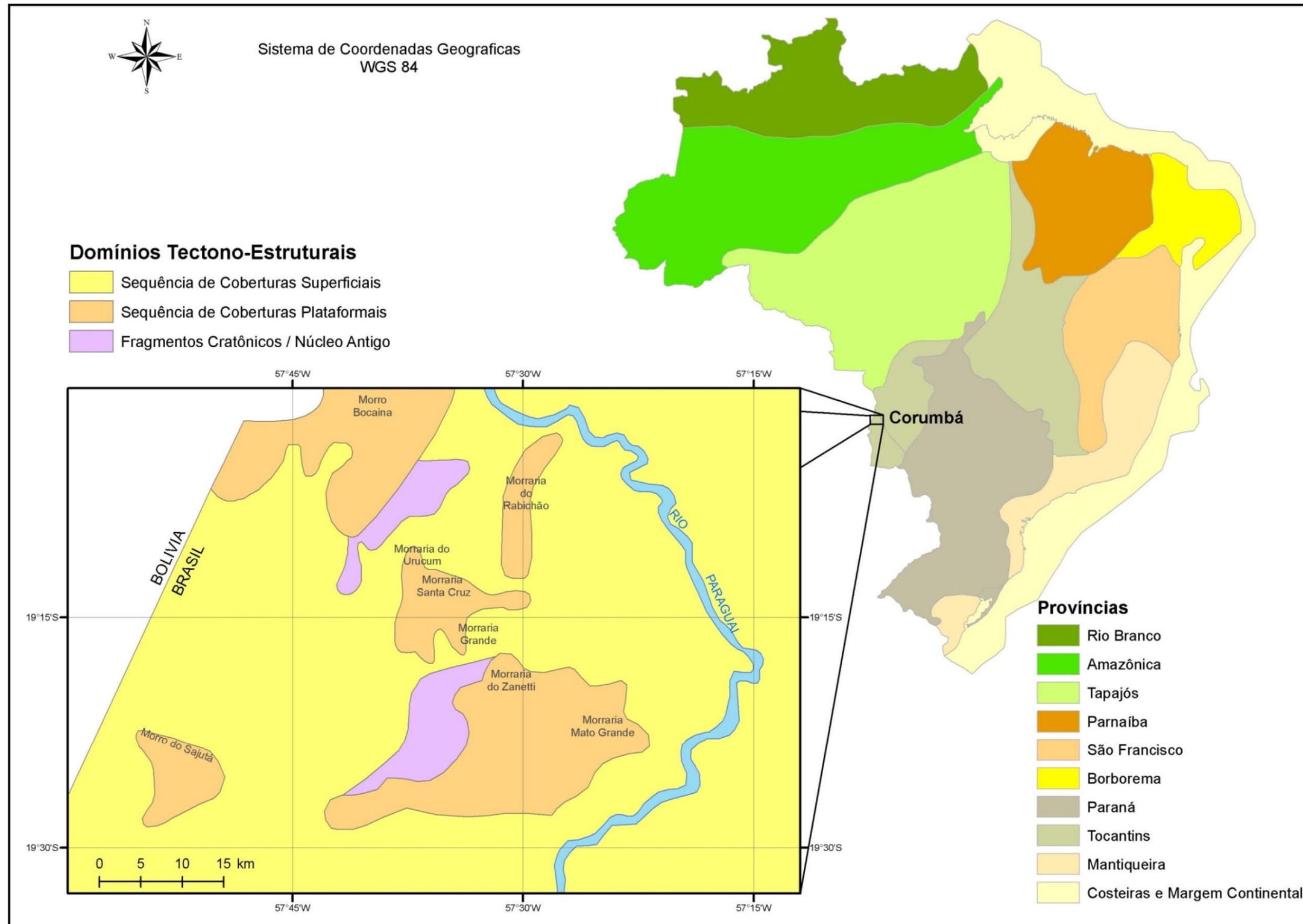
##### **Fragmento Cratônico**

Porção representada pelo Complexo Rio Apa que forma o substrato cristalino das demais unidades e provavelmente faz parte de um núcleo antigo, a sul do Cráton Amazônico. Este domínio acha-se caracterizado por uma tectônica dúctil-rúptil de baixo a médio ângulo, expressa através de zonas de cisalhamentos contracionais com componente oblíqua e marcadas por faixas miloníticas com espessura hectométrica a quilométrica. Exibe foliação milonítica, com direção submeridiana a NE/SW com mergulhos oscilando de 20 a 60 graus para /SE, como observado a sul da morraria do Rabichão e entre as morrarias do Urucum e Santa Cruz.

##### **Sequências de Coberturas Plataformais**

Compreendem as rochas clástico-carbonáticas e clástico-ferromanganesíferas dos grupos Corumbá e Jacadigo. As feições estruturais impressas nos grupos Jacadigo e Corumbá resultaram de uma tectônica rúptil extensional com larga formação de estruturas tipo *horst/graben*, dispostas segundo falhas normais subverticais orientadas segundo N30°-50°E. Essas estruturas são mais evidentes nos dolomitos, arcóseos e jaspilitos, exibindo, em geral, mergulhos subverticais.

Observam-se expressivos alinhamentos estruturais regionais, orientados N45°W, constituindo a falha transcorrente oblíqua do Forte Coimbra, que é paralela e apresenta movimentos conjugados à falha transcorrente do Porto da Manga. A atuação conjugada dessas falhas transcorrentes propiciou a geração e formação da



Fonte: Compilado de ALMEIDA (1977) e GODOI et al. (2001).

Bacia Jacadigo e parte da Corumbá, com características tectono-estruturais e deposicionais parecidas às do tipo *pull-apart*.

Também foram observadas neste domínio amplas dobras antiformais e sinformais de amplitude quilométrica, com superfície axial vertical, eixo E-W/subhorizontal (morraria Jacadigo), eixo N30°E/subhorizontal (morraria Urucum) e eixo aproximado N20°E/subhorizontal (morraria Santa Cruz), formando, às vezes, pequeno arqueamento voltado para sul, subortogonais às falhas transcorrentes principais (Forte Coimbra e Porto da Manga).

Essas dobras foram geradas em razão dos esforços transtensivos que atuaram durante a deposição e fechamento dessa bacia, ocasionando, também, a formação de falhas extensionais normais e com componente oblíqua, com direção predominante N30°E, gerando estruturas em graben subortogonais às falhas transcorrentes principais.

Ligadas a este domínio tectônico, são descritas algumas estruturas mais proeminentes no Maciço do Urucum e adjacências (morrarias: Urucum, Tromba dos Macacos, Santa Cruz, São Domingos, Grande e Rabichão). Estas morrarias foram afetadas por um conjunto de falhas normais de direções variando entre N30°E e N50°E. Essas falhas, em geral, acham-se encobertas por depósitos de tálus, sendo que a de maior expressão ocorre no vale do córrego Band'Alta, entre as morrarias do Urucum e Santa Cruz, onde apresenta orientação N50°E, com mergulho subvertical e um rejeito aproximado de 300 m.

O conjunto de falhas em forma de "teclado" compartimentou o Maciço do Urucum em blocos, que estão basculados, geralmente com os bordos NE adernados, constatados nas camadas dos grupos Jacadigo e Corumbá, originalmente horizontais a subhorizontais, mergulhando com valores variáveis, ora para NW ora para ESE, como observado nas morrarias do Urucum e Tromba dos Macacos. As morrarias Rabichão, Santa Cruz, Grande e São Domingos apresentam mergulhos das camadas, em geral baixos, em torno de 10 a 20 graus, variando de NE para SE.

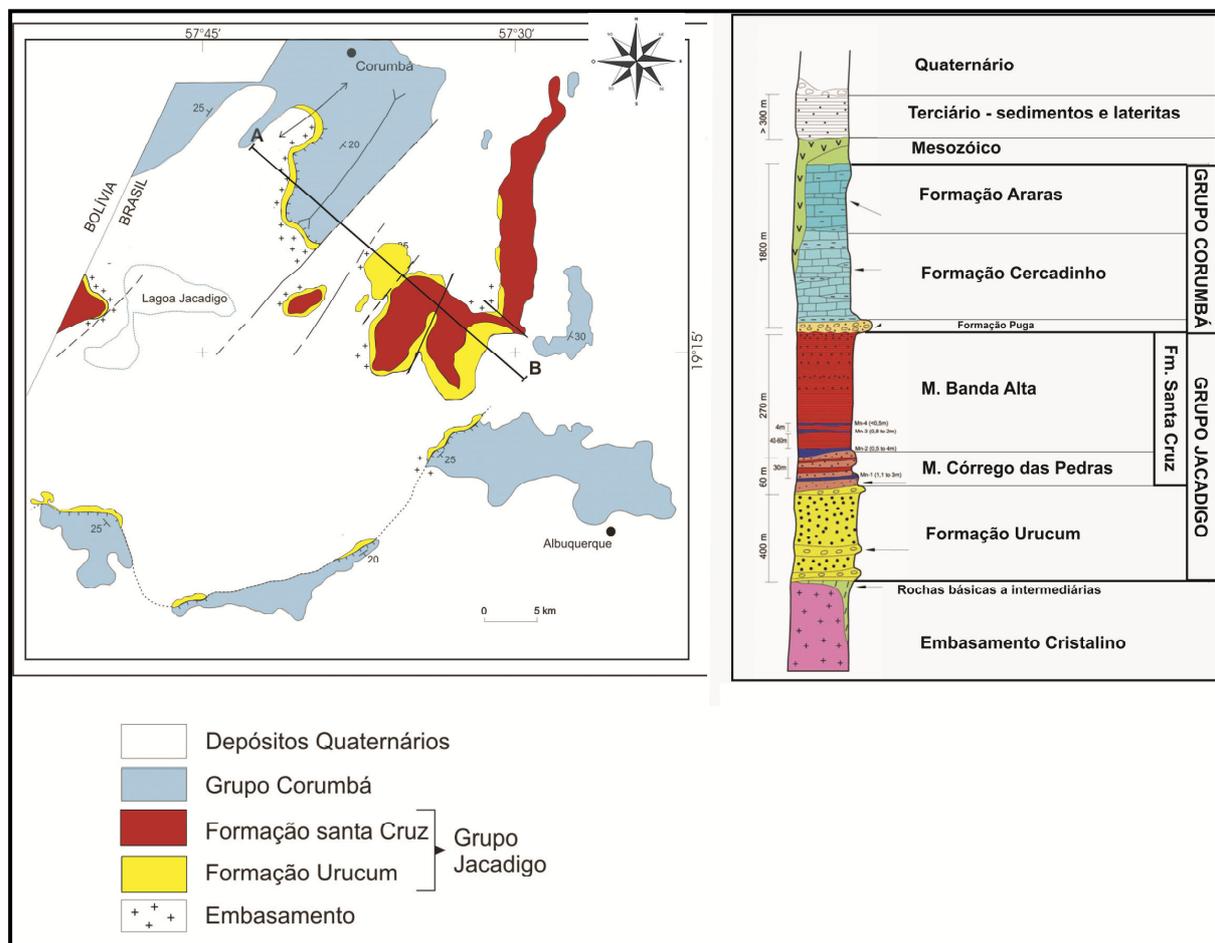
### **Sequências de Coberturas Superficiais**

O arcabouço tectono-estrutural original dessas coberturas superficiais é atribuído a um sistema de falhas de direção submeridiana, caracterizado grosseiramente pelo traçado regional do rio Paraguai, como traço marcante da Formação Pantanal. Grande parte das estruturas registradas nas rochas subjacentes é refletida nos sedimentos que constituem a planície pantaneira.

As observações mostram que os rios que drenam a região revelam uma direção preferencial NE-SW e outra WE, aproximadamente. O rio Paraguai evidencia o perfeito condicionamento de seu traçado à reativação de antigas falhas regionais (proterozóicas), refletidas pela distribuição de sua planície no Pantanal. Algumas dessas falhas contribuíram na configuração da paleogeografia.

## Ambiente Depositional

A Figura 4.1.4.1.2.2-2 mostra a distribuição dos Grupos Jacadigo e Grupo Corumbá.



**Figura 4.1.4.1.2.2-2:** Mapa geológico e coluna estratigráfica da região de Corumbá. Fonte: Modificado de Trompette et al. (1998) e Möller (2004).

A sedimentação das unidades estratigráficas inferiores é relacionada a uma tectônica extensional em sistema de graben (Trompette et al., 1998), em ambiente glacio-marinho relacionado à glaciação Varangiana (Haraldy & Walde, 1986; Alvarenga & Trompette, 1992; Boggiani & Coimbra, 1996). A presença de diamictitos, junto à ocorrência de clastos estriados e blocos pingados, têm reforçado essa interpretação paleoambiental para a região (Alvarenga & Trompette, 1992). A deposição da Fm. Araras, tendo ocorrido após a sedimentação dos diamictitos, estaria provavelmente relacionada ao fim do período glacial, marcando uma transgressão pós-glacial (Alvarenga & Trompette, 1992).

Os depósitos de Fe e Mn pertencentes ao Grupo Jacadigo estão intimamente relacionados ao contexto extensional do locus deposicional (Trompette et al., 1998; Dardenne, 1998). A mineralização estaria relacionada à precipitação de Fe e Mn e da sílica a partir de fluidos hidrotermais exalativos (tipo SEDEX), oriundos das circulações convectivas resultantes da tectônica extensional. Esses elementos seriam resultantes da lixiviação de rochas plutônicas máficas (Trompette et al. 1998). A precipitação do Mn, Fe e sílica estaria relacionada à variação das condições de Eh sob a influência de correntes marinhas em uma bacia restrita, parcialmente protegida da atmosfera pelas extensas capas de gelo (Rosière & Chemale, 2000).

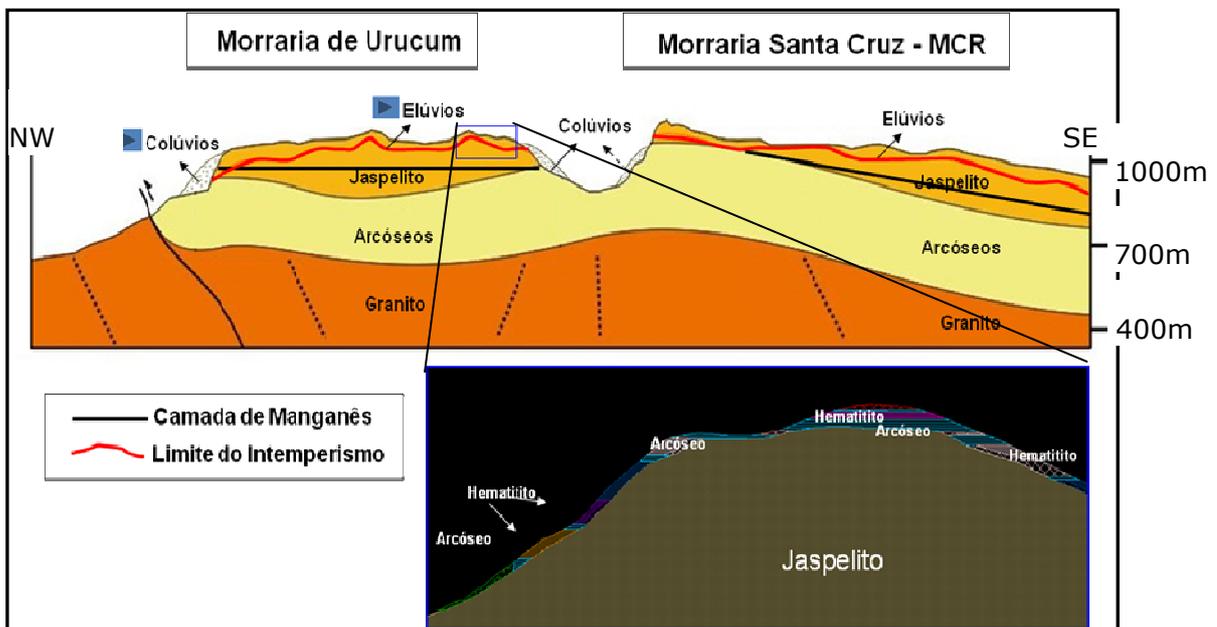
As formações ferríferas, são classificadas como do tipo Rapitan (James, 1983), devido à sua relação com sedimentos glaciogênicos. A precipitação da hematita teria ocorrido em períodos inter ou pós-glaciais, já que o derretimento das capas de gelo permitiria a oxidação do material em solução (Klein, 2005). Análises geoquímicas realizadas nessas formações ferríferas corroboram a origem glaciogênica dessas rochas, comparando-se com outras ocorrências mundiais de idade neoproterozóica (Klein & Ladeira, 2004). Essas formações ferríferas são menos abundantes em relação às formações paleoproterozóicas do tipo lago superior (Klein, 2005).

#### 4.1.4.1.3 Geologia Local

No contexto da geologia local observa-se na área minério de ferro *in situ* e depósitos coluvionares ricos em ferro, oriundos do processo erosivo sobre as escarpas das morrarias.

Quando *in situ*, o minério é proveniente da lixiviação da sílica dos jaspilitos, facilitada por vários aspectos, sendo os mais importantes o alto grau de fraturamento dessas rochas e a inclinação do acamamento que pode chegar até 15° para SE. Em certas áreas, como na Morraria de São Domingos, onde o mergulho das camadas é muito baixo ou mesmo nulo, não há grande espessura de minério, e o jaspilito pode ser encontrado a poucos metros de profundidade. Nas demais áreas, a espessura do manto lixiviado (mineralizado) tem média de 12m podendo chegar a 30m.

De uma espessura de até 300m, do pacote ferrífero, atualmente só o manto mineralizado com espessura variando de 10-30m, pode ser técnico e economicamente explotado (Figura 4.1.4.1.2.3-1). O manto mineralizado é formado pela sucessiva passagem de água meteórica pelos jaspilitos, removendo-lhe a sílica e conseqüentemente aumentando, relativamente os demais elementos, o teor em ferro, que pode ultrapassar 68%.



**Figura 4.1.4.1.2.3-1:** Seção esquemática mostrando as principais unidades estratigráficas na região das minas MCR e Urucum. A linha vermelha marca o limite do intemperismo/lixiviação responsável pelo enriquecimento supergênico na jazida.

O minério *in situ* é caracterizado pela existência de espessos pacotes de hematitos, com algumas intercalações de arcóseos impuros e arcóseos ferríferos. Assim, baseado nas intercalações que caracterizam os pacotes estratigráficos, foram definidas por MOLLER (1998) 16 camadas geológicas hematíticas e arcoseanas (Fms Córrego das Pedras e Band'Alta), 1 unidade manganésifera, colúvio no topo da sequência e a Formação Urucum (arcóseos e arenitos) na base. Estas unidades definem a Coluna Estratigráfica na Tabela 4.1.4.1.3-1.

**Tabela 4.1.4.1.3-2** - Coluna litoestratigráfica da área da MCR (Moller,1998).

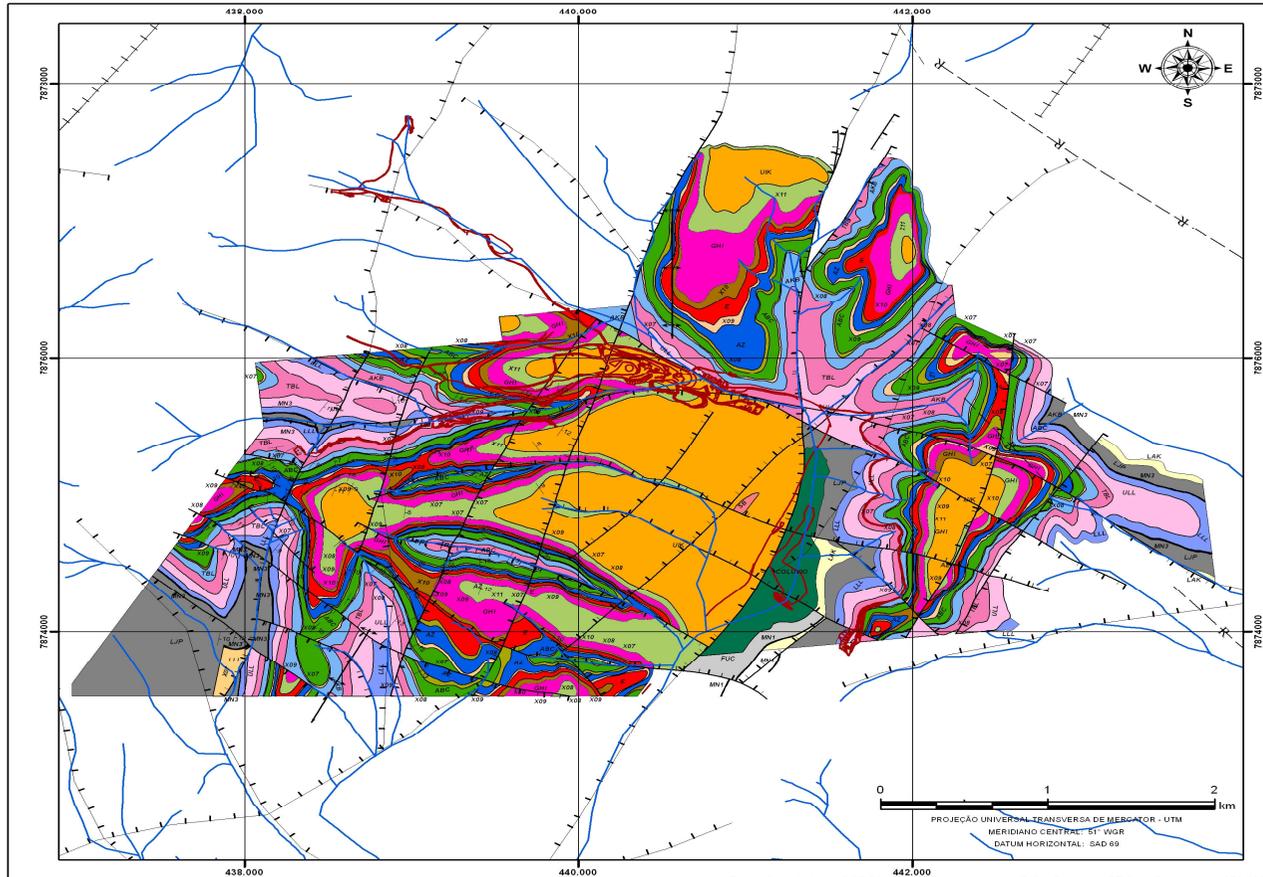
Unidade Litoestratigráfica		Símbolo	Descrição Litológica
Depósitos Coluvionares (Quaternário)		COL	Colúvio constituído por blocos de jaspilito e minério de diferentes tamanhos em matriz terrosa, consolidada por hidróxidos de ferro, formando uma carapaça de até 15m espessura.
		SB	Sedimentos esbranquiçados pouco consolidados, 30m espessura, sobrepostos a jaspilito. Origem questionável; formados as expensas da erosão da Formação Urucum.
Grupo Jacadigo (Neoproterozóico)	Formação Band'Alta	UIK	Intercalações métricas de hematita pura com bancos de minério impuro. Gera em torno de 58% de <i>lump</i> . Espessura do pacote varia de 1 a 40m.
		X11	Minério impuro, baixo índice de tamboramento, espessura de 8 a 13 metros. Produz no máximo 50% de <i>lump</i> .
		GHI	Pacote de 13 metros de espessura de hematita pura, densa, compacta, com intercalação de camada tabular (H). Produz 68% de <i>lump</i> . Excelente qualidade, alto índice de tamboramento.
		X10	Camada de 3 a 6 metros de espessura com intercalações de hematita pura em minérios impuros, de baixo índice de tamboramento. Produz 46% de <i>lump</i> .
		E	Camada de hematita pura, densa compacta, com espessura de 6 a 7 metros. Gera 69% de <i>lump</i> .
		X9	Camada de minério impuro de 2 a 3 metros de espessura. Gera 50% de <i>lump</i> de baixo índice de tamboramento.
		AZ	Camada de hematita pura, caracteristicamente densa com cavidades, com 6,5 metros de espessura. Produz 60% de <i>lump</i> , com tamboramento médio.
		X8	Camada de minério impuro com 3 a 6 m de espessura. Gera 55% de <i>lump</i> de baixo índice de tamboramento.
		ABC	Camada de hematita pura, densa, compacta, com cavidades, espessa intercalação tabular a lamelar; 13 a 17 m de espessura. Produz 60,3% de <i>lump</i> , com índice de tamboramento médio.
		X7	Camada de minério impuro com 1,5 a 2,5 metros de espessura. Gera cerca de 50% de <i>lump</i> .
		AKB	Pacote de hematita com intercalações decimétricas de minério impuro, com espessura de 13 a 18 m. Gera 60% de <i>lump</i> denso, compacto, com cavidades, com índice de tamboramento médio a baixo.
		TBL	Pacote de hematita pura, densa, compacta, de espessura entre 20 e 26 metros. Produz 61% de <i>lump</i> , representando 10,1% das reservas.

Unidade Litoestratigráfica		Símbolo	Descrição Litológica
Grupo Jacadigo (Neoproterozóico)	Formação Band'Alta	ULL	Pacote de hematita pura com intercalações decimétricas de minério impuro, com espessura entre 25 e 29 metros. Gera 55% de <i>lump</i> , predominantemente tabular a lamelar.
		LLL	Pacote de hematita semelhante ao anterior, com menor incidência de intercalações impuras. Produz 55% de <i>lump</i> .
		Mn-3	Camada de manganês maciço, com 1 a 1,3 m de espessura, contendo 43% de Mn e 17% de Fe. Na região da Morraria Grande esta camada se manifesta por sedimentos fracamente manganésíferos (camada Mn-3).
		LJP	Pacote de jaspilitos fitados com 40 metros de espessura, cujo intemperismo origina minério predominantemente tabular. Esta unidade ocorre na base das elevações.
		LAK	Pacote de arenitos e arcóseos ferruginosos com intercalações de lentes de jaspe. Espessura de 30 metros. No topo desta sequência pode ocorrer algum enriquecimento em Mn, marcando o horizonte Mn-2, destituído de qualquer interesse econômico.
	Formação Córrego das Pedras	Mn-1	Horizonte manganésífero com até 8 metros de espessura, em média 4,7m, caracterizado por intercalações de lentes e níveis decimétricos de Mn maciço em arcóseos e folhelhos manganésíferos. Recuperação 33,4% com 30% Mn e 7,3% de Fe.
Formação Urucum	FUC	Sequência de arenitos, arcóseos e conglomerados com cimento carbonático, manganésífero no topo. Sequência destituída de sedimentos ferruginosos. Suas rochas são impermeáveis, represando as águas do aquífero da Formação Band'Alta.	

Fonte: Compilado de MÖLLER (1998).

A Figura 4.1.1.1.3-3 apresenta o mapa geológico local da Mina MCR (Moller, 1998), gerado a partir da interpretação de testemunhos de sondagem e mapeamento de superfície, indicando as unidades mapeadas e os traçados dos principais alinhamentos estruturais existentes na área (falhas normais).

Do mapa geológico foram extraídas duas seções típicas da Mina MCR, apresentadas na Figura 4.1.1.1.3-4, relacionando as unidades geológicas mapeadas e inseridas no modelo geológico. O desenho mostra a topografia atual e o plano de lavra (cava final).



Litologia	
COL	Colúvio constituído por blocos de jaspilite e minério de diferentes tamanhos em matriz terrosa consolidada por hidróxidos de ferro formando uma camada de até 15m espessura.
SB	Sedimentos esbranquiçados pouco consolidados, 30m espessura, sobrepostos a jaspilite. Origem questionável; formados as expensas da erosão da Fm. Urucum? /Avalanche?
UIK	Intercalações metálicas de hematita pura com bancos de minério impuro. Gera em torno de 58 de lump de qualidade exclusiva BF. Espessura do pacote varia de 1 a 40m. Representa 11,4 da reserva.
X 11	Minério impuro de baixo índice de tamboramento. Pacote com espessura de 8 a 13 metros, produz no máximo 50 de lump de qualidade exclusiva BF. Representa 6 da reserva.
GIII	Pacote de 13 metros de espessura de hematita pura, densa compacta, com intercalação de camada tabular (T). Produz 66 de lump (23 LG, 45 LN). Excelente qualidade, alto índice de tamboramento. Representa 9 da reserva.
X 10	Camada de 3 a 6 metros de espessura com intercalações de hematita pura em minérios impuros, de baixo índice de tamboramento. Produz 46 de lump de qualidade BF, representando 4,4 da reserva.
E	Camada de hematita pura, densa compacta, com espessura de 6 a 7 metros. Gera 69 de lump (35 LG, 31 LN) de excelente qualidade 8,1 da reserva.
X 7	Camada de minério impuro de 2 a 3 metros de espessura. Gera 50 de lump de baixo índice de tamboramento, de qualidade exclusiva BF. Repres 2,6 da reserva.
AZ	Camada de hematita pura, caracteristicamente densa com cavidades, com 6,5 de espessura. Produz 60 de lump (23 LG, 37 LN), de excelente qualidade, com tamboramento médio. Representa 5,5 da reserva.
X 8	Camada de minério impuro com 3 a 6 m de espessura. Gera 55 de lump de baixo índice de tamboramento, qualidade exclusiva BF. Repres. 3,8 da reserva total
ABC	Camada de hematita pura, densa compacta a com cavidades, com espessa intercalação tabular a lamelar: 13 a 17 m de espessura. Produz 60,3 de lump (29,4 LG, 30,9 LN), com índice de tamboramento médio, 12,1 da reserva total.
X 9	Camada de minério impuro com 1,5 a 2,5 metros de espessura. Gera cerca de 50 de lump de qualidade exclusiva BF. Representa 2,1 da reserva.
AKB	Pacote de hematita com comuns intercalações centi-decímicas de minério impuro, com espessura de 13 a 16 m. Gera 60 de lump (32 LG, 28 LN) denso compacto a com cavidades, com índice de tamboramento médio a baixo, de qualidade BF. Representa 8,4 da reserva total.
TBL	Pacote de hematita pura, maciça, densa compacta, de espessura entre 20 e 26 metros. Produz 51 de lump (30 LG, 31 LN) de excelente qualidade, representando 10,1 das reservas.
ULL	Pacote de hematita pura com intercalações decimétricas de minério impuro, com espessura entre 25 e 29 metros. Gera 55 de lump (28 LG, 27 LN), predominantemente tabular a lamelar, de qualidade exclusiva BF. Representa 3,2 da reserva total.
LLL	Pacote de hematita semelhante ao anterior, com menor incidência de intercalações impuras. Produz 55 de lump e representa 2,3 da reserva.
MN1	Camada de Mn macio, com 1 a 1,3 m de espessura, contendo 43 Mn e 17 Fe. Na região da Morraia Grande esta camada se manifesta por sedimentos fracamente manganíferos (1 Mn)
LJP	Pacote de jaspilites flexíveis com 40 metros de espessura, cujo temporário origem minério, predominantemente tabular. Esta unidade ocorre na base das elevações e representa 1,2 da reserva total.
LAK	Pacote de arenitos e arcóseos ferruginosos com intercalações de lentes de jaspe. Espessura 30 metros. No topo desta sequência pode ocorrer algum enriquecimento em Mn, marcando o horizonte Mn-2, destituído de qualquer interesse econômico.
MN3	Horizonte manganífero com até 8 metros de espessura, em média 4,7m, caracterizado por intercalações de lentes e níveis decimétricos de Mn macio em arcóseos e folhelhos manganíferos. Recuperação 33,4 com 30 Mn e 7,3 Fe.
FUC	Fm Urucum: Sequência de arenitos, arcóseos e conglomerados com cimento carbonático, manganífero no topo. Sequência destituída de sedimentos ferruginosos. Suas rochas são impermeáveis, represando as águas do aquífero da Fm. Band'Alta.

Convenções Cartográficas	Convenções Geológicas
Drenagem	Foliação
Complexo Industrial	Falha normal



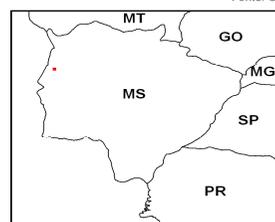
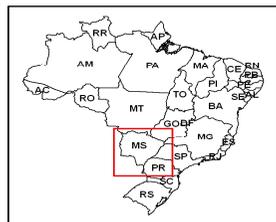
PROJETO EXPANSÃO CORUMBÁ

EIA - PROJETO EXPANSÃO CORUMBÁ

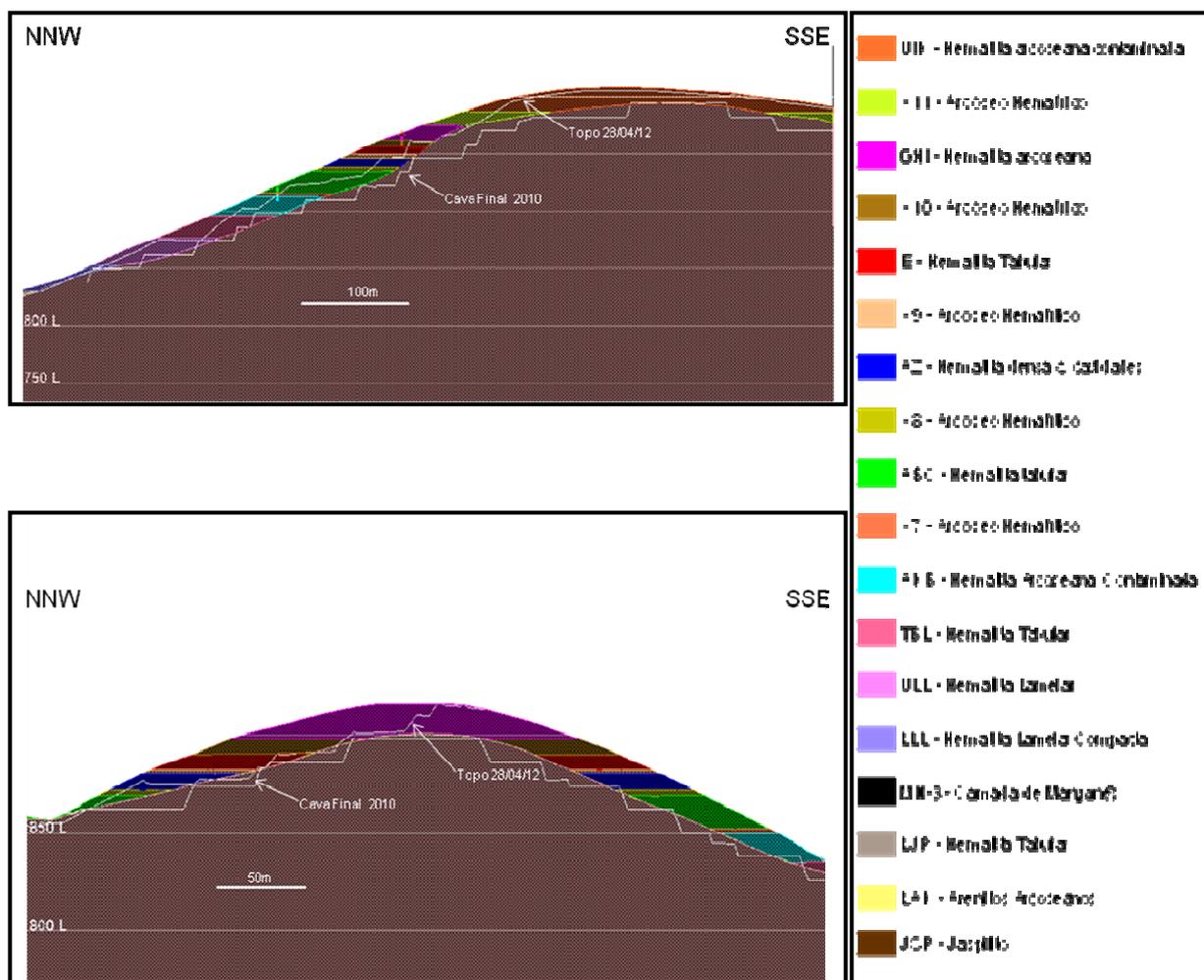
Nº VALE	Nº (CONTRATADA)	REV	PÁGINA
-	10370-005-RT005	1	78/336

Figura 4.1.1.1.4-3: Mapa geológico local

ESCALA:	DATA:	Elaborado por:
1:30.000	24/11/2011	RL e FFA



Fonte: Compilado de GODOI et al. (2001) com base na Folha Corumbá (SE-21-Y-D – escala 1:250.000).

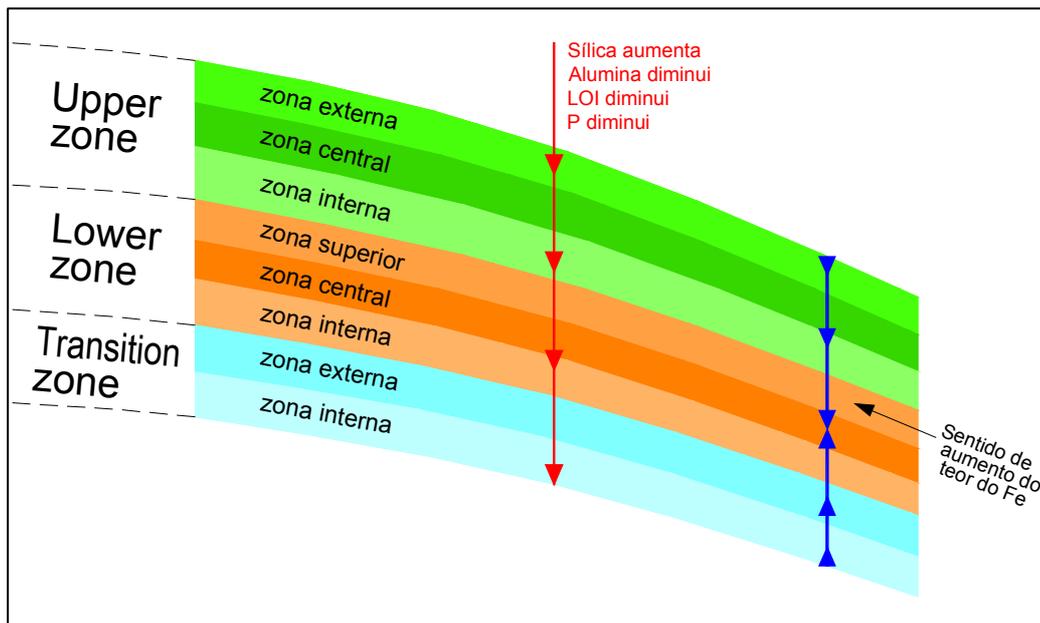


**Figura 4.1.1.1.3-4:** Seções esquemáticas típicas da Mina MCR, mostrando as principais unidades estratigráficas. Observa-se a marcação da topografia atual e da cava final prevista

Os hematititos podem exibir distintas tipologias, sendo os tipos mais comuns aqueles formados por hematita lamelar, aqueles ricos em hematita tabular e o tipo poroso. A tipologia rica em hematita lamelar caracteriza-se por possuir lâminas de pouca espessura, raramente ultrapassando 10mm, já a tipologia rica em hematita tabular caracteriza-se por um hematitito maciço, praticamente sem cavidades, de alto teor e com lâminas de espessura centimétrica. O tipo poroso é caracterizado pela existência de grande número de cavidades.

Todos os tipos de hematititos existentes no manto mineralizado possuem altos teores em ferro, no entanto ocorrem variações na qualidade e na textura em função da unidade estratigráfica e da profundidade em que se encontram, uma vez que o processo de enriquecimento do minério faz com que existam produtos com características distintas dentro de uma mesma unidade.

Esse processo atuou a partir da superfície, aprofundando-se no jaspilito e removendo-lhe a sílica. Assim, o minério mais próximo da superfície, onde esse processo atuou com mais intensidade, possui muito menos sílica que aquele existente em profundidade, em contrapartida possui mais contaminantes como alumina, fósforo e perda ao fogo. À medida que se aprofunda em direção aos jaspilitos, o teor em sílica aumenta e a alumina e o fósforo diminuem (Figura 4.1.1.1.3-5).



**Figura 4.1.1.1.3-5:** Perfil intempérico típico, responsável pelo enriquecimento do minério da MCR.

Dessa forma 3 zonas intempéricas distintas são reconhecidas (Figura 4.1.1.1.3-5):

- **Upper Zone (UZ):** estende-se da superfície até cerca de 06 metros de profundidade, sendo caracterizada visualmente pela presença de argilas impregnadas, facilmente removíveis por simples lavagem, e quimicamente pelos teores elevados, em relação às demais zonas, de alumina e LOI (perda ao fogo). Possui teor de ferro entre 58 e 64%.
- **Lower Zone (LZ):** ocorre sotaposta à upper zone e atinge em média 09 metros de espessura, podendo variar para mais. É a melhor zona para a exploração do minério, possuindo teores de ferro acima de 64% (até 67%) e baixos teores de alumina e LOI.

- **Transition Zone (TZ):** situa-se entre a lower zone e o jaspilito inalterado. É parcialmente explorada, excluindo-se os inúmeros matacões de jaspilito presentes, caracteriza-se por um bom teor de ferro, entre 60 e 64%, porém contém teores elevados de sílica, até 7%. Nesta zona também percebe-se a presença de grandes matacões de Hematita (Jaspilitos com sílica removida). Atinge até 4 metros de espessura.

O contato entre as zonas intempéricas é gradacional e a espessura das zonas é variável, normalmente sendo mais desenvolvidas nas posições mais elevadas dos morros em contraste com as porções topograficamente mais baixas, onde o intemperismo químico é menor.

Intercalados às camadas hematíticas, ocorrem camadas ricas em arcóseos ferríferos, que exibem teores de ferro da ordem de 60%, sendo também passíveis de aproveitamento econômico (Figura 4.1.1.1.3-6).

Além do minério *in situ*, na área também temos depósitos coluvionares, constituídos por blocos provindos das escarpas e que podem ser compostos por minério propriamente dito (hematitito) ou mesmo por jaspilito, esta litologia compõem a maior parte desses depósitos (Figura 4.1.1.1.3-7).



**Figura 4.1.1.1.3-6:** Intercalações de arcóseos ferruginosos e bandas hematíticas na camada X-9. A foto mostra também o contato entre a camada X-9 e a camada E.



**Figura 4.1.1.1.3-7:** Depósitos coluvionares de topo, compostos de blocos e fragmentos de jaspilitos, hematitas e arcóseos rolados.

#### 4.1.4.1.4 Levantamento Geológico de Detalhe

Para a execução dos estudos de detalhe da Área Diretamente Afetada (ADA), foi realizado um caminhamento, visando à avaliação de aspectos geológicos e geotécnicos de superfície relevantes para a caracterização dos terrenos presente nos diversos pontos de interesse.

A metodologia envolveu três etapas de trabalho: fase de inventário, etapa de campo e etapa de escritório. A fase de inventário abrange o levantamento das informações disponíveis sobre a área de influência. A pesquisa bibliográfica consistiu na tarefa primária, onde a partir desta foram adquiridos relatórios técnicos e bases cartográficas.

A etapa de campo tratou da coleta básica de informações, fotografias e a aquisição das coordenadas geográficas de cada um dos pontos específicos, sendo também anotados aspectos de interesse. Posteriormente, em escritório, consistiu na análises e diagnósticos do Meio Físico, bem como foi elaborado numa ortofoto com a localização de todos os pontos levantados e mapeamento de domínios geológicos ao longo da área de influência visando caracterização geotécnica.

A Tabela 4.1.1.1.4-1 apresenta as coordenadas dos pontos mais importantes observados ao longo da adutora, os quais são ilustrados por fotografias e coordenadas, aspectos gerais geológico-geotécnicos. Ver MAPA 4.1-5 Geológico-geotécnico e MAPA 4.1-6 Risco geológico (Anexo2).

**Tabela 4.1.1.1.4-1** - Coordenadas dos pontos de campo geológico geotécnico observados ao longo da adutora

<b>Pontos de Campo Geológico Geotécnico</b>	<b>Coordenadas Geográficas UTM WGS 84 21 K</b>	
1	456652	7852440
2	455165	7854074
3	453625	7854369
4	454033	7856389
5	453368	7857904

<b>Pontos de Campo Geológico Geotécnico</b>	<b>Coordenadas Geográficas UTM WGS 84 21 K</b>	
6	452937	7859037
7	452143	7861389
8	450293	7863654
9	450637	7862939
10	450821	7862534
11	447968	7864466
12	446808	7865229
13	445393	7865664
14	443815	7866325
15	441227	7867654
16	439910	7870475
17	439572	7872012
18	441249	7875067
19	441240	7875541
20	440949	7875747

- Ponto 1 - Coordenadas UTM 21K: 456652 / 7852440

Partindo do Porto de Albuquerque, localidade do Sítio Campanário, este ponto compreende o primeiro local vistoriado pela equipe de Geologia, tratando-se de área de baixada plana, engloba nível d'água muito elevado e presença de sedimentos flúvio-marinhos de textura variável (Figura 4.1.1.1.4-2). Solos ricos em matéria orgânica, que se mantém excessivamente encharcados na maior parte do ano, com baixa capacidade de suporte; o lençol freático aflorante (escavações alagam-se rápido). Mudanças abruptas entre camadas de características granulométricas e composicionais se constituem em descontinuidades geomecânicas que facilitam desestabilizações e processos

erosivos em paredes escavadas. Recomenda-se: estabilização das paredes da escavação.



**Figura 4.1.1.1.4-2:** Planície de inundação, Sitio Campanário (Ponto 1).

- Ponto 2 - Coordenadas UTM 21K: 455165 / 7854074

Situado próximo ao Pátio Albuquerque, o Ponto 2 apresenta grande parte da superfície recoberta por sedimentos arenosos (Figura 4.1.1.1.4-3). Declividade entre 0 e 5%, com presença de solo residual de calcários dolomíticos, com textura silte-arenosa, espessura estimada entre 1-1,5 metros.



**Figura 4.1.1.1.4-3.** Cobertura de sedimentos arenosos próximo ao Pátio Albuquerque (Ponto 2).

- Ponto 3 - Coordenadas UTM 21K: 453625 / 7854369

Neste ponto, foi constatada a presença de blocos imbricados (calcários) com dimensões de até 1m<sup>3</sup> em uma área de solos residuais proveniente de alteração em rochas carbonáticas *in situ* (blocos sub-aflorantes). A espessura é estimada entre 1.5-2metros, dissolvem-se com facilidade pela ação das águas e baixa resistência ao intemperismo químico (Figura 4.1.1.1.4-4).



**Figura 4.1.1.1.4-4.** (A) Amostra de calcário de granulação fina a média; (B) Terreno de relevo plano onde afloram, em solo profundo, blocos e matações de calcários do grupo Corumbá.

- Ponto 4 - Coordenadas UTM 21K: 454033 / 7856389

Este ponto, situado na Fazenda Arueira, ao longo do percurso da faixa de domínio, apresenta terreno com áreas excessivamente planas e predomínio de manto de alteração bastante pegajoso (presença de solos argilosos). A espessura estimada é entre 30-40cm (Figura 4.1.1.1.4-5).



**Figura 4.1.1.1.4-5.** Terreno de relevo suave sustentado por calcários da formação Bocaina, onde se expõe solos argilosos, Fazenda Aroeira

- Ponto 5 - Coordenadas UTM 21K: 453368 / 7857904

O Ponto 05, acesso para Fazenda Ema, apresenta o detalhe de solo residual de rocha carbonática, com textura silte-arenoso e presença de cascalhos, sendo a espessura de solo estimada entre 30-40cm (Figura 4.1.1.1.4-6).



**Figura 4.1.1.1.4-6.** Terrenos correspondentes aos calcários da formação Boicana, acesso Fazenda Ema.

- Ponto 6 - Coordenadas UTM 21K: 452937 / 7859037

Na região do Ponto 06 (referência reservatório de água), observa-se a presença de solo residual de cor vermelha, textura silte-argilo-arenosa e com espessura estimada entre 0,5-0.8m (Figura 4.1.1.1.4-7).



**Figura 4.1.1.1.4-7.** Feição dos solos vermelhos, próximo ao reservatório de água

- Ponto 7 - Coordenadas UTM 21K: 4521437 / 7861389

O Ponto 07 localiza-se entre dois morrotes convexos, a direção da faixa de domínio é paralela a estrada de acesso (Figura 4.1.1.1.4-8). Foi constatado presença de solo residual, de cor vermelha, com textura silte-arenosa. A espessura é estimada entre 0,5-0.8m.



**Figura 4.1.1.1.4-8.** Vista da área, próximo ao ponto 6

- Ponto 8 - Coordenadas UTM 21K: 450293 / 7863654

Região de blocos sub-aflorantes de calcários sob solo residual de cor laranja, textura silte-arenosa, com pequenos blocos de rocha carbonática *in situ* (Figura 4.1.1.1.4-9). A espessura de solo variável, estimada entre 0.5-1m.



**Figura 4.1.1.1.4-9.** (A) Blocos subaflorantes de calcários da formação Bocaina sob solo residual; (B) Depósitos de material inconsolidado bem preservados do intemperismo.

- Ponto 9 - Coordenadas UTM 21K: 450637 / 7862939

Observa-se, neste ponto, a presença de solo residual cor amarelo, proveniente de rocha de carbonática, textura silte-arenosa, e com blocos *in situ*. A espessura é estimada entre 0,6-1m (Figura 4.1.1.1.4-10).



**Figura 4.1.1.1.4-10.** Área de relevo plano com solo residual cor amarela e blocos residuais do grupo Corumbá, próximo ao Ponto 8.

- Ponto 10 - Coordenadas UTM 21K: 450821 / 7862534

Constatou-se, neste local, a presença de relevo aplainado, cobertura de solo areno-siltoso cor vermelha e espessura estimada de 0.5-1m (Figura 4.1.1.1.4-11).



**Figura 4.1.1.1.4-11.** Relevo plano em área sustentada pelos sedimentos da formação Boicana, próximo ao Ponto 10

- Ponto 11 - Coordenadas UTM 21K: 447968 / 7864466

Área próxima ao pé da encosta rochosa, referência P10, caracterizado pela presença de rocha alterada e blocos de menor dimensão e em pequenas quantidades (Figura 4.1.1.1.4-12).



**Figura 4.1.1.1.4-12.** Depósitos de fragmentos rochosos angulosos situados na zona escarpada, próximo ao Ponto 11

- Ponto 12 - Coordenadas UTM 21K: 446808 / 7865229

Terreno areno-siltoso, cor vermelha, próximo ao P10. Relevo suave, portador de blocos e matações de rocha dura (carbonática). Alteram-se para solos pouco permeáveis e de boa capacidade de compactação (Figura 4.1.1.1.4-13).



**Figura 4.1.1.1.4-13.** Área de relevo suave e plano com pequenos lajeados e blocos de calcários sustentados pela formação Boicana, próximo ao P10

- Ponto 13 - Coordenadas UTM 21K: 445393 / 7865664

Curva da estrada de acesso, lajedo constituído por rocha carbonática (calcáreo dolomítico); relevo plano, com gradiente topográfico  $< 2^\circ$  (Figura 4.1.1.1.4-14). A espessura estimado 0.5m-1m.



**Figura 4.1.1.1.4-14.** Vista da área

- Ponto 14 - Coordenadas UTM 21K: 443815 / 7866325

Situado a cerca de 20 metros a montante do Ponto 13, no Ponto 14 foram observados situação geológica idêntica descrita no ponto anterior (Figura 4.1.1.1.4-15).



**Figura 4.1.1.1.4-15.** Vista da área

- Ponto 15 - Coordenadas UTM 21K: 441227 / 7867654

Foi constatado neste local, referência Faz Paraíso de São Benedicto, a presença de contato gradacional entre rochas do embasamento geológico, alternância entre Biotita Gnaiss e Hornblenda Gnaiss. São rochas com alto grau de coerência, moderada a alta resistência ao intemperismo físico-químico, boa capacidade de suporte e alta resistência ao corte. Alteram-se para solos arenosos, por vezes erosivos. A espessura estimada 3.5 a 4.0m (Figura 4.1.1.1.4-16).



**Figura 4.1.1.1.4-16.** (A) Contato gradacional entre rochas do embasamento geológico (unidades do Complexo Rio Apa); (B) Afloramento rochoso do biotita- gnaïsse, bastante fraturado e penetrado por veios de quartzo.

- Ponto 16 - Coordenadas UTM 21K: 439910 / 7870475

Ponto localizado em solo residual de cor vermelha, textura silte-arenosa, com pequenos blocos de biotita gnaïsse "in situ" (Figura 4.1.1.1.4-17). A espessura estimada está entre 0,5-1m.



**Figura 4.1.1.1.4-17.** Vista geral da área exibindo solo vermelho bastante evoluído

- Ponto 17 - Coordenadas UTM 21K: 439577 / 7872012

Neste local, observa-se a presença de solo residual com blocos embutidos, aflorantes e sub-aflorantes de Jaspilito. Estas rochas são caracterizadas por estrutura bandada, com alternância de leitos ferruginosos (hematita predominante) e silicosos (quartzo) (Figura 4.1.1.1.4-18). O terreno possui alta resistência ao corte e à penetração, necessitam de explosivos para o desmonte.



**Figura 4.1.1.1.4-18.** (A) Afloramento de jaspilitos; (B) Detalhe para os blocos de jaspilitos constituintes da formação Banda Alta, do grupo Jacadigo.

- Ponto 18 - Coordenadas UTM 21K: 441249 / 7875067

No Ponto 18, referência estrada nova – acesso a Mina MCR Vale - observa-se a presença de perfil de solo residual espesso, 3-4m, com blocos angulares, proveniente de jaspilitos hematíticos (Figura 4.1.1.1.4-19).



**Figura 4.1.1.1.4-19.** Talude de corte de estrada em jaspilitos do grupo Jacadigo

- Ponto 19 - Coordenadas UTM 21K: 441240 / 7875341

Neste setor, observa-se o afloramento de um perfil de intemperismo completo do jaspilite hematítico, facilitando a caracterização geológico-geotécnica local (Figura 4.1.1.1.4-20). Em um corte de aproximadamente 5m de altura, observa-se da base para o topo uma sequência de rocha sã (jaspilite hematítico) alterada, muito fraturada, seguida por um solo residual maduro, capeado por um solo orgânico bem delgado (Horizonte A).



**Figura 4.1.1.1.4-20.** (A) Perfil de intemperismo típico, minério de ferro estratificado e fraturado, constituído pelo grupo Jacadigo; (B) Camada de minério de ferro exibindo lâminas de hematita se alternando com lâminas de jaspe.

- Ponto 20 - Coordenadas UTM 21K: 441240 / 7875341

Fim da inspeção, referência portaria (entrada da Mina MCR Vale), observa-se a presença de material inconsolidado de jaspilites hematíticos (Figura 4.1.1.1.4-21), o que confirma o modelo conceitual para a formação da geomorfologia local e, portanto, para a caracterização dos materiais presentes ao longo da faixa de domínio da adutora inspecionada.



**Figura 4.1.1.1.4-21.** Vista da área, próxima a Mina MCR Vale.

Em resumo, a Área diretamente Afetada (ADA) e a AID (Área de Influência Direta), apresentam geologia formada por rochas proterozóicas do Grupo Jacadigo Formação Banda Alta - intercalações de jaspilitos e sequencia ferromanganesífera com níveis subordinados de arenitos, siltitos e conglomerados (clastos pingados) - e Formação Urucum - arcóseos ferruginosos e/ou calcíferos conglomerados petromíticos com matriz arcossiana, siltitos e arenitos; e rocha cenozóicas (quaternário) da Formação Pantanal - fácies depósitos coluvionares, aglomerados e depósitos de areia.

A Área de Influência Indireta (AII) apresentam os mesmos litotipos da ADA E AID e mais as rochas gnáissicas, ortocristalinas, de composição granítica e com anfibólios subordinados do Complexo Rio Apa e os calcários dolomíticos e calcíticos, por vezes silicificados com níveis oolíticos, intraclastos e raras estruturas estromatolíticas do Grupo Corumbá - Formação Bocaina. O arcabouço estratigráfico foi descrito buscando o registro dos principais eventos ocorridos, bem como a caracterização dos agrupamentos litológicos envolvidos.

#### **4.1.4.2 GEOMORFOLOGIA**

##### **4.1.4.2.1 Metodologia**

Este item descreve os estudos geomorfológicos realizados para as áreas de influência AII, AID e ADA. As avaliações têm como propósito fornecer subsídios para uma análise da dinâmica dos processos morfogênicos atuais tendo, como base, as condicionantes geomorfológicas e geotécnicas de superfície existentes.

Inicialmente, foram coletados os dados bibliográficos mais recentes (dados secundários) e, em seguida, analisadas as imagens de satélite disponíveis. No período de 31 de julho a 2 de agosto de 2011, foi realizada a etapa de campo e, a partir desse levantamento (dados primários), foram efetuadas as avaliações nas áreas de influência AII, AID e ADA.

Com base nas informações coligidas e nas avaliações de campo, foi elaborado um mapeamento geomorfológico para a área de influência, no qual foram descritos os principais compartimentos morfo-estruturais e discutidos os principais processos atuantes na região.

Para a execução dos estudos de detalhe da área de influência, foi realizado um caminhamento visando à avaliação das formas de dissecação e de acumulação relevantes para a caracterização dos processos existentes nos diversos pontos de interesse que representam as características geomorfológicas da região de estudo.

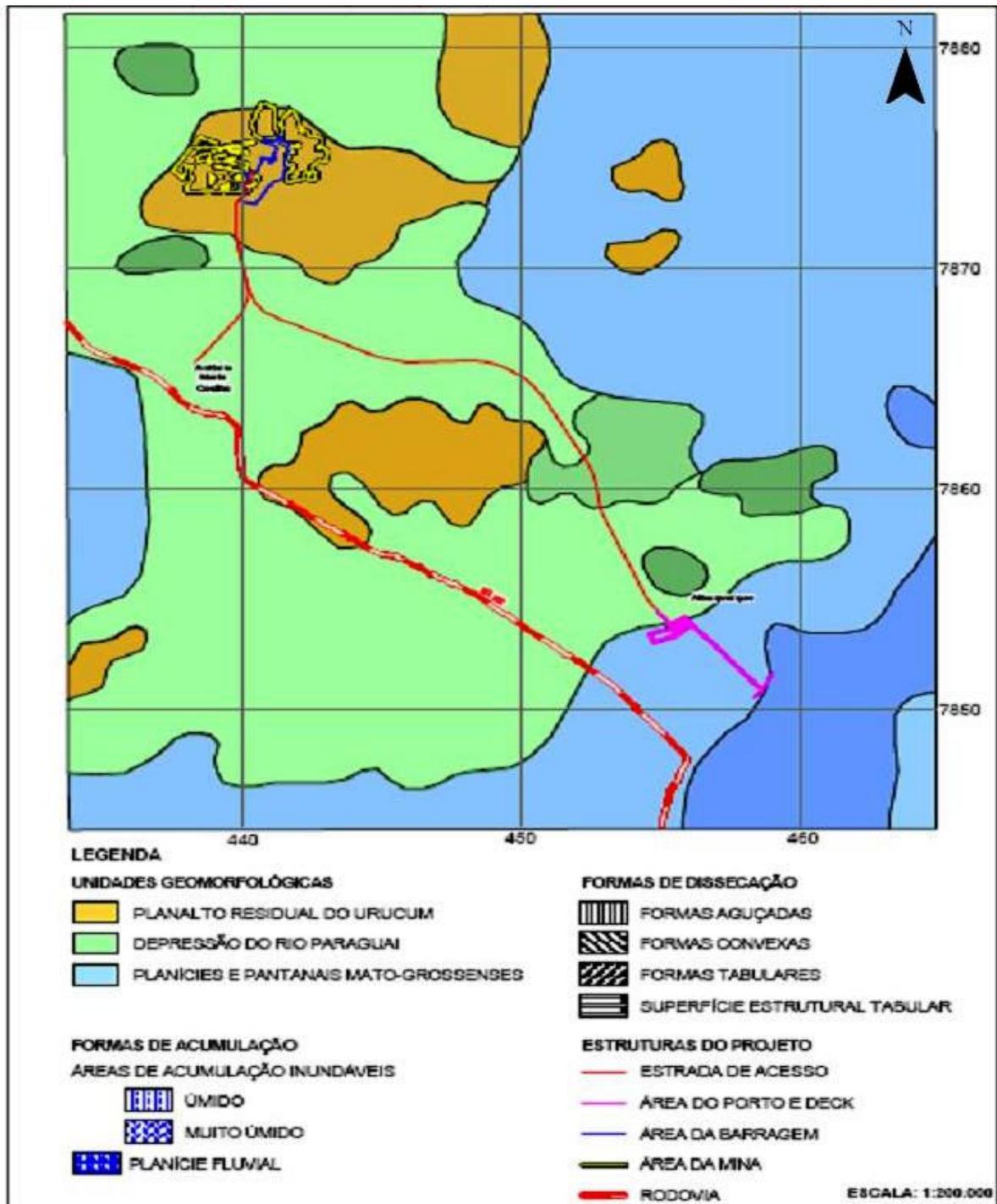
A metodologia envolveu três etapas de trabalho: fase de inventário, etapa de campo e etapa de escritório. A fase de inventário abrange o levantamento das informações disponíveis sobre a área de influência. A pesquisa bibliográfica consistiu-se na tarefa primária, onde a partir desta foram analisados relatórios técnicos e bases cartográficas.

A etapa de campo tratou da coleta básica de informações, fotografias e a aquisição das coordenadas geográficas de cada um dos pontos específicos representativos da geomorfologia da região em estudo, sendo também anotados aspectos de interesse. Posteriormente, em escritório, procederam-se as análises e diagnósticos, bem como foi elaborada uma ortofoto com a localização de todos os pontos levantados e mapeamento de domínios geomorfológicos ao longo da área

de influência, visando à caracterização das formas de relevo e dos processos do modelado.

#### **4.1.4.2.2 Geomorfologia Regional**

Tendo como base os estudos regionais de Godoi *et al.* (2001), foram definidos três domínios geomorfológicos principais. Esses domínios foram individualizados em função de diferentes formas de relevo, desde as mais acidentadas até os relevos planos ou quase planos, assim discriminados: [1] Planalto Residual do Urucum; [2] Depressão do Rio Paraguai e Superfícies Aplainadas; e [3] Planícies e Pantanais Mato-Grossenses (Figura 4.1.4.2.2-1).



**Figura 4.1.4.2.2-1.** Mapa geomorfológico regional mostrando a AID do projeto (modificado de Godoi et al (2001))

*Planalto Residual do Urucum*

Localiza-se ao sul da cidade de Corumbá e compreende as morrarias do Urucum, de Santa Cruz, de São Domingos, Grande, do Rabicho e da Tromba dos Macacos, que constituem o chamado Maciço do Urucum. A sul e oeste deste conjunto destacam-se as morrarias do Albuquerque, do Zanetti, do Sajutá, do Araguaçu, Pelada e do Jacadigo (fronteira do Brasil com a Bolívia). O planalto atinge altitudes que variam de 300 m a 1.000 m, sendo sustentado por rochas do Grupo Jacadigo. Apresenta contato com a Depressão do Rio Paraguai, que se realiza através de escarpas e/ou vertentes íngremes que, esporadicamente, apresentam enormes taludes, resultantes de falhamentos de provável idade cenozoica. O conjunto de morrarias que constitui o Maciço do Urucum - em especial a porção entre a morraria do Urucum e Santa Cruz, a qual apresenta um rejeito de falha de aproximadamente 170 m - é recortado por uma série de falhas normais que o separam, as quais conjugadas com a litologia mais resistente geram escarpas formando as diversas serras, denominadas morrarias. A resistência relativa das litologias das morrarias Urucum e Santa Cruz, quando comparada às rochas existentes ao entorno, confere a essas regiões um caráter mais resistente, exibindo assim, as mais altas cotas topográficas. Entre elas se destacam vales fluviais profundos, drenados por córregos de pequena competência erosiva. Caracteriza-se pela existência de um relevo residual, identificado como uma superfície estrutural tubular, marcada a leste por escarpa de falha; enquanto os demais quadrantes exibem uma escarpa estrutural, com desníveis altimétricos acima de 100 m. Posicionadas a leste desta, as morrarias Santa Cruz e Grande caracterizam dois blocos de relevo justapostos, cujas bordas ocidentais são marcadas por escarpas de falha também com desníveis acima de 100 m. A partir da borda, as camadas que suportam esse relevo mostram um suave mergulho para NW-SE, onde se identificam feições tabulares. Este conjunto de relevo é constituído por blocos de falha erodidos cujo aspecto fragmentado do conjunto prende-se a uma tectônica de abatimento de blocos.

#### *Depressão do rio Paraguai*

Essa unidade foi definida por Ross & Santos (1982) como sendo uma vasta superfície rebaixada que se estende por toda a parte nordeste da área, envolvendo os planaltos residuais do Urucum, correspondendo a um cinturão de

depressões marginais aos relevos elevados. Representam extensas superfícies aplainadas, exibindo, por vezes, formas pedimentadas, porém, em sua maior parte, as superfícies são recobertas por sedimentos recentes. Subordinadamente ocorrem formas dissecadas de topo plano (tabulares), convexas e aguçadas, cuja altimetria varia entre 100 m e 200 m. Trunca litologias diversificadas, desde rochas pré-cambrianas do Complexo Rio Apa até arenitos da Formação Coimbra. Compreende extensas superfícies aplainadas, recobertas por sedimentos recentes, apresentando formas dissecadas de topo plano, formas convexas e aguçadas, com emergência de formas residuais, identificadas como "inselbergs". Encontram-se na depressão superfícies pediplanadas inumadas e relevo suavemente dissecado em formas tabulares amplas. Na área baixa que contorna o planalto residual, encontram-se esparsamente depósitos detríticos, que constituem formações superficiais parcialmente lateritizadas. A depressão coalesce com os Pantanaís Mato-Grossenses, indicando que sua gênese está vinculada aos abatimentos tectônicos terciários, que originaram a área rebaixada onde se alojaram os pantanaís.

#### *Planícies e Pantanaís Sul Mato-Grossenses*

Esta unidade estende-se de forma contínua, limitando-se a leste com a Depressão do Rio Paraguai, incluindo aqui a calha e a planície aluvial desta drenagem (Figura 4.1.4.2.2-2). O domínio corresponde a uma extensa superfície de topografia plana, com cotas inferiores a 100 metros, frequentemente sujeita a inundações e cuja rede de drenagem é comandada pelo rio Paraguai. É recoberta por sedimentos quaternários, apresentando grande depressão espacial, com a configuração de enorme anfiteatro, voltado para oeste.

A declividade regional é inexpressiva, com gradiente topográfico variando de 0,3 a 0,5 m/Km no sentido leste-oeste, e de 0,03 a 0,15 m/Km, no sentido norte-sul. Esse fato provoca, a princípio, um barramento do escoamento do Rio Paraguai e o conseqüente alagamento da área. Entretanto, de modo geral, todos os rios dos pantanaís dispõem de leitos que permitem escoamento nas cheias médias, embora nas grandes cheias haja inundação parcial ou total das zonas marginais.



**Figura 4.1.4.2.2-2.** Vista do Rio Paraguai

#### **4.1.4.2.3 Geomorfologia Local**

A geomorfologia da área de estudo se concentra nas partes altas (morrarias) do Pantanal Sul Mato-grossense, no Planalto Residual do Urucum, especificamente na morraria Santa Cruz, apresentando uma forma residual e estrutural, com topos planos e encostas íngremes.

De modo geral, as escarpas ocorrem em sítios onde predominam a Formação Urucum, enquanto que no topo das morrarias ocorrem metassedimentos da Formação Santa Cruz ou calcários da Formação Bocaina. Áreas adjacentes às morrarias são geralmente constituídas por material detrítico ferruginoso oriundo da Formação Santa Cruz. Apresentam topos tabulares colinosos, com altitudes entre 640 e 1000 metros e entre 200 e 400 metros, declividades entre 20 e 40% e superiores. O grau de dissecação é de fraco a moderado.

Segundo Okida *et al.* (2000), no alto das morrarias de Santa Cruz ocorrem vales suspensos, que drenam o interior da morraria. Esses vales estariam hoje conservados por terem sido talhados nos jaspelitos e camadas de hematita compacta da Formação Santa Cruz. Os relevos residuais indicam intensa fragmentação tectônica, com a provável presença de terrenos abatidos recobertos pela sedimentação recente.

Entre as unidades de relevo do tipo denudacional estrutural existem também as rampas e colinas, de grau de dissecação moderado. As rampas apresentam altitudes entre 100 e 800m e declividades entre 20 e 40%.

O Projeto está inserido em uma região caracterizada pelas elevadas altitudes em relação às do Pantanal do Mato Grosso, as quais consistem nas áreas alagáveis que ocorrem com o transbordamento do rio Paraguai. A lavra de minério é realizada no interior de um anfiteatro geológico, definido, a oeste e a leste, pelas vertentes das morrarias Santa Cruz e Grande, respectivamente. Ao norte, ele é definido por uma escarpa e, ao sul, pelas escarpas da morraria São Domingos e do Rancho Fundo. O relevo local é o produto final de uma atividade que tem como base as características geológicas, em especial os componentes estruturais, que marcaram uma litologia resistente (jaspilitos da Formação Banda Alta) e, mais recentemente, a atuação dos processos de meteorização. Esses litotipos foram afetados por um conjunto de falhas que configuram a morfologia local.

De acordo com Franco & Pinheiro (1982), as planícies, colinas, tabuleiros e rampas são representados pela Depressão do rio Paraguai – Superfícies Aplainadas e situam-se, principalmente, nas porções sul e sudeste da área estudada. Compreendem, em grande parte, extensas superfícies aplainadas, recobertas por sedimentos recentes, calcários e rochas gnáissicas do embasamento. Por vezes, apresentam formas pedimentadas e dissecadas, de topo plano ou colinoso.

As altitudes dessas superfícies aplainadas variam de 90 a 150m e apresentam declividades inferiores a 2%. O relevo pedimentado corresponde a rampas recobertas por depósitos detríticos ferruginosos oriundos da Formação Santa Cruz. O relevo dissecado de topo plano em rampa é sustentado pelos litotipos da Formação Santa Cruz e apresenta altitudes variando entre 400 e 800m, declividades entre 10 e 20% e entre 20 e 40%. O relevo dissecado do tipo colinoso é sustentado pelos calcários Bocaina e apresenta altitude variável entre 120 e 330m, declividades entre 10 e 20% e superiores a 40%. Segundo esses mesmos autores (Franco & Pinheiro, *op. cit*), os relevos representados como planícies de inundação correspondem às planícies e pantanais mato-grossenses, com alto grau de umidade, localizadas, principalmente, nas porções sul da área de estudo. Tal unidade é caracterizada por uma extensa superfície de

acumulação, de topografia bastante plana, com declividades inexpressivas, frequentemente sujeitas a inundações. Essas áreas constituem uma vasta superfície rebaixada, recoberta por sedimentos recentes, cujo processo de deposição ainda é atuante. Sua evolução atual está relacionada a movimentos tectônicos de subsidência e sedimentação em que a dinâmica fluvial, comandada pelo rio Paraguai, tem papel relevante.

Com relação à área de estudo, conclui-se que as unidades de relevo presentes foram formadas tanto por processos denudacionais quanto por processos tectônicos, observando-se, assim, relevos de origem estrutural, denudacional e de acumulação. Essas unidades são produto da intensa fragmentação tectônica terciária, de caráter distensivo - que mobilizou blocos de falha - e de ciclos erosivos sucessivos, configurando, assim, o relevo atual.

#### *Pontos de Monitoramento – Geomorfologia Local*

Neste item são detalhados os pontos notáveis observados ao Projeto como observado na Tabela 4.1.4.2.3-1 e no Mapa 4.1-4 do Anexo 2, bem como os aspectos geomorfológicos gerais e das dinâmicas do relevo associadas, serão descritos a seguir. A seleção de pontos foi realizada tentando capturar os locais mais representativas das distintas formações geomorfológicas. *No caso, ao longo do traçado da adutora foram identificadas três unidades geomorfológicas: Unidade Planícies e Pantanaís Mato-grossenses, Depressão do Rio Paraguai e Superfícies Aplainadas e Planalto Residual do Urucum*

**Tabela 4.1.4.2.3-1.** Identificação e localização dos pontos de monitoramento na área do projeto.

Ponto	Coordenadas (21k)	
	UTM E	UTM N
Ponto 1	456652	7852440
Ponto 2	456652	7853430
Ponto 3	453625	7854369
Ponto 4	454033	7856389
Ponto 5	450293	7863654
Ponto 6	441227	7867000
Ponto 7	4395577	7872012
Ponto 8	441249	7875067

- PONTO 1

Ponto localizado na Unidade Planícies e Pantanaís Mato-grossenses, onde os terrenos são caracterizados predominantemente por áreas planas, zonas de acumulação atual e amplitude de relevo zero. Correspondem às planícies de inundação das drenagens existentes, onde predominam os processos de assoreamento.

Estas áreas, representada pelo Ponto 1, são áreas problemáticas para qualquer tipo de intervenção por serem constituídas por camadas de características granulométricas e composicionais diferentes, que levam a uma variação vertical abrupta de suas propriedades geotécnicas e formação de descontinuidades geomecânicas e hidráulicas que facilitam a desestabilização e os processos erosivos em paredes escavadas.

Não ocorrem materiais rochosos que possam ser usados como agregados. Por outro lado, existem solos e sedimentos ricos em matéria orgânica que, por se manterem saturados a maior parte do tempo, propiciam a formação de ácidos corrosivos que, aliados ao nível freático sub-aflorante, podem danificar estruturas enterradas.

Em função de sua natureza plana, a área representada pelo ponto 1, são de baixíssimo potencial de erosão hídrica e movimentos naturais de massa. No entanto, apresentam escoamento muito precário, tanto superficial quanto subsuperficial, e alto potencial para formação de terrenos alagados (Figura 4.1.4.2.3-1). Nesse sentido, obras viárias têm de ser executadas sobre altos aterros, que acarretam custos elevados.

Com relação ao potencial de jazidas, o compartimentos representado pelo ponto 1 é favorável à existência de várias substâncias minerais, com destaque para a areia para uso na construção civil, argila e cascalhos.



**Figura 4.1.4.2.3-1.** Ponto 1 – Representativo de Planícies aluvionares recentes, nesse caso relacionada ao rio Paraguai; nível freático aflorando.

- PONTO 2

Este ponto também está localizado na Unidade Planícies e Pantanaís Mato-grossenses, este setor apresenta aluviões com sedimentos de granulometria variável, desde argila até areia, depositados na planície pantaneira. Predominam os processos de acumulação. As características desses terrenos são similares ao do Ponto 01 (Figura 4.1.4.2.3-2).



**Figura 4.1.4.2.3-2.** Aspecto do setor caracterizado pela planície pantaneira

- PONTO 3

Ponto levantado em região com terrenos levemente ondulados a suaves (superfícies aplainadas conservadas), baixa declividade, amplitudes e densidade de canais de drenagem. Na região do entorno do ponto 3, por vezes apresenta formas sedimentadas, porém, em sua maior parte, as superfícies são recobertas por sedimentos carbonáticos síltico-argilosos e arenosos recentes (Figura 4.1.4.2.3-3).



**Figura 4.1.4.2.3-3.** Ponto 3 - Terreno suave sustentado por afloramento de calcário

A área do entorno do ponto 3, é bem estabilizada, com baixo potencial erosivo e de movimentos naturais de massa. Deve-se, no entanto, ter bastante cautela com qualquer tipo de intervenção, pois é alto o potencial para a ocorrência de desmoronamentos subterrâneos, abatimentos de terreno e colapsos na superfície, fenômenos característicos de regiões cársticas (produtos de alteração de rochas calcárias). Essas importantes discontinuidades geomecânicas e hidráulicas facilitam a desestabilização do terreno e os processos erosivos em paredes escavadas.

- PONTO 4

O ponto 4 está localizado numa região, inserida no compartimento dos depósitos detríticos carbonáticos provenientes de processos de laterização em rochas carbonáticas, caracteriza-se por um relevo de baixa declividade. No detalhe,

observa-se a rampa que se inclina suavemente em direção norte (Figura 4.1.4.2.3-4). As características desses terrenos são similares ao do Ponto 03.



**Figura 4.1.4.2.3-4** . Ponto 4 - Vista geral de uma rampa característica deste setor

- PONTO 5

A região onde se situa este ponto é caracterizada por terrenos planos, em área não inundável. A vegetação é pouco densa e representada por espécies permanentes - arbustos e árvores de porte médio (Figura 4.1.4.2.3-5). As limitações e adequabilidades dos terrenos desse compartimento são similares as dos pontos 03 e 04.



**Figura 4.1.4.2.3-5**. Ponto 5 - Terreno suave em terras baixas e não inundáveis.

- PONTO 6

Neste setor, onde está situado o ponto 6, foram identificadas formas de relevo do tipo *inselbergs* (testemunhos), que são ocorrências de pequenas dimensões, que se sobressaem em meio às superfícies aplainadas. Estas áreas suavemente declivosas apresentam afloramentos de rochas de maior resistência, com manto de alteração de espessura irregular (Figura 4.1.4.2.3-6). Os potenciais de erosão hídrica e de movimentos de massa são baixos. Onde o manto de alteração é espesso, é fácil a escavabilidade. São terrenos bem estabilizados. No entanto, pode haver a ocorrência de colúvio sobre solos residuais, materiais de características geotécnicas distintas. Deve-se prever a deficiência de escoamento em obras enterradas e, nas épocas das chuvas, é grande a possibilidade do acúmulo de água na superfície.



**Figura 4.1.4.2.3-6.** Ponto 6 - Sopé de pequenos testemunhos que se destacam na superfície como um relevo residual não aplainado.

- PONTO 7

No setor onde está situado o ponto 7, são identificadas as vertentes recobertas por depósitos de tálus e rampas de colúvio. Consistem em superfícies inclinadas, do tipo colinas, com potencial de erosão hídrica (Figura 4.1.4.2.3-7). Os depósitos de tálus são naturalmente sujeitos a processos erosivos e a movimentos gravitacionais de massa, especialmente quando associados a relevos declivosos e quando sobrepostos a materiais pouco permeáveis. Obras de terra podem se desestabilizar com facilidade nesses terrenos.



**Figura 4.1.4.2.3-7.** Ponto 7 - Blocos de rocha dos minérios de ferro e manganês, constituindo o sopé dos terrenos colinosos.

- PONTO 8

O local onde está inserido o Ponto 8 apresenta alongado planalto escarpado, sustentado por rochas do Grupo Jacadigo, no sentido nordeste (Figura 4.1.4.2.3-8). Devido ao relevo, o escoamento superficial é rápido, sujeito a enxurradas de alto potencial erosivo e de movimentos de massa. A heterogeneidade geotécnica na vertical potencializa as instabilizações em talude de corte. Formações ferríferas se alteram para solos bastante ácidos e corrosivos. O solo residual, quando pouco evoluído, contém argilominerais expansivos, inadequados para serem usados como material de empréstimo.



**Figura 4.1.4.2.3-8. Ponto 8** - Vista geral da área formada pelo planalto escarpado sustentado por rochas do grupo Jacadigo.

## **4.1.5 PEDOLOGIA**

### **4.1.5.1 METODOLOGIA**

A descrição da pedologia na área do projeto foi baseada inicialmente no trabalho publicado pelo EMBRAPA Pantanal (EMBRAPA, 2002) onde é apresentado o mapa de solos do assentamento Urucum. Trata-se de um mapeamento executado em escala mais adequada e que apresenta um melhor detalhamento dos solos da área. MAPA 4.1-7 Pedologia (Anexo 2).

### **4.1.5.2 CONTEXTUALIZAÇÃO REGIONAL**

Os estudos dos solos na Área de Influência Indireta – AII começaram com os mapeamentos executados para o projeto RADAM BRASIL. Estes estudos desenvolvidos na escala de 1:1.000.000 forneceram informações preciosas sobre o meio físico da região do Pantanal e de todos os morros no entorno deste ambiente. Os solos que se desenvolvem na planície pantaneira não possuem relação com os solos da área de estudo especificamente, exceto na área de planície ao redor do Projeto. Regionalmente predominam solos não hidromórficos nas áreas de morro, tais como Chernossolo, Argissolo, NeossolosLitólicos e Cambissolos e na área de planície os solos são condicionados pela presença quase que constante da água. Aparecem solos do tipo Gleissolo, NeossoloQuartzarênicohidromórfico, Planossolo e mesmo Plintossolo. Como mencionado anteriormente os primeiros levantamentos de solo onde se pode ter estudos mais completos são os mapeamentos desenvolvidos para o projeto RADAM BRASIL (BRASIL, 1982). Os solos ainda apresentados no antigo sistema brasileiro de classificação são apresentados inicialmente com a grafia antiga e posteriormente renomeados no atual sistema de classificação (EMBRAPA, 1999). Foram identificadas na região mapeada pelo projeto RADAM BRASIL (BRASIL, 1982) quatro classes de solos principais de ocorrência de solos (Folha 21 SE - Mapa Exploratório de Solos). A seguir são apresentadas as principais características dos solos da área segundo o Projeto RADAM BRASIL (BRASIL, 1982). O MAPA 4.1-8 Exploratório dos Solos do Anexo 2 do documento apresenta o mapa exploratório de solos na escala de 1:500.000. As unidades de

mapeamento apresentadas correspondem a associações de solos e por isso são apresentadas no texto mais classes de solo do que as que compõem o mapa.

#### **4.1.5.2.1 Brunizém Avermelhado (atual Chernossolo)**

Esta classe é encontrada, nas proximidades de Corumbá, sobre as rochas pré-cambrianas. Tem como principais características a presença de um horizonte A chernozêmico sobrejacente a um horizonte B textural e a dominância da argila de atividade alta. São solos minerais, bem drenados, profundos, com saturação e soma de bases elevadas, caracterizando-os como solos férteis. Apresentam horizontes bem diferenciados, sendo o horizonte A na maioria das vezes com menos conteúdo de argila que o Bt e a transição entre os mesmos é geralmente plana e clara.

#### **4.1.5.2.2 Rendzina (atual Chernossolo)**

Esta classe compreende solos rasos a pouco profundos, alcalinos, que apresentam um horizonte A chernozêmico sobre a rocha matriz de natureza calcária. Tem sequência de horizontes A, R ou A, C R, e a espessura mínima constatada é de 20 cm. Geralmente apresenta concreções ou fragmentos da rocha matriz ao longo do perfil e uma característica importante na caracterização de campo é a efervescência que ocorre quando a amostra é tratada com HCl. Ocorre com textura média ou argilosa, frequentemente em relevo forte ondulado ou montanhoso, associado ao Brunizém Avermelhado e com a presença constante de afloramentos de rocha. Apresenta teores de silte relativamente elevados e a estrutura moderada a pequena e média granular e quimicamente são eutróficos com argila de alta atividade, sendo valores de Ca e Mg elevados. Tem como maior limitação ao uso agrícola a pequena profundidade, o relevo desfavorável a mecanização e os afloramentos de rocha.

#### **4.1.5.2.3 Podzólico Vermelho-Amarelo (atual Argissolo Vermelho-Amarelo)**

São solos minerais, não hidromórficos, com sequência de horizontes A, Bt e C, sendo que o horizonte B textural apresenta saturação com bases superior a 50% e acumulação de argila decorrente de processos de iluviação de argila ou argila mais silte, evidenciada pela alta reação textural. É também característica importante de identificação do horizonte B textural a cerosidade, ou seja, filmes de colóides minerais que nos solos da região que nos solos da região apresentam desenvolvimento moderado a forte e ocorrência comum a abundante recobrimo os elementos de estrutura, que varia desde pequena a grande e moderada a forte em blocos angulares e subangulares. As cores do horizonte Bt variam nos matizes 2.5YR a 5YR e a transição entre os horizontes desde difusa a abrupta. O horizonte A pode ser do tipo moderado ou chernozêmico, e em alguns casos ocorre um horizonte E alábico, caracterizado por um intenso processo de eluviação. Em função dos diferentes tipos de litologia e formas de relevo, principalmente, esta classe de solos apresenta grande variação nas características físicas e morfológicas. Os originados de rochas do Grupo Cuiabá e do Grupo Corumbá – Formação Tamengo possuem como característica fundamental o caráter abrupto e ocorrem sob vegetação de floresta sendo utilizados como pastagem, predominantemente.

#### **4.1.5.2.4 Glei Pouco Húmico (atual Gleissolo)**

Os solos assim classificados apresentam um desenvolvimento incipiente do perfil, tendo sequências de horizontes do tipo A, Cg, sendo que a maioria apresenta descontinuidade litológica. São característicos de locais planos e baixadas, sujeitos a alagamentos constantes ou periódicos. As condições anaeróbicas, resultantes da má drenagem do perfil, são ao solo características de intensa gleização, resultantes dos processos de redução que se intensificam nestas condições. São originados de sedimentos muito recentes referidos ao período Quaternário, normalmente constituídos por camadas sedimentares de natureza heterogênea. Em função da natureza das camadas, as características dos também são muito diversificadas, o que resulta na ocorrência de solos com todas as

classes texturais. Sua limitação para uso agrícola advém do seu constante alagamento, além dos solos distróficos e álicos necessitarem de empregos de adubo e calcário.

#### **4.1.5.2.5 Planossolo**

Os solos dessa classe se caracterizam por apresentar sequência de horizontes A, E, Btg e C, sendo a transição do horizonte A para o B abrupta. O horizonte A é moderado, o horizonte E é de textura arenosa, a estrutura não é desenvolvida apresentando-se em grãos simples e o horizonte Btg apresenta-se com um acúmulo acentuado de argila, sendo sua estrutura desenvolvida em blocos subangulares e maciça. São solos típicos de relevo planos e áreas rebaixadas, evidenciados por um hidromorfismo acentuado, tendo cores predominantemente no matiz 10YR com croma menor que 2, evidenciando a deficiência na drenagem. A textura predominante é a arenosa/média, também sendo encontrados solos com textura arenosa/argilosa, média/argilosa e muito argilosa. Em alguns casos apresentam caráter plântico e concrecionário, tendo sido constatado a presença de horizontes mosqueados. O horizonte E apresenta-se espesso, alcançando até 110 cm de profundidade, contribuindo para limitar o aproveitamento do solo, pois sofre uma lavagem excessiva dos nutrientes que possui.

#### **4.1.5.2.6 SolonetzSolodizado (atual PlanossoloNátrico)**

Os solos assim denominados caracterizam-se por apresentar sequência de horizonte A, E, Btgn (B plânico), C, sendo que o horizonte A é do tipo moderado e a transição entre o horizonte E e B plânico é abrupta evidenciando uma iluviação acentuada de argila.

São solos minerais profundos, pouco porosos, caracterizados por apresentar saturação de sódio superior a 15%. O horizonte B plânico apresenta estrutura fortemente desenvolvida, em blocos subangulares e colunar. O horizonte E é de textura arenosa, sendo em alguns casos bastante espesso, alcançando até 90 cm de profundidade, não apresentando estrutura, pois as partículas do solo se apresentam em grãos simples. As cores do horizonte B plânico variam nos matizes 7.5YR e 2.5Y, sendo os cromas geralmente inferiores a 2, evidenciando

um hidromorfismo acentuado, devido principalmente ao impedimento de drenagem causado pelo horizonte B plânico, que tem baixa permeabilidade, impedindo o movimento descendente da água, aumentando os riscos de alagamento e contribuindo para um aumento da concentração de sódio.

#### **4.1.5.2.7 Cambissolo**

São caracterizados por terem um horizonte A sobrejacente a um B incipiente (Bi). O tipo de horizonte A nos Cambissolos eutróficos pode ser moderado ou mesmo chernozêmico e nos distróficos e álicos é somente moderado. O horizonte Bi em ambos os casos é caracterizado pelos teores elevados de silte e assim como pela alta relação silte/argila, pequeno ou nenhum gradiente textural. Ocorrem como subdominantes nas unidades de mapeamentos dos Argissolos e Chernossolos. Os Cambissolos distróficos ocorrem em relevo suave ondulado e os álicos em relevo ondulado, porém são fortemente limitados pela presença excessiva de cascalhos, baixa fertilidade natural, acidez e pequena profundidade.

#### **4.1.5.2.8 Vertissolo**

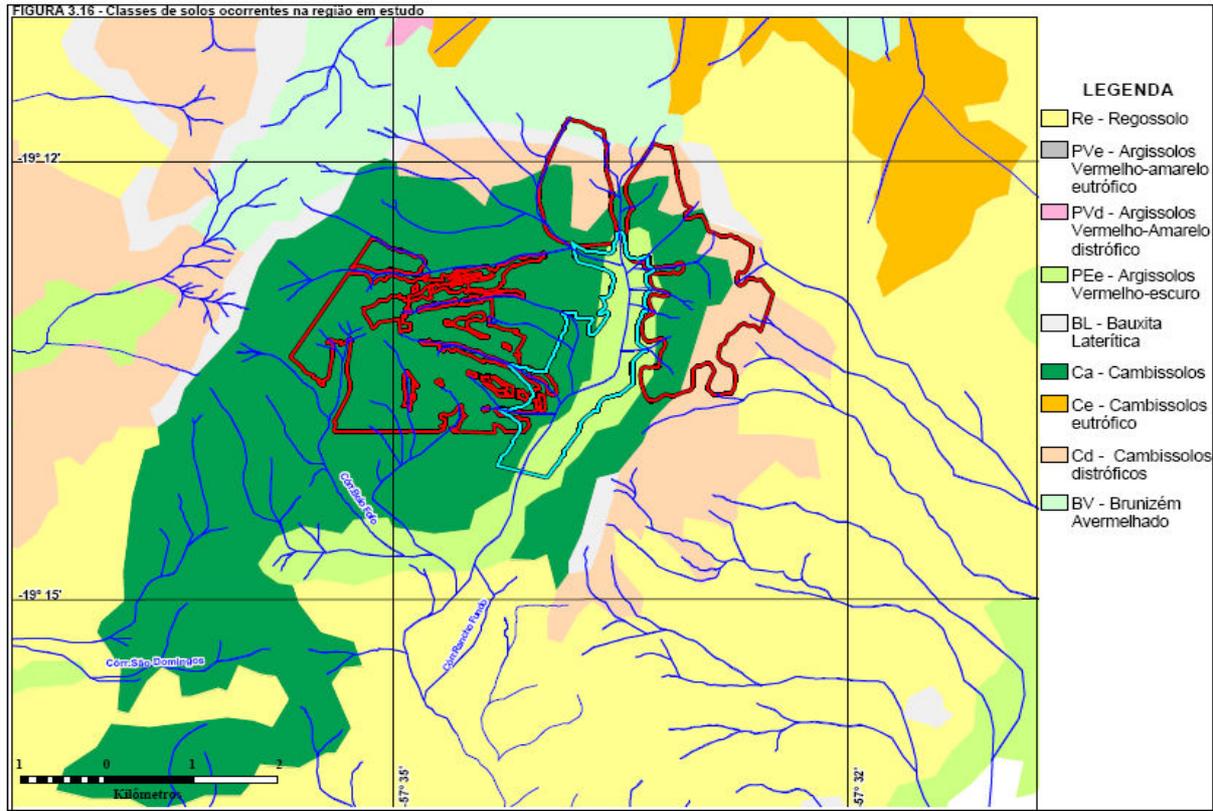
Os solos dessa classe apresentam sequência de horizontes A, Cv, formados a partir de sedimentos do Quaternário. O horizonte A é do tipo chernozêmico ou moderado e o horizonte C apresenta coloração escura. São argilosos, com argilas de atividade alta, alcalinos, e com baixo grau de flocculação. Apresentam sempre *slickensides*, estrutura em blocos subangulares grandes e fortemente desenvolvidas. Predominam as argilas de tipo 2:1 (esmectitas), cuja expansão e contração afetam a massa do solo, quando se alternam períodos chuvosos e secos. Em consequência, formam-se fendas consideráveis e rachaduras a superfície nas épocas de estiagem pronunciada. São solos de consistência dura a muito dura, muito pouco porosos e moderadamente à imperfeitamente drenados. Geralmente são alcalinos, apresentando ou não bonecas calcárias e efervescência a HCl em todo o perfil.

#### 4.1.5.3 RESULTADOS

A partir da descentralização da EMBRAPA e da implantação de uma unidade da empresa no Pantanal, novos mapeamentos de solos foram sendo produzidos. Um dos produtos foi a atualização do mapa de solos da planície pantaneira onde foram detalhados especificamente os solos que ocorrem na área plana e que de alguma forma estão sujeitos à influência do nível da água sazonal. Os solos mais expressivos são: Planossolos, Plintossolos, Espodossolos, Gleissolos, Vertissolos e Neossolos. As classes menos expressivas e que ocorrem em ambientes fora da planície pantaneira propriamente dita são: Chernossolos, Latossolos, Argissolos e Cambissolos. Estes solos são os que ocorrem na área de morros que são aproveitados para mineração (FERNANDES *et al.*, 2007). Os relatórios destes mapas apresentam informações mais detalhadas que serão apresentadas a seguir.

Os solos do Planalto Residual do Urucum estão intimamente ligados ao material de origem, que são jaspilitos da Formação Banda Alta. Neste caso encontram-se Argissolos Vermelhos, Cambissolos e NeossolosLitólicos. Sobre os arcóseos da Formação Urucum aparecem os NeossolosRegolíticos (Figura 4.1.5.3-1). A região da morraria Santa Cruz está assentada em solos do tipo Cambissolo, enquanto na morraria Grande ocorrem CambissolosHáplicos e Distróficos, assim como a norte da barragem de rejeitos, a qual está sobre solos do tipo Argissolos. Devido a mudanças de escala e nível de mapeamento observa-se que algumas unidades de mapeamento sofrem alterações, como por exemplo a grande mapeada como Cambissolo, no mapeamento feito na área da mina teve sua classificação alterada para NeossoloLitólico em associação com afloramentos de litologias da Formação Banda Alta. Na região da depressão do rio Paraguai ocorremArgissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos, ChernossolosRêndzicos e Argilúvicos, Planossolos, CambissolosHáplicos, VertissolosEbânicos e NeossolosRegolíticos.

Na região das Planícies e Pantanaís Mato-Grossenses predominam GleissolosHáplicos e NeossolosFlúvicos, sendo predominantemente sedimentos quaternários arenosos e argilosos da Formação Pantanal.



**Figura 4.1.5.3-1.** Tipo de solos na área da mineração (EMBRAPA, 2000).

A descrição da pedologia na área do Projeto foi baseada inicialmente no trabalho publicado pelo EMBRAPA Pantanal (EMBRAPA, 2002) onde é apresentado o mapa de solos do assentamento Urucum. Trata-se de um mapeamento executado em escala mais adequada e que apresenta um melhor detalhamento dos solos da área. Foram mapeadas associações de solos pertencentes a cinco classes de solos distintas: Cambissolo, Chernossolo, Luvisso, Neossolo e Vertissolo.

#### 4.1.5.3.1 Cambissolo

Foi classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO TaEutróficóléptico A chernozêmico textura média fase rochosa. São solos pouco desenvolvidos, com argila de atividade alta e com saturação de bases acima de 50%, conferido-lhes o caráter eutrófico. Apresentam contato com a rocha ou material parcialmente consolidado, entre 50 cm e 100 cm da superfície do solo e possuem seqüência de horizontes A-Bi-C, com relativa diferenciação.

Estão localizado próximo aos NeossolosLitólicos em área de declividade mais acentuada. Podem forma associações locais, como na Figura 4.1.5.3.1-1, com os NeossolosLitólicos.

Os Cambissolos apresentam perfil com horizonte A relativamente espesso (25 cm), escuro e rico em matéria orgânica, alguns deles com A chernozêmico. Neste horizonte a textura é franco argilo-arenosa e a estrutura granular e em blocos subangulares. A consistência do solo é ligeiramente dura quando seco, friável quando úmido e plástica e pegajosa quando molhado.

Logo abaixo do horizonte A aparece um horizonte constituído por material mineral que sofreu pouca alteração física e química (horizonte B incipiente - Bi). A textura neste horizonte é franco argilo-arenosa e a estrutura granular e em blocos subangulares. A consistência do solo quando molhado é ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.



**Figura 4.1.5.3.1-1.** Perfil de Cambissolo (UTM 21K 0450958/7863780). Na área é possível observar também NeossolosLitólicos.

Em virtude de se desenvolverem a partir de rochas calcárias e do elevado conteúdo de matéria orgânica no horizonte A, a reserva de nutrientes destes solos pode ser considerada como razoável, podendo ser comprovada pelos valores de somas de bases trocáveis (S), capacidade de troca de cátions (T) e saturação por bases (V) (Tabelas 4.1.5.3.1-1 e 4.1.5.3.1-2). Estes solos ocorrem em áreas com declividade inferior a 3% e apresentam, comumente, proximidade do substrato rochoso com a superfície, evidenciando-se ainda, afloramentos de rochas calcárias amplamente dispersos. Em decorrência da estação seca prolongada e do pouco volume de solo a ser explorado pelas raízes, caracterizam-

se por apresentar vegetação nativa que perde parcialmente as folhas no período seco.

**Tabela 4.1.5.3.1-1.** Características físicas do Cambissolo (CARDOSO et al., 2002).

Horizonte	Prof (cm)	Cascalho	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
		<b>g.kg<sup>-1</sup></b>				
A	0 – 25	0	320	230	250	200
Bi	80 – 120	30	270	200	270	260

**Tabela 4.1.5.3.1-2.** Características químicas do Cambissolo (CARDOSO et al., 2002).

Horizonte	pH		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>2+</sup>	Na <sup>2+</sup>	S	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	T	V	P
	H <sub>2</sub> O	KCl	<b>cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup></b>							%	<b>mg<sub>i</sub>.kg<sup>-1</sup></b>
A	7,0	5,9	10,3	1,1	0,27	0,06	11,7	1,5	13,2	89	8
Bi	7,0	5,5	5,3	1,9	0,07	0,05	7,3	0,8	8,1	90	2

#### 4.1.5.3.2 Chernossolos

Segundo Cardoso *et al.* (2002), regionalmente os Chernossolos compõem diversas unidades de mapeamento. Podem ser de dois tipos: CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Órtico típico textura média/argilosa e CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Órticosaprolítico textura média/argilosa. Como pode ser percebido estas duas unidades diferem-se, basicamente, em relação a maior ou menor capacidade de retenção de água, que é influenciada pela proximidade do substrato rochoso e refletida pelas fases de vegetação caducifólia e subcaducifólia. No Chernossolosaprolítico, o horizonte C encontra-se próximo à superfície.

Na área de estudo foi identificado uma área de ocorrência de Chernossolos (Faz. Paraíso – UTM 21K 0439800/7870575). Este ambiente corresponde a uma área rebaixada que pode estar associada a um substrato de rochas calcárias (Figura 4.1.5.3.2-1).



**Figura 4.1.5.3.2-1.** Área de ocorrência de Chernossolo (Faz. Paraíso – UTM 21K 0439800/7870575).

Os Chernossolos locais são derivados de rochas calcárias, são pouco profundos, e possuem sequência de horizontes A-Bt-C ou A-AB-Bt-BC. Apresentam de maneira geral, horizonte A espesso, de cor bruno-avermelhado-escuro, com elevados teores de Ca e Mg (horizonte A chernozêmico). A textura deste horizonte é franca e franco argilo-arenosa e a estrutura granular e em blocos subangulares. Quando seco a consistência ligeiramente dura, friável quando úmidos e ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa quando molhados. As condições físicas deste horizonte, no tocante a estrutura, aeração, permeabilidade e retenção de água, são favoráveis ao desenvolvimento das plantas (CARDOSO *et al.*, 2002).

O horizonte B apresenta textura mais fina, caracterizada por aumento significativo da fração argila (Tabelas 4.1.5.3.2-1 e 4.1.5.3.2-2). Este aumento de argila permite classificar o horizonte B como textural (relação textural B/A igual a 2,0). A textura no horizonte Bt é argilosa e franco-argilosa e a estrutura em blocos angulares, com cerosidade abundante e forte. Quando seco consistência muito dura, muito firme quando úmido e muito plástica e pegajosa quando molhado.

O horizonte Bt, ao contrário da seção superficial, apresenta condições desfavoráveis ao desenvolvimento das plantas e à circulação da água. A presença

de argila de alta atividade condiciona baixa permeabilidade, menor disponibilidade de água para as plantas e aumento da plasticidade e pegajosidade, acarretando no fendilhamento do solo, quando seco.

São solos moderadamente ácidos a alcalinos, apresentando boa reserva de nutrientes, evidenciada pelos elevados valores de somas de bases trocáveis (S), capacidade de troca de cátions (T) e de saturação por bases (V), com exceção de fósforo (P) (Tabelas 4.1.5.3.2-3 e 4.1.5.3.2-4).

Os solos ocorrem em áreas de topografia horizontal, com declividade inferior a 3%, assim como também nas áreas de topografia pouco movimentada, com declividade entre 3% a 8%. No CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Órtico típico textura média/argilosa, em virtude da maior retenção de água, a vegetação é caracterizada por espécies que perdem parcialmente as folhas no período de deficiência hídrica. No CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Órticosaprolítico textura média/argilosa, devido ao menor volume de solo a ser explorado pelas raízes, decorrente da maior proximidade do horizonte C com a superfície do solo, a deficiência hídrica torna-se mais severa, refletindo na perda total de folhas pela vegetação.

**Tabela 4.1.5.3.2-1.** Características físicas do ChernossoloArgilúvicoÓrtico típico (CARDOSO et al., 2002).

Horizonte	Prof (cm)	Cascalho	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
		g.kg-1				
A	0 – 20	10	150	200	420	230
Bt	70 – 100	0	140	150	260	450

**Tabela 4.1.5.3.2-2.** Características químicas do Chernossolo Argilúvico Órtico típico (CARDOSO et al., 2002).

Horizonte	pH		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>2+</sup>	Na <sup>2+</sup>	S	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	T	V	P
	H <sub>2</sub> O	KCl									
A	4,9	3,6	5,5	1,5	0,47	0,23	7,7	4,7	12,4	62	12
Bi	5,6	4,0	7,7	2,1	0,1	0,8	10,7	2,5	13,2	81	1

**Tabela 4.1.5.3.2-3.** Características físicas do Chernossolo Argilúvico Órtico saprolítico (CARDOSO et al., 2002).

Horizonte	Prof (cm)	Cascalho	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
		g.kg <sup>-1</sup>				
A	0 - 7	0	440	160	200	200
AB	- 15	0	410	160	200	230
Bt1	- 25	0	390	130	140	340
Bt2	- 50	50	320	110	180	390
BC	- 50	70	360	110	60	470

**Tabela 4.1.5.3.2-4.** Características químicas do Chernossolo Argilúvico Órtico saprolítico (CARDOSO et al., 2002).

Horizonte	pH		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>2+</sup>	Na <sup>2+</sup>	S	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	T	V	P
	H <sub>2</sub> O	KCl									
A	7,5	7,1	18,2	2,8	0,42	0,09	21,5	0,3	21,8	99	8
AB	7,1	6,3	14,6	2,7	0,13	0,06	17,5	1,5	19,0	92	14
Bt1	6,0	5,2	15,3	4,1	0,13	0,1	19,6	2,3	21,9	89	2
Bt2	6,1	5,1	13,2	8,6	0,20	0,16	22,2	2,0	24,2	92	1

Horizonte	pH		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>2+</sup>	Na <sup>2+</sup>	S	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	T	V	P
	H <sub>2</sub> O	KCl	cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>							%	mg.kg <sup>-1</sup>
BC	7,7	6,8	19,2	6,6	0,05	0,32	26,2	0,1	26,3	100	1

#### 4.1.5.3.3 Gleissolo

Os Gleissolos na área se restringem a setor limítrofe com a Planície Pantaneira. São solos permanentemente encharcados e correspondem a planície de inundação propriamente dita. Estão na área associados com aos NeossolosFlúvicos. Em função da presença de argilas expansivas podem apresentar caráter vértico e fendas na estação seca. Sua textura é argilosa, sendo normalmente mais férteis, mas sem possibilidade de aproveitamento para a agricultura, devido a maior quantidade de sais que pode apresentar. Na Figura 4.1.5.3.3-1 pode ser observada a área de ocorrência destes solos.



**Figura 4.1.5.3.3-1.** Área de ocorrência de Gleissolo, com vegetação característica de áreas alagadas (UTM 21K 0458040/7852253).

#### 4.1.5.3.4 Neossolo Litólico

A unidade de mapeamento constituída por esta classe de solo é formada basicamente por um Neossolo Litólico Eutrófico típico A chernozêmico textura

média. A área minerada e de beneficiamento do minério está toda assentada sobre esta classe de solo. A Figura 4.1.5.3.4-1 mostra um perfil de NeossoloLitólico localizado próximo a área da Mina 1.



**Figura 4.1.5.3.4-1.** Neossolo Litólico (UTM 21K 0438198/7876560).

Estes solos são pouco evoluídos, rasos e que apresentam a seção superficial escura e rica em matéria orgânica (alguns com horizonte A chernozêmico), assentada diretamente sobre o substrato rochoso. A textura é franco argilosa e a estrutura granular e em blocos subangulares (Tabela 4.1.5.3.4-1). A consistência do solo quando seco é ligeiramente dura, quando úmido é friável e quando molhado é plástica e pegajosa. O horizonte A chernozêmico, com não mais que 15 cm de espessura, possui elevados teores de Ca e Mg, expressivos valores de saturação por bases (V), de soma de bases trocáveis (S) e de capacidade de troca de cátions (T), apresentando ainda, elevado teor de fósforo (P) (Tabela 4.1.5.3.4-2).

Os NEOSSOLOS LITÓLICOS estão presentes em áreas com superfície de topografia pouco movimentada, constituída pelas morrarias, apresentando declives suaves de 3 a 8%. A vegetação presente nestes solos caracteriza-se por perder totalmente as folhas no período de deficiência hídrica, condicionada pelo reduzido volume de solo disponível e, conseqüentemente, baixa capacidade de armazenamento de água.

**Tabela 4.1.5.3.4-1.** Características físicas do NeossoloLitólicoEutrófico típico (CARDOSO et al., 2002).

Horizonte	Prof (cm)	Cascalho	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
		<b>g.kg<sup>-1</sup></b>				
A	0 - 15	20	110	200	390	300

**Tabela 4.1.5.3.4-2.** Características químicas do NeossolosLitólicoEutrófico típico (CARDOSO et al., 2002).

Horizonte	pH		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>2+</sup>	Na <sup>2+</sup>	S	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	T	V	P
	H <sub>2</sub> O	KCl	cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>							%	mg.kg <sup>-1</sup>
A	7,1	6,5	27,1	11,1	0,12	0,10	38,4	1,1	39,5	98	312

#### 4.1.5.3.5 NeossoloFlúvico

Assim como os Gleissolos, a área mapeada como NeossoloFlúvico é relativamente pequena e corresponde a área de sedimentos arenosos que fica na transição entre Planossolos e Gleissolos. Os NeossolosFlúvicos estão localizados em área plana e apesar de não serem considerados solos hidromórficos, na área podem apresentar algum problema de percolação da água (Figura 4.1.5.3.5-1).



**Figura 4.1.5.3.5-1.** Área de ocorrência de NeossoloFlúvico, mas como pode ser observado na foto, a estrada já apresenta alguns pontos com maior retenção de água (UTM 21K 0457051/7853450).

#### **4.1.5.3.6 Planossolo**

Os solos dessa classe estão localizados na área de rampas suaves ao longo de uma das estradas que dá acesso à mina (Figura 4.1.5.3.6-1). Em função do relevo, esses solos formam associações com Argissolos, Luvisolos e Chernossolos. As características que irão diferenciar estas classes são os aspectos químicos ligados, principalmente, à fertilidade. Apresentam, próximo às áreas mais baixas, sequência de horizontes A, E, Btg e C, com transição abrupta entre os horizontes A e B e forte contraste textural.

Este contraste textural e o acentuado acúmulo de argila no horizonte Bt pode indicar maior suscetibilidade à erosão.



**Figura 4.1.5.3.6-1.** Área de ocorrência de Planossolos. Observar a ausência do horizonte A, indicando maior erosão em função da estrada (UTM 21K 0454996/7853958).

#### 4.1.5.3.7 Vertissolos

Não foram identificados Vertissolos na AID, mas optou-se por colocar os dados dos solos identificados por Cardoso *et al.* (2002), devido a grande presença destes solos nas de relevo suave no entorno da mina e porque estes solos podem estar associados a Gleissolos, Planossolos e mesmo Chernossolos. Segundo Cardoso *et al.* (2002), os Vertissolos são representados na área pelo VERTISSOLO EBÂNICO Órticochernossólico textura argilosa/muito argilosa. São solos caracterizado por apresentar horizonte vértico, com 30% ou mais de argila e com pequena variação textural ao longo do perfil. A intensa movimentação da massa do solo de acordo com a variação do teor de umidade, devido a presença de argilas expansíveis, promove uma contração do solo quando seco e sua expansão quando molhado, verificando-se freqüentes rachaduras largas e profundas. Apresenta seqüência de horizontes A-Cv, com destacada coloração escura.

A camada superficial é espessa, aproximadamente 40 cm, de cor preta, rica em Ca e Mg (horizonte A chernozêmico). A textura é argilosa e a estrutura em grande blocos angulares. A consistência é dura quando o solo está seco, firme quando úmido e muito plástica e muito pegajosa, quando molhado.

Logo abaixo do horizonte A chernozêmico destaca-se o horizonte Cv, caracterizado pela presença de material resultante da alteração inicial da rocha de

origem, com profundidade de 60 cm, cor cinzento-escuro e textura argilosa a muito argilosa (Tabela 4.1.5.3.7-1). A estrutura é em grandes blocos angulares, com cerosidade abundante. A consistência deste horizonte é muito extremamente dura quando seco, muito firme quando úmido e muito plástica e muito pegajosa quando molhado.

São solos pouco profundos, imperfeitamente drenados e com permeabilidade lenta a muito lenta. Possuem elevados valores de saturação por bases (V) e de soma de bases trocáveis (S), destacando-se os teores de cálcio e magnésio, bem como, elevada capacidade de troca de cátions (T), em virtude de grande quantidade de argila 2:1. Os teores de fósforo (P) são também relativamente altos (Tabela 4.1.5.3.7-2).

Ocorrem em áreas caracterizadas por topografia horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, inferiores a 3%. A vegetação predominante é marcada por espécies que perdem parcialmente as folhas no período de maior deficiência hídrica.

Os Vertissolos apresentam baixo potencial para aproveitamento agrícola e expressam, em seus atributos físicos, suas maiores limitações ao uso agrícola. O período de preparo do solo para o plantio, considerando as condições ideais de umidade para esta atividade, é muito reduzida em virtude da rápida passagem de estado úmido para encharcado. Não é raro deparar com situações em que a camada superficial encontra-se com umidade adequada para seu preparo, enquanto que camadas inferiores ainda estão muito úmidas, aumentando a possibilidade de desenvolvimento de compactação do solo.

Os frequentes encharcamentos e excessivo escoamento superficial nos períodos de concentração de frequência e intensidade de chuvas, decorrentes de baixa permeabilidade destes solos, também constituem limitações consideráveis.

A elevada pegajosidade, quando molhado, e a extrema dureza, quando seco, demandam esforço de tração muito grande, limitando a utilização extensiva desses solos. A infiltração de água é geralmente melhor nos solos com estrutura superficial granular, que pode ser mantida e mesmo melhorada através da rotação de culturas, emprego de resíduos de colheitas, de plantas de cobertura para formação de palhada e uso da terra com pastagens.

**Tabela 4.1.5.3.7-1.** Características físicas do VertissoloEbânicoÓrticochernossólico (CARDOSO et al., 2002)

Horizonte	Prof (cm)	Cascalho	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
		<b>g.kg<sup>-1</sup></b>				
A	0 - 40	0	130	70	23	470
Cv1	50 - 70	10	160	60	240	540
Cv2	80 - 110	0	90	60	220	630

**Tabela 4.1.5.3.7-2.** Características químicas do VertissoloEbânicoÓrticochernossólico (CARDOSO et al., 2002).

Horizonte	pH		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>2+</sup>	Na <sup>2+</sup>	S	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	T	V	P
	H <sub>2</sub> O	KCl	cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>							%	mg.kg <sup>-1</sup> <sub>1</sub>
A	7,1	6,1	24,6	14,8	0,76	0,15	40,4	0	40,3	100	55
Cv1	7,6	6,1	16,8	25,3	0,54	0,32	43,0	0	43,0	100	20
Cv2	8,4	7,5	6,4	18,1	0,13	0,37	25,0	0	25,0	100	2

#### 4.1.5.3.8 Processos Erosivos

Conforme relatado anteriormente, na área onde irá ocorrer a atividade minerária ocorrem solos que podem apresentar-se como propensos à erosão, ainda mais quando combinado com a declividade elevada, e remoção da vegetação, induzindo assim a ocorrência de processos erosivos. Os estudos que avaliam o potencial erosivo dos solos levam em consideração vários parâmetros tais como: densidade de drenagem (associada à permeabilidade das unidades); o grau de coesão dos litotipos (ligado à cristalinidade ou cimentação do litotipo); a estrutura geológica (densidade, arranjo e tipos de estruturas geológicas ligadas ao controle de deslizamento e queda de blocos); a morfodinâmica (associada aos graus de escoamento das águas meteóricas e aos movimentos de massa, tais como deslizamentos e quedas de blocos, e obtida pela análise dos parâmetros anteriormente citados); e a vegetação (cobertura vegetal, desmatamento e uso do solo, urbano ou agrícola).

Um mapa de potencial de risco à erosão pode ser obtido a partir da correlação / integração entre dados pedológicos, geomorfológicos e geológicos. Ao fazer uma avaliação em cada uma das unidades de solo mapeadas é observado que apesar das características dos solos indicarem uma suscetibilidade à erosão elevada, os demais elementos do meio físico, tais como geomorfologia acabam por reduzir ou mesmo neutralizar o risco à erosão. Por exemplo os Cambissolos, que são solos rasos, normalmente em ambientes com declividade mais acentuada, na área ocorrem em área de relevo plano, o que minimiza o risco à erosão, tornando o risco moderado.

Os Neossolos Litólicos são os que apresentam maior suscetibilidade à erosão, visto que estão situados em áreas de relevo com maior declividade e também devido à pequena espessura do perfil. Sob o ponto de vista do uso deste solo, a prática da agricultura pode induzir processos erosivos que culminariam com a remoção do todo o horizonte A. No entanto, como se trata de uma área de mineração este risco passa a ser nulo, uma vez que para acessar o minério há que se fazer o decapeamento do solo através da retirada do horizonte A. Os Luvisolos, Argissolos e Chernossolos (todos com o horizonte B textural) estão localizados em áreas onde os desnivelamentos altimétricos são muito pequenos, com declividades inferiores a 3%. A menor permeabilidade no horizonte B tem relação ao horizonte A, que sob chuvas intensas haja um acúmulo de água na camada superficial, tendendo a escorrimento superficial, comprometendo o armazenamento de água e aumentando o processo erosivo. Mesmo assim, a suscetibilidade à erosão é moderada devido a declividade.

Finalmente os solos das áreas planas, tais como os Planossolos, Gleissolos e alguns Plintossolos possuem baixo risco à erosão devido exclusivamente à declividade que é quase nula. Se avaliados desta forma os solos da área possuem moderado a elevado risco à erosão, como já evidenciado por CARDOSO *et al* (2002). Entretanto, não há indícios de erosão aparente na área da mina, provavelmente em virtude da manutenção da cobertura vegetal dos solos fora da área efetivamente minerada, que diminui e retarda os processos erosivos. Mesmo em locais onde já existem as atividades minerárias profundas, as quais ocorrem preferencialmente nas encostas, não foram percebidos indícios de início da erosão, demonstrando assim boa estabilidade dos solos na área em estudo.

Cabe ressaltar que se na área minerada a ausência de processos erosivos pode estar associada à forma como é conduzida a lavra, nas estradas de acesso às frentes de lavra podem se constituir os principais locais onde a erosão deve se

instalar. A remoção da cobertura vegetal, aliada às características dos solos apresentadas anteriormente, pode resultar em erosão mais acelerada, na forma de erosão laminar e ravinas, raramente na forma de voçorocas, neste caso devido à baixa espessura dos solos nas encostas. Ver 4.1-9 Suscetibilidade à erosão do Anexo 2.

#### **4.1.5.3.9 Edafologia e Avaliação da Aptidão Agrícola**

Neste item será descrita a avaliação aptidão agrícola dos solos na AID, segundo metodologia utilizada pela EMBRAPA, que estabelece as seguintes classes de aptidão agrícola: BOA, REGULAR, RESTRITA e INAPTA.

Os Cambissolos apresentam Classe de Aptidão RESTRITA, devido a ao fato de estarem localizado em áreas de relevo com mais declividade, são pouco profundos e algumas vezes podem apresentar pedregosidade (calhaus e outros clastos maiores na superfície do perfil) e rochoso (substrato rochoso a pouca profundidade) o que limita, por exemplo, a utilização de máquinas agrícolas. Além deste fato, apresentam suscetibilidade à erosão elevada.

O CHERNOSSOLO poderia ser enquadrado na classe boa, devido a elevada fertilidade natural, mas foi enquadrado na classe REGULAR, pois a sua área de ocorrência é muito pequena, o que impede ganhos em escala quando utilizados para produção agrícola.

Os Gleissolos apresentam sérias limitações a utilização agrícola, sendo enquadrado na classe RESTRITA, devido principalmente a fato de que são solos sujeitos a inundação no período das cheias do Pantanal. Ocorrem em área de relevo plano, o que favorece a mecanização, mas apresentam sérias restrições quanto a sua utilização ao longo de todo o ano. No entanto, estes solos podem ser utilizados como pastagem em algumas épocas do ano.

Os Neossolos Flúvicos também apresentam limitações quanto a utilização agrícola. Estes solos foram enquadrados na classe RESTRITA, devido à textura destes solos que é muito arenosa indicando necessidade de aplicação de mais insumos para a produção agrícola, o que pode inviabilizar a inserção de pequenos agricultores ou mesmo limitar os produtos a serem cultivados nestes solos. Da mesma forma que os Gleissolos, estes solos podem ser utilizados como pastagem, porém praticamente ao longo de todo o ano.

Os Neossolos Litólicos se apresentam como terras INAPTAS para aptidão agrícola devido à presença do substrato rochoso à pouca profundidade.

Os Planossolos apresentam aptidão RESTRITA devido à necessidade de implantação de sistemas que envolvam o uso moderado de tecnologia para a produção agrícola. São solos que podem apresentar sérios problemas de erosão, devido ao contraste textural entre os horizontes A e Btg.

Os Vertissolos apresentam aptidão RESTRITA devido à necessidade de implantação de sistemas que envolvam o uso moderado de tecnologia para a produção agrícola. Estes solos apresentam elevada fertilidade, mas podem ter elevados teores de sódio o que limita a sua utilização agrícola.

#### **4.1.6 HIDROLOGIA**

##### **4.1.6.1 CONTEXTUALIZAÇÃO REGIONAL**

No presente estudo, a área de Influência Indireta (AII) do meio físico, composta pela bacia do córrego Piraputangas e área entorno da adutora, está inserida na bacia do rio Paraguai. A seguir, será apresentada uma breve contextualização regional da bacia do rio Paraguai, destacando a porção onde se insere o Projeto.

O rio Paraguai é um dos principais tributários da bacia do Prata, segunda maior bacia hidrográfica da América do Sul e quinta maior do mundo (TUCCI *et al*, 2003). A bacia do Prata é formada pelos rios Paraguai, Paraná e Uruguai, todos com nascentes em território brasileiro, e que juntos drenam uma área de cerca de 3,1 milhões km<sup>2</sup>. (ANA, 2011). Esta bacia engloba cinco países, sendo eles: Brasil, Bolívia, Paraguai, Uruguai e Argentina. No Brasil, abrange os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A foz desta bacia fica no estuário do rio da Prata, formado pela junção entre os rios Paraná e Uruguai, localizado na fronteira entre Argentina e Uruguai. A Figura 4.1.6.1-1 apresenta a localização geográfica da bacia e sua divisão entre as sub-bacias principais.

Como pode ser visto na Figura 4.1.6.1-1, a bacia do rio Paraguai compreende quatro países, com uma área drenante total de cerca de 1 milhão km<sup>2</sup> (TUCCI *et al*, 2003): Argentina (165.000km<sup>2</sup>), Bolívia (205.000km<sup>2</sup>), Paraguai (355.000km<sup>2</sup>) e Brasil (370.000km<sup>2</sup>). Cerca de 35% do total desta bacia localiza-se em território brasileiro, nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo que grande parte se estende pela planície do Pantanal Mato-Grossense. No Brasil, cerca de 1,8 milhões de pessoas vive nesta bacia, a maior parte em cidades como Cuiabá (MT) ou Corumbá (MS). Os principais afluentes do rio Paraguai são os rios: Cuiabá, São Lourenço, Taquari, Aquidauana e Miranda (TUCCI *et al*, 2003).



**Figura 4.1.6.1-1.** Divisão das sub-bacias principais da Bacia do Prata Fonte: Endereço eletrônico Rios Vivos, 2011.

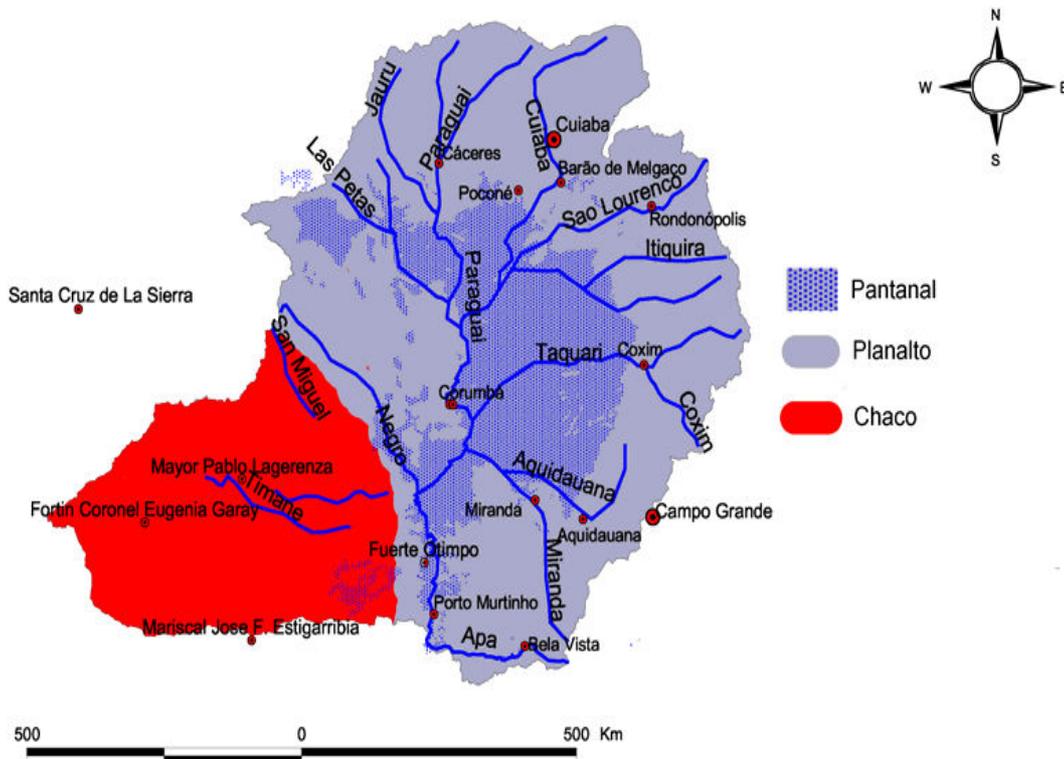
A nascente do rio Paraguai encontra-se nas Chapadas dos Parecis, no estado de Mato Grosso. Seu deságüe é feito no rio Paraná próximo às cidades de Corrientes e Resistência, na Argentina. Neste local, a vazão média deste rio é de  $2.700\text{m}^3/\text{s}$  (TUCCI *et al*, 2003).

O rio Paraguai apresenta alguns trechos navegáveis, como trecho que se inicia próximo ao município de Cáceres, Mato Grosso do Sul, até a foz do rio Apa,

delimitador da fronteira entre Brasil e Paraguai. Este trecho apresenta grande sinuosidade, o que torna viagens entre locais próximos mais demoradas que o habitual.

A bacia do alto Paraguai (BAP) caracteriza o trecho superior da bacia do rio Paraguai, limitando-se, no território brasileiro, a norte pela chapada dos Parecis e pela Serra de Cuiabá (no estado do Mato Grosso), ao sul pelo rio Apa, a leste pelas Serras da Bodoquena, Maracaju e São Domingos e a oeste pelas repúblicas do Paraguai e Bolívia (PCBAP, 1997). A bacia do Alto Paraguai integra-se ao pantanal Mato-Grossense, a qual se constitui na maior planície inundável contínua da América do Sul.

De acordo com ANA (2011), a bacia do alto Paraguai possui três regiões distintas: o Planalto, o Pantanal e o Chaco. O Planalto corresponde a uma região relativamente alta, com altitudes acima de 200m, podendo atingir até 1400m. Nesta região, a drenagem é bem definida e convergente. A região do Pantanal é caracterizada por ser uma área baixa, localizada no centro da bacia, de cotas entre 80 e 150m, onde os rios inundam a planície e alimentam um sistema de drenagem que inclui lagos extensos, cursos d'água divergentes e áreas de escoamento e inundação sazonal. Já a região do Chaco, localizado a oeste da fronteira do Brasil, é uma região baixa onde a precipitação é inferior a 1000mm por ano e onde há grandes áreas com drenagem sem fluxo de saída natural, que finaliza em banhados ou lagos, ou sem sistema de drenagem definido. A Figura 4.1.6.1-2 apresenta estas três regiões distintas.

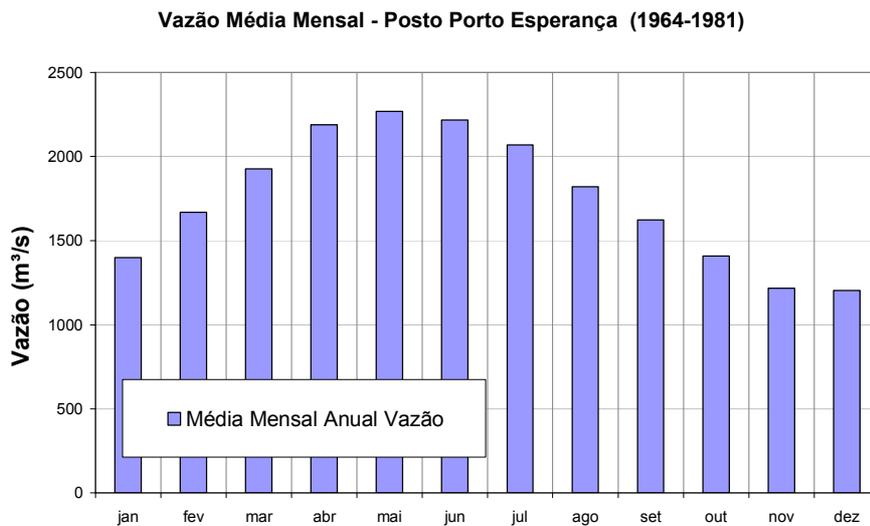


**Figura 4.1.6.1-2.** Bacia do Alto Paraguai (BAP) dividida em três regiões: Planalto, Pantanal e Chaco. Fonte: ANA, 2005.

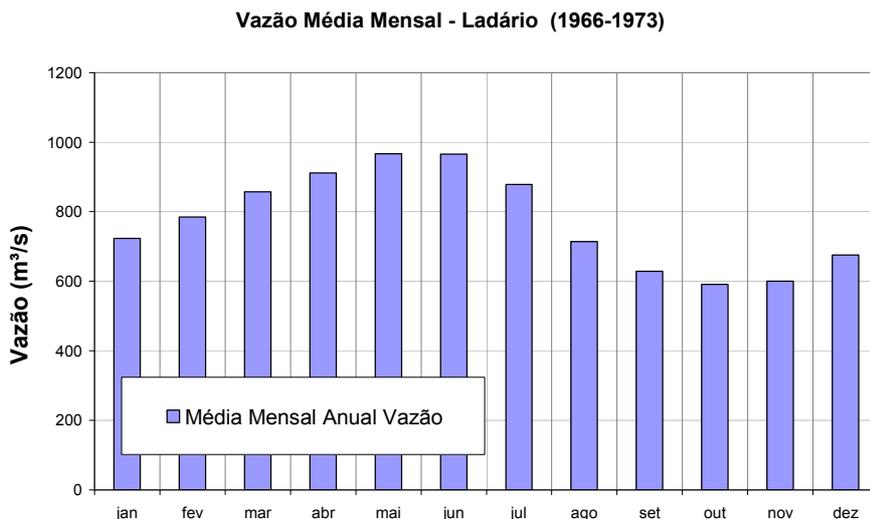
Na época das cheias, as chuvas caem torrenciais nas cabeceiras dos rios da Bacia do Paraguai, ao norte. As chuvas caem sobre um solo seco e poroso e são facilmente absorvidas. As grandes precipitações, a baixa declividade da planície e a dificuldade de escoamento das águas pelo alagamento do solo, são responsáveis por inundações nas áreas mais baixas, formando grandes áreas alagáveis. As chuvas elevam o nível das baías permanentes, criam outras, transbordam os rios e alagam os campos no entorno, e morros isolados sobressaem. Por causa da alternância entre períodos secos e úmidos, a paisagem pantaneira nunca é a mesma, mudando todos os anos: leitos dos rios mudam seus traçados; as grandes baías alteram seus desenhos.

O comportamento hidrológico anual nesta região é caracterizado por uma seca que vai de abril a setembro, com máxima observada em agosto e setembro, e

pelas chuvas que se iniciam em outubro e se intensificam de novembro a março. A inundação ocorre na planície, diferentemente para cada região, após um intervalo de tempo que a precipitação ocorre no planalto: em Porto Esperança e Ladário a cheia ocorre entre maio e junho, conforme pode ser observado, respectivamente, na Figura 4.1.6.1-3 e Figura 4.1.6.1-4; e em Porto Murtinho entre junho e julho (ABDON, 2004).



**Figura 4.1.6.1-3.** Vazão média mensal posto Porto Esperança (66960008). Fonte: Hidroweb-ANA.



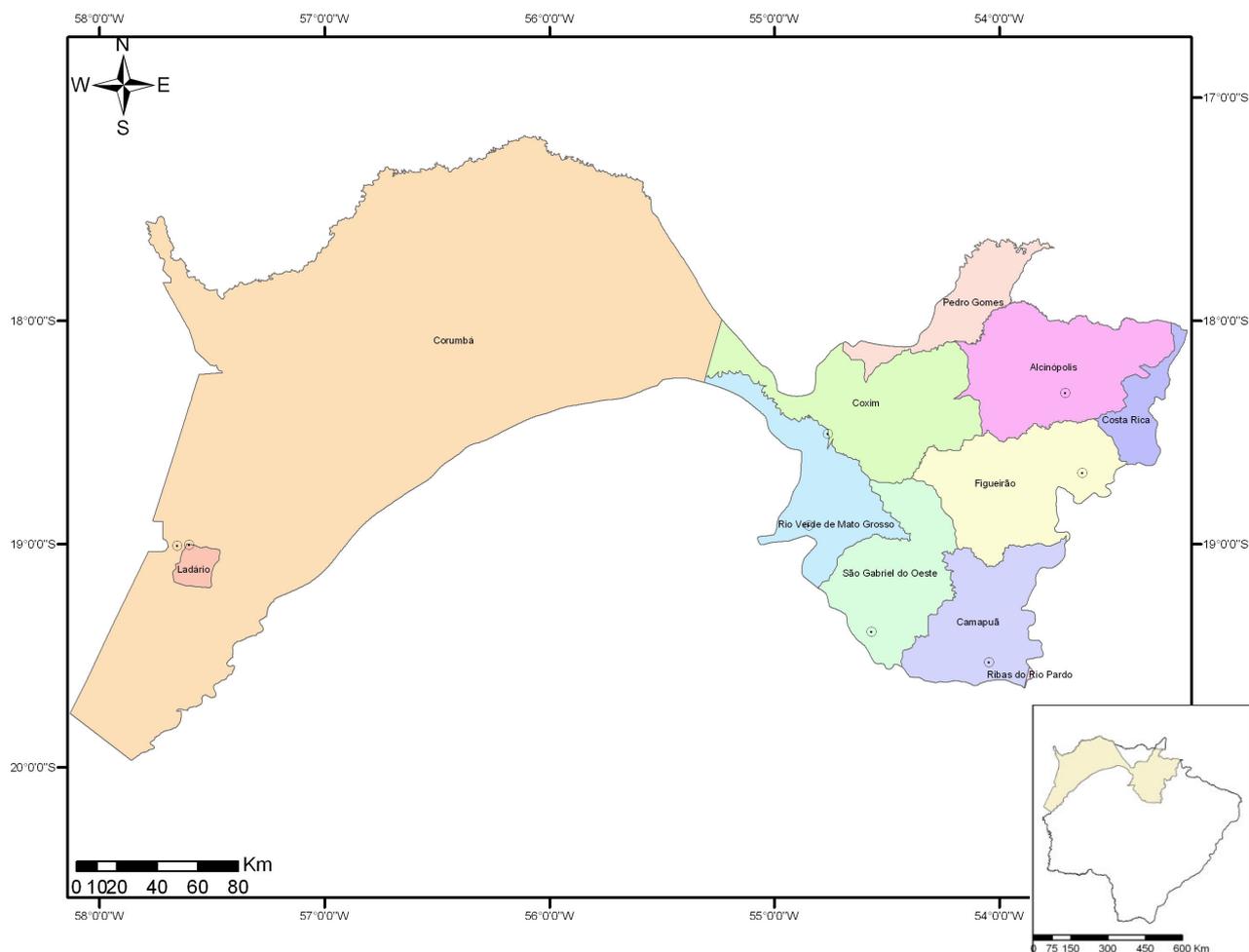
**Figura 4.1.6.1-4.** Vazão média mensal posto Ladário (66825000). Fonte: Hidroweb-ANA.

Verifica-se, portanto, uma considerável defasagem do comportamento hidrológico entre as regiões do planalto e na planície média/inferior do pantanal. Nas cabeceiras, observa-se uma resposta rápida às precipitações, com picos de vazão dos rios no período chuvoso. Já a parte média/inferior da bacia apresenta picos de vazões médias anuais no período de estiagem. Essa defasagem deve-se às características morfodinâmicas da bacia, com grandes áreas de alagamento que funcionam como reservatórios (ANA, 2011).

Assim, deve-se destacar que o período em que o rio Paraguai na região da captação está com nível d'água mais alto, cheia do rio que ocorre entre maio e junho, não coincide com o período de chuvas mais intensas que é entre novembro a março.

A mina de ferro da Mineração Corumbaense Reunida (MCR), situada nas morrarias Grande e Santa Cruz, está localizada no município de Corumbá, no estado do Mato Grosso do Sul. De acordo com SEMAC/MS (2010), neste estado a bacia do rio Paraguai pode ser subdividida em 6 sub-bacias principais, sendo elas: sub-bacia do rio Correntes, sub-bacia do rio Taquari, sub-bacia do rio Miranda, sub-bacia do rio Negro, sub-bacia do rio Nabileque e sub-bacia do rio Apa.

Verifica-se, que o projeto está localizado na sub-bacia do rio Taquari (Figura 4.1.6.1-5), situada na porção superior do estado de Mato Grosso do Sul. Esta sub-bacia engloba os municípios de Corumbá, Ladário e Coxim, entre outros. A Tabela 4.1.6.1-1 a seguir apresenta a área e a porcentagem de ocupação de cada município integrante da sub-bacia do rio Taquari.



**Figura 4.1.6.1-5.** Sub-bacia do rio Taquari Fonte: SEMAC/MS, 2010.

**Tabela 4.1.6.1-1.** Relação de municípios integrantes à sub-bacia do Taquari.

Município	área (km <sup>2</sup> )	% na bacia
Alcinópolis	4.399,7	100,0
Camapuã*	3.187,5	51,4
Corumbá*	38.965,0	60,0
Costa Rica	1.019,7	17,8
Coxim*	4.750,8	74,1
Figueirão*	3.999,3	87,8
Ladário	342,5	100,0

Município	área (km <sup>2</sup> )	% na bacia
Pedro Gomes	1.927,7	52,8
Rio Verde de MT*	2.822,9	34,6
São Gabriel do Oeste*	3.420,3	88,5
Total da bacia	64.834,7	

(\*)municípios com inserção parcial, porém com sede dentro da bacia. Fonte: SEMAC/MS, 2010

A bacia do rio Paraguai é uma bacia federal, mas seu comitê não foi instituído ou operacionalizado (ANA, 2005). Observa-se que existem algumas iniciativas em nível municipal, com a formação de consórcios de municípios como o COINTA, Consórcio Intermunicipal para o Desenvolvimento Sustentável da Bacia do Rio Taquari, criado em 1997. Verifica-se, que o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Mato Grosso do Sul é recente, desenvolvido em 2010 (SEMAC/MS, 2010), indicando a tentativa de um ordenamento institucional para o gerenciamento das bacias neste estado.

#### 4.1.6.2 HIDROGRAFIA LOCAL

Como visto, o projeto está inserido na área de drenagem do rio Taquari (SEMAC/MS, 2010). Próximo à região do Projeto, foram consideradas duas sub-bacias: a bacia do rio Paraguai e bacia da lagoa do Jacadigo.

A região do maciço do Urucum (Planalto Residual do Urucum - porção central da área) constitui o divisor de águas natural destas duas bacias. A morraria Santa Cruz, local de ocorrência do projeto é parte integrante da bacia da lagoa do Jacadigo, com drenagem efetuada pelo córrego Piraputangas.

Ressalta-se que mesmo havendo essa subdivisão em duas sub-bacias, em períodos de cheia de grande volume, essas bacias se fundem, podendo ser consideradas somente uma única, considerada como bacia do rio Paraguai. Na região das morrarias, percebe-se um sistema com uma diversidade de bacias hidrográficas, resultado de uma topografia acidentada, relacionada às diferentes litologias existentes. Essas drenagens apresentam características intermitentes e perenes.

Verifica-se que o trecho da bacia do rio Paraguai, onde está localizado o Projeto, está inserido numa região cujas características geológicas e geomorfológicas são os principais fatores condicionantes na existência das drenagens, existindo aquelas localizadas nas áreas dos Planaltos Residuais (morrarias, com destaque para a morraria do Urucum, Santa Cruz, Grande e do Rabicho) e aquelas relacionadas às áreas da Depressão do Rio Paraguai e a Planícies e Pantanaís Mato-grossenses. Isto se deve à pequena variação altimétrica em sua planície de drenagem. O pantanal apresenta um padrão de drenagem particular e pode ser dividido em duas regiões quanto à frequência e extensão das inundações:

(1) áreas permanentemente alagadas, compondo-se de lagoas, alimentadas por cursos d'água de diferentes tamanhos e lagoas conectadas por canais temporários. Na época das enchentes, as lagoas e canais se interligam e na seca podem ficar individualizados. O escoamento da água é muito lento, com cerca de 1-5cm/s, devido à baixa declividade e resistência oferecida pela vegetação

(2) áreas temporariamente alagadas por contribuição de cursos d'água de diferentes tamanhos e por água de chuva, onde a drenagem é deficiente. Essas áreas podem ser inundadas por alguns meses, todos os anos, ou por muitos meses durante alguns anos. Nas áreas inundadas pelos rios, a sua cota determina a área alagada.

A bacia da lagoa do Jacadigo, situada a partir da porção central da área em estudo, apresenta configuração com sentido de norte para sul, infletindo então para oeste, em direção à lagoa do Jacadigo. Esta bacia compreende quatro sub-bacias principais, sendo elas:

- a sub-bacia do córrego Piraputangas;
- a sub-bacia do córrego Morrinhos;
- a sub-bacia do córrego Urucum;
- a sub-bacia do córrego das Pedras.

Dentre estas, destaca-se a sub-bacia do córrego Piraputangas, por ser responsável pela drenagem da mina do projeto e a área ao sul das morrarias. Esta sub-bacia é formada em grande parte por corpos hídricos intermitentes, embora apresente trechos perenes ao longo de seu curso principal e principais

afluentes, entre eles os córregos Bolo Fofo, Rancho Fundo, Três Corações, Três Córregos e Dona Inácia. Estes córregos formam pequenas sub-bacias de mesmo nome. O córrego Piraputangas deságua no rio Verde, situado na porção sul da bacia da lagoa do Jacadigo. Em anexo, encontra-se o MAPA 4.1-10 (Anexo 2) Hidrografia do sistema de drenagem da AII, destacando-se a bacia do córrego Piraputangas.

#### **4.1.6.2.1 Descrição dos Principais córregos da Hidrografia Local**

A seguir, será apresentada caracterização hidrográfica dos principais córregos sob influência do Projeto (situados na Área de Influência Direta – AID), destacando-se os córregos Piraputangas, Bolo Fofo e Rancho Fundo. Serão descritos, ainda, os córregos Três Corações, Três Córregos e Dona Inácia que se inserem na Área de Influência Indireta (AII) do presente estudo.

Esta caracterização teve como base principal os estudos realizados pela empresa Potamos Engenharia e Hidrologia Ltda (2011), no qual constam informações acerca das drenagens ao redor da área de atuação da MCR.

A Figura 4.1.6.2.1-1 apresenta a localização dos pontos notáveis destacados das bacias dos córregos Piraputangas, Bolo Fofo, Rancho Fundo e Dona Inácia.

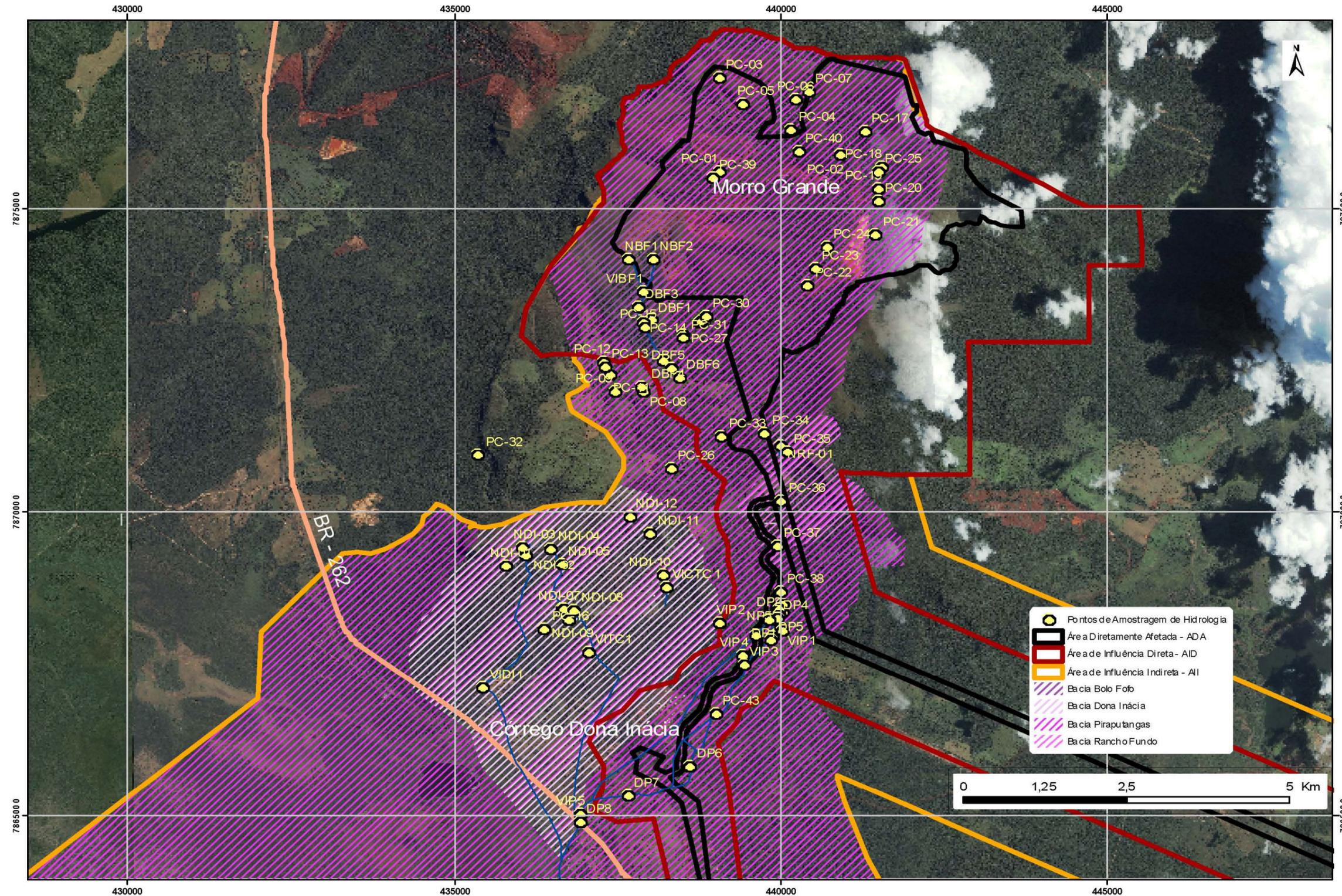
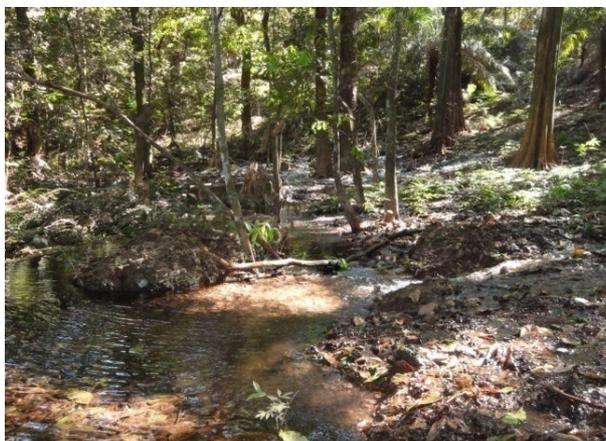


Figura 4.1.6.2.1-1. Localização dos pontos de monitoramento existentes na área de estudo.

Fonte: Potamos – 2011

### **Córrego Piraputangas**

O córrego Piraputangas, de regime perene, é o principal curso de água da região estudada. Origina-se na Fazenda São Benedito em uma área de topografia suave localizado à base do depósito de tálus, tendo por cabeceira uma rede interligada de nascentes. Estas nascentes podem ser visualizadas na Figura 4.1.6.2.1-1, onde é possível observar que grande parte da bacia do córrego Piraputangas apresenta talvegue seco e que suas nascentes estão consideravelmente distantes da cabeceira da bacia. Essas nascentes, portanto, se originam do escoamento subterrâneo da água da parte montante da bacia. A Figura 4.1.6.2.1-2 e a Figura 4.1.6.2.1-3 apresentam a área onde localizam-se as nascentes do Piraputangas, sendo possível visualizar que a parte superior do terreno encontra-se seca. A Figura 4.1.6.2.1-4 apresenta o córrego Piraputangas cruzando a Fazenda São Benedito. Como veremos mais adiante, o córrego Piraputangas apresenta um comportamento atípico, com pouca influência da precipitação durante a época de chuvas.



**Figura 4.1.6.2.1-2.** Cabeceira do córrego Piraputangas.



**Figura 4.1.6.2.1-3.** Área da nascente do córrego Piraputangas. Note que a parte superior do terreno encontra-se seca.



**Figura 4.1.6.2.1-4.** Córrego Piraputangas na Fazenda São Benedito.

O córrego Piraputangas é utilizado como fonte de abastecimento das comunidades locais, assim como para o uso comercial em clubes, balneários (Iracema, Menck e Lago Azul) e pesqueiros, marcando esta bacia pela presença de diversas lagoas artificiais. Estes fatores influenciam diretamente no regime hidrológico e a dinâmica fluvial deste curso de água. Grande parte do volume de água gerado pelas nascentes infiltra-se no tálus/colúvio, ao longo de todo o seu percurso.

Em visita técnica realizada entre os dias 04 e 07 de julho de 2011, foi observado que a drenagem na parte superior da bacia do Piraputangas, na região da mina da MCR, não apresenta córregos perenes, fato este que pode ser atribuído à alta permeabilidade do

solo desta região. Este córrego só se torna perene junto às nascentes anteriormente descritas.

As figuras a seguir apresentam a região da barragem de rejeitos da mina. Verifica-se que logo a jusante desta barragem não é possível visualizar corpos hídricos superficiais (Figuras 4.1.6.2.1-5 e 4.1.6.2.1-6). Foi constatado, junto aos trabalhadores desta região, que em épocas de grandes chuvas, as estradas funcionam como caminhos d'água, escoando superficialmente a precipitação para a parte mais baixa da bacia.

A Tabela 4.1.6.2.1-1 apresenta pontos característicos observados ao longo do córrego Piraputangas, estudados por Lajeado (2005 e 2006), cujos pontos de monitoramento encontram-se na Figura 4.1.6.2.1-1.



**Figura 4.1.6.2.1-5.** Barragem de rejeitos.



**Figura 4.1.6.2.1-6.** Vista a jusante da barragem de rejeitos, verificando-se um dos pátios de armazenagem da mina.

**Tabela 4.1.6.2.1-1.** Pontos característicos observados ao longo do córrego Piraputangas. Fonte: Lajeado (2006 e 2005).

Ponto	Coordenadas	Descrição	Vazão (m <sup>3</sup> /h)*
NP1	0440042 E	Nascente próxima à barragem	–
	7868355 N		
NP3	0440051 E	Nascente	–
	7868461 N		
NP4	0439845 E	Nascente	–
	7868216 N		
NP5	0439988 E	Nascente	–
	7868395 N		
VIP2	0439085 E	Braço 1 Piraputangas	1567* <sup>2</sup>
	7868180 N		
VEP1	0439639 E	Vertedouro MCR	–
	7867962 N		
VIP1	0440020 E	Braço 2 Piraputangas	698* <sup>2</sup>
	7868085 N		
VEP2	0439897 E	Vertedouro MCR	–
	7867949 N		
DP1	0439932 E	Saída do Lago 1	300* <sup>1</sup>
	7868228 N		
DP2	0439998 E	Saída do Lago 2	400* <sup>1</sup>
	7868306 N		
DP4	0439956 E	Desvio da bica	–
	7868235 N		
VIP4	0439420 E	Vertedouro Bica	266* <sup>2</sup>
	7867645 N		
DP5	0439870 E	Confluência de eixos de drenagem	–
	7867902 N		
VIP3	0439450 E	Parque Piraputangas	1752* <sup>2</sup>
	7867475 N		
DP6	0438627 E	Interseção estrada Parque/ Piraputangas	–
	7865812 N		
DP7	0437679 E	Interseção via de acesso/ Piraputangas	–
	7865323 N		
VIP5	0436947 E	Próximo BR-262	1847* <sup>2</sup>
	7865030 N		
DP8	0436935 E	Interseção BR 262 / Piraputangas	–
	7864907 N		
<p>*1 - Estimativa feita em Outubro/2004</p> <p>*2- Vazão medida em 04 e 05 de maio de 2005</p> <p>NP - Pontos de nascentes                      VEP - Vertedouros pré-existentes                      VIP - Vertedouros instalados                      DP - Pontos específicos ao longo da drenagem</p>			

Verifica-se, nesta tabela, que as nascentes do córrego Piraputangas correspondem aos pontos NP1 a NP5 situados na Fazenda São Benedito. Nesta fazenda, a vazão média estimada nas proximidades das nascentes (pontos DP1 e DP2), junto aos lagos 1 e 2 artificialmente formados, foi de 700m<sup>3</sup>/h.

Neste estudo, verificou-se que o córrego Piraputangas apresenta em diversos locais, evidências de intervenções no seu leito de drenagem natural, agregando a si novos “braços artificiais”, como os pontos DP3, DP4 e DP5. O ponto NP1 apresenta uma tentativa de represamento das nascentes, frustrada devido à diminuição do volume de água na área da represa e ao afloramento da mesma em um ponto mais a jusante. O ponto DP8 indica o cruzamento do córrego Piraputangas com a BR-262 (vide Figura 4.1.6.2.1-7), em uma das baías formadas pelo rio Paraguai



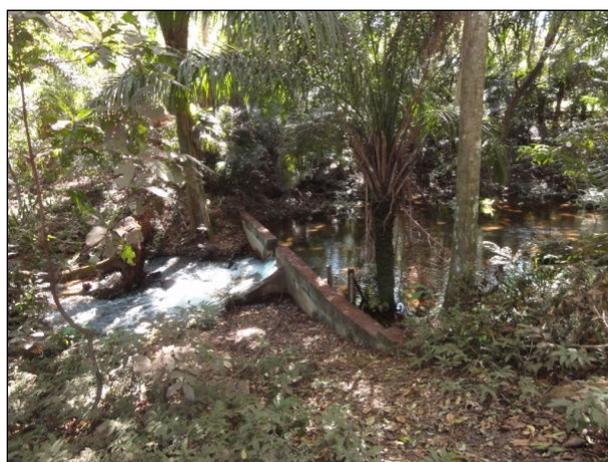
**Figura 4.1.6.2.1-7.** Ponte sobre córrego Piraputangas.

O regime hidrológico do Piraputangas será caracterizado a partir dos pontos de monitoramento de vazão efetuados por vertedouros instalados do Piraputangas (VIP). A bacia é caracterizada pela presença de 6 vertedouros, VIP-01, VIP-02, VIP-3A, VIP-3, VIP-4 e VIP-5, cujos dois primeiros situam-se em alto curso, próximo às nascentes, enquanto que o último encontra-se em baixo curso, a jusante dos locais de confluência de drenagens. Os outros pontos situam-se distribuídos pelo médio curso, nos quais o VIP-3 e 3A encontram-se no leito principal e o VIP-4 no desvio. A Figura 4.1.6.2.1-1

apresenta a localização destes vertedouros. A a sequência da Figura 4.1.6.2.1-8 à Figura 4.1.6.2.1-13 demonstra fotos destes locais tiradas no dia 05 de julho de 2011.



**Figura 4.1.6.2.1-8.** Ponto de monitoramento de água VIP01 – córrego Piraputangas.



**Figura 4.1.6.2.1-9.** Ponto de monitoramento de água VIP02 – córrego Piraputangas.



**Figura 4.1.6.2.1-10.** Ponto de monitoramento de água VIP03A – córrego Piraputangas.



**Figura 4.1.6.2.1-11.** Ponto de monitoramento de água VIP03 – córrego Piraputangas.



**Figura 4.1.6.2.1-12.** Ponto de monitoramento de água VIP04 – córrego Piraputangas.



**Figura 4.1.6.2.1-13.** Ponto de monitoramento de água VIP05 – córrego Piraputangas.

A Tabela 4.1.6.2.1-2 contém os dados de NA, precipitação e vazão média total dos vertedores, VIP-01, VIP-02, VIP-3A, VIP-3, VIP-4 e VIP-5, desde maio de 2006 à outubro de 2009.

**Tabela 4.1.6.2.1-2.** Dados de NA, precipitação e vazão média total de vertedores.

Data	Vazão em m <sup>3</sup> /h							Chuvas (mm)
	Bacia Piraputangas							
	VIP-01	VIP-02	VIP-03	VIP-03A	VIP-04	VIP-05		
mai-06	840,55	462,99	1.059,43	1.234,09	100,11	1.279,00	48,79	
jun-06	828,66	475,38	1.010,48	1.139,18	118,51	1.164,22	15,34	

Data	Vazão em m <sup>3</sup> /h							Chuvas (mm)
	Bacia Piraputangas							
	VIP-01	VIP-02	VIP-03	VIP-03A	VIP-04	VIP-05		
jul-06	790,09	462,67	898,48	1.093,88	104,55	1.069,59	38,61	
ago-06	788,42	455,16	706,40	1.114,96	72,82	1.039,66	0,00	
set-06	793,48	466,28	898,61	1.091,41	68,14	1.055,65	16,37	
out-06	779,34	495,56	851,80	1.213,50	77,36	1.099,40	238,68	
nov-06	777,12	457,58		1.115,15	77,60		122,73	
dez-06	811,00	467,02	1.031,65	1.175,73	66,69	1.293,21	289,48	
jan-07	762,63	461,49	906,81	1.040,54	53,72	1.090,89	280,55	
fev-07	740,58	438,15	1.020,00	1.134,41	40,01	1.092,81	192,17	
mar-07	755,02	462,53	958,42	1.090,11	43,02		109,15	
abr-07	800,95	352,94	1.099,26	1.212,45	42,77	1.200,29	39,23	
mai-07	809,39	335,99	1.032,68	1.121,98	14,90		86,52	
jun-07	768,25	389,03	1.007,24	1.076,41	11,00	995,72	0,00	
jul-07	788,69	431,98	1.009,15	1.151,98	27,92	1.025,87	19,08	
ago-07	795,03	457,14	1.019,00	1.174,00	51,32	1.041,51	3,77	
set-07	818,90	451,18	1.051,96	1.218,41	25,14	1.062,73	0,00	
out-07	879,30	396,60	1.081,11	1.182,27	48,18	1.149,53	90,04	
nov-07	861,85	356,61		1.119,41	68,01	1.144,78	73,44	
dez-07	825,45	379,72	962,58	1.155,64	35,33	1.165,36	276,65	
jan-08	783,88	389,30	966,12	1.175,72	40,84	1.209,65	315,38	
fev-08	772,31	348,15	861,40	1.128,61	21,55	1.189,70	224,21	
mar-08	758,57	351,40	870,13	1.138,02	16,23	1.167,24	31,33	
abr-08	687,71	349,82	810,71	1.070,01	22,09	1.136,07	41,20	
mai-08	703,01	375,29	771,01	1.009,74	32,29	1.080,05	120,72	
jun-08	661,06	436,27	792,15	1.038,89	28,66	963,90	27,92	
jul-08	722,90	429,07	804,08	1.134,22	25,58	1.059,31	17,66	
ago-08	770,31	429,08	783,89	1.095,80	20,73	1.066,99	19,11	
set-08	791,07	414,40	808,77	1.141,59	22,61	1.052,48	54,07	
out-08	791,71	400,48	804,24	1.102,90	27,39	1.086,65	112,17	
nov-08	825,41	390,14	741,83	1.076,61	23,53	1.058,86	161,72	

Data	Vazão em m <sup>3</sup> /h						
	Bacia Piraputangas						Chuvas (mm)
	VIP-01	VIP-02	VIP-03	VIP-03A	VIP-04	VIP-05	
dez-08	800,46	326,30	833,71	1.052,26	20,13	1.015,97	84,50
jan-09	803,73	282,48	806,99	1.069,24	25,01	1.067,30	181,03
fev-09	832,97	270,51	780,76	1.079,05	25,02	1.185,52	497,47
mar-09	849,67	241,79	900,88	1.151,85	32,13	1.035,34	138,30
abr-09	828,27	274,32	853,96	1.010,92	22,29	1.052,04	45,14
mai-09	747,88	315,89	876,35	995,65	32,13	1.084,21	50,80
jun-09	777,14	344,95	829,82	1.125,47	8,07	1.171,91	76,71
jul-09	786,16	391,63	846,57	1.174,00	7,23	1.089,92	102,49
ago-09	764,23	449,09	900,88	1.061,54	10,82	1.058,79	3,02
set-09	768,98	396,01	898,97	1.125,47	15,75	1.047,03	21,38
out-09	777,45	448,21	780,40	1.150,76	13,86	1.050,33	92,05

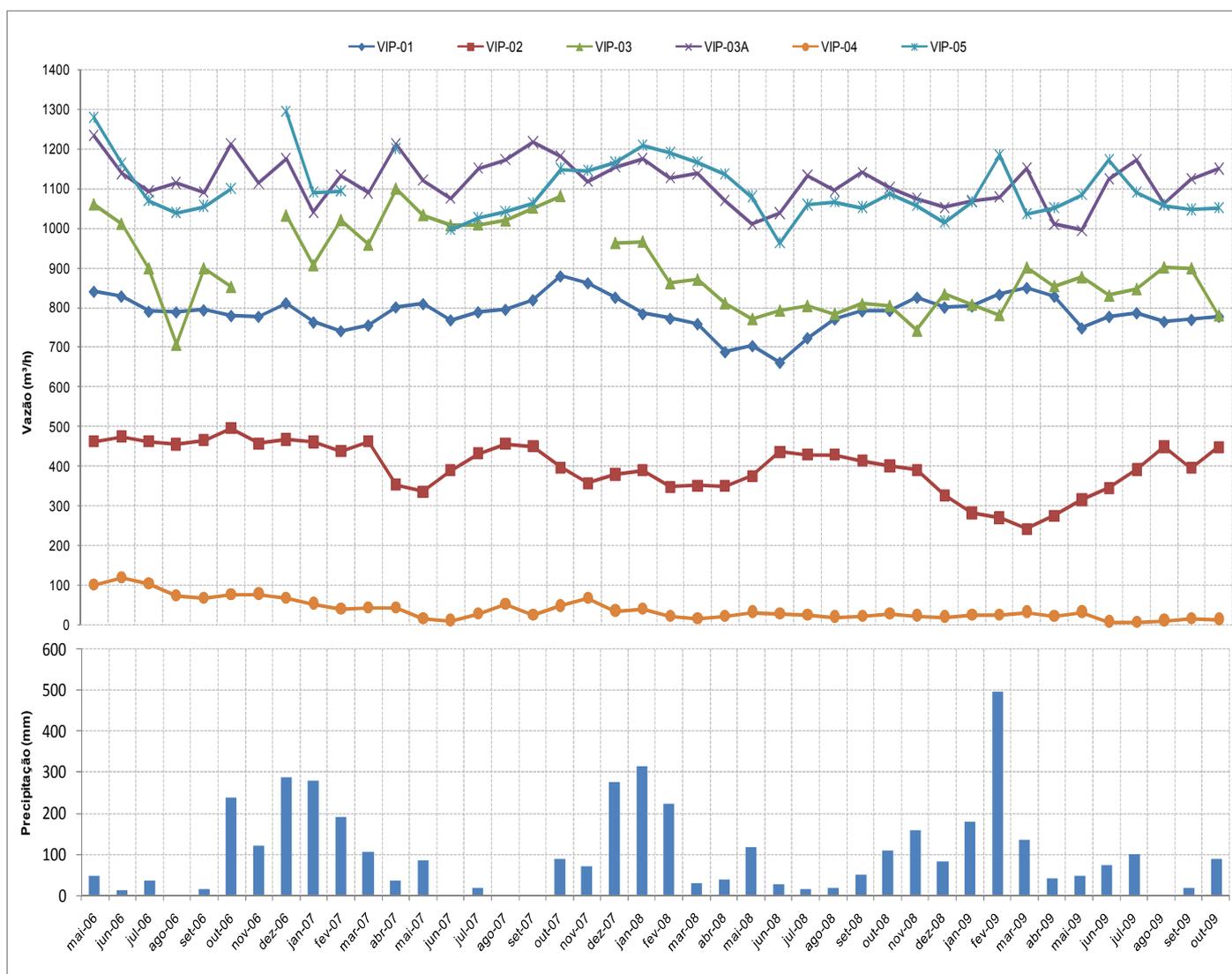
Fonte: Potamos, 2011

De acordo com Potamos (2011), ocorre uma defasagem de tempo entre os dados de vazão e de precipitação, o que pode ser considerado incomum para o comportamento de águas superficiais. A hipótese é de que, como os vertedores VIP-01 e VIP-02 estão muito próximos à nascente, a oscilação da vazão do Piraputangas está sendo controlada ao longo de todo o ano hidrológico, predominantemente, pelo aporte de águas subterrâneas oriundas da cabeceira da bacia, na região de morraria, onde os talwegues de drenagem são secos na maior parte do ano hidrológico devido à alta capacidade de infiltração das unidades geológicas de topo. Esta característica pode ser vista no vertedouro VIP-02 entre maio a agosto de 2007, quando se verifica uma ascensão contínua na curva de vazão, passando de 336 m<sup>3</sup>/h para 457 m<sup>3</sup>/h em um período caracterizado por decrescente índice de precipitação. Isso pode ser visto também neste mesmo vertedouro no ano de 2009, onde o pico de vazão ocorreu em agosto, com 449 m<sup>3</sup>/h, 6 a 7 meses após o pico de chuva que ocorreu em fevereiro.

A Figura 4.1.6.2.1-14 apresenta os valores médios mensais observados na Tabela 4.1.6.2.1-2. Nesta figura já é possível observar que o comportamento do córrego Piraputangas é atípico, já que as vazões de pontos de medição situados a jusante são

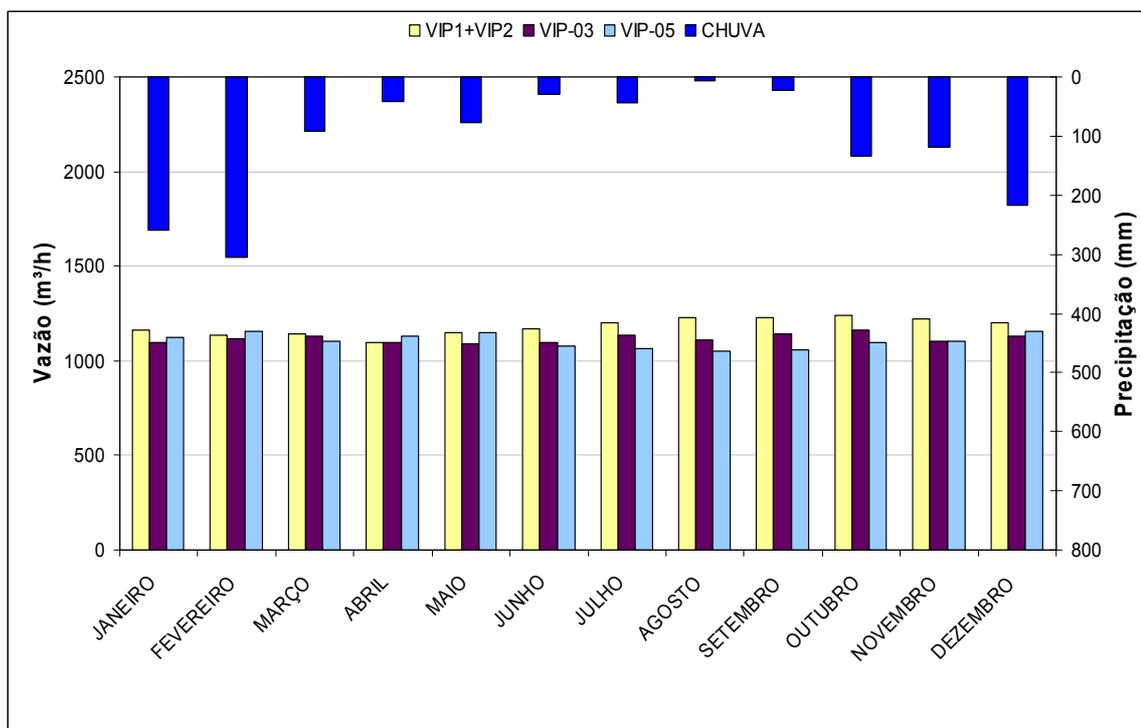
menores que as vazões observados em pontos a montante durante grande parte do tempo. Observa-se que apenas nos meses de fevereiro e abril foram registrados valores médios do VIP05 maiores do que na nascente do córrego Piraputangas (VIP01+VIP02).

Verifica-se, ainda, que a oscilação da vazão mensal é relativamente pequena em relação à média dos demais meses (entorno de 5%), sendo mais uma evidência que comprova que a precipitação na bacia exerce pouca influência nas vazões do córrego Piraputangas (vide Figura 4.1.6.2.1-15). Observa-se, portanto, que mesmo durante chuvas intensas (meses de cheia vão de outubro a março), a vazão do córrego não apresenta grandes alterações, o que já era de se esperar pois sua vazão é realizada principalmente, por águas subterrâneas.



**Figura 4.1.6.2.1-14.** Relação dos dados de vazão situados na bacia do córrego Piraputangas.

Fonte: Potamos – 2009.



**Figura 4.1.6.2.1-15.** Relação dos dados de vazão situados na bacia do córrego Piraputangas (maio/2006-outubro/2009). Fonte: Potamos - 2011

No que se refere à rede hidrográfica do córrego Piraputangas, foram identificadas pequenas alterações em seu traçado próximo à nascente, onde foram mapeadas pequenas drenagens perenes a partir novas nascentes cadastradas. Os pontos de controle e sua descrição estão na Tabela 4.1.6.2.1-3, cuja localização encontra-se na Figura 4.1.6.2.1-1.

**Tabela 4.1.6.2.1-3.** Pontos de Controle em campo do córrego Piraputangas.

Ponto	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)	Descrição
PC-01	439.074	7.875.592	790	Talvegue seco
PC-02	440.924	7.875.868	728	ETA com capacidade de 55.600 lts, sendo mantido de segunda a sábado, parando somente domingo.
PC-03	439.068	7.877.136	808	Local amostrado no encontro dos 2 talvegues ambos secos, referentes aos pontos de buscas 32 e 33

Ponto	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)	Descrição
PC-04	440.173	7.876.294	734	Talvegue seco
PC-05	439.432	7.876.712	793	Talvegue seco
PC-06	440.234	7.876.796	758	Talvegue seco
PC-07	440.447	7.876.924	773	Local amostrado referente aos pontos de busca 35 e 36, ambos encontram-se secos.
PC-08	437.912	7.871.969	662	Talvegue seco
PC-09	437.478	7.871.965	679	Talvegue seco
PC-10	437.874	7.872.041	660	Local amostrado referente aos pontos de busca 10 e 11, ambos encontram-se secos.
PC-11	437.409	7.872.257	695	Talvegue seco
PC-12	437.311	7.872.446	709	Talvegue seco
PC-13	437.323	7.872.379	693	Talvegue seco
PC-17	441.310	7.876.256	718	Local amostrado referentes aos pontos de buscas 37, 38, 39 e 40 ambos secos
PC-18	441.555	7.875.676	694	O ponto encontra-se seco.
PC-19	441.503	7.875.313	681	O ponto encontra-se seco.
PC-20	441.503	7.875.120	676	PB-45 encontra-se seco próximo a barragem.
PC-21	441.471	7.874.557	683	Local amostrado referentes aos pontos 46 e 47 ambos secos, próximo à barragem.
PC-22	440.434	7.873.733	636	Local amostrado referente aos pontos de busca 22 e 2,3, ambos secos ao lado da estrada
PC-23	440.536	7.874.010	642	PB-24 encontra-se seco, ponto amostrado ao lado da estrada.
PC-24	440.713	7.874.368	657	Local amostrado referente aos pontos de busca 25 e 26, ambos secos.
PC-25	441.501	7.875.593	695	Local amostrado referente aos pontos de busca 42 e 43, ambos secos.
PC-26	438.340	7.870.716	630	Local amostrado referente aos pontos de busca 03 e 04.
PC-27	438.531	7.872.901	655	O ponto encontra-se seco.
PC-28	438.770	7.873.118	679	O ponto encontra-se seco.
PC-29	438.808	7.873.140	692	O ponto encontra-se seco.
PC-30	438.876	7.873.206	699	O ponto encontra-se seco.
PC-31	438.529	7.872.857	672	O ponto encontra-se seco.
PC-32	435.382	7.870.929	381	O ponto encontra-se seco.
PC-33	439.108	7.871.230	525	O ponto encontra-se seco.
PC-34	439.771	7.871.293	570	Local amostrado referente aos pontos de busca 08 e 09, ambos secos.
PC-38	440.005	7.868.668	234	O ponto encontra-se seco.
PC-39	438.975	7.875.489	787	Local amostrado referente aos pontos de busca 27 e 2,8 ambos secos.
PC-40	440.284	7.875.936	765	Tanque Australiano.
PC-41	440.050	7.868.038	193	Talvegue seco

Ponto	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)	Descrição
PC-42	439.842	7.868.213	189	O ponto encontra-se seco.
PC-43	439.019	7.866.677	130	O ponto amostrado indica, segundo os proprietários no entorno da área, que há muitos anos foi construído um canal desviando seu curso da drenagem principal, passando por algumas propriedades a jusante, atravessando a estrada onde mais a jusante retorna a drenagem principal.

Fonte: Potamos, 2011.

### Córrego Bolo Fofó

O córrego Bolo Fofó é o curso de água mais próximo da mina Santa Cruz, situando-se logo ao sul das cavas, pertencente ao braço oeste do córrego Piraputangas, em bloco estrutural diferente da mina. Em seu baixo curso verifica-se uma propriedade rural, marcando este setor da bacia pela presença de pastagens que em alguns pontos substituem a mata ciliar. O córrego Bolo Fofó, afluente do Piraputangas, apresenta bacia com área de aproximadamente 3,0km<sup>2</sup>.

A Tabela 4.1.6.2.1-4 apresenta pontos característicos observados ao longo deste córrego, estudados por Lajeado (2005 e 2006), cuja localização encontra-se na Figura 4.1.6.2.1-1.

**Tabela 4.1.6.2.1-4.** Pontos característicos do córrego Bolo Fofó.

Ponto	Coordenadas	Descrição	Vazão (m <sup>3</sup> /h)*
NBF1	0437681 E	Nascente braço C1	13*1
	7874153 N		
NBF2	0438066 E	Nascente braço C2	10*1
	7874153 N		
DBF1	0438042 E	Vertente seca	—
	7873168 N		
VIBF1	0437906 E	Junção das nascentes do córrego Bolo Fofó	99*1
	7873612 N		
DBF3	0437827 E	Vazão córrego (jusante interseção)	25*1
	7873380 N		
DBF4	0438209 E	Vazão córrego (sede fazenda)	30*1
	7872475 N		
VIBF2	0438210 E	Córrego Bolo Fofó	62*2

Ponto	Coordenadas	Descrição	Vazão (m <sup>3</sup> /h)*
	7872470 N		
DBF5	0438336 E	Interseção córrego / via acesso	—
	7872352 N		
DBF6	0438473 E	Infiltração do córrego no colúvio	—
	7872198 N		
*1 - Estimativa feita em Outubro/204		NBF - Pontos de nascentes	
*2 - Vazão medida em 04 e 05 de maio de 2005		VINF1 - Vertedouros instalados	
		DBF - Pontos específicos ao longo da drenagem	

Fonte: Lajeado (2006 e 2005).

O córrego Bolo Fofó, situado na porção central-oeste, é formado a partir de um par de nascentes principais (pontos NBF1 e NBF2), localizadas em vertentes distintas, em locais de topografia moderada. Foi observada, ao longo dos braços C1 e C2, a presença de várias nascentes menores, de baixo volume, porém, intensamente espalhadas nas encostas de ambas vertentes.

A nascente C1 (ponto NBF-01) apresenta vazão média estimada de 13m<sup>3</sup>/h. A nascente C2 apresenta menor vazão estimada, 10m<sup>3</sup>/h, estando localizada no tálus/colúvio, conforme apresentado no ponto NBF2. A vazão média estimada após a junção dos respectivos braços oriundos das nascentes C1 e C2, pontos DBF3 e DBF4, varia entre 25 e 30m<sup>3</sup>/h, comprovando o fato da contribuição das pequenas nascentes.

O córrego Bolo Fofó “desaparece” após a fazenda do Português, infiltrando no tálus/colúvio em um local de topografia plana, ponto DBF6.

A partir dos pontos de monitoramento efetuados pelos vertedouros instalados no córrego do Bolo Fofó (VIBF), cujas leituras foram realizadas de maio de 2006 a outubro de 2009, foi possível fazer medição das vazões neste córrego. A localização dos pontos de monitoramento VIBF1 e VIBF2 foram apresentadas anteriormente na Figura 4.1.6.2.1-1. A Figura 4.1.6.2.1-16 apresenta o ponto de monitoramento VIBF2. O VIBF-1 localiza-se na sua porção de montante, próximo ao local onde se confluem os afluentes das duas nascentes que dão origem a esse curso de água. O outro vertedouro, VIBF2 situa-se a jusante, em seu baixo curso, próximo ao sumidouro.



**Figura 4.1.6.2.1-16.** Ponto de monitoramento de água VIBF2 – córrego Bolo Fofó.

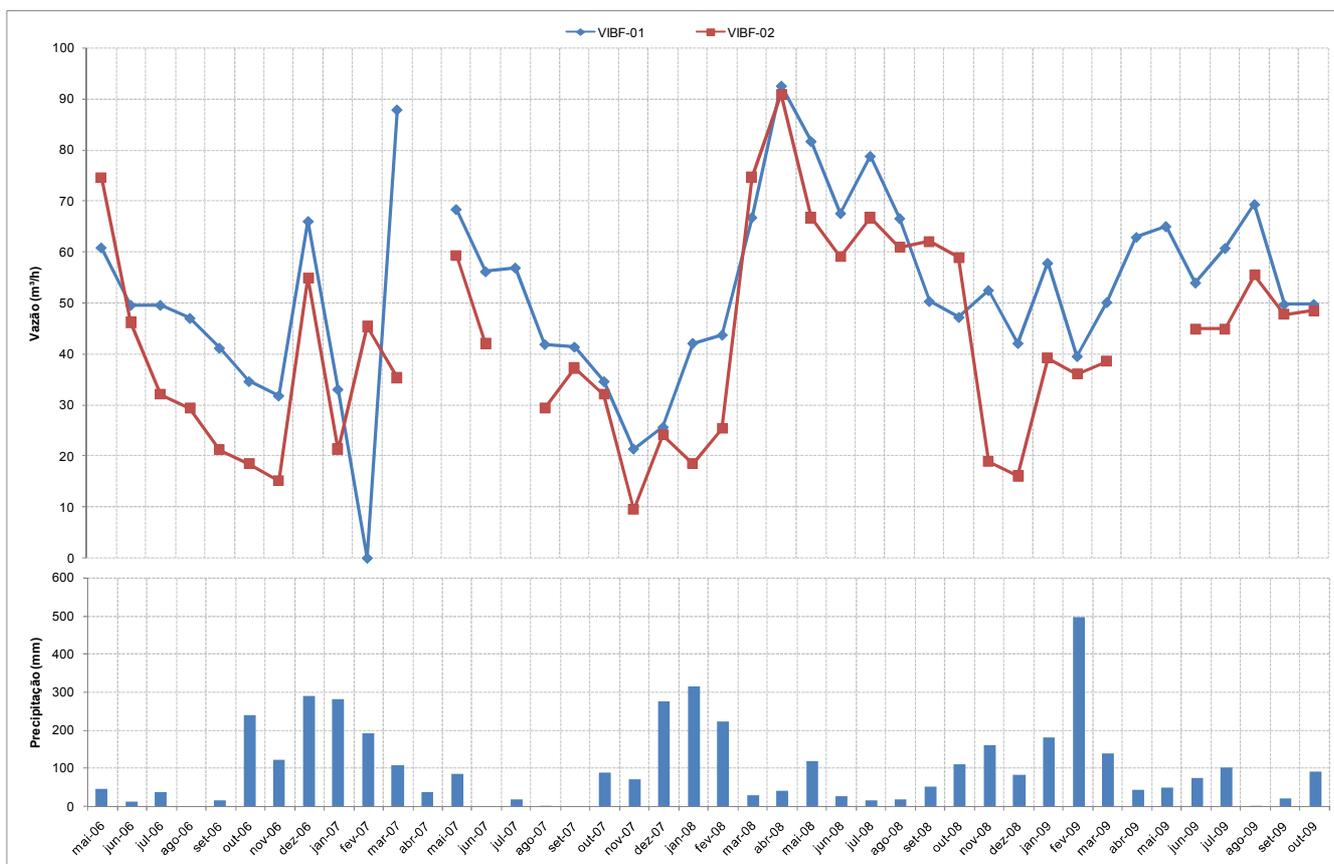
A Tabela 4.1.6.2.1-5 contém os dados de NA, precipitação e vazão média total dos vertedouros desde maio de 2006 à outubro de 2009. Segundo Potamus (2011), ao observar o gráfico da Figura 4.1.6.2.1-17, verifica-se que a curva de vazão no alto e baixo curso possui valores e comportamento muito parecidos, corroborando a afirmativa anterior de que a vazão dos cursos de água situados na área do projeto é, em grande parte, dependente do fluxo subterrâneo. No mês de agosto de 2009 nota-se uma marcante ascensão da curva de vazão nos dois vertedouros, contrastando com o descenso nos valores de precipitação. Ressalta-se, como já visto na bacia do córrego Piraputangas, que o pico de vazão ocorre em torno de 6 meses após o pico de chuva (fevereiro de 2009).

**Tabela 4.1.6.2.1-5.** Dados de NA, precipitação e vazão média total de vertedouros da Bacia Bolo Fofó.

Data	Vazão em m <sup>3</sup> /h		
	Bacia Bolo Fofó		Chuvas (mm)
	VIBF-01	VIBF-02	
<b>mai-06</b>	60,85	74,59	48,79
<b>jun-06</b>	49,58	46,20	15,34
<b>jul-06</b>	49,58	32,12	38,61
<b>ago-06</b>	47,02	29,31	0,00
<b>set-06</b>	41,18	21,16	16,37
<b>out-06</b>	34,63	18,49	238,68
<b>nov-06</b>	31,81	15,16	122,73
<b>dez-06</b>	66,03	54,95	289,48
<b>jan-07</b>	33,07	21,30	280,55
<b>fev-07</b>	0,00	45,34	192,17

Data	Vazão em m <sup>3</sup> /h		
	Bacia Bolo Fofó		Chuvas (mm)
	VIBF-01	VIBF-02	
<b>mar-07</b>	87,90	35,31	109,15
<b>abr-07</b>			39,23
<b>mai-07</b>	68,37	59,32	86,52
<b>jun-07</b>	56,17	42,04	0,00
<b>jul-07</b>	56,90		19,08
<b>ago-07</b>	41,90	29,31	3,77
<b>set-07</b>	41,39	37,23	0,00
<b>out-07</b>	34,63	32,12	90,04
<b>nov-07</b>	21,41	9,52	73,44
<b>dez-07</b>	25,67	24,12	276,65
<b>jan-08</b>	42,10	18,49	315,38
<b>fev-08</b>	43,75	25,37	224,21
<b>mar-08</b>	66,77	74,65	31,33
<b>abr-08</b>	92,58	90,85	41,20
<b>mai-08</b>	81,71	66,69	120,72
<b>jun-08</b>	67,59	59,01	27,92
<b>jul-08</b>	78,79	66,69	17,66
<b>ago-08</b>	66,59	60,89	19,11
<b>set-08</b>	50,34	62,08	54,07
<b>out-08</b>	47,21	58,90	112,17
<b>nov-08</b>	52,51	18,92	161,72
<b>dez-08</b>	42,10	16,11	84,50
<b>jan-09</b>	57,82	39,22	181,03
<b>fev-09</b>	39,55	36,03	497,47
<b>mar-09</b>	50,13	38,51	138,30
<b>abr-09</b>	62,91		45,14
<b>mai-09</b>	65,02		50,80
<b>jun-09</b>	53,97	44,89	76,71
<b>jul-09</b>	60,75	44,89	102,49
<b>ago-09</b>	69,35	55,48	3,02
<b>set-09</b>	49,73	47,72	21,38
<b>out-09</b>	49,77	48,42	92,05

Fonte: Potamos, 2011.



**Figura 4.1.6.2.1-17.** Relação dos dados de vazão situados na bacia do córrego Bolo Fofó.

No córrego Bolo Fofó, os pontos de controle utilizados para monitoramento e sua descrição estão na Tabela 4.1.6.2.1-6.

**Tabela 4.1.6.2.1-6.** Pontos de Controle em campo do córrego Bolo Fofó.

Ponto	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)	Descrição
PC-14	437.910	7.873.120	697	Talvegue seco
PC-15	437.945	7.873.047	695	Talvegue seco

Fonte: Potamos, 2011.

### Córrego Rancho Fundo

O córrego Rancho Fundo, situado na porção central da área em estudo, apresenta uma nascente única situada no tálus/colúvio em uma região de topografia moderada e vazão

estimada de 2m<sup>3</sup>/h, infiltrando logo após o ponto de surgência. Cerca de 10 metros a jusante deste ponto, o córrego Rancho Fundo reaparece, infiltrando-se em definitivo no talus/colúvio nas proximidades da sede da Fazenda Rancho Fundo. No córrego Rancho Fundo o sumidouro é caracterizado por um caixa d'água onde se faz a captação total de sua vazão para consumo animal e humano de uma propriedade rural próxima. Os pontos de controle e sua descrição estão na Tabela 4.1.6.2.1-7, cuja localização encontra-se na Figura 4.1.6.2.1-1.

**Tabela 4.1.6.2.1-7.** Pontos de Controle em campo do córrego Rancho Fundo.

Ponto	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)	Descrição
PC-35	440.110	7.870.976	484	O ponto encontra-se seco.
PC-36	440.026	7.870.167	460	O ponto encontra-se seco.
PC-37	439.964	7.869.428	331	O ponto encontra-se seco.

Fonte: Potamos, 2011

### **Córrego Dona Inácia, Três Corações e Três Córregos**

Os córregos Dona Inácia, Três Corações e Três Córregos têm suas nascentes nos contrafortes da morraria de São Domingos, em altitudes da ordem de 600 m e se desenvolvem paralelamente até a foz. O escoamento das duas primeiras drenagens e de um trecho do córrego Três Córregos ocorre em superfície, no sentido geral norte-sul. Aproximadamente na metade de seu percurso, a drenagem deste curso de água torna-se intermitente até a região de foz nas áreas alagadas da margem direita do rio Verde (Potamos, 2011). Cada curso de água possui um vertedouro, denominados respectivamente de VIDI-1, VITC-1 e VICTC-1. No que tange ao uso e ocupação da área, esta sub-bacia é caracterizada pela presença de propriedades rurais e um pequeno vilarejo denominado de Comunidade Antônio Maria Coelho.

A jusante, esta sub-bacia é marcada pela existência da zona de drenagem difusa pantaneira, correspondente a uma área plana encharcada sobreposta a depósitos quaternários da Formação Pantanal.

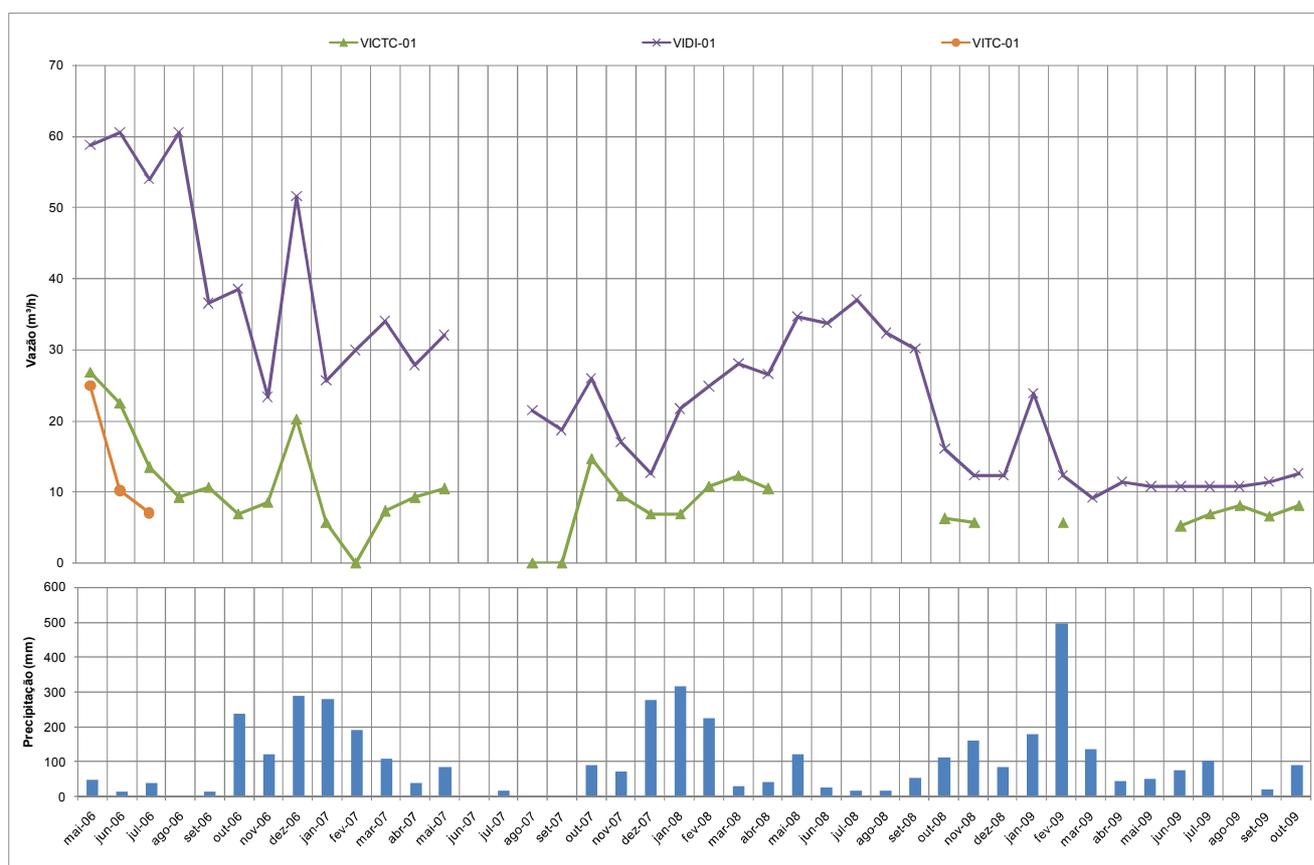
A Tabela 4.1.6.2.1-8 contém os dados de NA, precipitação e vazão média total dos vertedores desde maio de 2006 à outubro de 2009. Segundo Potamos (2011), do gráfico da Figura 4.1.6.2.1-18 é possível verificar uma lacuna de dados, principalmente no vertedouro VITC-1. Este gráfico também demonstra correspondência das oscilações das curvas de vazão concomitante a variação da precipitação. Porém, como visto nas outras bacias, essa correspondência ocorre com uma defasagem de tempo. Os vertedouros VIDI-1 e VICTC-1, nos períodos de estiagem dos anos de 2007 e 2008, apontam uma ascensão da curva de vazão, demonstrando que a alimentação e manutenção deste curso estão amplamente relacionadas com a dinâmica das águas subterrâneas. A localização dos vertedouros encontra-se na Figura 4.1.6.2.1-1.

**Tabela 4.1.6.2.1-8.** Dados de NA, precipitação e vazão média total de vertedores da Dona Inácia.

Data	Vazão em m <sup>3</sup> /h			Chuvas (mm)
	Bacia Dona Inácia			
	VICTC-01	VIDI-01	VITC-01	
mai-06	26,82	58,74	24,86	48,79
jun-06	22,45	60,57	10,13	15,34
jul-06	13,44	53,97	6,95	38,61
ago-06	9,24	60,57		0,00
set-06	10,61	36,48		16,37
out-06	6,87	38,50		238,68
nov-06	8,53	23,32		122,73
dez-06	20,27	51,60		289,48
jan-07	5,68	25,67		280,55
fev-07	0,00	29,93		192,17
mar-07	7,26	34,04		109,15
abr-07	9,24	27,80		39,23
mai-07	10,43	31,99		86,52
jun-07				0,00
jul-07				19,08
ago-07	0,00	21,41		3,77
set-07	0,00	18,65		0,00
out-07	14,65	25,90		90,04
nov-07	9,46	16,91		73,44
dez-07	6,87	12,62		276,65
jan-08	6,87	21,67		315,38
fev-08	10,78	24,82		224,21
mar-08	12,31	28,02		31,33
abr-08	10,43	26,52		41,20
mai-08		34,63		120,72
jun-08		33,69		27,92
jul-08		36,99		17,66
ago-08		32,28		19,11
set-08		30,11		54,07

Data	Vazão em m <sup>3</sup> /h			Chuvas (mm)
	Bacia Dona Inácia			
	VICTC-01	VIDI-01	VITC-01	
out-08	6,24	16,08		112,17
nov-08	5,68	12,32		161,72
dez-08		12,32		84,50
jan-09		23,79		181,03
fev-09	5,68	12,32		497,47
mar-09		9,16		138,30
abr-09		11,37		45,14
mai-09		10,74		50,80
jun-09	5,18	10,71		76,71
jul-09	6,87	10,74		102,49
ago-09	8,06	10,74		3,02
set-09	6,63	11,37		21,38
out-09	8,06	12,62		92,05

Fonte: Potamos, 2011



**Figura 4.1.6.2.1-18.** Relação dos dados de vazão situados na bacia do córrego Dona Inácia.

Fonte: Potamos, 2011.

Segundo Potamos (2011), as drenagens situadas na sub-bacia do córrego Dona Inácia foram as que mais sofreram modificações. O próprio córrego Dona Inácia sofreu modificações em seu traçado na porção de montante e jusante, onde foi definido um talvegue advindo da nascente do córrego de Dona Inácia e redesenhado seu traçado em baixo curso, desaguardo na zona de drenagem difusa.

Os córregos Três Corações e Três Córregos, também situados nesta sub-bacia, sofreram modificações (Potamos, 2011). No primeiro verificou-se em campo que o traçado no seu médio curso perpassa pela área da Comunidade Antônio Maria Coelho, desaguardo a jusante na zona de drenagem difusa. O segundo sofreu modificações principalmente no seu alto curso, onde a partir das nascentes deste foram desenhadas duas drenagens perenes que infiltram no solo a jusante, no sumidouro do córrego Três Córregos. O ponto de controle e sua descrição estão na Tabela 4.1.6.2.1-9.

**Tabela 4.1.6.2.1-9.** Pontos de Controle em campo dos córregos Dona Inácia, Três Corações e Três Córregos. Fonte: Potamos, 2011.

Ponto	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)	Descrição
PC-16	436.398	7.868.066	217	Ponto de busca encontra-se seco e o trajeto foi interrompido devido ao proprietário não permitir a entrada em suas terras.
VIDI1	435.451	7.867.093		Vertedouro córrego Dona Inácia
VITC1	437075	7.867.681		Vertedouro córrego Três Corações
VICTC1	438268	7.868.763		Vertedouro córrego Três Córregos

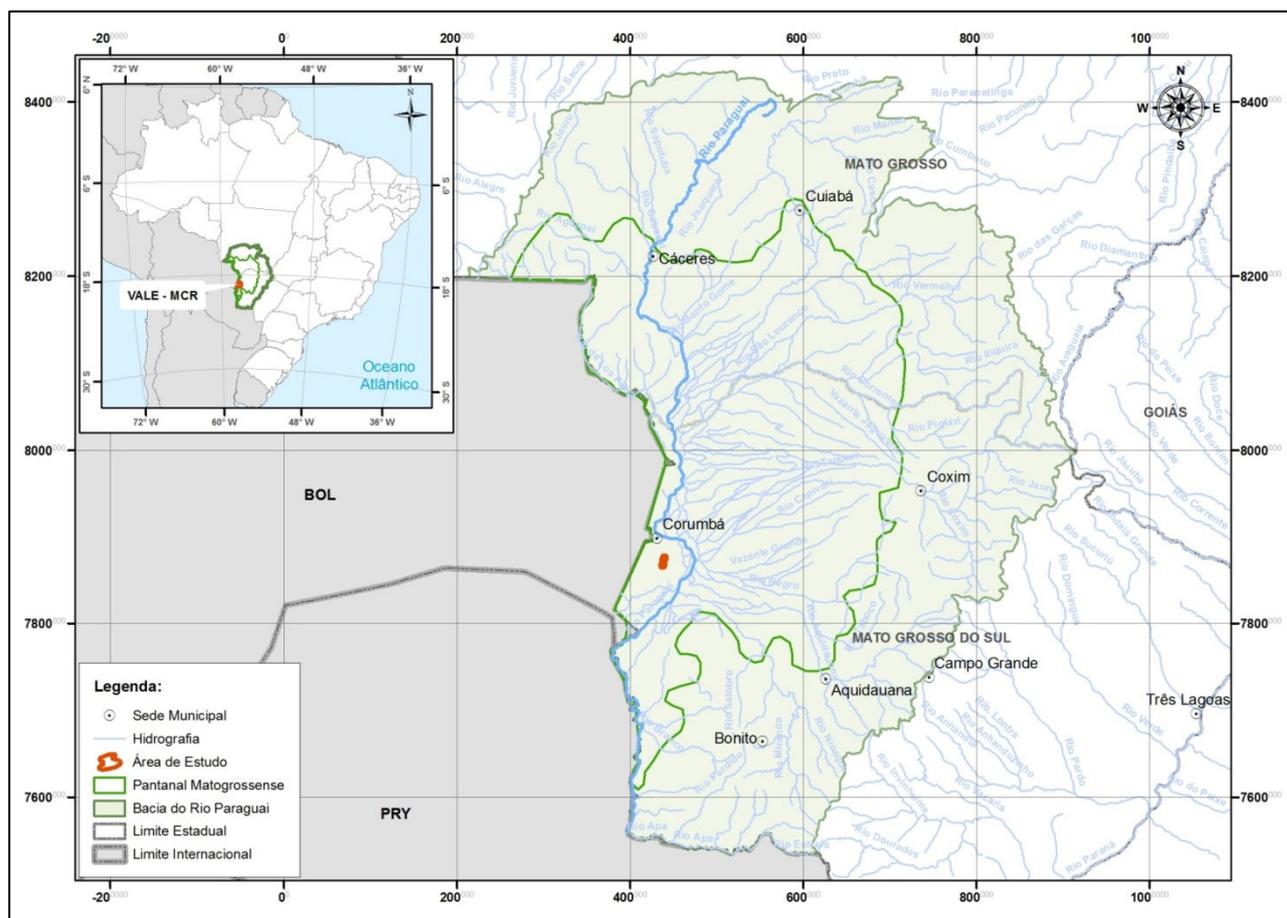
## 4.1.7 HIDROGEOLOGIA

### 4.1.7.1 INTRODUÇÃO

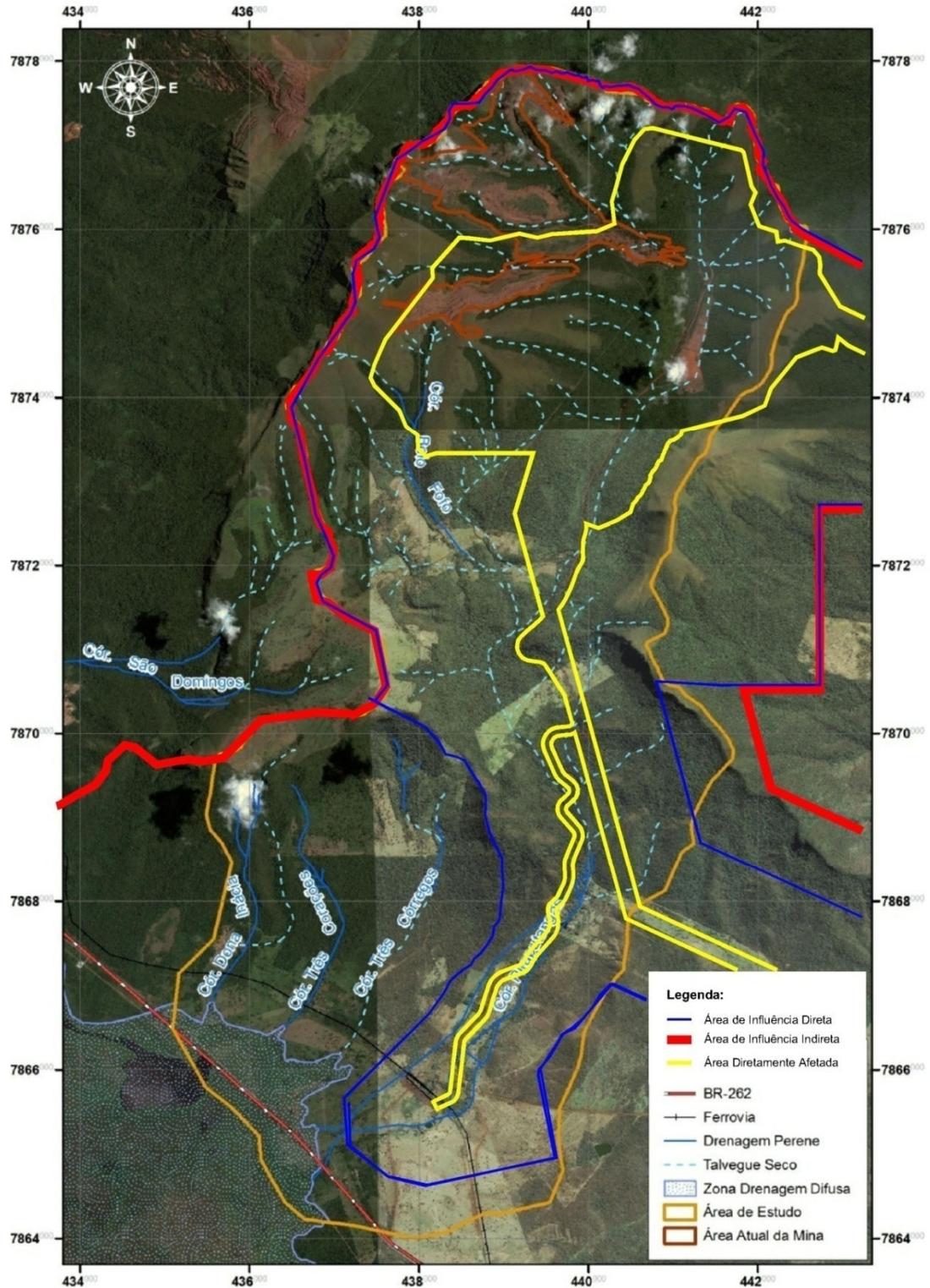
O conhecimento hidrogeológico da área do projeto expansão Corumbá tem sua base no relatório técnico referente ao "Estudo de avaliação da disponibilidade hídrica da bacia do córrego Piraputangas" desenvolvido em 2011 pela empresa Potamos Engenharia e Hidrogeologia Ltda. O estudo da Potamos objetivou quantificar a disponibilidade hídrica subterrânea e superficial na referida bacia, fornecendo assim subsídios que tornaram possível o conhecimento da hidrogeologia nas áreas de influência do Projeto e estimar o impacto das operações atuais e futuras de captações por poços profundos da MCR.

Adicionalmente, cabe informar que atualmente, a Vale mantém um monitoramento hidrogeológico na área do qual as condições hidrogeológicas são continuamente verificadas, permitindo a avaliar seus efeitos na disponibilidade hídrica da região.

A Figura 4.1.7.1-2 mostra o domínio desse estudo, que constitui-se na bacia do córrego Piraputangas, afluente do rio Verde, pertencente à grande bacia brasileira do rio Paraguai (vide Figura 4.1.7.1-1), até uma seção localizada a 750m a jusante da Rodovia Federal BR-262. A bacia do Piraputangas é composta também pelos córregos Bolo Fofo, Rancho Fundo, Três Córregos, Três Corações e Dona Inácia, sendo que estes três últimos deságuam juntamente ao córrego Piraputangas em uma região alagadiça, que se estende por dezenas de quilômetros até atingir o rio Verde.



**Figura 4.1.7.1-1.** Localização da área de abrangência dos estudos em relação à rede hidrográfica regional. Fonte: Potamus, 2011.



**Figura 4.1.7.1-2.** Área dos estudos e sua rede hidrográfica local. Fonte: Potamus, 2011.

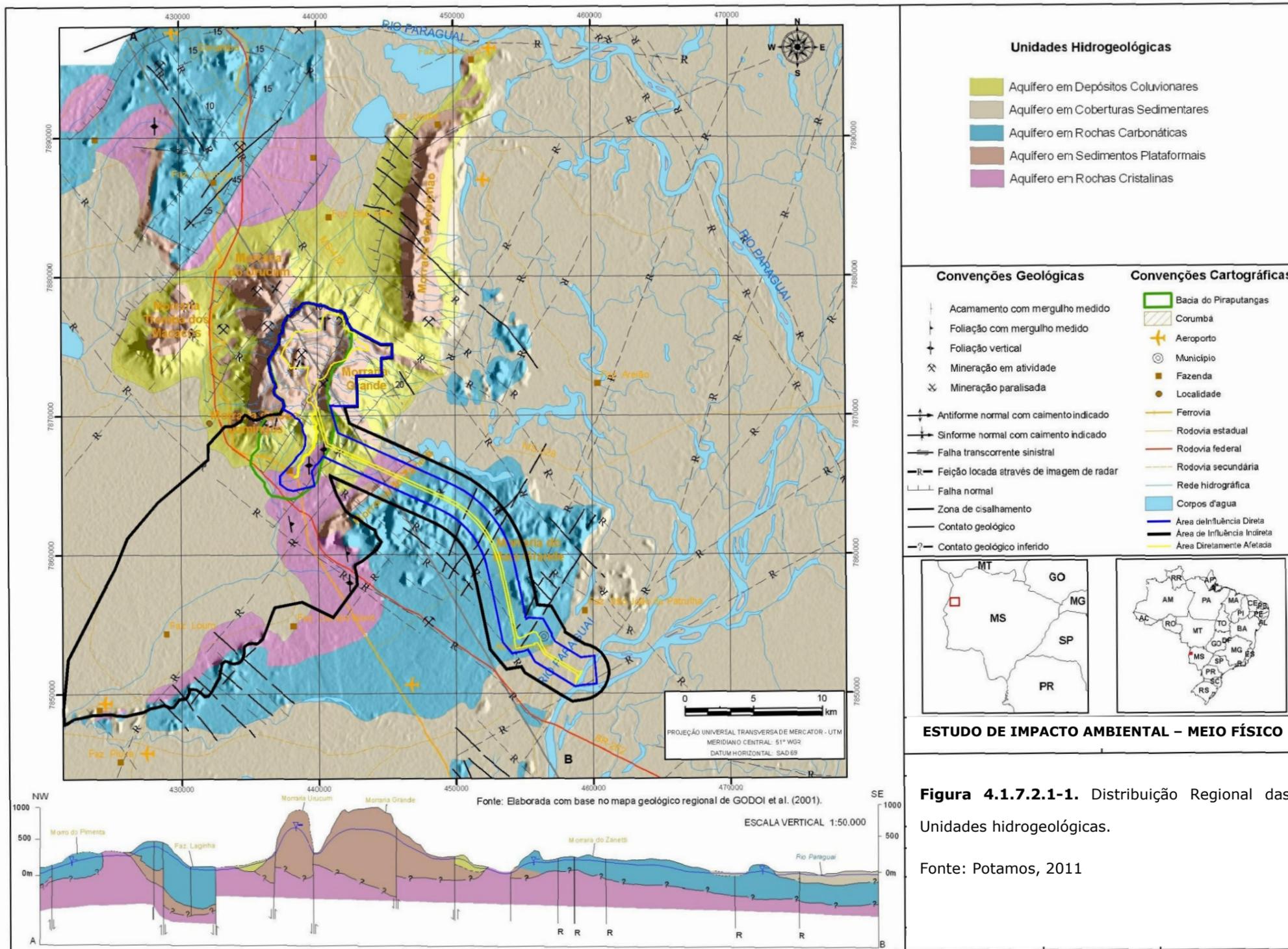
## 4.1.7.2 CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

### 4.1.7.2.1 Cenário Regional

Segundo estudos realizados pela Potamos (2011), a área de interesse apresenta 8 unidades litoestratigráficas. Algumas destas unidades, para constituição do cenário regional de circulação das águas subterrâneas, foram agrupadas em sistemas hidrogeológicos em função da similaridade de suas propriedades físicas, conforme apresentado na Tabela 4.1.7.2.1-1 e ilustrados na Figura 4.1.7.2.1-1 (planta e perfil).

**Tabela 4.1.7.2.1-1.** Sistemas hidrológicos definidos para a área de estudo regional (Fonte: Potamos, 2011).

Unidade Litoestratigráfica		Sistemas Hidrogeológicos	Tipo de Aquífero	Descrição geológica
Depósitos Coluvionares		Aquífero em Depósitos Coluvionares	Poroso	Tálus e colúvios. Fragmentos de rocha com matriz areno-argilosa parcialmente laterizados.
Formação Pantanal		Aquífero em Coberturas Sedimentares	Poroso	Sedimentos areno-argilosos e arenoconglomeráticos semiconsolidados.
Formação Xaraiés		Aquífero em Rochas Carbonáticas	Fissural	Depósitos de tufos calcários, travertinos e conglomerados com cimento calcífero.
Grupo Corumbá	Formação Tamengo			Calcários calcíticos, brechados, com níveis oolíticos e conteúdo fossilífero. Apresenta intercalações de arenitos, siltitos e folhelhos.
	Formação Bocaina			Calcários dolomíticos e calcíticos, por vezes silicificados com níveis oolíticos, intraclastos e raras estruturas estromatolíticas.
Grupo Jacadigo	Formação Santa Cruz	Aquífero em Sedimentos Plataformais	Misto (Poroso/Fissural)	Jaspilitos hematíticos com intercalações de siltitos e arenitos ferruginosos, mais frequentes no topo da seqüência. Porção basal de arenitos arcóseos de granulação fina a média, em camadas bem estratificadas, exibindo níveis de cimento manganésífero, jaspilítico ou hematítico.
	Formação Urucum			Arcóseos ferruginosos e/ou calcíferos, conglomerados petromíticos com matriz arcósiana, siltitos e arenitos.
Complexo Rio Apa		Aquífero em Rochas Cristalinas	Fissural	Gnaisses de composição granítica e com anfíbolitos subordinados.



Esta figura apresenta 5 unidades hidrogeológicas, sendo que na bacia do córrego Piraputangas, verifica-se a presença de 3 sistemas hidrogeológicos principais, sendo eles: Aquífero em Coberturas Sedimentares, Aquífero em Depósitos Coluvionares e Aquífero em Rochas Cristalinas. As características destes sistemas são transcritas a seguir, juntamente com os demais aquíferos.

#### *Aquífero em Rochas Cristalinas*

O sistema aquífero em rochas cristalinas ocorre associado às rochas do Complexo Rio Apa em porções correspondentes a janelas estruturais do embasamento cristalino.

Este aquífero está associado à distribuição areal de granito-gnaisses e migmatitos, possuindo, portanto, limitada capacidade de armazenamento, devido à ausência de porosidade primária na rocha. As rochas deste sistema apresentam escoamento praticamente nulo pela matriz, por apresentarem baixo grau de porosidade (0,3% de porosidade total e < 0,2% de porosidade efetiva).

Sendo assim, este pode ser considerado um sistema aquífero fissural, uma vez que a capacidade de acumulação e armazenamento de água subterrânea está restrita às discontinuidades tectônicas, de natureza rúptil/dúctil, representadas por padrões de fraturamentos, falhas e zonas de cisalhamento reconhecidamente em duas direções principais, NE/SW e NW/SE. Estas discontinuidades estruturais desempenham papel fundamental na condição do fluxo de água subterrânea, uma vez que a permeabilidade do meio passa a variar em função da abertura, continuidade, densidade e conexão de fendas, as quais podem apresentar-se preenchidas ou não por materiais de alteração ou detríticos carregados. Aliando-se aos aspectos geológicos, o relevo é outro aspecto que condiciona a ocorrência das águas subterrâneas, uma vez que este sistema, quando em zonas com grande densidade de fraturas abertas e conectadas, atua como um aquífero livre na região de depressão do rio Paraguai, onde as cotas altimétricas são inferiores a 150 metros e a rede de drenagem é pouco desenvolvida.

A recarga do sistema, através da infiltração vertical descendente de águas de chuva, ocorre a partir da rocha exposta, ou, se através de um delgado manto de alteração e

coberturas sedimentares sobrepostas, ocorre de forma indireta e permite um nível freático mais raso.

#### *Aquífero em Sedimentares Plataformais*

Este sistema aquífero, do tipo livre, está associado à ocorrência das rochas do Grupo Jacadigo (formações Urucum e Santa Cruz), em geral expostas e incorporando grandes espessuras. Esses materiais conformam notadamente as expressões de maior potencial hidrogeológico, reunindo as propriedades hidráulicas de maior capacidade para o armazenamento e a condução das águas subterrâneas. Nesta tipologia, os aquíferos são responsáveis, provavelmente, pela maior parcela da descarga de água subterrânea que abastece as principais drenagens regionais, tais como os córregos Banda Alta e das Pedras, no entorno das morrarias Santa Cruz e Urucum. Nesse domínio, as zonas de recarga relacionam-se às porções com cotas altimétricas mais elevadas, entre 350 e 1.060 metros, caracterizando a região das morrarias. Já as principais zonas de descarga correspondem às porções de cotas mais baixas, representadas principalmente pelos talwegues de drenagem no entorno das morrarias. Assim, pode-se dizer que o nível d'água subterrânea deste sistema aquífero tende a acompanhar o gradiente da topografia, mas sendo mais profundo nos topos de morro e mais rasos próximos aos cursos de água superficial.

As características hidrogeológicas relacionadas ao armazenamento e ao fluxo subterrâneo neste sistema aquífero estão atreladas às zonas de fluxos mistos. Em geral, determinadas porções do aquífero são caracterizadas por meio poroso originado de processo de lixiviação das rochas jaspelíticas. Em outras porções ocorrem como meio com porosidade fissural caracterizada pelas discontinuidades presentes nas unidades de topo da Formação Santa Cruz, representadas por planos de fraturas interconectadas, além de falhas reconhecidas em nível local e regional. Sua boa capacidade de transmitir água pode ser comprovada através de nascentes que ocorrem nos sopés das morrarias e que alimentam os tributários inferiores nas bacias circundantes.

Neste sistema há que se considerar a presença de camadas de rochas que expressam seu caráter hidrogeológico a partir de baixíssimas condições de armazenabilidade e de condutância de água subterrânea, o que os imputa essencialmente as características de

aquicludes, aquíferos e até aquíferos. Estas camadas são associadas às rochas das formações Urucum, que devido às baixas permeabilidade e porosidade e menor intensidade de fraturamento, comportam-se majoritariamente como faixas impermeáveis, ou confinantes a semi-confinantes, implicando em aproveitamento muito baixo, ou nulo, e na compartimentação do sistema aquífero.

#### *Aquífero em Rochas Carbonáticas*

O aquífero em rochas carbonáticas está associado à ocorrência das formações Bocaina, Tamengo e Xaraiés, constituindo-se em um sistema com porosidade fissural e baixo potencial hidrogeológico. A sua maior porção é recoberta por rochas sedimentares associadas à planície de inundação do rio Paraguai. Contudo, ocorrem porções distribuídas em janelas estruturais associadas aos movimentos tectônicos. Este sistema é caracterizado como aquífero livre, em região de planície pantaneira com baixa densidade de drenagem. Pode também representar o papel de aquíferos e aquíferos em porções com estruturas geológicas pouco desenvolvidas. Neste sentido, é reconhecido que as unidades geológicas associadas constituem-se em aquíferos heterogêneos e de baixo grau de carstificação.

#### *Aquífero em Coberturas Sedimentares*

Na área considerada, este sistema está associado às ocorrências dos sedimentos da Formação Pantanal, recobrando, predominantemente, aquíferos em rochas carbonáticas praticamente em toda extensão da região de depressão do rio Paraguai.

Estes depósitos constituem meios muito heterogêneos, pois são compostos por sedimentos diversos (cascalho, areia, silte, argila), sendo o seu potencial hidrogeológico diretamente ligado à espessura dos pacotes e ao percentual de material pelítico e argiloso. Constituem sistemas aquíferos livres, onde a capacidade de armazenamento e transmissão de água subterrânea é atribuída à sua vasta distribuição lateral, uma vez que a sua espessura é comumente pouco representativa.

Nas calhas fluviais, como na do rio Paraguai, predominam os termos grosseiros de areias e cascalhos e matacões. Nas planícies de inundação costumam predominar as areias finas, os siltes e as argilas. Este sistema pode ser aproveitado para abastecimento

doméstico ou pecuário, através de cisternas e poços rasos, com pequena penetração no aquífero.

As drenagens que ocorrem neste domínio apresentam comportamento difuso, em função da pouca variação altimétrica e da ausência de estruturas geológicas mais proeminentes. A recarga ocorre de forma direta, seja pela infiltração de águas de chuva ou do transbordamento do rio Paraguai. Além disso, apresenta um papel muito importante na recarga dos aquíferos sotopostos.

#### *Aquífero em Depósitos Coluvionares*

Este sistema se caracteriza como um aquífero livre relacionado aos depósitos coluvionares e de tálus no entorno e interior das morrarias existentes na área. A sua recarga se dá de forma direta, pela infiltração de águas de chuva, ou ainda pelo fluxo lateral de águas subterrâneas vindas de aquíferos vizinhos.

As características geológicas desta unidade revelam comportamento de um meio poroso com moderado potencial hidrogeológico. Apresenta boa capacidade de armazenamento e transmissão de água subterrânea.

O aquífero poroso associado a este sistema ocorre de modo localizado, sendo sua distribuição fortemente influenciada pelo relevo, espessura e composição dos produtos de alteração das rochas do Grupo Jacadigo. Desta maneira, desenvolvem-se normalmente em áreas de meia encosta nas morrarias, com declividades acentuadas do substrato rochoso.

#### **4.1.7.2.2 Cenário Local**

Para a constituição do cenário hidrogeológico local, o domínio local ficou configurado por 4 unidades hidrogeológicas, conforme apresentado na Tabela 4.1.7.2.2-1.

**Tabela 4.1.7.2.2-1.** Unidades Hidrogeológicas da área de estudo. Fonte: Potamos, 2011.

Unidade Litoestratigráfica		Unidade Hidrogeológica	Descrição Litológica
Depósitos Coluvionares		Colúvio/Tálus (aquífero poroso)	Aquífero em depósitos coluvionares e de Tálus constituídos de fragmentos e matacões de rocha jaspilítica com matriz areno-argilosa parcialmente laterizados. Os depósitos coluvionares recobrem as áreas de cotas mais baixas, com espessura média de 15 m, diretamente apoiados no embasamento gnáissico. Os depósitos de tálus ocorrem principalmente recobrendo as escarpas e os talvegues mais acentuados, com espessuras entre 10 e 30 m.
Grupo Jacadigo	Formação Band'alta	Band'Alta (aquífero misto)	Jaspilitos hematíticos intensamente fraturados, com intercalações de siltitos e arenitos ferruginosos. Aquífero predominantemente fissural e subordinadamente poroso presente na região das morrarias, com espessura variável. Em virtude de sua natureza sedimentar, e da presença de planos horizontais de acamamento, esse aquífero apresentaria uma anisotropia em sua condutividade hidráulica, com valores maiores na direção horizontal do que na direção vertical, além de condicionar a recarga em porções específicas.
	Formação Córrego das Pedras	Córrego das Pedras/Urucum (aquitardo)	Arenitos arcossianos de granulação fina a média, em camadas centimétricas, bem estratificadas, exibindo níveis de cimento manganífero, jaspilítico ou hematítico. Na porção intermediária ocorre a intercalação com camadas de manganês. Apresenta espessura variável, se constituindo em extrato semipermeável às águas armazenadas no aquífero Band'Alta. Constitui-se em um aquitardo, mas pode apresentar comportamento de aquífero fissural em zonas intensamente tectonizadas.
	Formação Urucum		
Complexo Rio Apa		Rio Apa (aquitardo)	Rochas gnáissicas de composição granítica, compondo o embasamento cristalino. Apresenta características de aquitardo, mas pode constituir um aquífero fissural de baixo potencial em domínios fraturados.

Também foram consideradas como unidades hidrogeológicas porções marcadas por falhas tectônicas no domínio de interesse. Estas porções funcionam como zonas de fluxo

preferencial para as águas subterrâneas, sendo os seus valores de permeabilidade comumente maiores.

Apesar das falhas apresentarem penetratividade nas principais unidades (Band'Alta, Córrego das Pedras/Urucum e Rio Apa), há que se ressaltar que em função da pressão litostática, existe uma tendência de perda de permeabilidade em profundidade. Assim, neste estudo, são considerados dois tipos distintos: 1) Falha principal marcada pelo talvegue do córrego Piraputangas, de direção NE/SW, atravessando as unidades Band'Alta (FP1), Córrego das Pedras/Urucum (FP2) e Rio Apa (FP3); e, 2) Falhas secundárias, de direção predominante NW/SE e subordinada NE/SW, responsáveis pela geração dos blocos estruturais, atravessando as unidades Band'Alta (FS1), Córrego das Pedras/Urucum (FS2). Estas unidades são apresentadas na Tabela 4.1.7.2.2-2.

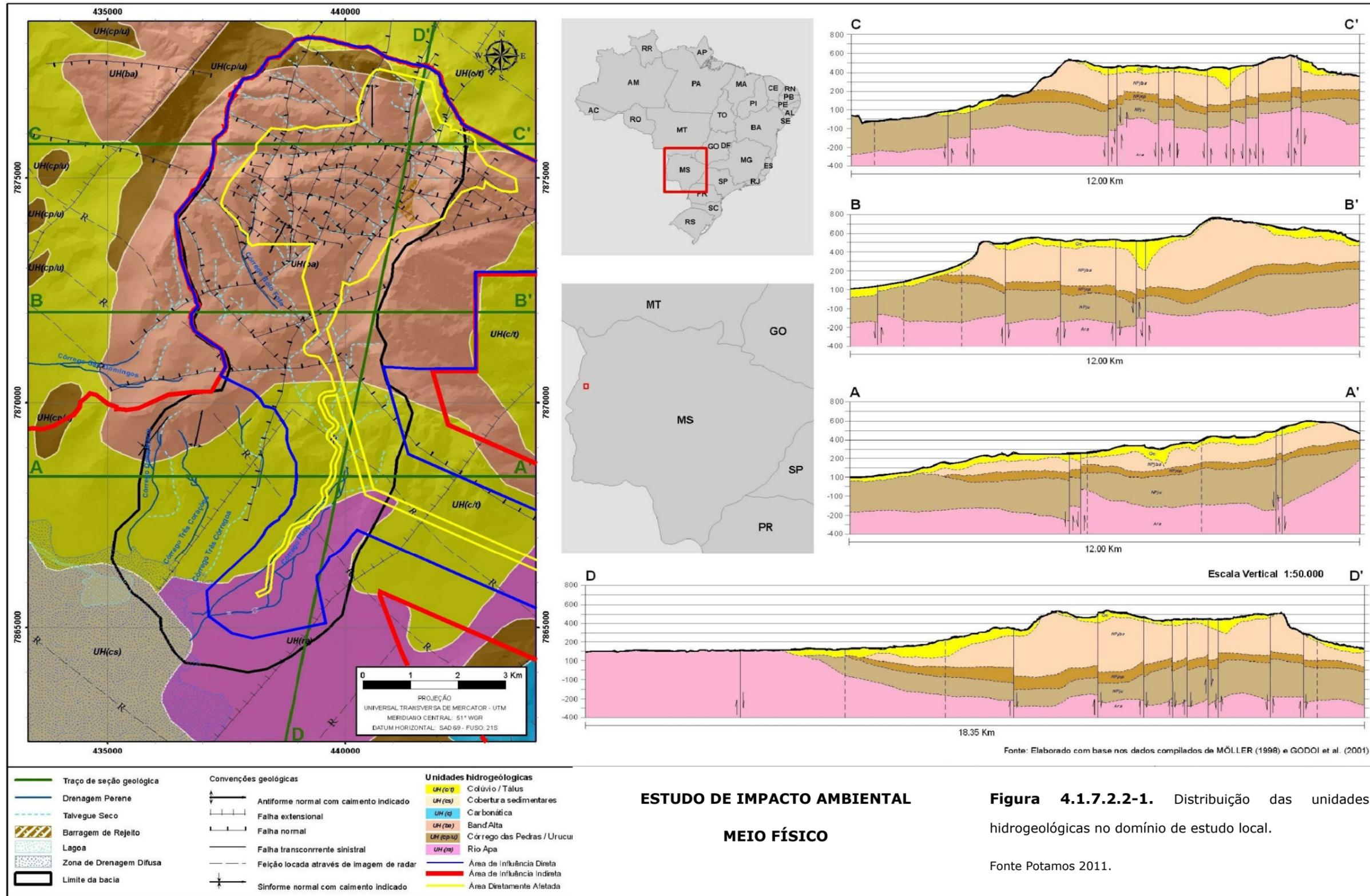
As unidades hidrogeológicas principais apresentadas na Tabela 4.1.7.2.2-2 são descritas nos itens adiante, sendo a sua distribuição ilustrada na Figura 4.1.7.2.2-1, em planta e em perfil.

**Tabela 4.1.7.2.2-2.** Unidades Hidrogeológicas atribuídas em função de falhas e variação de profundidade.

<b>Unidades Hidrogeológicas Principais</b>	<b>Unidades Hidrogeológicas Definidas por Falhas</b>	<b>Variação de Espessura (m)</b>	<b>Características</b>
Band'Alta (aquífero misto)	FP1	5 a 300	Plano principal de falha ao longo do talvegue do córrego Piraputangas. Secciona a unidade Band'Alta, apresentando elevada condutividade hidráulica.
	FS1	5 a 300	Planos secundários de falhas que cruzam a unidade Band'Alta, responsáveis pela compartimentação dessa formação em diversos blocos, apresentando elevada condutividade hidráulica.
Córrego das Pedras/Urucum (aquitardo)	FP2	0 a 200	Plano principal de falha ao longo do talvegue do córrego Piraputangas, cruzando a unidade Córrego das Pedras/Urucum, apresentando uma menor condutividade hidráulica em virtude da natureza da unidade e do fechamento das falhas causado pela pressão litostática.

<b>Unidades Hidrogeológicas Principais</b>	<b>Unidades Hidrogeológicas Definidas por Falhas</b>	<b>Variação de Espessura (m)</b>	<b>Características</b>
	FS1	0 a 100	Planos secundários de falhas que cruzam a unidade Córrego das Pedras/Urucum, responsáveis pela compartimentação dessa formação em blocos, apresentando menor condutividade hidráulica em virtude do fechamento das falhas causado pela pressão litostática.
Rio Apa (aquitardo)	FP3	0 a 100	Plano principal de falha ao longo do talvegue do córrego Piraputangas, penetrando parcialmente na unidade Rio Apa, apresentando uma menor condutividade hidráulica em virtude do fechamento das falhas causado pela pressão litostática.

Fonte: Potamos, 2011.



### *Unidade Rio Apa*

Esta unidade é equivalente ao Sistema Hidrogeológico em Rochas Cristalinas. Na área de estudo local, esta unidade constitui-se no substrato das demais, aflorando apenas em um domínio restrito na porção sul do domínio local. A depender das condições estruturais, intensidade e conectividade de fraturas, esta unidade pode funcionar como aquífero, aquícluído ou aquífero aqüicludo. As características locais denotam comportamento de aquífero aqüicludo. Dessa maneira, possui limitada capacidade de armazenamento e transmissão de água subterrânea.

A recarga, quando possível, ocorre de forma direta através da infiltração vertical descendente de águas de chuva ou, de forma indireta, pela contribuição das unidades sobrejacentes.

### *Unidade Córrego das Pedras/Urucum*

Compreende sequência de rochas sedimentares de granulação fina a média, composta por siltitos, arenitos e arcóseos, com matriz de cimentação carbonática e manganésifera.

Constitui-se predominantemente em um aquífero aqüicludo, mas pode apresentar comportamento de aquífero fissural em zonas intensamente tectonizadas. Apresenta espessura variável e características de extrato semipermeável às águas armazenadas no aquífero Band'Alta, situado em posição sobrejacente.

Em função das características apresentadas, é considerada como unidade de baixo potencial hidrogeológico. Contudo, em zonas de intersecção de falhas pode apresentar condições para armazenamento e transmissão de águas subterrâneas. Neste caso, a recarga pode ocorrer pela transferência de águas do aquífero Band'Alta.

### *Unidade Band'Alta*

Geologicamente, compreende jaspilítos hematíticos intensamente fraturados, com intercalações de siltitos e arenitos ferruginosos, formando uma sequência estratificada e bem definida. Em termos hidrogeológicos, é equivalente a um aquífero predominantemente fissural, caracterizado por descontinuidades presentes na Formação Band'Alta, as quais são representadas por planos de falhas e fraturas interconectadas a

partir de duas direções principais, NE/SW e NW/SE. Subordinadamente apresenta ainda características de aquífero com porosidade secundária originada por processo de lixiviação de sílica e carbonatos das rochas jaspelíticas.

A integração entre processos de fraturamento e lixiviação faz com que o meio geológico nesta unidade se apresente com porosidade secundária relativamente elevada, da ordem de 2% a 3%. A condutividade hidráulica foi avaliada a partir de ensaios de bombeamento (LAJEADO, 2005), encontrando-se valores na faixa de  $10^{-6}$  a  $10^{-5}$  m/s. Em virtude de sua natureza sedimentar, e da presença de planos horizontais de acamamento, esse aquífero apresentaria uma anisotropia em sua condutividade hidráulica, com valores maiores na direção horizontal do que na direção vertical, além de condicionar a recarga em porções específicas.

Dessa maneira, este aquífero pode ser caracterizado como de alto potencial hidrogeológico, com grande capacidade de armazenamento e de transmissão de água subterrânea, o que pode ser comprovado através de nascentes que ocorrem nos sopés das morrarias e que alimentam os tributários inferiores nas bacias circundantes.

Nesse domínio, as zonas de recarga do aquífero relacionam-se às porções com cotas altimétricas mais elevadas e também à integração de aspectos geológicos e estruturais que permitiram a conformação de blocos geológicos responsáveis por características peculiares ao fluxo das águas subterrâneas. Já as zonas de descarga correspondem às porções de cotas mais baixas, representadas principalmente pelos talvegues de drenagem no entorno e interior das morrarias.

#### *Unidade Colúvio/Tálus*

Unidade equivalente ao Sistema Aquífero em Depósitos Coluvionares regional. Caracteriza-se como um aquífero poroso livre em depósitos situados a meia encosta e em porções de cotas mais baixas no entorno e interior das morrarias Santa Cruz e Grande.

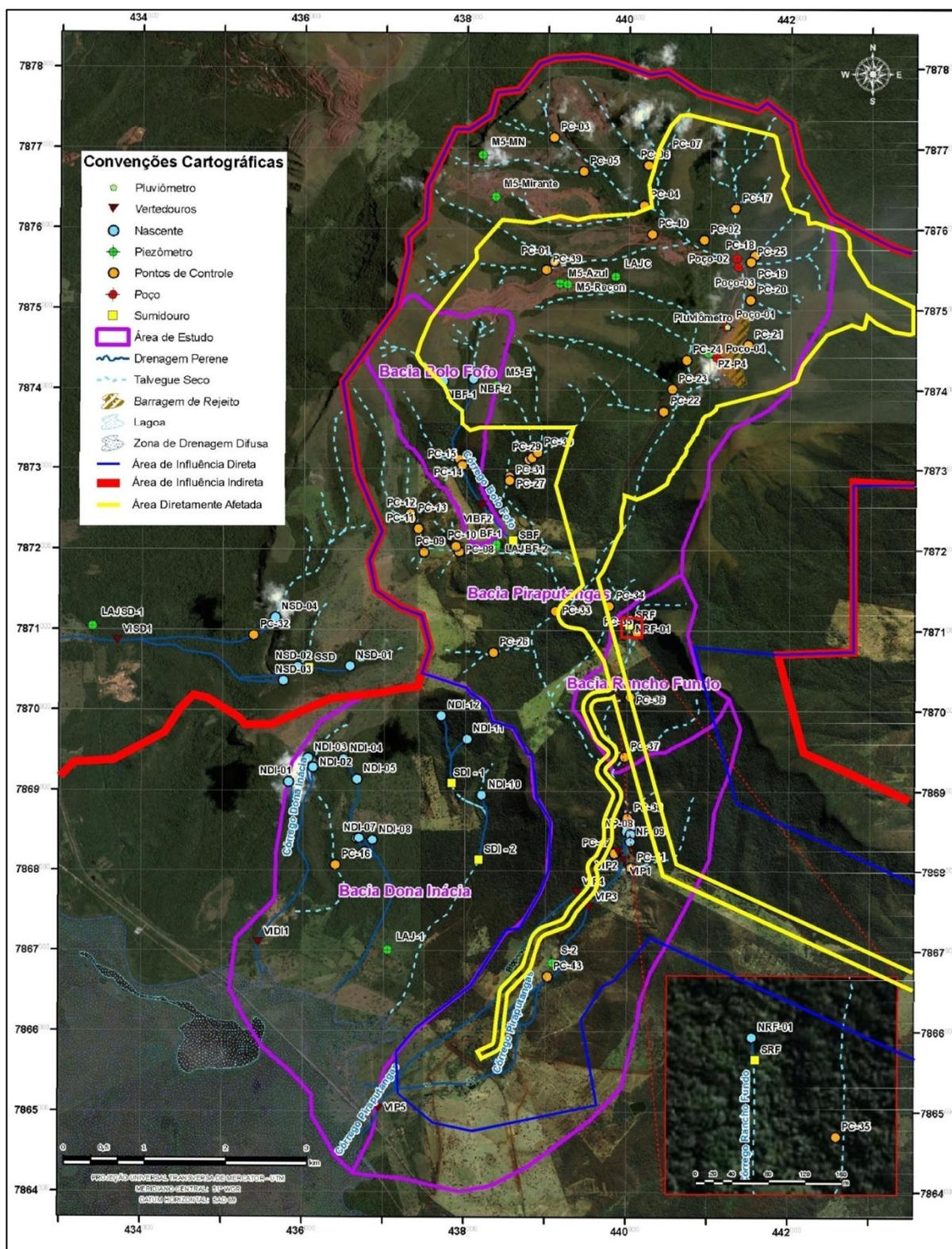
A sua constituição litológica é de fragmentos e blocos de jaspilito, hematitas e arcóseo, imersos em matriz areno-argilosa parcialmente lateritizada. Sua espessura média é de 20 metros, mas no talvegue do córrego Piraputangas pode alcançar até 40 metros devido à presença de falhamentos. Neste caso, acabam preenchendo as calhas estruturais que

servem como talvegue de drenagem para o córrego Piraputangas, porém, com fluxo de água subsuperficial em função da alta permeabilidade do meio.

Assim, as características geológicas desta unidade revelam um comportamento de meio poroso com alto potencial hidrogeológico, evidenciado pela boa capacidade de armazenamento e transmissão de água subterrânea. A recarga desta unidade ocorre pela infiltração direta de águas de chuva ou pelo fluxo lateral de águas subterrâneas oriundas do aquífero Band'Alta.

#### **4.1.7.3 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA LOCAL**

Para a caracterização da hidrogeologia local, foi realizado um levantamento geral na área de interesse pela empresa Potamos (2011), sendo cadastrados os pontos de surgências, sumidouros, poços de bombeamentos e piezômetros. Os dados adquiridos neste levantamento de campo, cuja distribuição dos pontos estão apresentados na Figura 4.1.7.3-1, são descritos nos itens a seguir.



**Figura 4.1.7.3-1.** Mapa com a localização dos pontos de campo e atualização da rede hidrográfica da área de estudo. Fonte: Potamos 2011.

#### 4.1.7.3.1 Nascentes e Sumidouros

Foram cadastradas 28 surgências (nascentes) na área de estudo local, sendo que 2 delas se encontram na sub-bacia do córrego Bolo Fofo, 1 na sub-bacia do córrego Rancho Fundo, 9 na bacia do córrego Piraputangas, 12 na sub-bacia do córrego Dona Inácia e 4 na sub-bacia do córrego São Domingos.

No que corresponde aos sumidouros, foram identificados 5, sendo 2 encontrados na sub-bacia do córrego Dona Inácia, 1 na sub-bacia do córrego Bolo Fofo, 1 na sub-bacia do córrego São Domingos e 1 na sub-bacia Rancho Fundo.

As Tabelas 4.1.7.3.1-1 e 4.1.7.3.1-2 apresentam, respectivamente, as informações referentes às nascentes e sumidouros encontradas na área de interesse, incluindo características da água das surgências encontradas.

Dentre as 28 nascentes cadastradas, foi possível medir vazão somente em 5, uma vez que muitas delas não permitem o uso dos métodos de medição por serem de grande vazão na fonte, como é o caso da nascente do córrego Piraputangas

No que tange à condutividade elétrica (CE), os valores variam de 2 a 156  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , cujo índice mais alto é encontrado na nascente NDI-08, referente ao córrego Três Corações, situado na bacia do córrego Dona Inácia. Os valores de pH estão entre 4,07 e 6,86, variando de caráter muito ácido a neutro, onde a taxa mais alta foi encontrada na nascente NDI-12 concernente ao córrego Três Córregos na bacia do córrego Dona Inácia.

No geral, observa-se que as nascentes do córrego Dona Inácia apresentam os maiores valores de condutividade elétrica e pH, sugerindo que estas águas possuem concentrações maiores de sais dissolvidos e, por conseguinte, o tempo de residência maior no aquífero.

Os teores de oxigênio dissolvido (OD) adquiridos nas nascentes variam de 0 a 7,22 mg/L, valores considerados normais para águas subterrâneas. A nascente NSD-02 referente ao córrego São Domingos foi a que obteve o valor mais alto. No que se refere ao potencial redox (Eh), os valores encontrados na área variam de -20,1 a 220,3 mV, apontando condições normais para as águas analisadas.

**Tabela 4.1.7.3.1-1.** Pontos de nascentes cadastradas em campo.

Nasc.	Sub-bacia	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)	Descrição	Q (L/s)	T ar (°C)	T água (°C)	CE	OD	pH	Eh
NBF-1	Cór. Bolo Fofo	437.706	7.874.101	811	Nascente pontual que aflora no contato solo/rocha, afloramento de jaspilito c/ arcóseo, existem pelo menos 2 pontos aflorantes. Talvegue bem encaixado com o leito rochoso e cascalhado, com seixos e blocos rolados de jaspilito c/ arcóseo, solo areno-argiloso e siltoso de coloração avermelhado a marrom escuro, devido à grande presença de materiais orgânicos em decomposição, mata ciliar preservada.	0,72	22,1	21,7	2	6,66	5,9 4	50,4
NBF-2	Cór. Bolo Fofo	438.080	7.874.133	767	Nascente pontual que aflora em solo areno-argiloso de cor avermelhado a marrom escuro devido à grande presença de matéria orgânica, talvegue bastante encaixado com pequenos blocos rolados de jaspilito com o leito bastante cascalhado, a montante seco, remanescente mata ciliar.	2,11	22,6	22,6	4	6,17	5,4 9	80,6
NDI-01	Cór. Dona Inácia	435.814	7.869.108	405	Nascente pontual que aflora em alto de morro em solo arenoso e cascalhado com seixos e blocos rolados de jaspilito, solo entorno com característica escura devido à presença de matéria orgânica, mata ciliar preservada.		22,8	21,4	22	6,5	5,1	4,8
NDI-	Cór. Dona	436.117	7.869.289	473	Nascente pontual que, depois de uma		24,2	22,9	8	6,12	6,1	11

Nasc.	Sub-bacia	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)	Descrição	Q (L/s)	T ar (°C)	T água (°C)	CE	OD	pH	Eh
02	Inácia				busca no local verificou-se que a mesma migrou bem a jusante, aflorando embaixo de grandes blocos rolados de jaspilite e com uma boa vazão, o solo arenoso de cor vermelho roxeada e cascalhado, remanescente mata ciliar.						2	
NDI-03	Cór. Dona Inácia	436.053	7.869.402	475	Nascente pontual localizada a jusante de uma grande escarpa aflorando embaixo de bloco de jaspilite rolados, o solo entorno arenoso e coberto por matéria orgânica com vários blocos e matacões rolados, mata ciliar preservada, a jusante aproximadamente 10m caracteriza-se sumidouro.		21,8	22,7	7	7,18	5,98	2,6
NDI-04	Cór. Dona Inácia	436.494	7.869.390	462	Nascente pontual que aflora em cabeceira de morro em solo arenoso e cascalhado com blocos e matacões rolados de jaspilite, a jusante aproximadamente 10m existe uma pequena caixa de captação, remanescente mata ciliar, nascente apresenta um grande volume d'água.		22,9	21,8	38	3,87	5,31	8,4
NDI-05	Cór. Dona Inácia	436.662	7.869.139	389	Nascente pontual que aflora em solo arenoso de cor preto coberto por matéria orgânica com blocos rolados de jaspilite, o ponto aflora ao lado da nascente principal, a jusante o ponto encontra-se com a nascente principal. Leitura e vazão não estimada devido à sua pouca vazão.							

Nasc.	Sub-bacia	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)	Descrição	Q (L/s)	T ar (°C)	T água (°C)	CE	OD	pH	Eh
NDI-06	Cór. Dona Inácia	436.662	7.868.400	280	Nascente pontual que aflora embaixo de uma figueira, leito bem arenoso e cascalhado, solo arenoso e coberto por matéria orgânica em decomposição, presença de pequenos blocos rolados de jaspiloto, remanescente mata ciliar.		21,9	24,0	62	2,26	6,68	3,1
NDI-07	Cór. Dona Inácia	436.687	7.868.402	279	Nascente pontual que aflora embaixo de uma figueira, em solo arenoso coberto por matéria orgânica em decomposição, presença de blocos rolados do jaspiloto, solo de cor marrom escuro, leito bem arenoso e cascalhado, remanescente mata ciliar.		21,7	22,9	41	4,29	6,68	1,5
NDI-08	Cór. Dona Inácia	436.853	7.868.378	262	Nascente pontual que aflora no contato solo/rocha, talvegue bem encaixado com o leito arenoso e cascalhado com vários blocos e matacões rolados de jaspiloto, solo de cor marrom escuro coberto por matéria orgânica, a montante seco e a jusante afloramento de gnaíse, remanescente mata ciliar.		21,5	22,0	156	3,75	6,58	10,5
NDI-09	Cór. Dona Inácia	436.759	7.868.225	261	Nascente pontual que aflora em solo arenoso de cor escura devido à presença de matéria orgânica em decomposição, leito arenoso e cascalhado com blocos rolados de jaspiloto, remanescente mata ciliar.		21,2	23,4	48	0,98	6,29	41,4
NDI-10	Cór. Dona Inácia	438.203	7.868.945	248	Nascente pontual que aflora em solo cascalhado e arenoso de coloração	0,23	23,7	22,0	44	6,58	6,1	-20,1

Nasc.	Sub-bacia	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)	Descrição	Q (L/s)	T ar (°C)	T água (°C)	CE	OD	pH	Eh
					roxa a vermelho, existe pelo menos mais 2 pontos aflorando no local, dentro do talvegue apresenta vários blocos rolados de jaspilito, o solo coberto por matéria orgânica em decomposição possivelmente motivo pelo qual Eh apresentou negativo, no local foi construído uma pequena barragem, mais desativada devido o assoreamento.							
NDI-11	Cór. Dona Inácia	438.018	7.869.641	443	Nascente pontual que aflora em solo areno-argiloso coberto por matéria orgânica em decomposição, presença de blocos e matacões rolados, a jusante caracteriza-se sumidouro e surgência. Vazão estimada devido sua pouca vazão.							
NDI-12	Cór. Dona Inácia	437.702	7.869.929	496	Nascente pontual que verte em um grande afloramento de granito-gnaiss em cabeceira de morro.		20,1	20,8	49	5,77	6,8 6	-1,8
NP-01	Cór. Piraput.	440.030	7.868.573	204	Nascente pontual que aflora em solo areno-siltoso e argiloso de cor vermelho a roxeada, cascalhado e com blocos rolados de jaspilito, remanescente mata ciliar.		17,7	23,5	11	6,52	5,7 7	97,3
NP-02	Cór. Piraput.	440.030	7.868.563	205	Nascente pontual que aflora em solo areno-siltoso e argiloso bastante cascalhado com blocos rolados, remanescente mata ciliar, de acordo com o caseiro a nascente ficou seca vários anos, voltando aflora este ano depois das chuvas, solo de cor		18,5	23,6	13	5,84	5,7 6	97,5

Nasc.	Sub-bacia	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)	Descrição	Q (L/s)	T ar (°C)	T água (°C)	CE	OD	pH	Eh
					vermelho a roxeada.							
NP-03	Cór. Piraput.	440.046	7.868.559	208	Nascente pontual que aflora em solo areno argiloso e siltoso de cor vermelho a roxeada, cascalhado e com blocos rolados de jaspilito.		18,3	23,5	14	6,15	5,8 2	94,4
NP-04	Cór. Piraput	440.042	7.868.552	210	Nascente pontual que aflora em solo areno argiloso e siltoso de cor vermelho a roxeada, cascalhado e com blocos rolados de jaspilito.		18,2	23,7	13	6,33	5,7 4	97,5
NP-05	Cór. Piraput	440.049	7.868.551	215	Nascente pontual que aflora em solo areno argiloso e siltoso bem cascalhado com vários blocos rolados de jaspilito, remanescente mata ciliar.		17,3	23,8	16	6,16	5,7	97,3
NP-06	Cór. Piraput	440.050	7.868.550	208	Nascente pontual que aflora embaixo de um bloco rolado de jaspilito, o solo areno siltoso e argiloso de cor vermelho com cascalho e blocos rolados, remanescente mata ciliar, segundo o caseiro a nascente ficou seca por muito tempo voltando aflora este ano depois das chuvas.		18,6	23,7	12	6,51	5,7 2	100, 9
NP-07	Cór. Piraput	439.994	7.868.494	199	Nascente pontual que aflora em uma pequena bacia ao mesmo tempo espalhando-se por todo o local, em solo areno argiloso e siltoso bem cascalhado e com vários seixos e blocos rolados de jaspilito com um grande volume d'água não havendo um ponto fixo aflorante, a jusante existe 3 pequenas lagoas, remanescente mata ciliar.		18,1	23,6	10	6,73	5,7 2	101, 2

Nasc.	Sub-bacia	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)	Descrição	Q (L/s)	T ar (°C)	T água (°C)	CE	OD	pH	Eh
NP-08	Cór. Piraput	440.046	7.868.461	215	Nascente pontual que aflora em solo arenoso, cascalhado com blocos rolados de jaspilito.		17,6	23,6	14	6,26	5,6 7	98,6
NP-09	Cór. Piraput	440.038	7.868.363	209	Nascente pontual que aflora embaixo de uma árvore em solo areno-argiloso e siltoso de cor vermelho e coberto por matéria orgânica, remanescente mata ciliar.		17,8	22,3	16	4,32	6,1 2	72,6
NRF-01	Cór. Rancho Fundo	440.017	7.871.086	513	Nascente pontual que verte em meia encosta em solo arenoso, cascalhado com blocos rolados de jaspilito, remanescente mata ciliar, a jusante aproximadamente 10m existe uma caixa de captação, no mesmo local caracteriza-se sumidouro.		27,1	22,3	6	5,54	4,8 9	82
NSD-01	Cór. São Domingos	436.570	7.870.544	658	Nascente pontual em talvegue bem encaixado em leito rochoso, cascalhado fragmentos de jaspilito com blocos rolados, solos areno-argiloso de cor roxa, remanescente mata ciliar, a montante seco.	0,08	24,3	21,4	5	3,77	5,9	49
NSD-02	Cór. São Domingos	435.920	7.870.537	583	Nascente pontual que aflora em uma fenda no afloramento de jaspilito, o talvegue passa no corte da rocha, leito rochoso, cascalhado com blocos e matações rolados, areno-siltoso de cor roxa. Remanescente mata ciliar, grande volume d'água.		22,1	22,8	8	7,22	6,1 6	45,4
NSD-03	Cór. São Domingos	435.748	7.870.363	556	Nascente pontual que aflora no alto de morro, solo areno-siltoso bem cascalhado com blocos rolados de jaspilito, existe pelo menos mais 2	1,45	24,0	24,0	7	- 0,01	4,0 7	220, 3

Nasc.	Sub-bacia	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)	Descrição	Q (L/s)	T ar (°C)	T água (°C)	CE	OD	pH	Eh
					pontos entorno aflorando onde aproximadamente 20m do ponto amostrado todos se encontram formando um único fluxo d'água, área degradada.							
NSD-04	Cór. São Domingos	435.647	7.871.146	478	Nascente pontual em alto de morro que verte em grande escarpa de jaspilito formando vários fluxos d'água onde a jusante todos se encontram formando um único fluxo d'água onde passa percorrer em um talvegue bem encaixado com vários blocos e matações rolados de jaspilito, solo bem cascalhado e arenoso de cor roxa a escuro devido presença de matéria orgânica, grande volume d'água, mata ciliar preservada.		23,6	20,4	11	6,32	5,9 7	58,8

Fonte: Potamos, 2011

**Tabela 4.1.7.3.1-2.** Pontos de sumidouros cadastrados em campo.

GPS	Pontos	Sub-Bacia	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)	Descrição
Sumidouro-ntc	SDI - 2	Cór. Dona Inácia	438.167	7.868.131	200	O ponto amostrado indicando o sumidouro da nascente Três Córregos, apresenta um talvegue com o leito arenoso e bastante cascalhado com blocos rolados de jaspilito, mata ciliar preservada.
Sumidouro-bf	SBF	Cór. Piraputangas	438.580	7.872.114	609	O ponto marcado indicando o sumidouro, percebe-se que boa parte da água da drenagem infiltra-se em um buraco no solo de características areno argiloso e siltoso de cor vermelho coberto por matéria orgânica, uma pequena parte da água continua superficial formando uma área alagada em meio a matagal, onde possivelmente infiltra-se no solo.
Sumidouro-rf	SRF	Cór. Rancho Fundo	440.021	7.871.061	510	Sumidouro da bacia do Córrego Rancho Fundo. Sumidouro caracterizado pela presença de uma caixa d'água que capta toda a sua água.
Sumidouro_sd	SSD	Cór. São Domingos	436.064	7.870.525	0	Sumidouro do Córrego São Domingos próximo à estrada.
Sumidouro-ntc	SDI - 1	Cór. Dona Inácia	437.833	7.869.093	0	Sumidouro do Córrego São Domingos próximo à estrada.

Fonte: Potamos, 2011.

#### 4.1.7.3.2 Piezometria

Durante o levantamento de campo (Potamos, 2011) foram visitados 12 piezômetros, onde foram aferidos os níveis d'água através de um medidor. A Tabela 4.1.7.3.2-1 apresenta a relação dos piezômetros presentes na área.

Dentre os piezômetros visitados, 2 encontram-se desativados (M5-Azul e M5-E) e 2 danificados (M5-Recon e LAJBF-02), não permitindo a aferição do nível d'água. O nível d'água mais profundo foi encontrado no LAJC-01, com 106,77 m de profundidade, situado na porção norte da área de estudo. Dados do piezômetro PZP4, situado ao lado do Poço 4, indicam que o nível d'água subterrânea se encontra a uma profundidade de cerca de 32,4 metros.

**Tabela 4.1.7.3.2-1.** Pontos de piezômetros.

Ident. do Ponto	Sub-Bacia	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)	Descrição
BF-1	Cór. Piraputangas	438.373	7.872.035	637	Pz com o tubo de plástico com o diâmetro de 2,5", profundidade do nível d'água de 31,62m, solo arenoso
LAJ-1	Cór. Dona Inácia	437.050	7.867.003	119	Pz com o tubo de plástico com o diâmetro de 2,5", profundidade do nível d'água de 8,29m
LAJBF-2	Cór. Bolo Fofó	438.377	7.872.060	633	Pz com profundidade de 6,15m, o poço encontra-se seco, tubo de plástico com o diâmetro de 5,5".
LAJC-01	Cór. Piraputangas	439.834,3	7.875.404,6	826,8	Pz com tubo de plástico com o diâmetro de 2,5", a profundidade do nível d'água 106,77
LAJSD-1	Cór. Piraputangas	433.392	7.871.036	150	Pz com o tubo de plástico com o diâmetro de 2,5", profundidade do nível d'água de 16,54m ao lado da linha férrea em solo arenoso e cascalhado
M5-Azul	Cór. Piraputangas	439.142,95	7.875.319,5	859,8	Pz desativado
M5-E	Cór. Piraputangas	438.377	7.874.053	883	Desativado
M5-Mirante	Cór. Piraputangas	438.346	7.876.393	988	Pz com o tubo de plástico com o diâmetro de 5,5", profundidade do nível d'água de 6,27m
M5-MN	Cór. Piraputangas	438.186	7.876.916	978	Pz com o tubo de plástico com o diâmetro de 5,5", profundidade do nível d'água de 6,31m
M5-Recon	Cór. Piraputangas	439.238	7.875.308	868	Pz encontra-se seco, com o tubo de plástico com o diâmetro de 5,5",

Ident. do Ponto	Sub-Bacia	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)	Descrição
					solo arenoso e cascalhado, profundidade de 6,28m
PZ-P4	Cór. Piraputangas	440.989	7.874.449	668	Pz com o tubo de plástico com o diâmetro de 2,5", profundidade do nível d'água de 32,40m
S-2	Cór. Piraputangas	439.084,9 2	7.866.843	138,5	Pz com tubo de plástico com o diâmetro de 2,5", profundidade do nível d'água de 8,93m, localizado em área de pasto.

Fonte: Potamos, 2011.

Dos piezômetros listados, somente 3 possuem registro histórico de monitoramento mensal, relacionados ao período entre outubro de 2005 e dezembro de 2009, sendo eles:

- LAJ-01 (próximo deságüe do córrego Três Corações), com média no período de 8,8m;
- S-02 (próximo ao córrego Piraputangas, entre VIP3 e VIP5), com média no período de 5,8m; e
- LAJBF-02 (próximo deságüe do córrego Bolo Fofo), com média no período de 33,8m.

Na Tabela 4.1.7.3.2-2 e nas Figuras 4.1.7.3.2-1 e 4.1.7.3.2-2 são apresentados os dados e gráficos dos piezômetros LAJ-01, S-02 e LAJBF-02, comparando o nível d'água subterrânea com a precipitação e o bombeamento dos poços situados nas proximidades da MCR. Nota-se uma correlação entre a variação da cota de nível d'água subterrânea com as taxas de precipitação, porém com uma defasagem em relação aos picos de chuva. Isso ocorre em função do período necessário para que ocorra a recarga do aquífero.

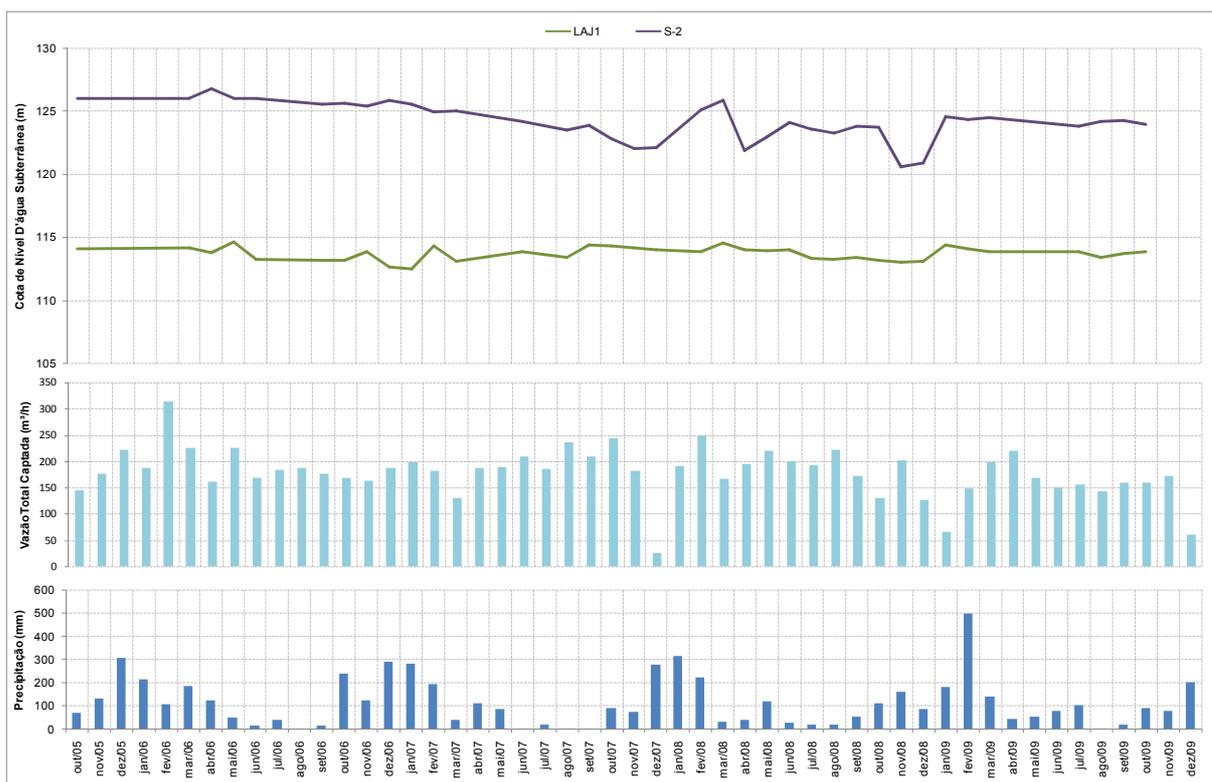
Tal comportamento pode ser visualizado no piezômetro LAJ-01 no mês de maio de 2006, onde se verifica uma ascensão da cota do nível de água para 114,5 m em um período caracterizado por decréscimo de precipitação, onde o pico de chuva ocorreu 5 meses antes. No piezômetro LAJBF-02 também é possível identificar esse comportamento, notando-se que no mês de agosto de 2009, período de estiagem, houve uma considerável ascensão do NA para 605 m, 6 meses após um pico de chuva.

**Tabela 4.1.7.3.2-2. Dados de NA, precipitação e vazão total dos piezômetros da MCR.**

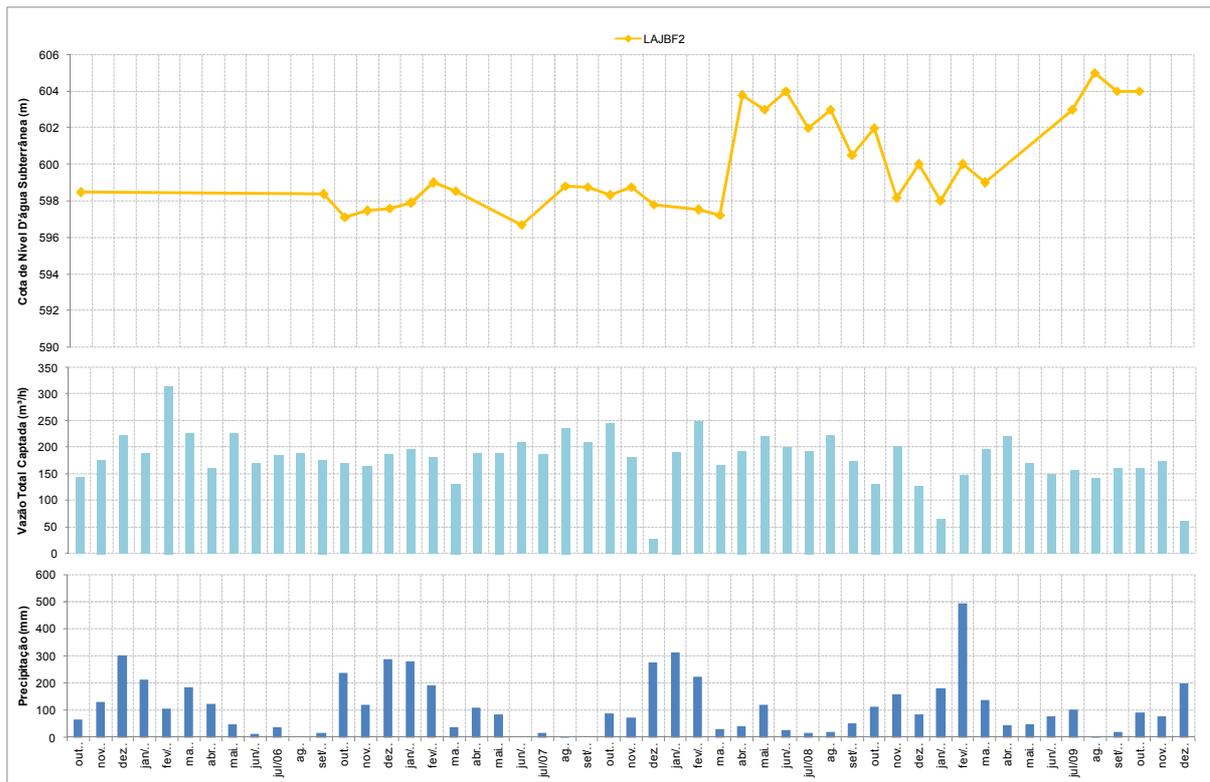
Mês/Ano	Cota NA (m)			Chuvas (mm)	Vazão Total (m <sup>3</sup> /h)
	LAJBF2	LAJ1	S-2		
out/05	598,5	114,1	126,1	67,3	144,2
nov/05				131,9	175,8
dez/05				304,2	221,9
jan/06				213,3	186,9
fev/06				105,3	314,2
mar/06		114,2	126,0	183,8	224,8
abr/06		113,8	126,8	125,0	160,4
mai/06		114,6	126,0	48,8	226,3
jun/06		113,3	126,1	15,3	169,0
jul/06				38,6	183,4
ago/06				0,0	186,7
set/06	598,4	113,2	125,6	16,4	176,0
out/06	597,1	113,1	125,6	238,7	168,8
nov/06	597,5	113,9	125,4	122,7	163,0
dez/06	597,6	112,7	125,9	289,5	186,2
jan/07	597,9	112,5	125,5	280,6	197,1
fev/07	599,0	114,3	124,9	192,2	182,1
mar/07	598,6	113,1	125,1	39,2	130,8
abr/07				109,2	187,2
mai/07				86,5	189,5
jun/07	596,7	113,9	124,2	0,0	209,1
jul/07				19,1	185,8
ago/07	598,8	113,4	123,5	3,8	235,6
set/07	598,8	114,4	123,9	0,0	209,1
out/07	598,3	114,3	122,8	90,0	244,3
nov/07	598,8	114,2	122,1	73,4	182,0
dez/07	597,8	114,0	122,1	276,7	25,8
jan/08				315,4	190,3
fev/08	597,5	113,9	125,1	224,2	248,4
mar/08	597,2	114,6	125,9	31,3	165,9
abr/08	603,8	114,0	121,9	41,2	193,4
mai/08	603,0	113,9	123,0	120,7	220,6
jun/08	604,0	114,0	124,1	27,9	199,9
jul/08	602,0	113,3	123,6	17,7	192,7
ago/08	603,0	113,2	123,3	19,1	222,4
set/08	600,5	113,4	123,8	54,1	172,6
out/08	602,0	113,2	123,7	112,2	130,6
nov/08	598,2	113,0	120,6	161,7	202,4
dez/08	600,0	113,1	120,9	84,5	127,2

Mês/Ano	Cota NA (m)			Chuvas (mm)	Vazão Total (m <sup>3</sup> /h)
	LAJBF2	LAJ1	S-2		
jan/09	598,0	114,4	124,6	181,0	65,5
fev/09	600,0	114,1	124,4	497,5	147,7
mar/09	599,0	113,9	124,5	138,3	197,1
abr/09				45,1	220,2
mai/09				50,8	168,7
jun/09				76,7	149,7
jul/09	603,0	113,9	123,8	102,5	156,6
ago/09	605,0	113,4	124,2	3,0	142,2
set/09	604,0	113,7	124,3	21,4	159,4
out/09	604,0	113,9	124,0	92,0	159,2
nov/09				77,2	172,0
dez/09				199,9	60,8

Fonte: VALE, apud Potamos, 2011.



**Figura 4.1.7.3.2-1.** Relação dos dados de NA dos piezômetros LAJ1 e S-2 com a precipitação e vazão total captada na região da MCR. Fonte: VALE, apud Potamos (2011).



**Figura 4.1.7.3.2-2.** Relação dos dados de NA do piezômetro LAJBF2 com a precipitação e vazão total captada na região da MCR. Fonte: VALE, apud Potamos (2011).

No que tange à comparação com o bombeamento, de acordo com os dados disponíveis, verifica-se que não existe um comportamento que aponte uma possível relação entre a vazão bombeada e as cotas de nível de água subterrânea dos piezômetros LAJ-01, S-02 e LAJBF-02. Isso pode ser justificado pelo fato de que estes piezômetros encontram-se distantes dos poços de bombeamento, eliminando qualquer interferência.

#### 4.1.7.3.3 Poços de Bombeamento

Durante o levantamento de campo (Potamos, 2011) foram visitados 3 poços de bombeamento onde foram aferidos os níveis d'água através de um medidor. A Tabela 4.1.7.3.3-1 apresenta a relação dos poços de bombeamento presentes na área.

**Tabela 4.1.7.3.3-1.** Pontos de poços de bombeamento.

Ident. do Ponto	Sub-Bacia	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)	Descrição
Poço-01	Cór. Piraputanga	441.212	7.874.785	682	Poço-01 encontra-se em nível estático com a profundidade do nível d'água de 33,51m, tubo de PVC com o diâmetro de 1,0"
Poço-03	Cór. Piraputanga	441.346	7.875.531	677	O poço encontra-se em nível dinâmico com o tubo de PVC de 1,0", não foi possível medir o nível d'água devido o medidor ter agarrado no poço em uma profundidade de 203m
Poço-04	Cór. Piraputanga	441.085,14	7.874.407,3	676	O poço-04 encontra-se em nível dinâmico, com tubo de PVC de 1,0", não foi possível medir o nível d'água devido a ausência do medidor. O poço localiza-se no dique da barragem.

Fonte: Potamos, 2011.

Dentre os poços de bombeamento, o nível d'água mais profundo foi medido no Poço 3, situado na porção norte da área de estudo, com 203 m de profundidade, refletindo o seu nível dinâmico.

O monitoramento do volume bombeado dos poços na região da MCR é realizado com a medição mensal da vazão através de hidrômetros. O valor de vazão mensal é multiplicado pelo número de horas trabalhadas no respectivo mês, obtendo-se assim o volume mensal bombeado pelo poço. Dividindo-se este volume mensal pelas horas totais do mês, resulta numa vazão média horária de operação do poço.

A Tabela 4.1.7.3.3-2 apresenta a vazão média ( $m^3/h$ ) bombeada em cada poço, durante todo período monitorado (2002 a 2010), sendo a sua distribuição visualizada na Figura 4.1.7.3.3-1.

A Figura 4.1.7.3.3-1 apresenta o gráfico de variação das vazões em comparação com a precipitação pluviométrica no período correspondente.

O Poço 1 é o que possui o menor valor médio de vazão com  $23,3 m^3/h$ , enquanto que o Poço 3 é o que possui o maior valor médio de água subterrânea explotada na área de estudo, com vazão média de  $82,06 m^3/h$ .

O Poço 4 apresenta um pico de bombeamento em fevereiro de 2006, sendo a maior média mensal monitorada, atingindo uma vazão de 200 m<sup>3</sup>/h, enquanto que a menor vazão é encontrada em dezembro de 2010 no Poço 1, com uma taxa de 0,04 m<sup>3</sup>/h.

A soma da vazão média mensal explotada em todos os poços na região da mina Santa Cruz também é apresentada na Figura 4.1.7.3.3-1, na qual se verifica um pico máximo no mês de fevereiro de 2006, com um total da vazão média mensal de 314,19 m<sup>3</sup>/h e um pico mínimo em dezembro de 2007 com um total de 25,82 m<sup>3</sup>/h. Apesar do grande contraste apresentado de um período para outro, a vazão média total em 11 anos de funcionamento dos quatro poços existentes na área de estudo é de 141,71 m<sup>3</sup>/h.

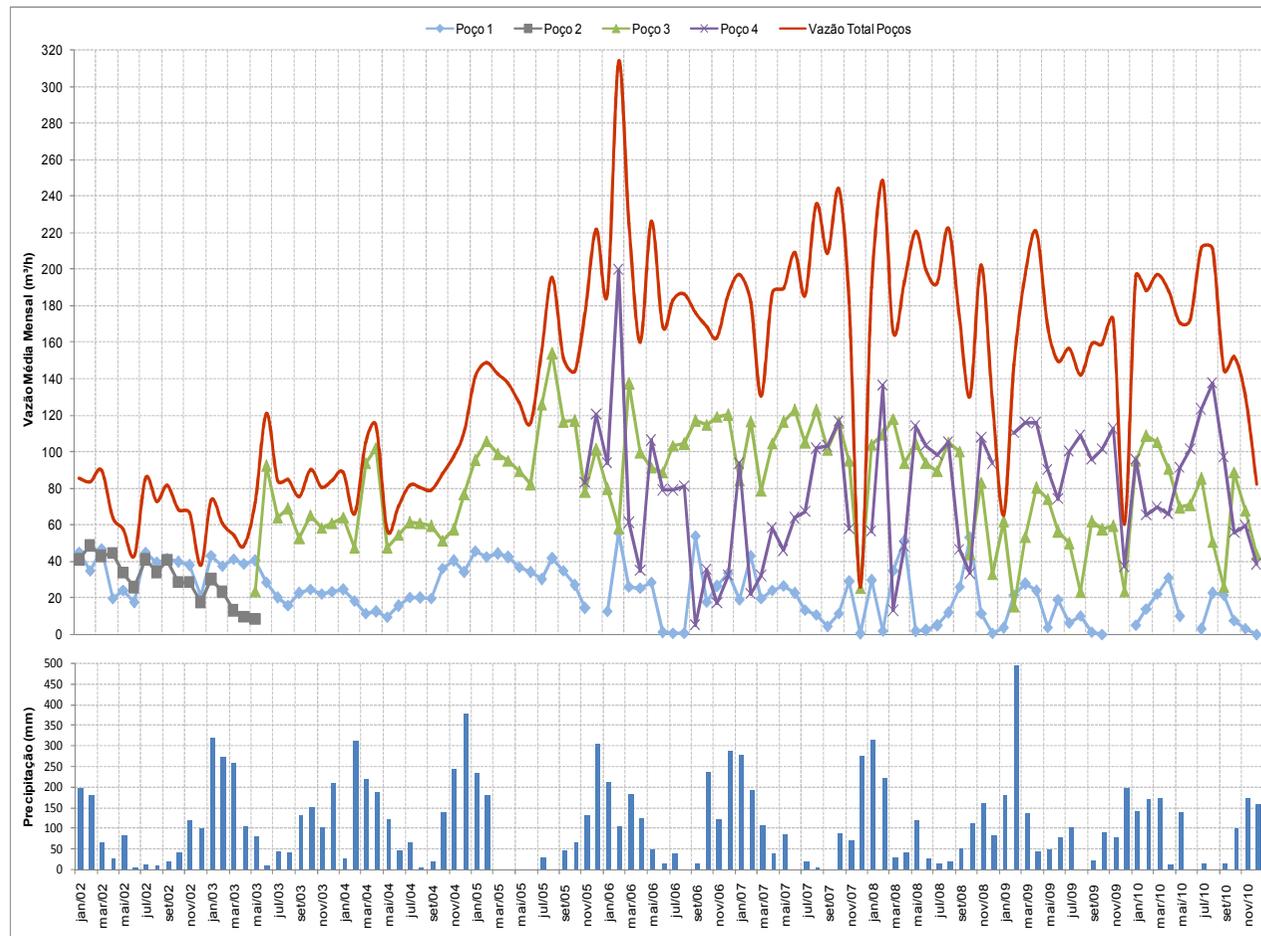
**Tabela 4.1.7.3.3-2.** Dados de vazão média mensal dos poços de bombeamento da MCR.

Mês/Ano	Vazão média mensal (m <sup>3</sup> /h)					Chuvas (mm)
	Poço 1	Poço 2	Poço 3	Poço 4	Vazão Total	
jan/02	44,93	40,96			85,89	197,9
fev/02	35,20	48,54			83,73	182,3
mar/02	46,96	42,87			89,83	65,5
abr/02	19,95	44,30			64,25	28,8
mai/02	24,33	33,62			57,96	83,8
jun/02	17,57	25,76			43,33	6,3
jul/02	44,97	40,96			85,93	13,3
ago/02	39,04	34,01			73,05	11,7
set/02	40,97	40,65			81,61	18,9
out/02	39,73	28,46			68,18	40,8
nov/02	37,93	28,50			66,43	119,7
dez/02	20,68	17,53			38,20	101,8
jan/03	43,34	30,20			73,54	318,0
fev/03	37,44	23,23			60,67	274,1
mar/03	41,37	13,20			54,58	261,0
abr/03	38,81	9,78			48,59	106,2
mai/03	40,40	8,41	23,40		72,21	80,9
jun/03	28,75		92,40		121,15	11,8
jul/03	20,12		64,14		84,27	43,7
ago/03	15,95		68,81		84,76	40,7
set/03	22,72		52,78		75,51	131,9
out/03	24,77		65,43		90,20	150,7
nov/03	22,43		58,38		80,80	102,3
dez/03	23,43		60,99		84,42	210,2
jan/04	24,59		64,03		88,62	28,1
fev/04	18,37		47,82		66,19	312,4
mar/04	11,42		93,90		105,32	220,4
abr/04	12,38		102,06		114,44	187,5
mai/04	9,78		47,61		57,39	124,2

<b>Vazão média mensal (m<sup>3</sup>/h)</b>						<b>Chuvas (mm)</b>
<b>Mês/Ano</b>	<b>Poço 1</b>	<b>Poço 2</b>	<b>Poço 3</b>	<b>Poço 4</b>	<b>Vazão Total</b>	
jun/04	15,72		54,74		70,46	48,3
jul/04	20,46		61,21		81,67	65,6
ago/04	20,04		60,80		80,84	5,3
set/04	19,88		59,48		79,36	20,2
out/04	36,29		51,60		87,90	140,1
nov/04	40,43		57,48		97,91	242,2
dez/04	34,14		76,69		110,83	378,9
jan/05	45,65		95,64		141,30	234,6
fev/05	42,73		106,13		148,86	182,3
mar/05	44,10		98,76		142,86	
abr/05	42,34		95,19		137,53	
mai/05	37,10		89,66		126,76	
jun/05	33,99		82,17		116,15	
jul/05	30,28		125,93		156,21	30,3
ago/05	41,60		153,95		195,55	2,9
set/05	35,11		116,43		151,54	46,6
out/05	27,07		117,16		144,23	67,3
nov/05	14,40		78,04	83,33	175,78	131,9
dez/05			101,30	120,65	221,95	304,2
jan/06	12,94		79,79	94,13	186,86	213,3
fev/06	56,06		58,13	200,00	314,19	105,3
mar/06	26,20		137,36	61,29	224,85	183,8
abr/06	25,37		99,82	35,18	160,37	125,0
mai/06	28,53		91,51	106,26	226,29	48,8
jun/06	1,07		88,80	79,16	169,03	15,3
jul/06	0,89		103,53	79,01	183,44	38,61
ago/06	0,82		104,42	81,49	186,74	0,00
set/06	53,85		117,18	4,99	176,02	16,37
out/06	17,97		115,09	35,72	168,78	238,68
nov/06	26,42		119,53	17,03	162,98	122,73
dez/06	33,63		120,26	32,29	186,17	289,48
jan/07	19,03		84,33	93,73	197,09	280,55
fev/07	43,02		116,85	22,28	182,15	192,17
mar/07	19,74		78,90	32,16	130,80	109,15
abr/07	24,19		104,69	58,32	187,21	39,23
mai/07	26,82		116,53	46,16	189,51	86,52
jun/07	22,55		122,81	63,74	209,10	0,00
jul/07	13,56		105,04	67,16	185,76	19,08
ago/07	10,82		122,89	101,94	235,65	3,77
set/07	4,69		101,28	103,12	209,10	0,00
out/07	11,34		115,94	116,99	244,27	90,04
nov/07	29,04		95,25	57,72	182,01	73,44
dez/07	0,50		25,33		25,82	276,65
jan/08	29,60		103,94	56,73	190,28	315,38
fev/08	2,18		109,58	136,60	248,37	224,21
mar/08	34,93		117,96	13,04	165,92	31,33
abr/08	51,15		93,94	48,29	193,38	41,20
mai/08	1,69		104,52	114,38	220,58	120,72

Mês/Ano	Vazão média mensal (m <sup>3</sup> /h)					Chuvas (mm)
	Poço 1	Poço 2	Poço 3	Poço 4	Vazão Total	
jun/08	2,35		94,16	103,45	199,95	27,92
jul/08	4,76		89,57	98,39	192,72	17,66
ago/08	11,92		105,22	105,27	222,41	19,11
set/08	26,01		100,10	46,51	172,63	54,07
out/08	53,51		43,68	33,45	130,64	112,17
nov/08	11,52		83,10	107,77	202,38	161,72
dez/08	0,67		32,92	93,63	127,22	84,50
jan/09	3,60		61,85		65,46	181,03
fev/09	21,80		15,30	110,56	147,66	497,47
mar/09	27,63		53,35	116,10	197,08	138,30
abr/09	23,90		80,42	115,90	220,22	45,14
mai/09	3,95		74,48	90,27	168,70	50,80
jun/09	18,93		56,33	74,47	149,73	76,71
jul/09	6,55		49,93	100,11	156,59	102,49
ago/09	10,05		23,23	108,96	142,24	3,02
set/09	1,53		62,03	95,82	159,38	21,38
out/09	0,09		57,51	101,58	159,19	92,05
nov/09			59,43	112,60	172,03	77,21
dez/09			23,64	37,14	60,78	199,94
jan/10	5,27		95,38	95,68	196,33	141,34
fev/10	14,00		108,84	65,63	188,47	170,52
mar/10	22,24		105,51	69,61	197,36	174,29
abr/10	31,24		90,92	66,08	188,24	13,33
mai/10	10,02		69,60	91,25	170,87	140,84
jun/10			70,83	101,41	172,25	0,00
jul/10	2,93		85,41	123,48	211,81	15,09
ago/10	22,58		50,67	137,74	210,99	0,00
set/10	21,67		25,90	97,35	144,92	17,61
out/10	7,65		88,98	55,83	152,46	101,86
nov/10	3,13		67,90	59,48	130,50	173,54
dez/10	0,04		43,99	38,37	82,40	160,21

Fonte: VALE, apud Potamos, 2011.



**Figura 4.1.7.3.3-1.** Variação bombeamento médio e total mensal em comparação com precipitação. Fonte: dados fornecidos pela VALE, apud Potamos, 2011.

#### 4.1.7.3.4 Valores de Condutividade Hidráulica

Os valores típicos de condutividade hidráulica da unidade Band'Alta foram obtidos a partir dos dados de ensaios de campo realizados em período anterior e interpretados por LAJEADO (2005). Para as demais unidades, os valores foram atribuídos de acordo com informações da literatura especializada. Além das unidades hidrogeológicas reconhecidas, também foram atribuídos valores de condutividade hidráulica para as porções marcadas por falhas no domínio de interesse. Sendo assim, na Tabela 4.1.7.3.4-1 são apresentados os intervalos dos valores típicos de condutividade hidráulica, K, para as unidades hidrogeológicas definidas na área de influência da bacia do córrego Piraputangas.

**Tabela 4.1.7.3.4-1.** Intervalos de variação típicos de condutividade hidráulica das unidades hidrogeológicas reconhecidas na área de interesse.

Nº de Ordem	Unidades Hidrogeológicas	Espessura Média(m)	Intervalos dos Valores Típicos de K(m/s)
01	Colúvio/Tálus	10 a 30	$1,0 \times 10^{-7}$ a $1,0 \times 10^{-3}$
02	Band'Alta	0 a 300	$1,0 \times 10^{-6}$ a $1,0 \times 10^{-5}$
03	Córrego das Pedras/Urucum	0 a 200	$1,0 \times 10^{-10}$ a $1,0 \times 10^{-7}$
04	Rio Apa	0 a 500	$1,0 \times 10^{-10}$ a $1,0 \times 10^{-7}$
05	FP1	5 a 300	$1,0 \times 10^{-5}$ a $1,0 \times 10^{-2}$
06	FP2	0 a 200	$1,0 \times 10^{-6}$ a $1,0 \times 10^{-3}$
07	FP3	0 a 100	$1,0 \times 10^{-7}$ a $1,0 \times 10^{-4}$
08	FS1	5 a 300	$1,0 \times 10^{-5}$ a $1,0 \times 10^{-2}$
09	FS2	0 a 100	$1,0 \times 10^{-6}$ a $1,0 \times 10^{-3}$

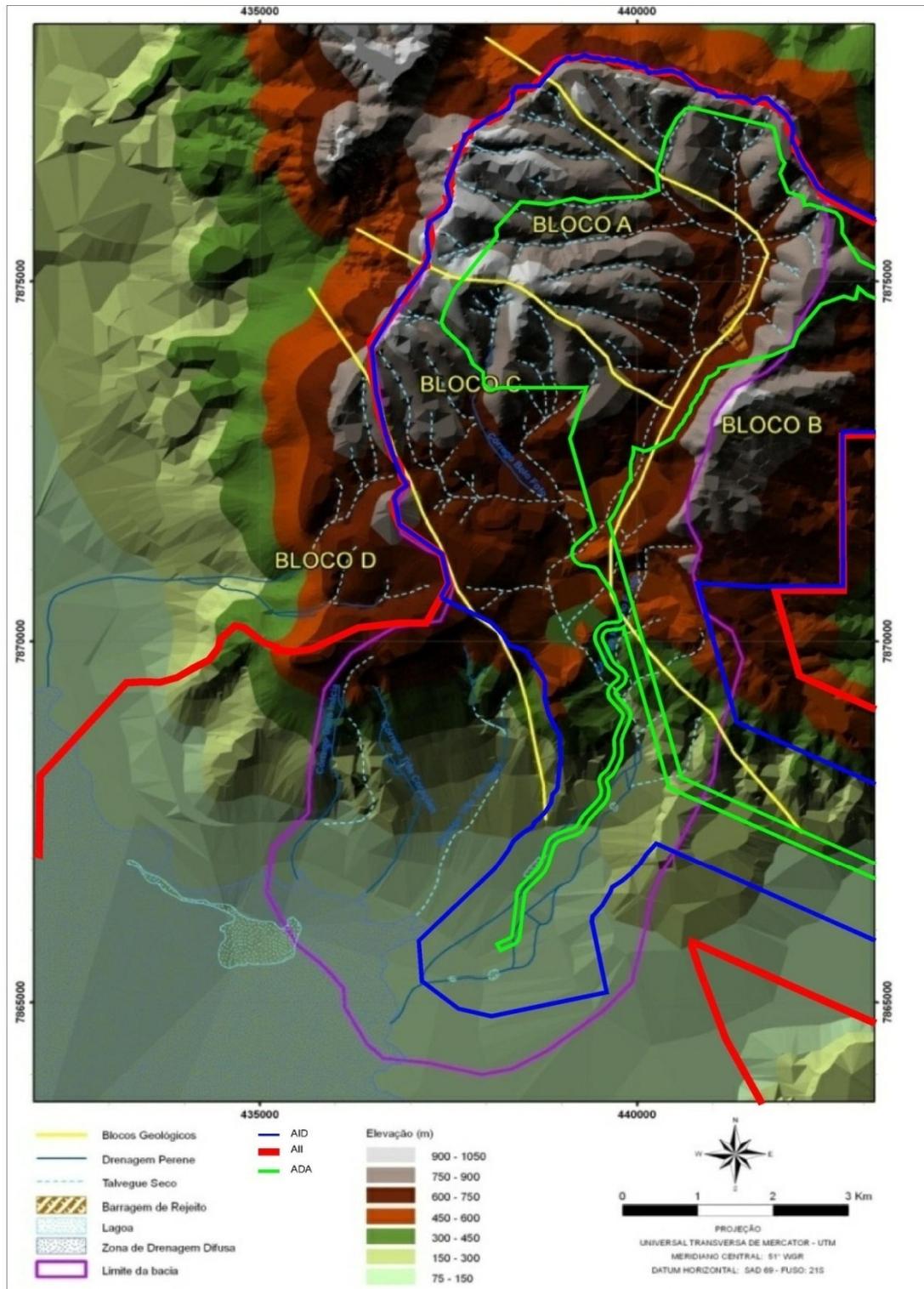
Fonte: Potamos, 2011.

#### 4.1.7.4 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

##### 4.1.7.4.1 Dinâmica de Recarga

A recarga na área de estudo local ocorre predominantemente pela infiltração de águas de chuva a partir do aquífero Band'Alta. Na região das morrarias a mesma se processa em toda a área de exposição desta unidade, sendo a direção e o mergulho do acamamento das rochas da Formação Band'Alta, bem como a compartimentação dos blocos tectônicos, fator preponderante para a dinâmica e computo da recarga. Na Figura

4.1.7.4.1-1, é apresentado um bloco esquemático para entendimento da dinâmica de recarga e da influência do acamamento das rochas e da tectônica.



**Figura 4.1.7.4.1-1.** Influência da compartimentação tectônica na dinâmica de recarga das águas subterrâneas na bacia do córrego Piraputangas. Fonte Potamos 2011.

De maneira geral, as surgências dos córregos Bolo Fofó, Dona Inácia, Rancho Fundo e Piraputangas, constituem-se na drenagem da reserva renovável do aquífero Band'Alta para fora das morrarias. Conforme apresentado na Figura 4.1.7.4.1-1, isto se processa da maneira descrita a seguir.

No Bloco A, cuja direção predominante das camadas é sul/norte e sentido do mergulho para leste/sudeste, em função do seu abatimento tectônico a partir de zona de falha marcada pelo talvegue do córrego Piraputangas, a recarga se processa pelas águas de chuva sobre a unidade Band'Alta, sendo as águas infiltradas conduzidas em direção ao talvegue principal de cabeceira do Piraputangas. O fluxo proveniente deste sentido encontra como anteparo o Bloco B, com direção e sentido de mergulho das camadas similar, porém, soerguido tectonicamente, o que faz com que, em profundidade, a unidade Band'Alta, do lado do Bloco A, encontre a unidade Córrego das Pedras/Urucum, do lado do Bloco B, em contato tectônico ao longo da falha, servindo como barreira hidráulica ao fluxo das águas subterrâneas em sentido leste. Diante disso, a condição mais provável é que estas águas sejam escoadas em subsuperfície ao longo da calha do Piraputangas, em sentido sul, até que encontrem sua nascente no sopé das morrarias. Neste contexto, a nascente do córrego Rancho Fundo representa uma pequena contribuição de águas exudadas do Bloco B, as quais acabam infiltrando a jusante do ponto de surgência e constituindo parte do fluxo de base da calha do Piraputangas.

Por sua vez, o abatimento tectônico do Bloco C, em sentido sul, redireciona o caimento das camadas para sudeste, configurando os traços de drenagem para a formação da bacia do córrego Bolo Fofó. Em função desse abatimento, a superfície freática encontra a superfície topográfica, implicando no surgimento de suas nascentes. Estas águas correm superficialmente ao longo de um determinado trecho da bacia, sendo depois infiltradas e redistribuídas para o aquífero Band'Alta, ou ainda, escoam em subsuperfície até a confluência com o talvegue principal do Piraputangas. Dessa maneira, as águas exudadas na nascente do córrego Piraputangas constituem a reserva renovável do aquífero Band'Alta na região das morrarias, à exceção das águas de recarga do Bloco D, as quais são drenadas pelas surgências da bacia do córrego Dona Inácia, na encosta sudoeste do anfiteatro.

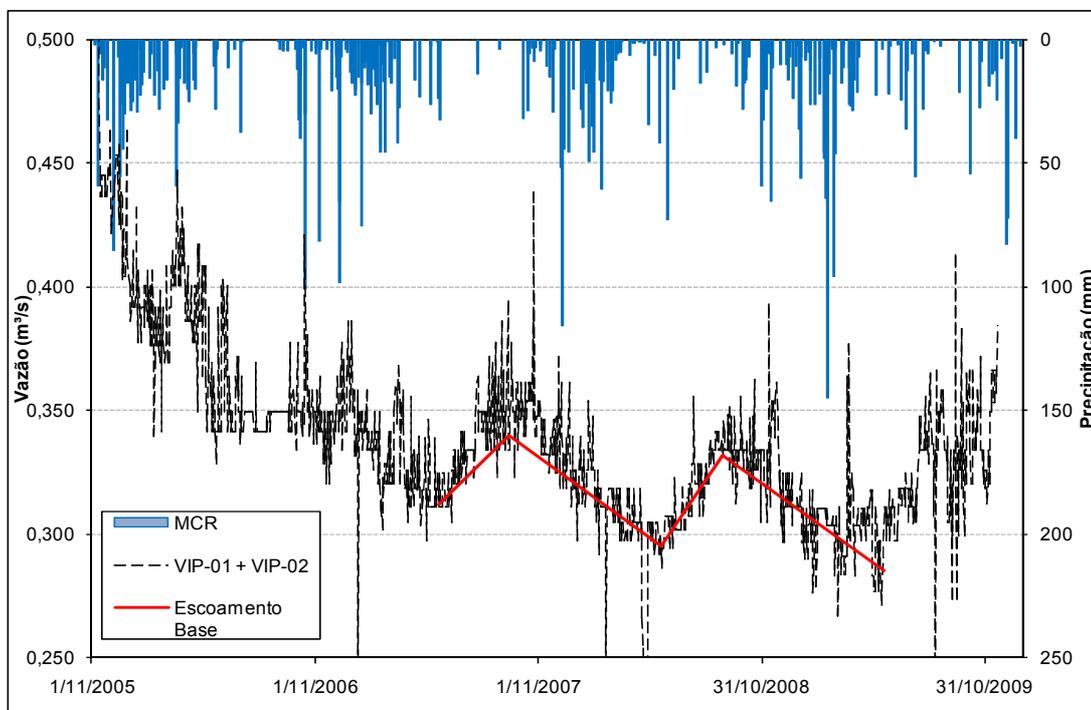
Diante disso, percebe-se que a única contribuição hídrica para o aquífero Band'Alta na parte alta das morrarias se faz pela infiltração profunda de parte da precipitação, ocorrendo de maneira rápida e com um componente vertical acentuado, devido à ocorrência de colúvio/tálus de alta permeabilidade e à significativa ocorrência de

falhamentos e fraturas verticais cortando as unidades aquíferas e não aquíferas presentes na área.

Sendo assim, são consideradas duas áreas distintas em relação à eficiência com que a recarga do sistema aquífero em questão é realizada no domínio de interesse: uma primeira, com alta taxa de recarga, e uma segunda área, com baixa taxa de recarga.

A área com alta taxa de recarga corresponde às zonas de ocorrência do aquífero Band'Alta na região das morrarias, dado ao alto grau de fraturamento dessa unidade, e também de sua espessura. Essa área de maior recarga é delimitada pelos limites do domínio nas cotas altas das morrarias, representando uma área de aproximadamente 21,96 km<sup>2</sup>.

Para estimar a recarga anual média do aquífero Band'Alta, utilizaram-se os dados de monitoramento superficial registrados nos vertedores VIP1 e VIP2, instalados em braços paralelos do córrego Piraputangas. Essas estruturas de monitoramento encontram-se instaladas próximo à área das nascentes desse córrego, mas ainda assim não estão isentas de interferências de captações da Fazenda Paraíso de São Benedito, do Sítio Três Marias e do Balneário Iracema. A estimativa da recarga anual média do sistema aquífero foi realizada através da separação do escoamento de base, que é sustentado pelo desaguamento do aquífero, do escoamento superficial registrado no hidrograma (Figura 4.1.7.4.1-2)



**Figura 4.1.7.4.1-2.** Separação do escoamento de base no hidrograma do córrego Piraputangas. (Dados de monitoramento dos vertedores VIP1 e VIP2). Fonte Potamos 2011.

O escoamento de base é a parcela da vazão observada no córrego Piraputangas sustentada pelo desaguamento do aquífero e é calculado a partir da área abaixo da linha vermelha na Figura 4.1.7.4.1-2. Esta vazão de base pode ser utilizada para estimar a recarga, desprezando-se as captações na bacia, através da seguinte relação:

$$R(\text{mm/ano}) = \frac{Q_{\text{base}} (\text{m}^3 / \text{s})}{A(\text{m}^2)} \times 1000 \times 365 \times 24 \times 3600$$

Onde:

R é a recarga anual média, em mm/ano;

$Q_{\text{base}}$  é a vazão média do escoamento subterrâneo, em  $\text{m}^3/\text{s}$ ; e,

A é a área do sistema aquífero, em  $\text{m}^2$ .

A área abaixo da curva vermelha (Figura 4.1.7.4.1-2), entre 22/05/2007 e 21/05/2008, corresponde à vazão média do escoamento subterrâneo, que se mostrou igual a 0,32  $\text{m}^3/\text{s}$ . Esse valor é representativo do desaguamento da porção alta do aquífero Band'Alta.

Além disso, foram acrescentados os volumes bombeados nos poços em operação na cabeceira do córrego Piraputangas no período, cuja vazão média foi igual a 0,053  $\text{m}^3/\text{s}$ . Assim, somando-se essa vazão ao escoamento de base, obtém-se um valor de 0,373  $\text{m}^3/\text{s}$  de reserva renovável do sistema. Considerando a área de contribuição de 21,96  $\text{km}^2$  do aquífero Band'Alta, obtém-se uma recarga anual média da ordem de 535 mm/ano. Este valor de recarga é equivalente a aproximadamente 40% do valor de precipitação total para o mesmo período.

A área de baixa taxa de recarga engloba os depósitos de tálus das escarpas e os depósitos coluvionares nas áreas mais baixas. Nessas áreas, o embasamento gnáissico se encontra a poucos metros de profundidade, o que diminui a capacidade de armazenamento dessas camadas e torna a evapotranspiração muito mais eficiente na subtração da água que se encontra na subsuperfície. A taxa média de recarga nessa área foi estimada em 50 mm/ano.

#### **4.1.7.4.2 Circulação das Águas Subterrâneas e Interações com as Águas Superficiais**

A principal unidade hidrogeológica da área de estudo local se refere ao aquífero Band'Alta, limitado lateralmente pelos divisores de água locais da bacia do córrego Piraputangas e seus afluentes (Bolo Fofo, Rancho Fundo e Dona Inácia); no topo, pela superfície topográfica conformada pela exposição de rochas da Formação Band'Alta; e na base, pela superfície geológica profunda, representada por rochas das unidades Rio Apa, Urucum e Córrego das Pedras, constituindo duas unidades hidrogeológicas de baixo potencial de armazenamento e condução de águas subterrâneas (aquitardo/Aquiclude), denominadas Rio Apa e Córrego das Pedras/Urucum.

Além disso, reconhece-se que o cenário hidrogeológico local é compartimentado por estruturas geológicas que condicionam a geração de blocos estruturais com caimentos e direções variadas. Aliado a isto, o acamamento das rochas da Formação Band'Alta direciona preferencialmente o fluxo subterrâneo de acordo com o seu caimento. Dessa maneira, a geologia se constitui no principal elemento condicionante da recarga, circulação e descarga das águas subterrâneas na bacia do córrego Piraputangas. Em função disso, a rede hidrográfica local também segue o padrão de compartimentação da bacia.

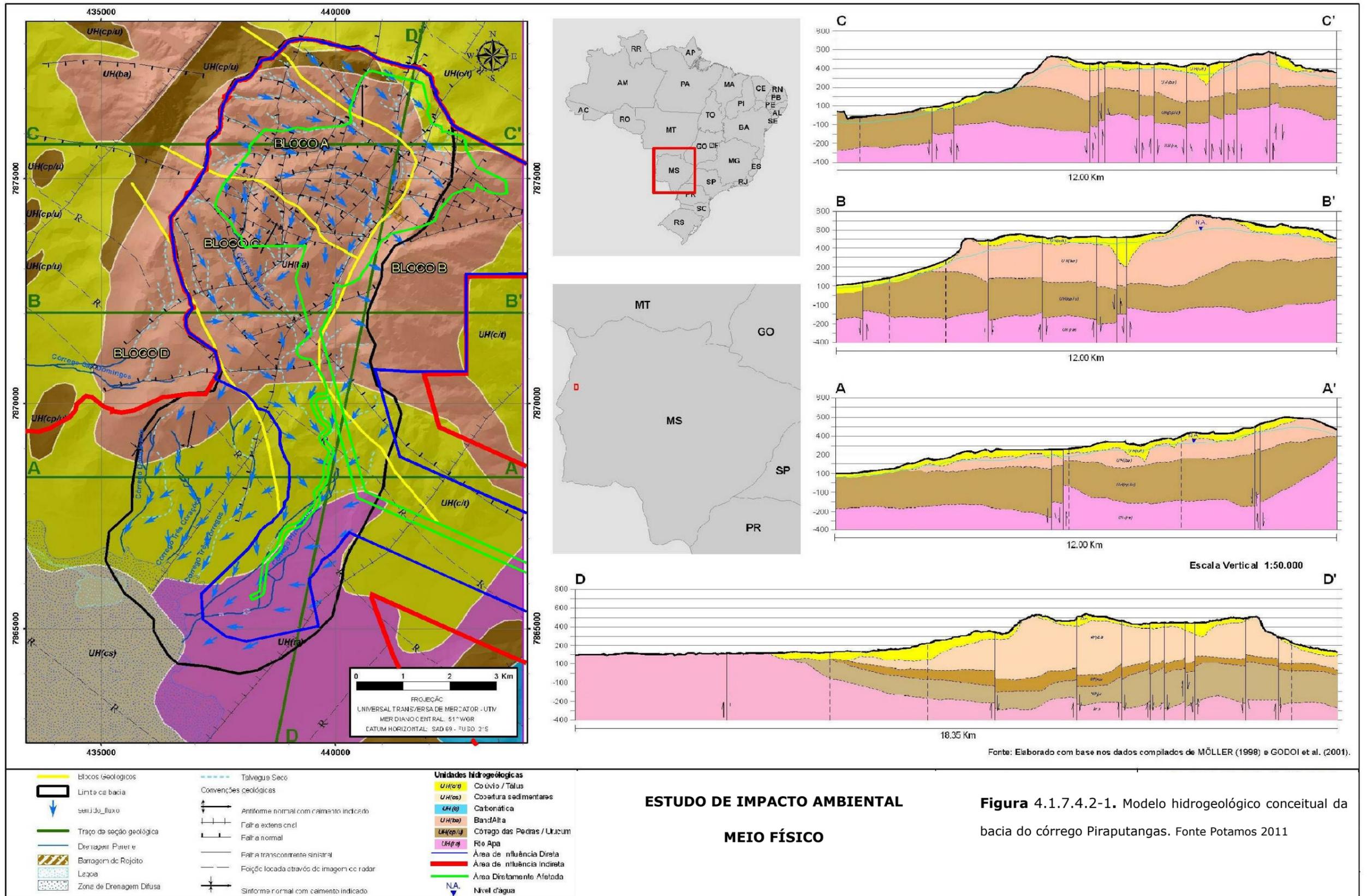
A unidade Band'Alta se constitui em um aquífero livre, predominantemente fissural, cuja recarga se processa de forma direta, a partir da infiltração de águas de chuva, no topo da camada geológica. Dados de escoamento de base obtidos dos vertedores VIP1 e VIP2, instalados próximos à nascente do córrego Piraputangas, indicaram valores de recarga da ordem de 535 mm/ano, representando cerca de 40% da precipitação anual.

Este valor elevado de recarga se justifica pelas características físicas do aquífero Band'Alta, cujas condutividades hidráulicas calculadas por testes de infiltração denotaram valores da ordem de  $10^{-6}$  e  $10^{-5}$  m/d. Nas porções intensamente fraturadas e com falhas penetrativas, as unidades Rio Apa e Córrego das Pedras/Urucum podem se comportar como aquíferos fissurais, cuja recarga é efetuada a partir da drenança do aquífero Band'Alta. Dessa maneira, admite-se que toda área de ocorrência das rochas da Formação Band'Alta pode ser considerada como área de recarga efetiva para os sistemas aquíferos sotopostos localmente.

Dados e informações geológicas disponíveis permitem segmentar o aquífero Band'Alta em quatro blocos estruturais principais (Blocos A, B, C e D). A caracterização da dinâmica de circulação hídrica na área de interesse é descrita em função das direções de fluxo em cada bloco e da conexão hidráulica estabelecida entre eles (Figura 4.1.7.4.2-1).

#### *Bloco A*

No Bloco A (morraria Santa Cruz), os dados de cota de nível d'água de piezômetros instalados na área sugerem que a superfície potenciométrica do aquífero Band'Alta se posiciona a um nível relativamente profundo, sendo em torno de 106,7 metros nas cotas mais elevadas (LAJC-01) e a 32,4 metros em cotas mais baixas (PZP4), às margens do talvegue seco de montante do córrego Piraputangas. Os dados geológicos indicam que nesta porção do aquífero a direção predominante das camadas é sul/norte e sentido do mergulho para leste/sudeste, em função do seu abatimento tectônico a partir de zona de falha marcada pelo talvegue do córrego Piraputangas. Nesta área, os talvegues de drenagens secundárias, afluentes ao Piraputangas, apresentam também sentido de escoamento de oeste para leste, sendo os mesmos completamente secos devido ao nível profundo de circulação das águas subterrâneas.



ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL  
MEIO FÍSICO

Figura 4.1.7.4.2-1. Modelo hidrogeológico conceitual da bacia do córrego Piraputangas. Fonte Potamos 2011

Independente disso, a recarga se processa pelas águas de chuva sobre a unidade Band'Alta, sendo as águas infiltradas conduzidas em direção ao talvegue principal de cabeceira do Piraputangas, onde se encontra a barragem de rejeitos do Gregório, que sustenta um nível de água suspenso devido a colmatação parcial de sua base pelas lamias de rejeito. Sendo que a referida barragem nunca verteu água, a partir desse ponto, as águas infiltradas circulam em subsuperfície, em sentido sul, ao longo do eixo de drenagem do córrego Piraputangas, entendido como zona preferencial de fluxo das águas subterrâneas por constituir zona de falha com alta capacidade de infiltração.

Diante disso, percebe-se que a única contribuição hídrica para o aquífero Band'Alta na parte alta das morrarias se faz pela infiltração profunda de parte da precipitação, ocorrendo de maneira rápida e com um componente vertical acentuado, devido à ocorrência de colúvio/tálus de alta permeabilidade e à significativa ocorrência de falhamentos e fraturas verticais cortando as unidades aquíferas e não aquíferas presentes na área. A descarga nesta porção ocorre de maneira artificial, pelo bombeamento dos poços instalados próximo ao talvegue do córrego Piraputangas, produzindo uma vazão média conjunta da ordem de 180 m<sup>3</sup>/h.

#### *Bloco B*

Além de atingir a zona preferencial de fluxo ao longo da falha principal NE/SW, o fluxo subterrâneo proveniente do Bloco A encontra como anteparo o Bloco B (morraria Grande), com direção e sentido de mergulho das camadas similar, porém, soerguido tectonicamente, o que faz com que, em profundidade, a unidade Band'Alta, do lado do Bloco A, encontre a unidade Córrego das Pedras/Urucum, do lado do Bloco B, em contato tectônico ao longo da falha, servindo parcialmente como barreira hidráulica e condicionante para o escoamento das águas subterrâneas do Bloco A, em sentido sul.

As águas de recarga do Bloco B, em função do caimento das camadas para leste, são preferencialmente escoadas em sentido às nascentes da vertente oposta, já que os talvegues de drenagem da encosta oeste são majoritariamente secos. A exceção se constitui na nascente do córrego Rancho Fundo, que representa uma pequena contribuição de águas exudadas do Bloco B, as quais acabam sendo totalmente captadas

por caixa de captação e tubulações, para servir ao abastecimento humano e animal de propriedade rural a jusante.

### *Bloco C*

O Bloco C situa-se a jusante do Bloco A, sendo separado do mesmo por um conjunto de falhamentos normais de direção NW/SE. Neste caso, acredita-se que o abatimento tectônico do Bloco C, em sentido sul/sudeste, redireciona o caimento das camadas para sudeste, configurando os traços de drenagem, neste sentido, para a formação e direcionamento do fluxo da bacia do córrego Bolo Fofó. Em função desse abatimento, a superfície freática encontra a superfície topográfica na cabeceira da bacia, implicando no surgimento de suas duas nascentes. Estas nascentes, que somam baixa vazão (2,83 l/s ~ 10,2 m<sup>3</sup>/h) são alimentadas pela recarga direta na zona de cabeceira. Contudo, toda bacia funciona como zona de recarga direta do aquífero Band'Alta. As águas destas nascentes correm superficialmente ao longo de um determinado trecho, sendo depois infiltradas e redistribuídas para o aquífero Band'Alta, a partir do ponto de sumidouro da drenagem.

Dados de um piezômetro (LAJBF-02), situado próximo ao ponto de sumidouro, revelam que o nível d'água subterrânea local encontra-se a uma profundidade da ordem de 33,8 metros. Dessa maneira, sugerindo que as águas subterrâneas infiltradas escoam em subsuperfície, ao longo de uma zona preferencial de fluxo marcada por falha secundária de direção NW/SE, até a confluência com o talvegue principal do Piraputangas, que também marca o cruzamento com a falha principal NE/SW.

Assim, as águas subterrâneas de cabeceira do Piraputangas, passando pelo Bloco C, se somam às águas subterrâneas que escoam na bacia do córrego Bolo Fofó, até que encontrem a nascente do Piraputangas no sopé das morrarias, em zona de prolongamento da falha principal NE/SW, com vazões que variam entre 800 e 1500 m<sup>3</sup>/h distribuídas entre os períodos seco e úmido, respectivamente. Dessa maneira, as águas exudadas na nascente do córrego Piraputangas podem ser entendidas como a reserva renovável do aquífero Band'Alta, proveniente dos Blocos A e C na região das morrarias.

A partir do ponto de nascente, estas águas passam a escoar em superfície, sendo aproveitadas para fins diversos (recreação, irrigação, piscicultura e dessedentação de animais), até que se espraíem a jusante, na zona pantaneira de fluxo difuso.

#### *Bloco D*

No Bloco D, a exemplo do comportamento do Bloco C, ocorre um abatimento tectônico em sentido sul, redirecionando o caimento das camadas e contribuindo para formação da bacia dos córregos Dona Inácia, Três corações e Três Córregos. Nesta porção, as águas subterrâneas são drenadas na encosta sudoeste do anfiteatro, a partir de zona de recarga da cabeceira da bacia.

Nas zonas topograficamente mais elevadas estas águas infiltram nos depósitos de tálus, ou ainda, nas porções mais rebaixadas, infiltram nos depósitos coluvionares. Quando não, passam a constituir drenagens perenes que se espraíam na região pantaneira de fluxo difuso. Dessa maneira, sugere-se que as águas subterrâneas desse bloco possuam um caráter de circulação independente das águas que escoam nos Blocos A e C, do aquífero Band'Alta.

A hipótese da dinâmica hídrica controlada pela compartimentação dos blocos tectônicos deve ser ainda confirmada pela ampliação da rede de monitoramento da área, com a implantação de instrumentos de medida (piezômetros) convenientemente locados.

No estágio atual de conhecimento da área, admite-se que o fluxo natural das águas subterrâneas apresente direção geral de escoamento em sentido sul, sendo as nascentes identificadas na área associadas à condicionante geológica de acamamento das rochas e de compartimentação de blocos tectônicos. Em função da alta permeabilidade das rochas da Formação Band'Alta, o fluxo hídrico ocorre preferencialmente em meio subterrâneo, sendo a rede de drenagem local caracterizada predominantemente por talvegues secos. Nas restritas porções de escoamento superficial, onde os talvegues recebem água de descarga do aquífero, os cursos de água são efluentes. Já na maior porção da bacia os cursos de água são essencialmente influentes, pois suas águas passam a constituir aportes de recarga do aquífero.

Considera-se, ainda, que a restituição de água a partir do aquífero Band'Alta alimenta preferencialmente o vale do córrego Piraputangas. Além disso, em termos gerais, admite-se que a dinâmica de circulação das águas subterrâneas no domínio de interesse deste modelo é sustentada pela boa porosidade apresentada pelas rochas da Formação Band'Alta, favorecendo a recarga nas porções mais elevadas da área, ou seja, nas morrarias.

#### 4.1.7.5 MODELO HIDROGEOLÓGICO COMPUTACIONAL

A partir das informações descritas, foi construído pela Potamus (2011) um modelo computacional com o intuito de simular o comportamento hidrodinâmico dos aquíferos, avaliando cenários futuros associados à disponibilidade hídrica da bacia frente à demanda de seus diferentes usuários. Para tanto, foram incorporados todos os elementos físicos e hidráulicos descritos no modelo conceitual, incluindo as unidades hidrogeológicas, as condições de recarga, bem como os condicionantes das descargas no sistema de drenagem superficial, além da conformação topográfica do terreno e dos dados de monitoramento disponíveis de nascentes, dos poços piezométricos e de bombeamento. Nos itens a seguir, são apresentadas a descrição do modelo utilizado, as condições iniciais e de contorno e, por fim, os resultados do modelo.

##### 4.1.7.5.1 Aplicativo Computacional

A versão computacional do modelo hidrogeológico para representar a dinâmica de fluxo das águas subterrâneas na área de influência da bacia do córrego Piraputangas foi desenvolvida com emprego do aplicativo *Visual Modflow*® (GUIGUER & THOMAS, 1998), em sua versão 4.2. Este aplicativo computacional simula o escoamento da água subterrânea, 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 ( $LT^{-1}$ ), 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 um volume de água, por unidade de volume do meio, por unidade de tempo ( $T^{-1}$ );

$S_s$  = armazenamento específico do material poroso ( $L^{-1}$ ); e,

$t$  = tempo (T).

A solução desta equação pode ser obtida por meio da aplicação 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.

O *Visual Modflow*® é composto por conjuntos de sub-rotinas independentes, denominadas módulos, que acomodam os diversos componentes hidrológicos e as condições de contorno do sistema, tais como rios, córregos, drenos, poços, taxas de recarga etc. Esta divisão em módulos permite avaliar, de maneira independente, cada um dos elementos reais incorporados no respectivo modelo hidrogeológico físico conceitual.

Esse aplicativo computacional é amplamente utilizado e reconhecido na literatura internacional e, por conseguinte, foi adotado no estudo da Potamos (2011) 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 sejam satisfatoriamente bem acomodados na respectiva versão computacional.

#### **4.1.7.5.2 Consideração Temporal**

O modelo computacional foi calibrado em uma condição temporal estacionária (ou permanente). Nesta condição, os valores de carga hidráulica variam apenas espacialmente. Neste caso, o processo de calibração consiste em ajustar os valores de recarga e de condutividade hidráulica, para permitir uma aproximação entre as cargas hidráulicas calculadas pelo modelo e observadas em campo.

A escolha dos valores de carga hidráulica observada deu-se a partir da análise do universo de dados de monitoramento e operação dos poços, além dos dados de cadastro de nascentes realizado na área, e são representativos do pico do período seco da região.

#### **4.1.7.5.3 Definição do Domínio e da Malha de Cálculo**

O domínio de cálculo do modelo hidrogeológico computacional foi definido a partir dos limites físicos e hidráulicos estabelecidos e das condições de contorno adotadas no modelo conceitual (Figura 4.1.7.4.1-1). Além disso, foram consideradas ainda as condições e as formas de circulação hídrica subterrânea, o tipo, a geometria e comportamento da dinâmica de fluxos e os processos de recarga e descarga do sistema aquífero envolvido.

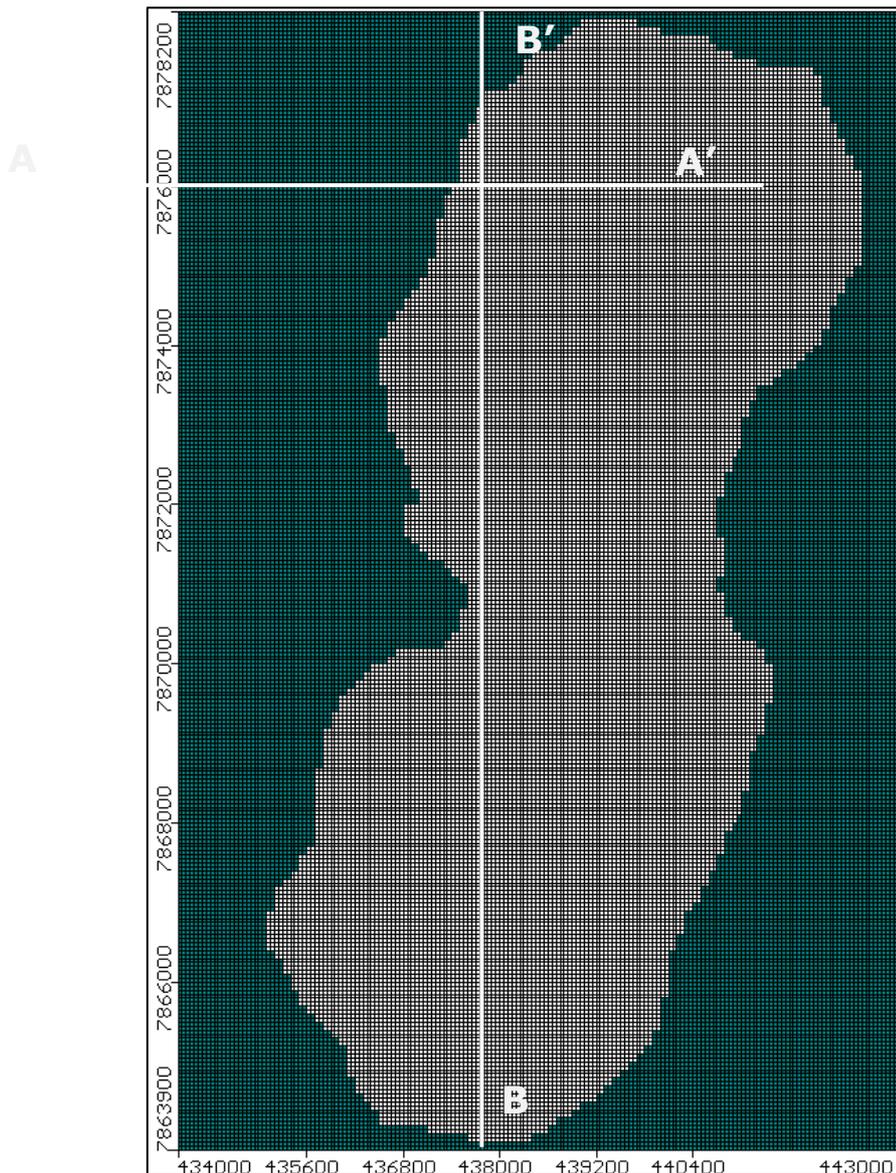
Dessa maneira, o domínio de cálculo do modelo hidrogeológico computacional resultou em um bloco tridimensional, cuja área superficial é de aproximadamente 128,7 km<sup>2</sup>, com uma espessura variável em função da diferença topográfica entre 385 m e 1360 m, incorporada entre as cotas -300 m e 1060 m. Este domínio encontra-se inserido entre os limites de coordenadas UTM-E 434.000 m e 443.000 m, e de UTM-N 7.863.000 m e 7.878.200 m.

Com base nestes limites, a malha de cálculo configurada no modelo consiste de 286 linhas, 180 colunas e 14 camadas, totalizando um conjunto de 720.720 células com tamanhos de 50m x 50m no domínio de cálculo horizontal (Figura 4.1.7.5.3-1), sendo variável no domínio vertical (Figura 4.1.7.5.3-2 e Figura 4.1.7.5.3-3). Esta configuração representa um domínio espacial tridimensional, com as seguintes dimensões:

- 9000 metros ao longo do eixo X (= 180 colunas);
- 14.300 metros ao longo do eixo Y (= 286 linhas); e,

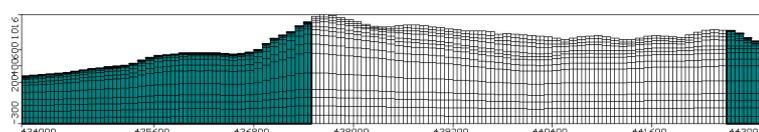
- 385 metros de espessura mínima e 1360 metros de espessura máxima ao longo do eixo Z (= 14 camadas de espessura variável).

Do conjunto total de 720.720 células definidas pela malha de cálculo, 348.950 foram especificadas "células ativas", ou seja, células que efetivamente participam do cálculo, e 371.770 células foram definidas como "inativas", ou seja, que não participam do cálculo.

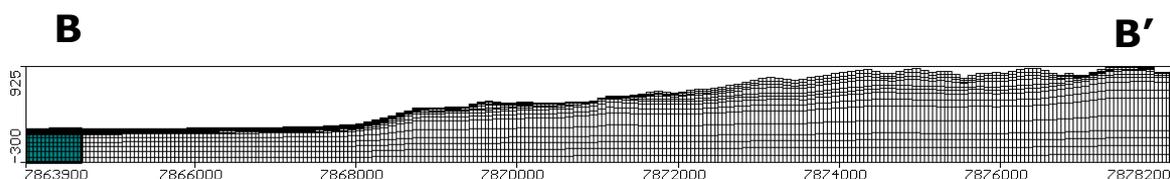


**Figura 4.1.7.5.3-1.** Malha de cálculo do modelo computacional (plano horizontal xy). Fonte Potamos 2011.

**A**



**Figura 4.1.7.5.3-2.** Malha de cálculo do modelo computacional (plano vertical xz – AA'). Fonte Potamos 2011.



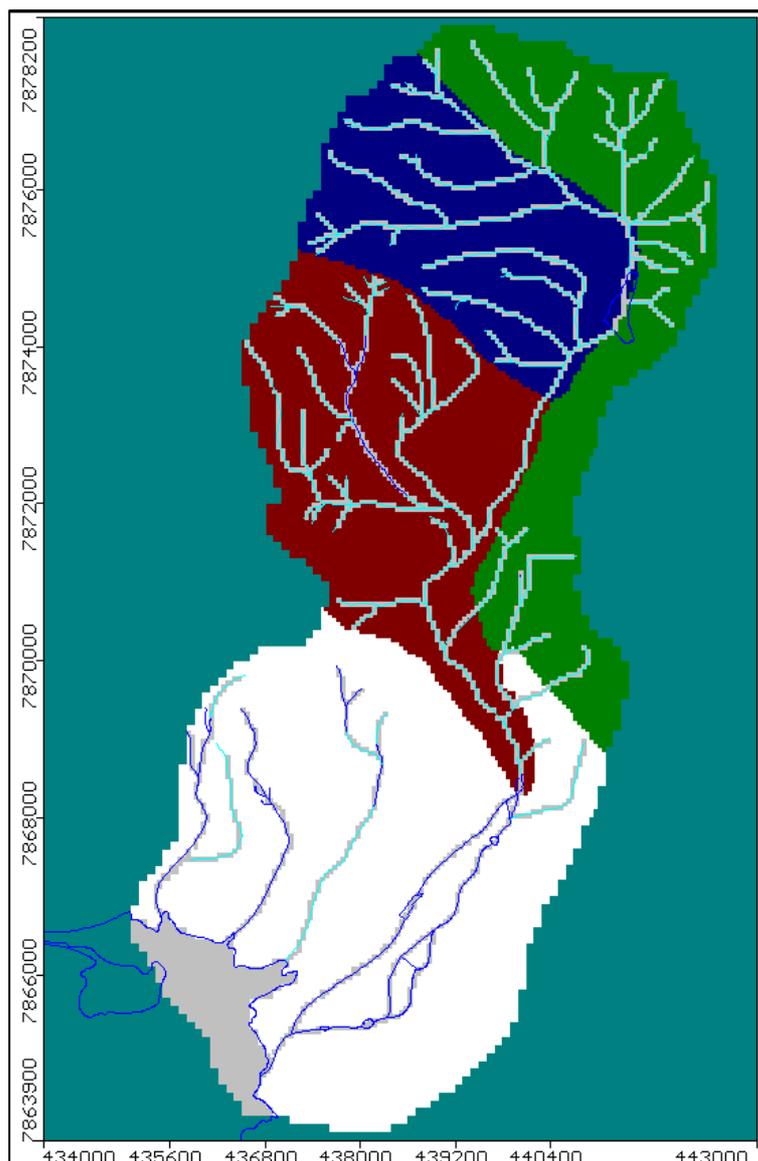
**Figura 4.1.7.5.3-3.** Malha de cálculo do modelo computacional (plano vertical yz – BB'). Fonte Potamos 2011.

#### 4.1.7.5.4 Definição das Condições de Contorno

As condições de contorno sugeridas para delimitar o domínio de cálculo do modelo hidrogeológico computacional estão associadas aos tipos e ocorrências dos limites físicos e hidráulicos existentes na área (Figura 4.1.7.5.4-1). Quais sejam: condição de segundo tipo, de fluxo nulo, associada aos contornos hidráulicos, representados pela superfície basal e divisores de água naturais; e, condição de segundo tipo, de fluxo conhecido, associada à distribuição das zonas de recarga e drenagens na área de interesse do modelo.

Para a definição das condições de contorno no aplicativo *Visual Modflow*® foram utilizados os seguintes recursos internos: módulo "Recarga", para designar a condição de contorno da superfície topográfica, cujos valores são definidos com base na taxa de precipitação média anual; e, módulo "Dreno", para designar influências locais nas condições de fluxo, em função de drenagens existentes na área.

A definição da condição de contorno de fluxo nulo, associada aos limites de base e aos divisores de água, foi feita a partir da especificação das células inativas do modelo computacional.



**Figura 4.1.7.5.4-1.** Condições de contorno do modelo computacional. Fonte Potamos 2011.

#### 4.1.7.5.5 Propriedades Hidrodinâmicas

O modelo computacional adotou uma posição conservadora, no sentido de maximizar as possíveis alterações nas condições de circulação e descarga das águas subterrâneas na bacia do córrego Piraputangas, assumindo todas as litologias presentes como sendo capazes de conduzir água em maior ou menor velocidade, dada pela variação dos valores de condutividade hidráulica.

Além disso, as zonas de fraturas/falhas foram consideradas como direções preferenciais de fluxo, assumindo assim valores diferenciados de condutividade hidráulica nos

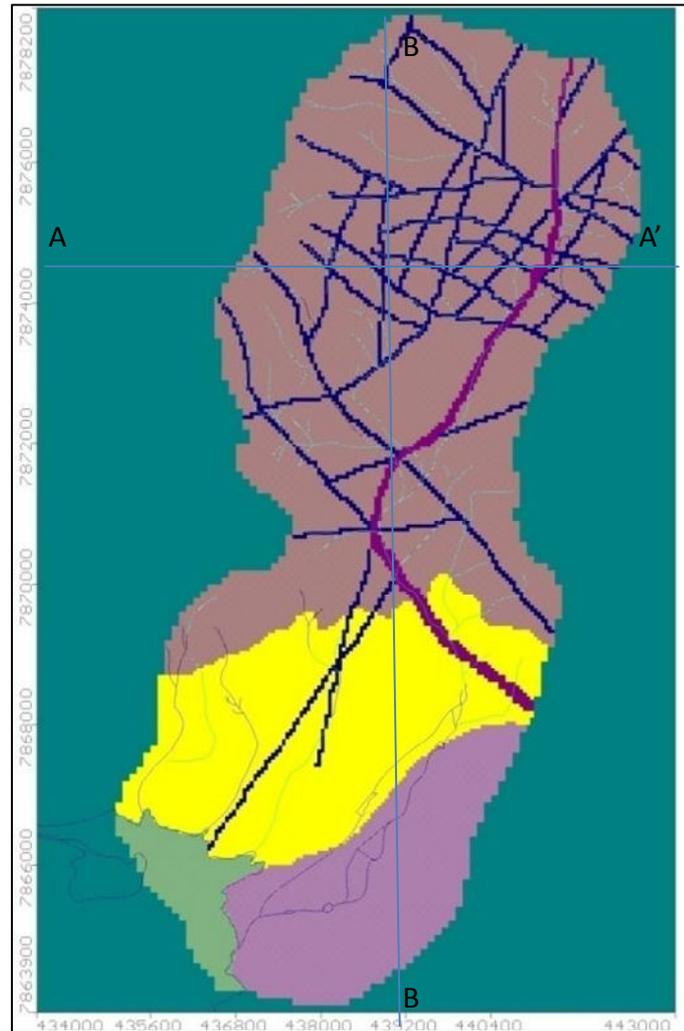
lineamentos principais reconhecidos na bacia. Neste caso, a variação dos valores de condutividade hidráulica também sofreu diferenciação para acomodar o efeito da pressão litostática diminuindo a condição de porosidade nas fraturas.

Desta forma, foram definidos agrupamentos para os diferentes materiais, cada qual com valores específicos de condutividade hidráulica (K), conforme distribuição de valores apresentada na Tabela 4.1.7.5.5-1 e na sequência da Figura 4.1.7.5.5-1 à Figura 4.1.7.5.5-3.

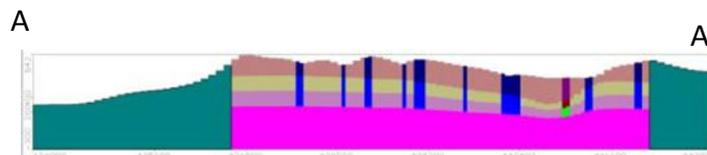
**Tabela 4.1.7.5.5-1.** Caracterização das unidades hidrogeológicas no modelo computacional.

Unidade Litoestratigráfica	Unidade Hidrogeológica	Valores de Condutividade Hidráulica (m/s)		
		Kx	Ky	Kz
Depósitos Coluvionares	Colúvio/Tálus (aquífero poroso)	1E-6	1E-6	1E-6
Grupo Jacadigo	Formação Band'Alta (aquífero misto)	1E-6	1E-6	1E-7
	Formação Córrego das Pedras	1E-7	1E-7	8E-8
	Formação Urucum			
Complexo Rio Apa	Rio Apa (aquitardo)	5E-8	5E-8	5E-8
FP1	Falhas (aquífero fraturado)	7E-4	7E-4	7E-5
FP2		1E-4	1E-4	1E-5
FP3		5E-5	5E-5	5E-5
FS1		5E-4	5E-4	5E-4
FS2		5E-5	5E-5	5E-5

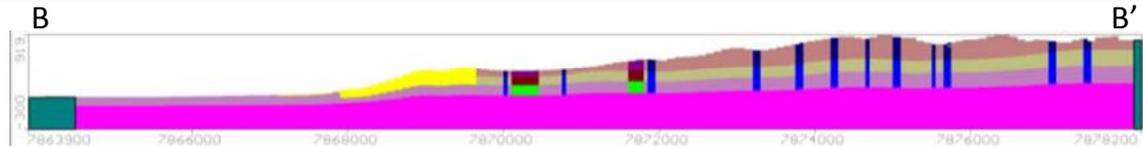
Fonte: Valores obtidos na calibração do modelo computacional da Potamos, 2011.



**Figura 4.1.7.5.5-1.** Distribuição das condutividades hidráulicas no domínio horizontal (xy) do modelo. Fonte: modelo hidrogeológico computacional da Potamos (2011).

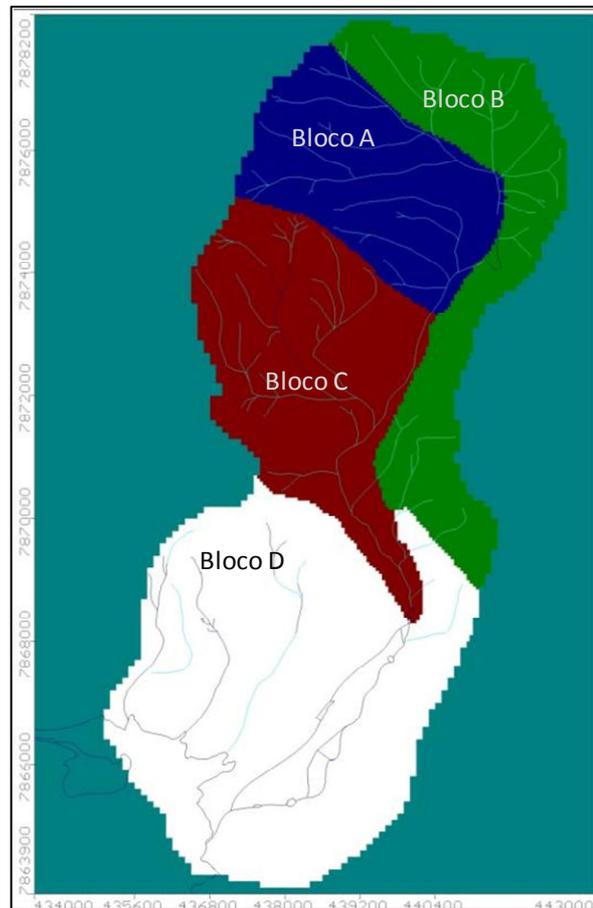


**Figura 4.1.7.5.5-2.** Distribuição das condutividades hidráulicas no domínio vertical (xz) do modelo. Fonte: modelo hidrogeológico computacional da Potamos (2011).



**Figura 4.1.7.5.5-3.** Distribuição das condutividades hidráulicas no domínio vertical (yz) do modelo. Fonte: modelo hidrogeológico computacional da Potamos (2011).

Para a recarga foi adotado um valor de 535 mm/ano na região das morrarias (Blocos A, B e C - 4.1.7.5.5-4), em domínio do aquífero Band'Alta, conforme determinado pelo cálculo de fluxo de base na bacia do córrego Piraputangas. Este valor corresponde a aproximadamente 40% da média plurianual de precipitação. Para a região fora das morrarias, em domínio de rochas do embasamento cristalino, foi adotado um valor de recarga de 20 mm/ano, equivalente a cerca 1,5% da média plurianual.



**Figura 4.1.7.5.5-4.** Distribuição das recargas no domínio do modelo. Fonte: modelo hidrogeológico computacional da Potamos (2011).

Neste cenário também foi considerada a presença de poços de bombeamento localizados do entorno da Barragem do Gregório (Poços 1, 3 e 4), os quais bombeiam uma vazão média conjunta da ordem de 180 m<sup>3</sup>/h.

#### 4.1.7.5.6 Calibração do Modelo

Os dados de entrada do modelo correspondem aos valores de carga hidráulica observada em dispositivos de monitoramento (Tabela 4.1.7.5.6-1) implantados na área de influência da mina Santa Cruz, além das cotas de nascentes cadastradas no domínio da bacia do córrego Piraputangas (Tabela 4.1.7.5.6-2).

**Tabela 4.1.7.5.6-1.** Cotas de nível de água nos piezômetros. Fonte: Potamos, 2011.

Piezômetros	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota de Nível d'Água (m)
LAJ-01	437.055	7.867.002	114,1
BF-01	438.376	7.872.037	602,9
S-02	439.086	7.866.846	120,2
PZ-P4	440.991	7.874.451	633,1
M5-MIRANTE	438.337	7.876.396	995,7
M5-MN	438.187	7.876.921	971,8
LAJC-01	439.831	7.875.406	720,0
Poço01	441.230	7.874.740	587,0
Poço04	441.071	7.874.338	602,5

**Tabela 4.1.7.5.6-2.** Cotas de nível de água nas nascentes. Fonte: Potamos, 2011.

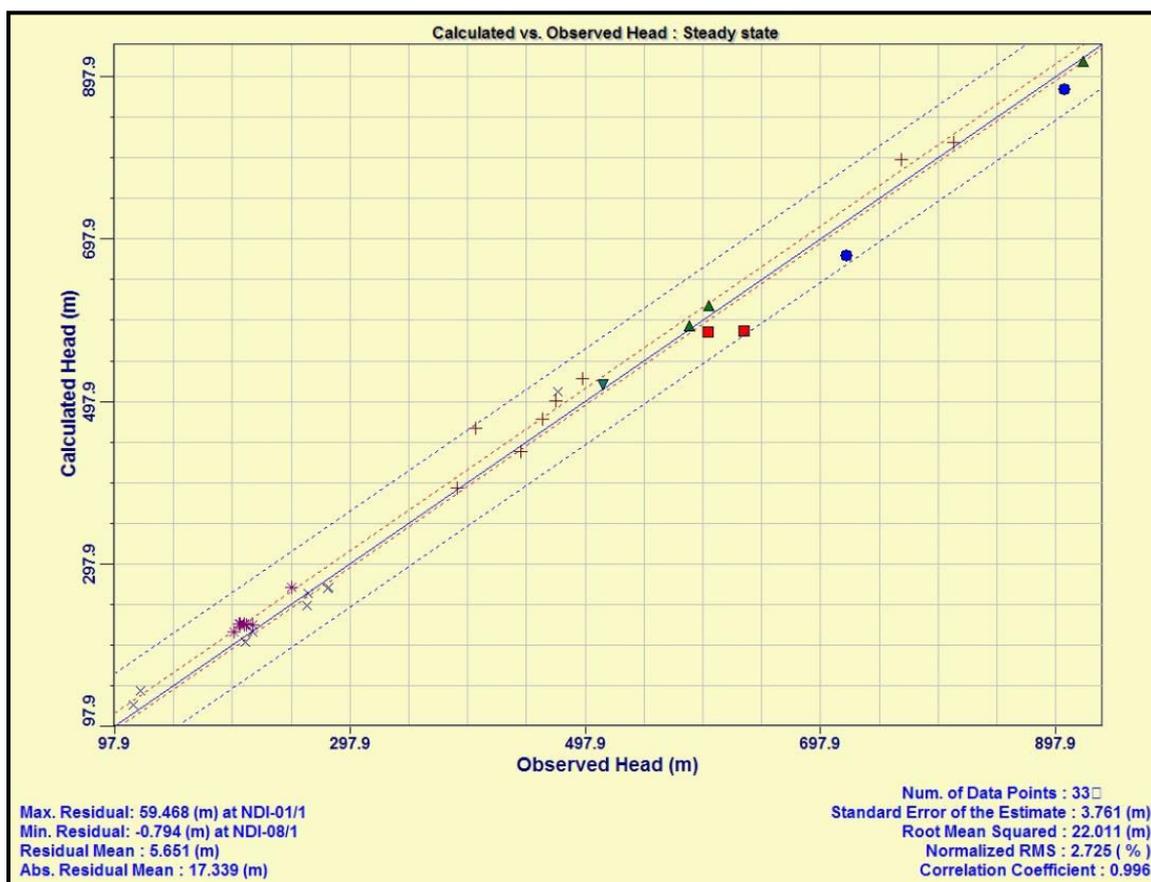
Nascentes	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)
NBF-1	437.706	7.874.101	811
NBF-2	438.080	7.874.133	767
NDI-01	435.814	7.869.108	405
NDI-02	436.117	7.869.289	473
NDI-03	436.053	7.869.402	475
NDI-04	436.494	7.869.390	462
NDI-05	436.662	7.869.139	389
NDI-06	436.662	7.868.400	280
NDI-07	436.687	7.868.402	279
NDI-08	436.853	7.868.378	262
NDI-09	436.759	7.868.225	261
NDI-10	438.203	7.868.945	248

Nascentes	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m)
NDI-11	438.018	7.869.641	443
NDI-12	437.702	7.869.929	496
NP-01	440.030	7.868.573	204
NP-02	440.030	7.868.563	205
NP-03	440.046	7.868.559	208
NP-04	440.042	7.868.552	210
NP-05	440.049	7.868.551	215
NP-06	440.050	7.868.550	208
NP-07	439.994	7.868.494	199
NP-08	440.046	7.868.461	215
NP-09	440.038	7.868.363	209
NRF-01	440.017	7.871.086	513

Sendo assim, o conjunto de informações de entrada para a calibração do modelo em regime permanente consistiu de dados de 33 pontos, sendo 9 piezômetros e 24 nascentes.

O resultado desta calibração pode ser interpretado pela curva apresentada na Figura 4.1.7.5.6-1, cuja análise revelou um erro padrão da ordem de 3,7 metros e um erro normalizado da ordem de 2,7%. De acordo com estes resultados, observa-se que a diferença entre as cargas hidráulicas observadas e calculadas para a maioria dos pontos encontra-se muito próxima da variação do erro médio apresentado.

Diante disto, assume-se que o modelo hidrogeológico computacional da bacia do córrego Piraputangas tenha sido satisfatoriamente bem calibrado em regime permanente, de acordo com as condições estabelecidas no modelo conceitual.



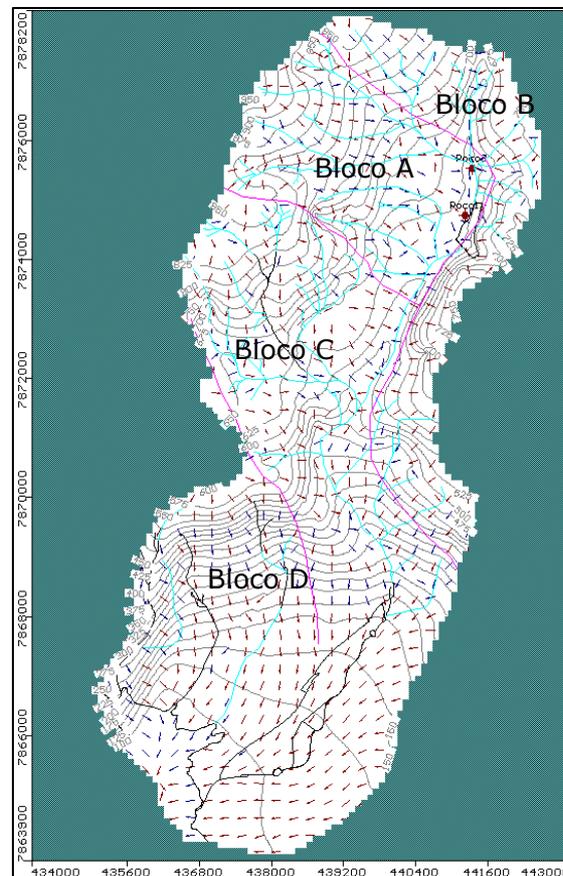
**Figura 4.1.7.5.6-1.** Curva de calibração das cargas hidráulicas em junho de 2006. Fonte: modelo hidrogeológico computacional da Potamos (2011).

#### 4.1.7.5.7 Dinâmica de Fluxo das águas subterrâneas

Assim, a caracterização da dinâmica de circulação hídrica subterrânea na bacia do córrego Piraputangas foi realizada para dois cenários distintos: Atual e de Expansão. O cenário atual é aquele representado pelo bombeamento médio de 180 m<sup>3</sup>/h na região da Mina Santa Cruz, sendo o cenário futuro representado pelo bombeamento médio de 408 m<sup>3</sup>/h no mesmo domínio, representando a maior necessidade de água para expansão da referida mina.

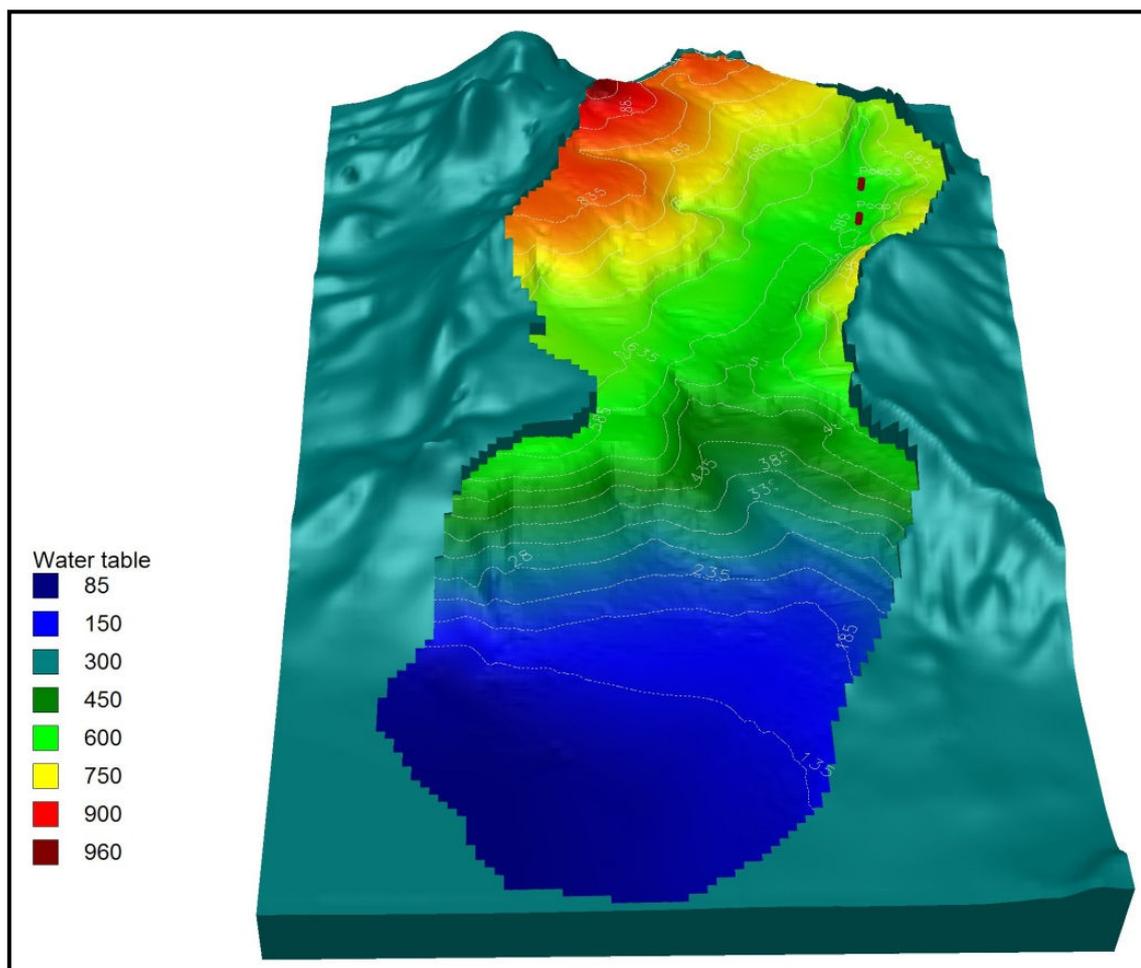
Na avaliação do Cenário Atual percebe-se que as curvas equipotenciais de carga hidráulica e os vetores direcionais de fluxo das águas subterrâneas (Figura 4.1.7.5.7-1), no geral, são condizentes com o gradiente topográfico local. Contudo, há que se ressaltar que as direções de fraturamento presentes, as quais são coincidentes com a distribuição

da rede de drenagem, estabelecem zonas preferenciais de fluxo para as águas subterrâneas.



**Figura 4.1.7.5.7-1.** Vetores direcionais de fluxo e curvas equipotenciais de carga hidráulica geradas pela simulação do cenário atual. Fonte: Potamos (2011).

Neste caso, os resultados do modelo computacional revelam que a falha no talvegue do córrego Piraputangas constitui-se na linha de confluência dos fluxos subterrâneos na região das morrarias, principalmente aquelas oriundas dos Blocos Estruturais A e C (Figura 4.1.7.5.7-2).



**Figura 4.1.7.5.7-2.** Visão tridimensional da superfície de nível de água subterrânea no cenário atual de demanda da bacia do córrego Piraputangas. Fonte: Potamos, 2011.

Esta confluência de fluxo subterrâneo não chega a gerar nenhum ponto de descarga significativo ao longo do período de estiagem, à exceção das surgências do córrego Bolo Fofo e aquelas do próprio Piraputangas.

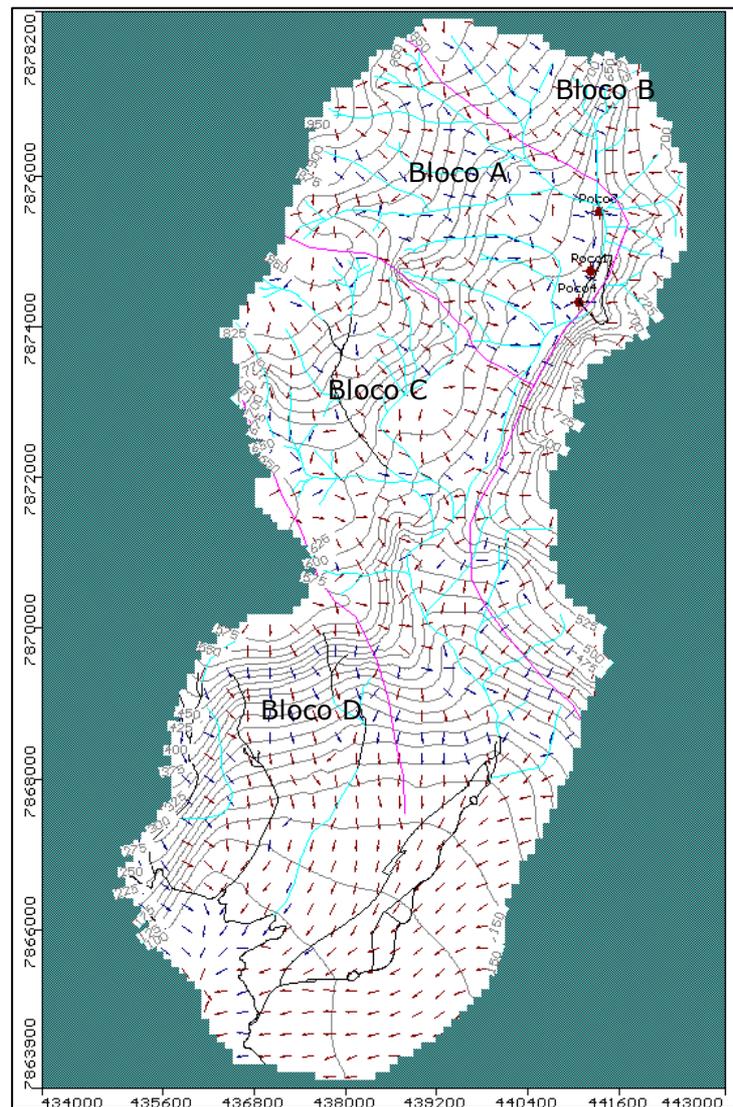
Outra questão importante é que a presença dos poços de bombeamento no limite entre os Blocos A e B não gera um cone de rebaixamento convencional, circular concêntrico aos pontos de exploração. O rebaixamento percebido ocorre segundo o alinhamento estrutural NE/SW, o qual hospeda o talvegue de drenagem seca do córrego Piraputangas, gerando formas mais elípticas nas linhas de cota de nível d'água. Esta condição altera fortemente, em domínio restrito, os vetores de fluxo, direcionando as águas subterrâneas

para os pontos de descarga artificial (poços de bombeamento) instalados próximo à Barragem do Gregório.

No que se refere à relação com a Barragem do Gregório, os dados de monitoramento e o próprio modelo computacional sugerem não haver qualquer contribuição de águas subterrâneas para o seu reservatório, uma vez que a cota de nível d'água no entorno do mesmo encontra-se a uma profundidade média de 30 metros. Sendo assim, admite-se que o bombeamento de água realizado no reservatório, ou o bombeamento de água do aquífero, não causem interferência na disponibilidade hídrica destes corpos. O que se percebe pelos resultados de modelagem é que a barragem pode se constituir em um ponto específico de recarga do aquífero, o qual vem perdendo a sua capacidade de infiltração efetiva em função da colmatção dos poros/fraturas devido à disposição de rejeitos "lamas" no fundo da barragem. Isto pode gerar um impacto muito restrito neste domínio, o qual se reflete na diminuição da capacidade de recarga local, sem, contudo, implicar em perdas significativas nos valores de descarga total da bacia.

A alteração das taxas de descarga do córrego Piraputangas também foi aferida por meio do modelo computacional. Neste sentido, foi percebido que as taxas de bombeamento dos poços de abastecimento instalados na zona de cabeceira da bacia têm influência direta e proporcional nas taxas de descarga do córrego Piraputangas. Sendo assim, a operação dos poços, neste cenário, a uma taxa média de bombeamento de 180 m<sup>3</sup>/h, tem reflexo direto na diminuição de vazão, em igual valor, da surgência do córrego Piraputangas.

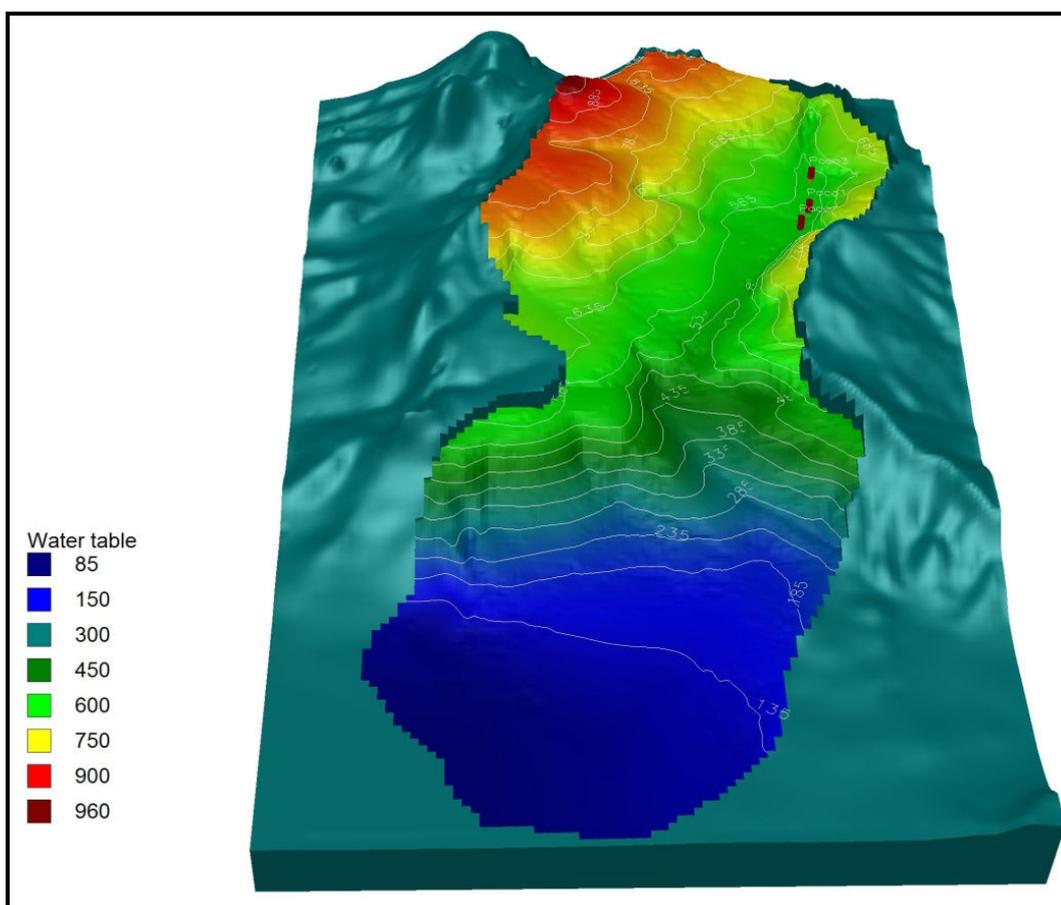
Por sua vez, para o cenário de expansão as previsões do modelo para o comportamento e as condições de fluxo das águas subterrâneas se mantêm basicamente como descritas anteriormente (Figura 4.1.7.5.7-3 e Figura 4.1.7.5.7-4). A diferença entre um cenário e outro se deve em função da maior necessidade de bombeamento de águas subterrâneas, a uma taxa média de 408 m<sup>3</sup>/h, para atendimento das demandas da mina.



**Figura 4.1.7.5.7-3.** Vetores direcionais de fluxo e curvas equipotenciais de carga hidráulica geradas pela simulação do cenário de expansão. Fonte: Potamos (2011).

Assim, em decorrência da intensificação da exploração de águas subterrâneas, o modelo hidrogeológico computacional revela que as direções de fluxo e as cargas hidráulicas nas imediações dos pontos de bombeamento tendem a sofrer alteração para acomodar a diminuição de cota de nível d'água local (Figura 4.1.7.5.7-4). Tal alteração implica na configuração de um cone de rebaixamento mais pronunciado ao longo da falha principal, onde se instala o talvegue do córrego Piraputangas.

Vale dizer que, neste caso, também foi aferida uma diminuição de vazão de descarga do córrego Piraputangas em igual valor do bombeamento empreendido na região das morrarias.



**Figura 4.1.7.5.7-4.** Visão tridimensional da superfície de nível de água subterrânea no cenário de expansão de demanda da bacia do córrego Piraputangas. Fonte: Potamos, 2011.

#### **4.1.7.5.8 Disponibilidade Hídrica Subterrânea**

A avaliação da disponibilidade hídrica subterrânea na bacia do córrego Piraputangas partiu do balanço hídrico executado pelo modelo computacional. Neste caso, foram aferidas as contribuições efetivas de recarga para a referida bacia, conforme divisão de blocos estruturais preestabelecidos.

Dessa maneira, conforme já considerado no modelo conceitual, verifica-se que os aportes de águas subterrâneas dos Blocos A e C (Figura 4.1.7.4.1-1) se constituem na

contribuição efetiva para o fluxo de base do córrego Piraputangas. Este fluxo de base é entendido como a reserva renovável do sistema aquífero local, ou seja, aquela parcela de água subterrânea que se renova anualmente em função da infiltração de águas de chuva e consequente recarga do aquífero.

A Tabela 4.1.7.5.8-1 aponta os aportes específicos de reserva renovável de cada bloco estrutural para a manutenção do fluxo de base da bacia do Piraputangas. Neste sentido, é importante perceber que cada bloco tem sua parcela efetiva de reserva renovável dada pela recarga direta em suas respectivas áreas de contribuição.

**Tabela 4.1.7.5.8-1.** Reserva renovável para manutenção do fluxo de base do córrego Piraputangas.

Reserva Renovável (m <sup>3</sup> /h)		
Bloco A	Bloco C	Total
619	727	1346

Fonte: Potamos, 2011.

Cumprido ressaltar que não existem parâmetros legais que especifiquem ou limitem a quantidade ou percentual da reserva renovável de uma determinada bacia que pode ser explorada sem prejuízos ambientais. O que existe é um consenso técnico que admite valores relativos da ordem de 20% a 40% da reserva renovável para uso direto na bacia. Este percentual relativo de reserva renovável é entendido como a reserva explorável do aquífero. A Tabela 4.1.7.5.8-2 mostra os valores advindos desta consideração, sugerindo que a reserva explorável na bacia do córrego Piraputangas se quantifique em vazões situadas entre 269 m<sup>3</sup>/h e 538 m<sup>3</sup>/h.

**Tabela 4.1.7.5.8-2.** Percentuais relativos de reserva renovável passíveis de exploração.

Reserva Renovável Total (m <sup>3</sup> /h)	Valores de Referência para a Reserva Explorável (m <sup>3</sup> /h)	
	20%	40%
1346	269	538

Fonte: Potamos, 2011.

No cenário atual de demanda, ao se analisar a contribuição de cada bloco verifica-se que o Bloco A, onde estão instalados os poços de abastecimento da mina, já apresenta uma exploração média da ordem de 180 m<sup>3</sup>/h, equivalente a 29,1% de sua reserva relativa. Contudo, quando se considera toda a bacia, este valor é referente a aproximadamente 13,4% da reserva renovável (Tabela 4.1.7.5.8-3)

**Tabela 4.1.7.5.8-3.** Percentuais de utilização das reservas renováveis no cenário atual de demanda da bacia do córrego Piraputangas. Fonte: Potamos, 2011.

Vazão de Poços (m <sup>3</sup> /h)	Reserva Renovável (m <sup>3</sup> /h)		
	Bloco A	Bloco C	Total
180	619	727	1.346
	29,1%	-	13,4%

Já no cenário de expansão da demanda de água da mina, onde se calcula uma vazão média de 408 m<sup>3</sup>/h para abastecimento da planta de operação, os percentuais de utilização da reserva renovável sofrem considerável alteração. Para o caso de repotenciamento das bombas dos poços existentes com o intuito de se atingir a exploração desejada, o percentual de utilização da reserva renovável no Bloco A passaria a um valor relativo de 65,9% de sua respectiva reserva, sendo nulo o percentual de utilização do Bloco C e o percentual de utilização com relação a toda bacia da ordem de 30,3% (Tabela 4.1.7.5.8-4).

Dessa maneira, o procedimento de repotenciamento de bombas pode implicar numa exploração além da adequada para o Bloco A, considerando-se pertinente, ao em vez disso, proceder à locação de um novo poço no Bloco C para atender as necessidades de demanda da mina.

**Tabela 4.1.7.5.8-4.** Percentuais de utilização das reservas renováveis no cenário de expansão de demanda da bacia do córrego Piraputangas.

Vazão de Poços (m <sup>3</sup> /h)	Reserva Renovável (m <sup>3</sup> /h)		
	Bloco A	Bloco C	Total
408	619	727	1346
	65,9%	-	30,3%

Fonte: Potamos, 2011.

Vale ressaltar que as reservas renováveis apresentadas se constituem em valores médios e dependentes da variação da recarga na bacia do córrego Piraputangas. Portanto, não são valores absolutos, uma vez que dependem da variação sazonal da precipitação. Sendo assim, as reservas exploráveis seguem o mesmo padrão, ressaltando-se o fato de que qualquer vazão extraída pelos poços nos Blocos A e C tem impacto de igual monta na vazão de base registrada no córrego Piraputangas, dada a dependência entre a dinâmica hídrica superficial e subterrânea.

#### 4.1.7.5.9 Conclusões do Modelo Hidrogeológico Computacional

Os resultados obtidos a partir dos estudos hidrogeológicos permitem tecer as seguintes conclusões acerca da dinâmica de circulação hídrica subterrânea e de suas disponibilidades na bacia de estudo:

- A principal unidade hidrogeológica da área de estudo local se refere ao aquífero Band'Alta, limitado lateralmente pelos divisores de água locais da bacia do córrego Piraputangas e seus afluentes (Bolo Fofo, Rancho Fundo e Dona Inácia); no topo, pela superfície topográfica conformada pela exposição de rochas da Formação Band'Alta; e na base, pela superfície geológica profunda, representada por rochas das unidades Rio Apa, Urucum e Córrego das Pedras, constituindo-se em unidades hidrogeológicas de baixo potencial de armazenamento e condução de águas subterrâneas (aquitardo/Aquiclude).
- A unidade Band'Alta se constitui em um aquífero livre, predominantemente fissural, cuja recarga se processa de forma direta, a partir da infiltração de águas de

chuva, no topo da camada geológica. Dados de escoamento de base obtidos dos vertedores VIP1 e VIP2, instalados próximos à nascente do córrego Piraputangas, indicaram valores de recarga da ordem de 535 mm/ano, representando cerca de 40% da precipitação anual.

- Este valor elevado de recarga se justifica pelas características físicas do aquífero Band'Alta, cujas condutividades hidráulicas calculadas por testes de infiltração denotaram valores da ordem de  $10^{-6}$  e  $10^{-5}$  m/d. Nas porções intensamente fraturadas e com falhas penetrativas, as unidades Rio Apa e Córrego das Pedras/Urucum podem se comportar como aquíferos fissurais, cuja recarga é efetuada a partir da drenança do aquífero Band'Alta. Dessa maneira, admite-se que toda área de ocorrência das rochas da Formação Band'Alta pode ser considerada como área de recarga efetiva para os sistemas aquíferos sotopostos localmente.
- A bacia do córrego Piraputangas é compartimentada por estruturas geológicas que condicionam a geração de blocos estruturais com caimentos e direções variadas. Aliado a isto, o acamamento das rochas da Formação Band'Alta direciona preferencialmente o fluxo subterrâneo de acordo com o seu caimento. Dessa maneira, a geologia se constitui no principal elemento condicionante da recarga, circulação e descarga das águas subterrâneas na bacia do córrego Piraputangas. Em função disso, a rede hidrográfica local também segue o padrão de compartimentação da bacia.
- No estágio atual de conhecimento da área, admite-se que o fluxo natural das águas subterrâneas apresente direção geral de escoamento em sentido sul, sendo as nascentes identificadas na área associadas à condicionante geológica de acamamento das rochas e de compartimentação de blocos tectônicos. Em função da alta permeabilidade das rochas da Formação Band'Alta, o fluxo hídrico ocorre preferencialmente em meio subterrâneo, sendo a rede de drenagem local caracterizada predominantemente por talvegues secos. Nas restritas porções de escoamento superficial, onde os talvegues recebem água de descarga do aquífero, os cursos de água são efluentes.
- O modelo computacional mostrou que a presença dos poços de bombeamento no limite entre os Blocos A e B, seja no cenário atual ou de expansão, não gera um

cone de rebaixamento convencional, circular concêntrico aos pontos de exploração. O rebaixamento percebido ocorre segundo o alinhamento estrutural NE/SW, o qual hospeda o talvegue de drenagem seca do córrego Piraputangas, gerando formas mais elípticas nas linhas de cota de nível d'água. Esta condição altera fortemente, em domínio restrito, os vetores de fluxo, direcionando as águas subterrâneas para os pontos de descarga artificial (poços de bombeamento) instalados próximo à Barragem do Gregório.

- No que se refere à relação com a Barragem do Gregório, os dados de monitoramento e o próprio modelo computacional sugerem não haver qualquer contribuição de águas subterrâneas para o seu reservatório, uma vez que a cota de nível d'água no entorno da barragem encontra-se a uma profundidade média de 30 metros. Sendo assim, o bombeamento de água do reservatório, ou o bombeamento de água do aquífero, não causam interferência na disponibilidade hídrica destes corpos. O que se percebe pelos resultados de modelagem é que a barragem pode se constituir em um ponto específico de recarga do aquífero, o qual vem perdendo a sua capacidade de infiltração efetiva em função da colmatação dos poros/fraturas devido à disposição de rejeitos "lamas" no fundo do reservatório. Isto pode gerar um impacto muito restrito neste domínio, o qual se reflete na diminuição da capacidade de recarga local, sem, contudo, implicar em perdas significativas nos valores de descarga total da bacia.
- As taxas de bombeamento dos poços de abastecimento instalados na zona de cabeceira da bacia têm influência direta e proporcional nas taxas de descarga do córrego Piraputangas. Sendo assim, a operação dos poços em qualquer cenário que se planeje, tem reflexo direto na diminuição de vazão, em igual valor, da surgência do córrego Piraputangas.
- A avaliação da disponibilidade hídrica subterrânea na bacia do córrego Piraputangas partiu do balanço hídrico executado pelo modelo computacional. Neste caso, foram aferidas as contribuições efetivas de recarga para a referida bacia, conforme divisão de blocos estruturais preestabelecidos.
- Os aportes de águas subterrâneas dos Blocos A e C se constituem na contribuição efetiva para o fluxo de base do córrego Piraputangas. Este fluxo de base é entendido como a reserva renovável do sistema aquífero local, ou seja, aquela

parcela de água subterrânea que se renova anualmente em função da infiltração de águas de chuva e conseqüente recarga do aquífero.

- Os aportes específicos de reserva renovável de cada bloco estrutural para a manutenção do fluxo de base da bacia do Piraputangas foram calculados pelo modelo computacional. O Bloco A contribui com aproximadamente com 619 m<sup>3</sup>/h, enquanto o Bloco C contribui com aproximadamente 727 m<sup>3</sup>/h, totalizando uma reserva renovável da ordem de 1346 m<sup>3</sup>/h para a bacia do córrego Piraputangas.
- Não existem parâmetros legais que especifiquem ou limitem a quantidade ou percentual da reserva renovável de uma determinada bacia que pode ser explorada sem prejuízos ambientais. O que existe é um consenso técnico que admite valores relativos da ordem de 20% a 40% da reserva renovável para uso direto na bacia. Este percentual relativo de reserva renovável é entendido como a reserva explotável do aquífero. Os valores advindos desta consideração sugerem que a reserva explotável na bacia do córrego Piraputangas se quantifique em vazões situadas entre 269 m<sup>3</sup>/h e 538 m<sup>3</sup>/h.
- No cenário atual de demanda, ao se analisar a contribuição de cada bloco verifica-se que o Bloco A, onde estão instalados os poços de abastecimento da mina, já apresenta uma exploração média da ordem de 180 m<sup>3</sup>/h, equivalente a 29,1% de sua reserva relativa. Contudo, quando se considera toda a bacia, este valor é referente a aproximadamente 13,4% da reserva renovável.
- No cenário de expansão da demanda de água da mina, onde se calcula uma vazão média de 408 m<sup>3</sup>/h para abastecimento da planta de operação, os percentuais de utilização da reserva renovável sofrem considerável alteração. Para o caso de repotenciamento das bombas dos poços existentes com o intuito de se atingir a exploração desejada, o percentual de utilização da reserva renovável no Bloco A passaria a um valor relativo de 65,9% de sua respectiva reserva, sendo nulo o percentual de utilização do Bloco C e o percentual de utilização com relação a toda bacia da ordem de 30,3%.
- O procedimento de repotenciamento de bombas pode implicar numa exploração além da adequada para o Bloco A, considerando-se pertinente, ao em vez disso,

proceder à locação de um novo poço no Bloco C para atender as necessidades de demanda da mina.

- As reservas renováveis apresentadas se constituem em valores médios e dependentes da variação da recarga na bacia do córrego Piraputangas. Portanto, não são valores absolutos, uma vez que dependem da variação sazonal da precipitação. Sendo assim, as reservas exploráveis seguem o mesmo padrão, ressaltando-se o fato de que qualquer vazão extraída pelos poços nos Blocos A e C tem impacto de igual monta na vazão de base registrada no córrego Piraputangas, dada a dependência entre a dinâmica hídrica superficial e subterrânea.

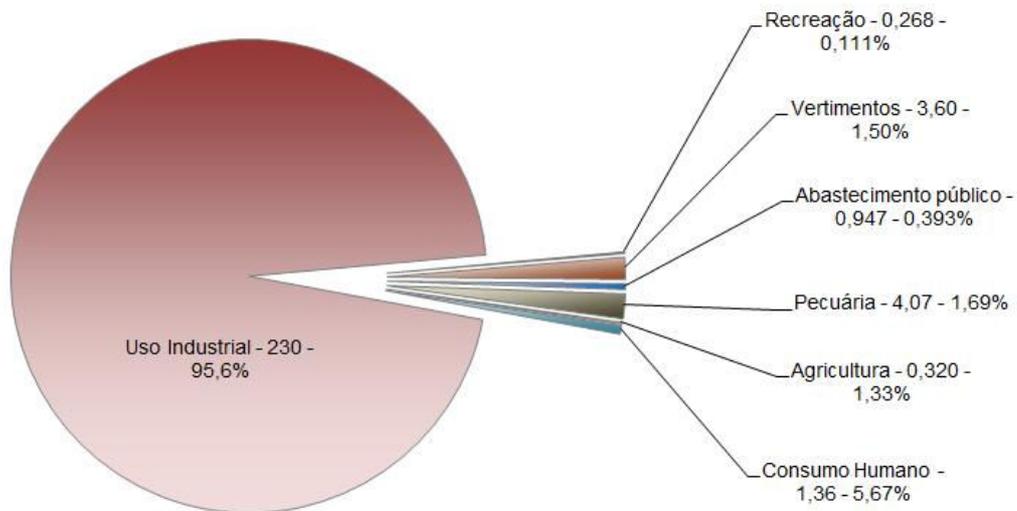
O cadastro de usuários encontra-se no Anexo 2.

#### **4.1.7.6 QUANTIFICAÇÃO DA DEMANDA E OFERTA**

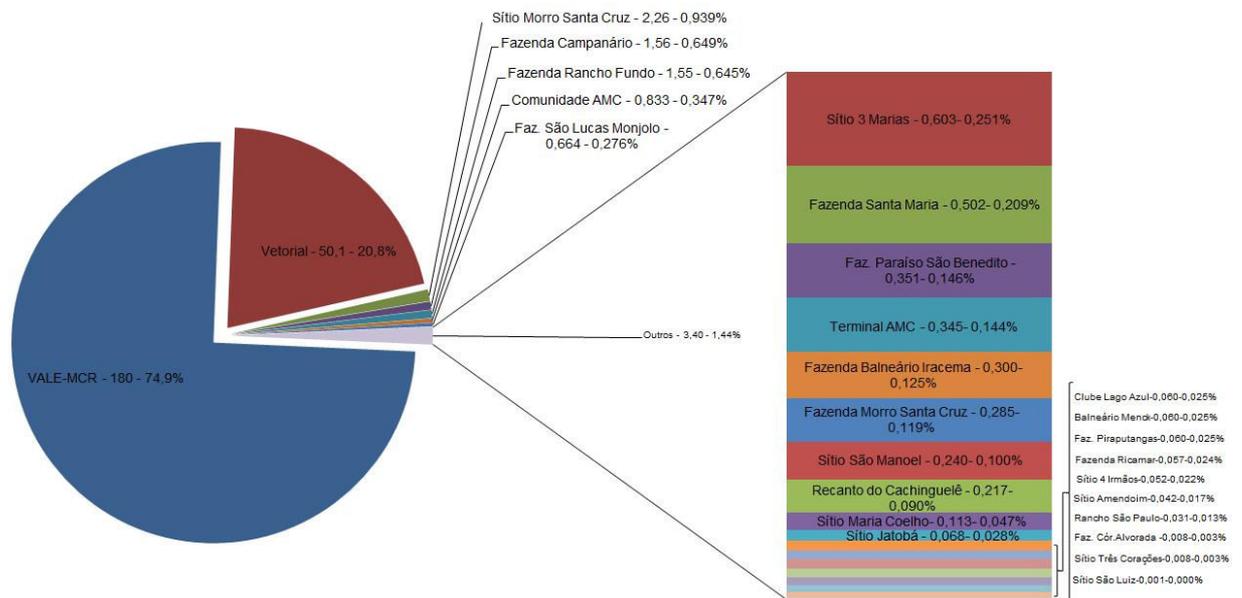
##### **4.1.7.6.1 Usos da água na bacia do Piraputangas**

O uso dos recursos hídricos da bacia do córrego Piraputangas se baseou no cadastro dos diferentes usuários locais (metodologia do cadastramento em anexo 2). Observou-se que, atualmente, a Vale é majoritária na utilização de água na bacia mencionada, com cerca de 75% do total, seguida pela Vetorial Mineração, com aproximadamente 21% da demanda local. Verifica-se, portanto, que apenas 4% de captação são destinadas aos demais usos, entre eles o consumo humano, pecuária, agricultura e recreação. A Figura 4.1.7.6.1-1 apresenta o percentual por uso das vazões captadas na bacia de contribuição ao córrego Piraputangas, e a Figura 4.1.7.6.1-2 apresenta a distribuição das vazões captadas na bacia de interesse de acordo os diferentes usuários cadastrados.

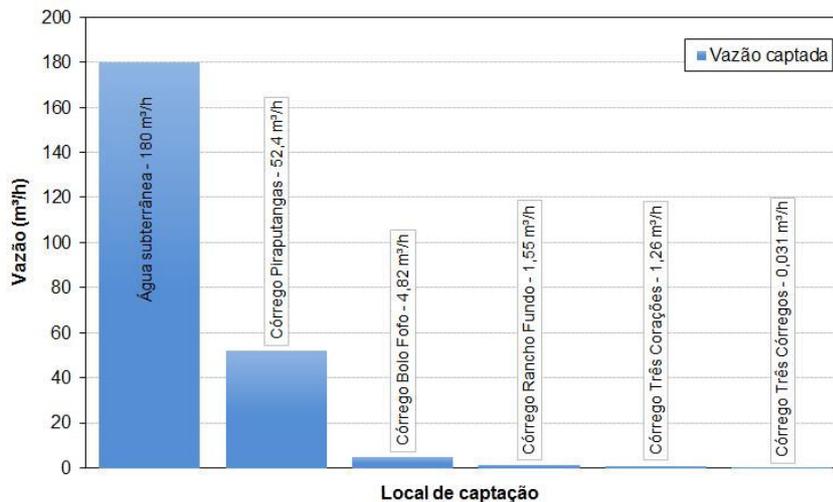
Com base nestas informações, foi possível apresentar um panorama dos usos da água na bacia do córrego Piraputangas (Figura 4.1.7.6.1-4). Verifica-se, na Figura 4.1.7.6.1-3, que a captação por águas subterrâneas (180m<sup>3</sup>/h) é muito superior as demais captações.



**Figura 4.1.7.6.1-1.** Percentual das vazões captadas na bacia do córrego Piraputangas por finalidade de uso.



**Figura 4.1.7.6.1-2.** Distribuição das vazões captadas na bacia de interesse dos estudos, segundo as propriedades cadastradas.



**Figura 4.1.7.6.1-3.** Distribuição das vazões captadas por local (captações superficiais por curso de água ou captações subterrâneas).

Na Tabela 4.1.7.6.1-1, são apresentados os nomes das propriedades, dos respectivos proprietários, dos cursos de água nos quais estão implantadas as suas captações e as vazões captadas, ou utilizadas por cada propriedade, bem como as estimativas de sua demanda por água atual e as vazões utilizadas futuras, todas expressas em m<sup>3</sup>/mês e m<sup>3</sup>/h. Para a condição de pontos de captação que atendem a mais de uma propriedade, nesta tabela já figuram os valores de vazão obtidos individualmente para cada local, diferentemente da tabela anterior.

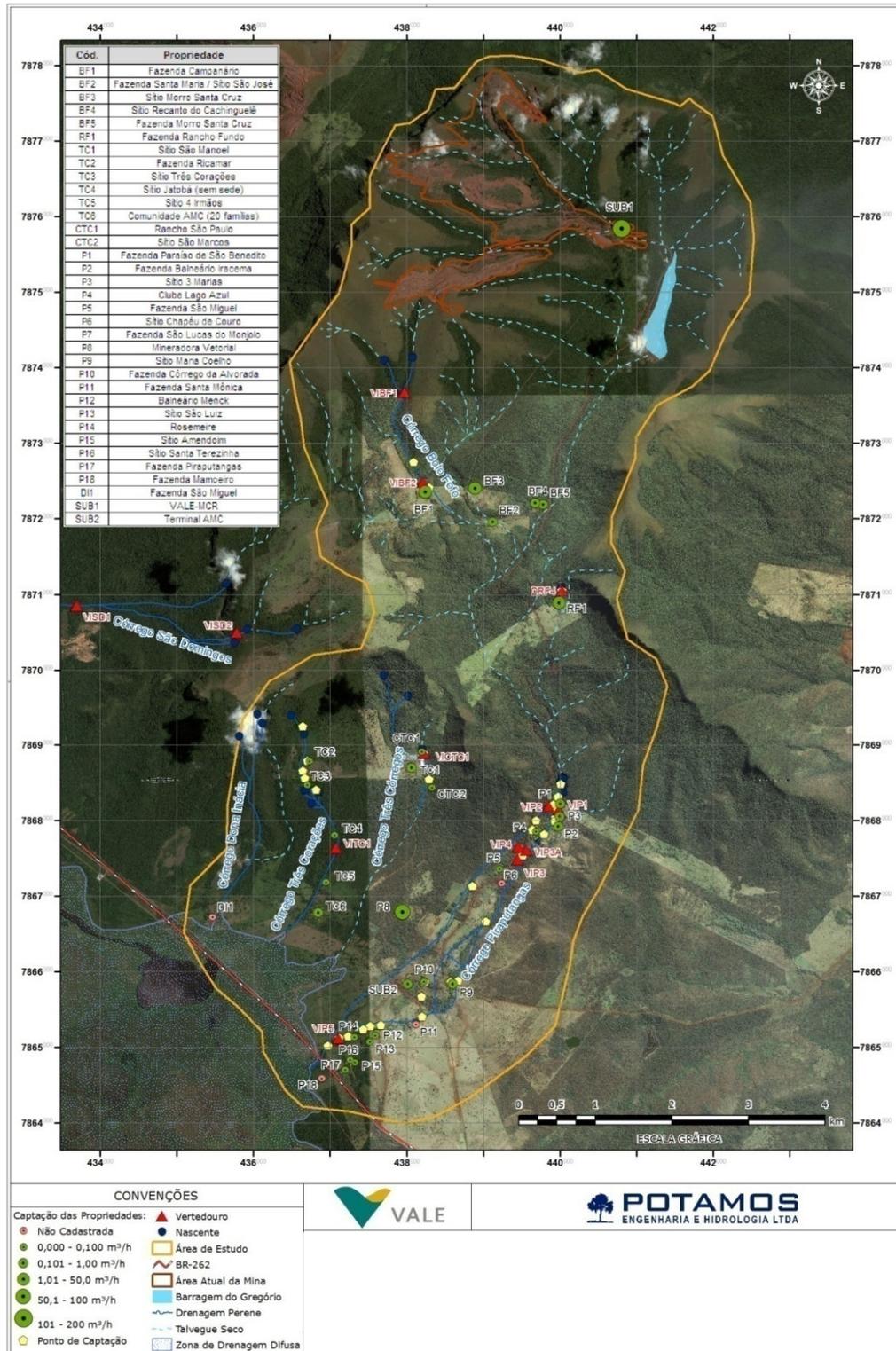


Figura 4.1.7.6.1-4. Panorama dos usos da água na bacia do córrego Piraputangas. Fonte: Potamos, 2011.

**Tabela 4.1.7.6.1-1.** Quantificações das captações atuais e futuras na bacia hidrográfica do córrego Piraputangas, bem como a demanda atual estimada de cada propriedade.

Cód.	Propriedade	Proprietário	Córrego interferido	Captação atual (m <sup>3</sup> /mês)	Demanda estimada (m <sup>3</sup> /mês)	Captação futura (m <sup>3</sup> /mês)	Captação atual (m <sup>3</sup> /h)	Demanda estimada (m <sup>3</sup> /h)	Captação futura (m <sup>3</sup> /h)
BF1	Fazenda Campanário	Kiyoco Nakamoto Veríssimo e Gerardo dos Santos Veríssimo	Bolo Fofó	1138	772	*	1,56	1,06	*
BF2	Fazenda Santa Maria / Sítio São José	Gerardo do Santos Veríssimo	Bolo Fofó	367	244	*	0,502	0,335	*
BF3	Sítio Morro Santa Cruz	José Augusto César Reis	Bolo Fofó	1646	66,9	*	2,26	0,092	*
BF4	Sítio Recanto do Cachinguelê	Rodolfo Sokolovsky	Bolo Fofó	159	4,69	*	0,217	0,006	*
BF5	Fazenda Morro Santa Cruz	José de Barros Lima	Bolo Fofó	208	5,47	*	0,285	0,008	*
RF1	Fazenda Rancho Fundo	Luiz Ricardo Saab	Rancho Fundo	1132	85,2	*	1,55	0,117	*
TC1	Sítio São Manoel	Nereu Rodrigues dos Santos	Três Corações	175	175	*	0,240	0,240	*
TC2	Fazenda Ricamar	Alberto Baptista Filho	Três Corações	41,5	41,5	*	0,057	0,057	*
TC3	Sítio Três Corações	Valdevino Ribeiro de Brito	Três Corações	5,47	5,47	*	0,008	0,008	*
TC4	Sítio Jatobá (sem sede)	José Antônio Rodrigues	Três Corações	49,6	49,6	186	0,068	0,068	0,255
TC5	Sítio 4 Irmãos	Romeu Salles	Três Corações	37,8	37,8	0	0,052	0,052	0
TC6	Comunidade AMC (20 famílias)	Ediltrudes (presidente da comunidade)	Três Corações	608	547	651	0,833	0,750	0,892

Cód.	Propriedade	Proprietário	Córrego interferido	Captação atual (m <sup>3</sup> /mês)	Demanda estimada (m <sup>3</sup> /mês)	Captação futura (m <sup>3</sup> /mês)	Captação atual (m <sup>3</sup> /h)	Demanda estimada (m <sup>3</sup> /h)	Captação futura (m <sup>3</sup> /h)
CTC1	Rancho São Paulo	Maria Valéria	Três Córregos	22,8	5,47	315	0,031	0,008	0,431
CTC2	Sítio São Marcos	Gilson Antônio	Três Córregos	0	0	37,8	0	0	0,052
P1	Fazenda Paraíso de São Benedito	Importadora e Exportadora Forte	Piraputangas	256	136	0	0,351	0,186	0
P2	Fazenda Balneário Iracema	Distribuidora Exportadora e Importadora Halley	Piraputangas	219	219	583	0,300	0,300	0,800
P3	Sítio 3 Marias	Luiz Ricardo Saab	Piraputangas	440	224	396	0,603	0,308	0,543
P4	Clube Lago Azul	Claudiney de Andrade Leite (Diretor) - Reginaldo (Presidente)	Piraputangas	43,8	43,8	*	0,060	0,060	*
P5	Fazenda São Miguel	Importadora e Exportadora Forte (Benedito Paulo Saab)	Piraputangas	0	0	116	0	0	0,159
P6	Sítio Chapéu de Couro	Francisco	Piraputangas	?	?	?	?	?	?
P7	Fazenda São Lucas do Monjolo	Fadah Scaff Gattass	Piraputangas	485	485	0	0,664	0,664	0
P8	Mineradora Vetorial	Mineradora Vetorial	Piraputangas	36.568	36.558	73.048	50,1	50,1	100
P9	Sítio Maria Coelho	Kátia Regina Rodrigues Nunes	Piraputangas	82,2	82,2	*	0,113	0,113	*
P10	Fazenda Córrego	José Furtado -	Piraputangas	5,52	5,52	*	0,008	0,008	*

Cód.	Propriedade	Proprietário	Córrego interferido	Captação atual (m <sup>3</sup> /mês)	Demanda estimada (m <sup>3</sup> /mês)	Captação futura (m <sup>3</sup> /mês)	Captação atual (m <sup>3</sup> /h)	Demanda estimada (m <sup>3</sup> /h)	Captação futura (m <sup>3</sup> /h)
	da Alvorada	Bosco							
P11	Fazenda Santa Mônica	Alfredo Zanlutti	Piraputangas	?	?	?	?	?	?
P12	Balneário Menck	Simone Panovich Ibraim	Piraputangas	43,4	43,4	*	0,060	0,060	*
P13	Sítio São Luiz	Nelson Kiitiro Chiracava	Piraputangas	0,500	0,720	*	0,001	0,001	*
P14	Rosemeire	Rosemeire	Piraputangas	0	0	*	0	0	*
P15	Sítio Amendoim	Orlando Mendes da Silva	Piraputangas	30,4	18,7	*	0,042	0,026	*
P16	Sítio Santa Terezinha	Alfredo Fernandes	Piraputangas	0	0	*	0	0	*
P17	Fazenda Piraputangas	Dilse Tomasa Suarez Arteaga	Piraputangas	43,4	51,5	*	0,060	0,071	*
P18	Fazenda Mamoeiro	Nylton Fernando Vilella Vieira	Piraputangas	?	?	?	?	?	?
DI1	Fazenda São Miguel	Romeu Holanda	Dona Inácia	?	?	?	?	?	?
SUB1	VALE-MCR	VALE	Água Subterrânea	131.328	131.328	297.677	180	180	408
SUB2	Terminal AMC	ALL, escola municipal, posto de saúde e 3 famílias	Água Subterrânea	252	252	389	0,345	0,345	0,533

Fonte: Potamos, 2011

#### 4.1.7.6.2 Projeção futura

As informações fornecidas pela Vale junto com a realização dos cadastros de usuários da água no domínio de estudo resultaram em um panorama atual e futuro de usos na bacia contribuinte ao córrego Piraputangas conforme apresentado na Tabela 4.1.7.6.2-1. O horizonte considerado para projeção futura nestes estudos foi o ano de 2018.

**Tabela 4.1.7.6.2-1.** Vazões captadas por sub-bacias estudadas: cenários atuais e futuros.

Sub-bacia	Vazões por Cenário (m <sup>3</sup> /h)		Aumento (%)
	ATUAL	FUTURO	
Córrego Piraputangas (água superficial)	52,4	102	94,7
Córrego Piraputangas (água subterrânea)	180	408	127
Córrego Piraputangas (TOTAL)	238	515	117
Córrego Bolo Fofo	4,82	4,82	0
Córrego Três Corações	1,26	1,45	15,4
Córrego Três Córregos	0,031	0,483	1446
Córrego Rancho Fundo	1,55	1,55	0,0
Área dos Estudos (TOTAL)	240	519	116
Córrego Piraputangas (TOTAL) - VALE - Vetorial	7,43	7,20	-3,07

Fonte: Potamus, 2011.

Nota-se que, de forma geral, prevê-se o aumento das vazões captadas na área de interesse dos estudos. Estima-se um aumento geral das vazões captadas na bacia de contribuição ao córrego Piraputangas, devido às expansões de atividades previstas pela MCR (de 180 m<sup>3</sup>/h para 408 m<sup>3</sup>/h) e pela Vetorial (de 50,1 m<sup>3</sup>/h para 100 m<sup>3</sup>/h), e que reflete na área de interesse como um todo.

O maior aumento em termos percentuais ocorrerá, no entanto, na bacia do córrego Três Córregos. Em sua cabeceira, há uma propriedade rural destinada a receber nos próximos anos um rebanho bovino de algumas centenas de animais. Apesar

disso, a vazão a ser captada futuramente tem pouco impacto sobre a oferta hídrica nessa sub-bacia.

Os principais resultados dos estudos encontram-se resumidos nas Tabela 4.1.7.6.2-2, na qual são colocados, respectivamente, os valores de vazão captados na bacia de contribuição ao córrego Piraputangas na seção da BR-262, e as porcentagens de utilização da oferta hídrica superficial e subterrânea na mesma. Nas demais sub-bacias avaliadas, embora as mesmas variáveis tenham sido quantificadas, comprovou-se que o impacto dos bombeamentos da MCR é e continuará nulo.

**Tabela 4.1.7.6.2-2.** Demandas atual e futura na bacia hidrográfica de contribuição ao córrego Piraputangas.

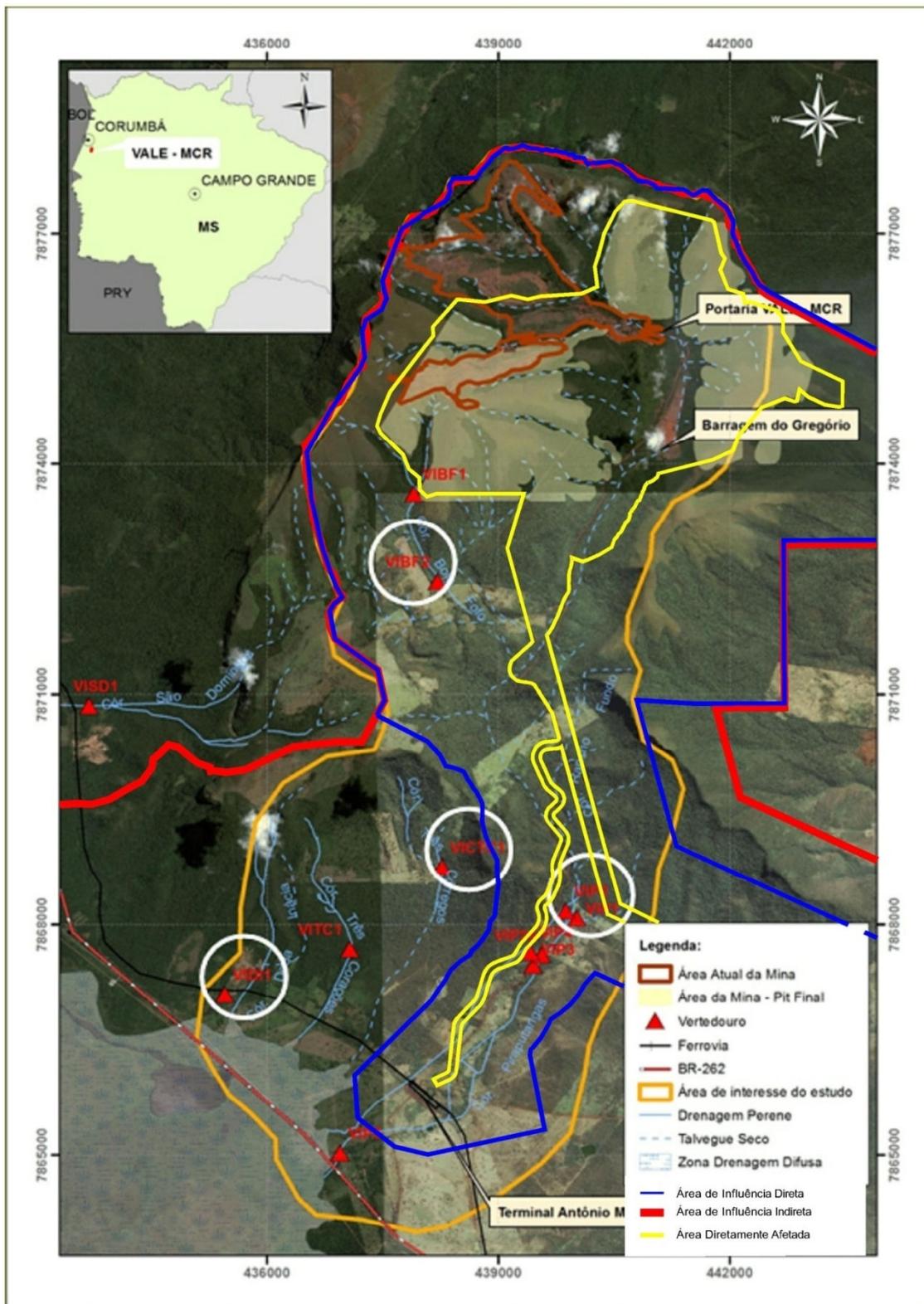
Usuários	Vazão (m <sup>3</sup> /h)		Porcentagem (%)	
	Atual	Futura	Atual	Futura
Vale	180	408	75,8	79,2
Vetorial	50,1	100	21,1	19,4
Outros	7,43	7,19	3,13	1,40
Total	238	515	100	100

Fonte: Potamus, 2011.

#### 4.1.7.6.3 Oferta Hídrica

##### Estudos Hidrometeorológicos

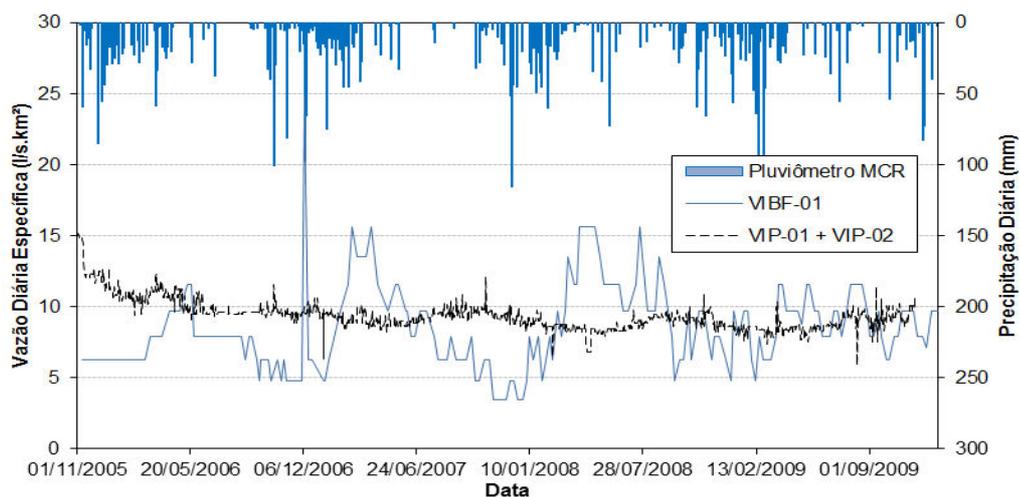
Para poder avaliar a disponibilidade potencial dos recursos hídricos locais, a MCR implantou sistemas de medição da vazão (vertedouros e caixa de medição) e medição de precipitação (pontos de monitoramento localizados na Figura 4.1.7.3-1), realizando o monitoramento periódico das águas superficiais nas principais drenagens da bacia do córrego Piraputangas e das drenagens circunvizinhas à área da MCR (vide Figura 4.1.7.6.3-1).



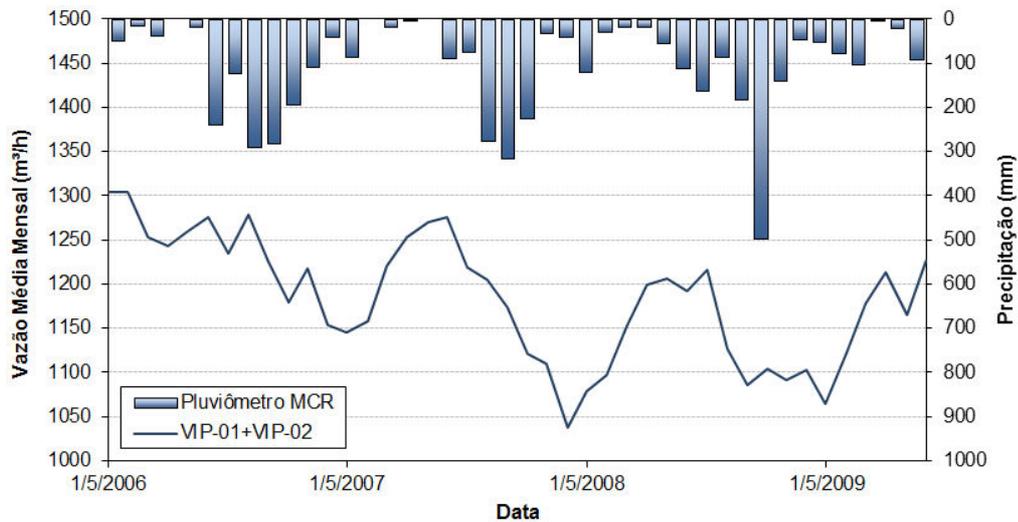
**Figura 4.1.7.6.3-1.** Vertedouros em operação pela MCR e os selecionados como referência.

Fonte: Potamos, 2011.

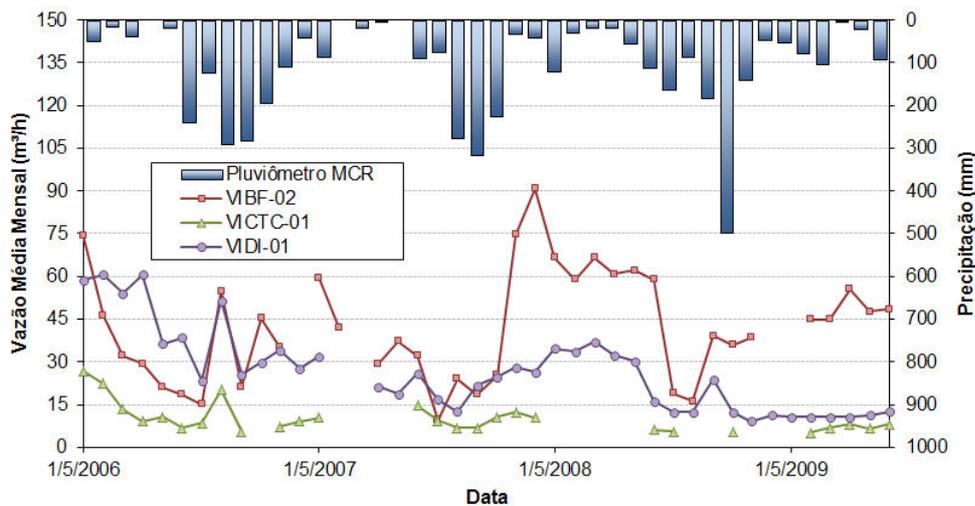
Com base nos dados do monitoramento realizado, foi possível estabelecer os gráficos de precipitação e de vazão específica para os córregos Piraputangas, Bolo Fofo, Três Córregos e Dona Inácia, no período de 11/2005 a 12/2009 (vide sequência da Figura 4.1.7.6.3-2 à Figura 4.1.7.6.3-4), juntamente com a curva de permanência destes corpos hídricos (vide Figura 4.1.7.6.3-5). Foram avaliados, ainda, a tendência temporal dos bombeamentos médios mensais da MCR com as vazões observadas no córrego Piraputangas (Figura 4.1.7.6.3-6) e com a precipitação observada em estação localizada na barragem Gregório, no período de 2002 a 2010 (Figura 4.1.7.6.3-7). Na Tabela 4.1.7.6.3-1 são apresentadas as vazões notáveis em alguns vertedouros estudados.



**Figura 4.1.7.6.3-2.** Hidrográfico e vazões diárias e semanais específicas nos córregos Piraputangas e Bolo Fofo. Fonte: Potamos, 2011.



**Figura 4.1.7.6.3-3.** Hidrograma e vazões médias mensais no córrego Piraputangas. Fonte: Potamos, 2011.



**Figura 4.1.7.6.3-4.** Hidrograma e vazões médias mensais nos córregos Bolo Fofó, Três Corações e Dona Inácia.

Analisando as Figuras 4.1.7.6.3-3 e 4.1.7.6.3-4, pode-se observar a nítida relação entre as precipitações e a ocorrência de cheias, ou seja, a sazonalidade do regime hidrológico intranual observado no comportamento fluviométrico dos cursos de água representados corresponde exatamente ao comportamento sazonal das chuvas observadas na bacia, embora dotado de certa defasagem. Além disso, nota-se que a resposta do escoamento nos cursos de água, mediante a ocorrência

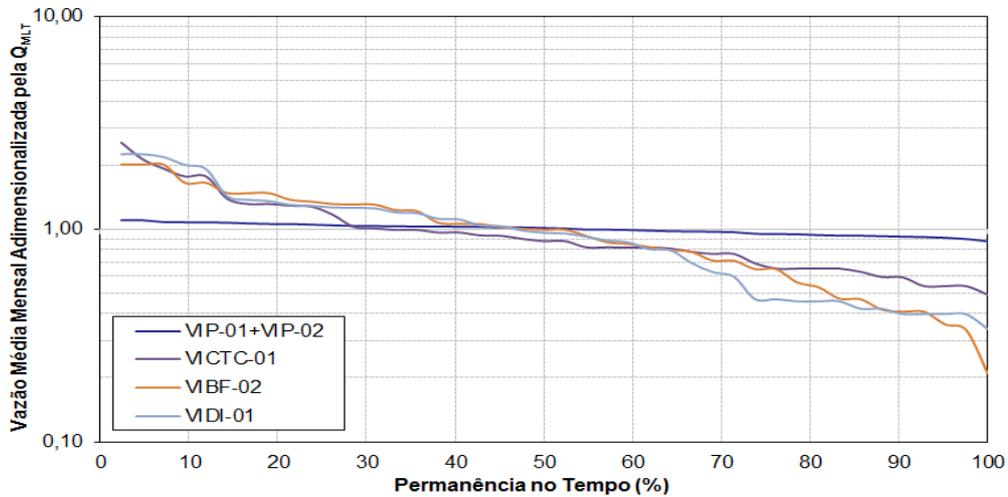
dos meses com maior pluviosidade, acontece em maior defasagem de tempo no córrego Piraputangas (cerca de 6 meses), quando comparado aos demais córregos da região de interesse (cerca de 3 meses). Esses padrões comprovam que a geologia e as respectivas unidades hidrogeológicas condicionam fortemente o regime dos cursos de água na área de interesse.

No córrego principal, a resposta do escoamento é mais atrasada em relação à dos demais talwegues perenes devido ao fato de maiores porções do aquífero Band'Alta contribuírem até sua nascente e à maior distância a ser percorrida subterrânea e subsuperficialmente. Este aspecto determina também uma menor amplitude de vazões no córrego Piraputangas, em relação aos demais córregos, conforme se constata no gráfico da Figura 4.1.7.6.3-2, no qual foram plotadas as vazões diárias divididas pelas áreas de drenagem até a seção dos vertedouros (vazão específica) VIP-01+VIP-02 e VIBF-02. Pode-se assim fazer uma analogia de que o aquífero mencionado atua como um reservatório de regularização, por defasar o escoamento nos cursos de água em relação às contribuições pluviométricas e por acentuar seu efeito à medida que mais áreas contribuem, ou seja, atuam na recarga e transporte.

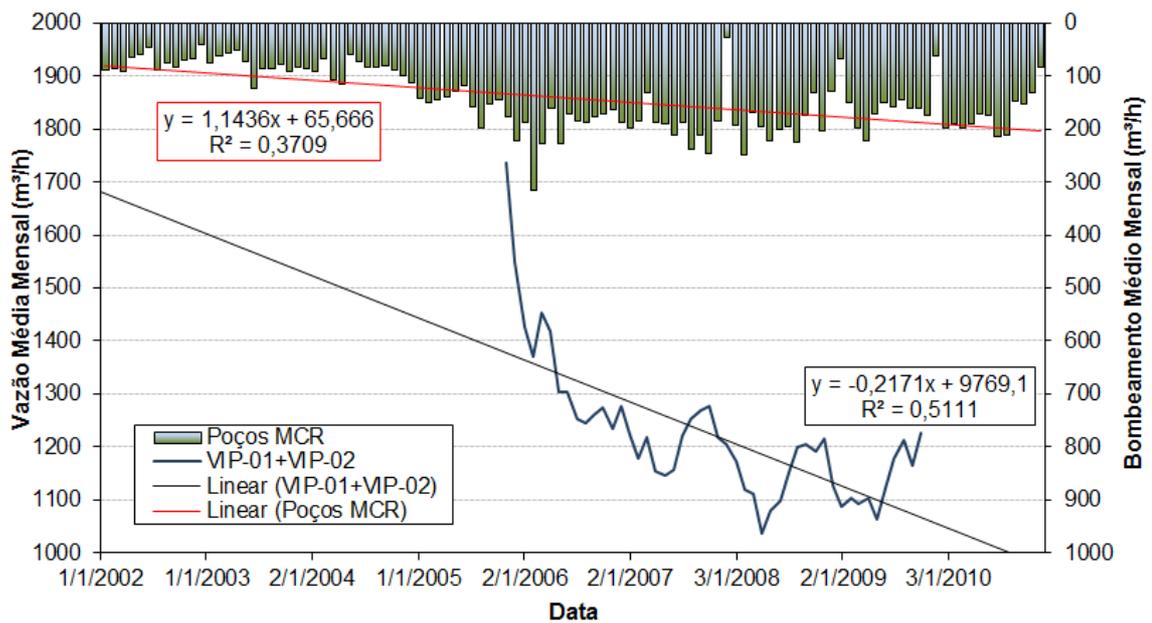
Na sequência dos estudos, foram elaboradas as curvas de permanência a partir das séries de vazões médias mensais restituídas nos vertedouros. Em adição, obtém a  $Q_{95\%,r}$  ou vazão média mensal com 95% de permanência no tempo, descarga de referência para o cálculo da oferta hídrica legal superficial na área em estudo.

As curvas de permanência adimensionais, isto é, das vazões médias mensais adimensionalizadas pela  $Q_{MLT}$  das respectivas séries, também foram preparadas, e constituem ferramenta gráfica que permite estabelecer comparações entre bacias distintas quanto ao seu comportamento hidrológico. A Figura 4.1.7.6.3-5 mostra as curvas de permanência de vazões médias mensais do período entre 05/2006 e 10/2009 e as suas respectivas curvas adimensionalizadas.

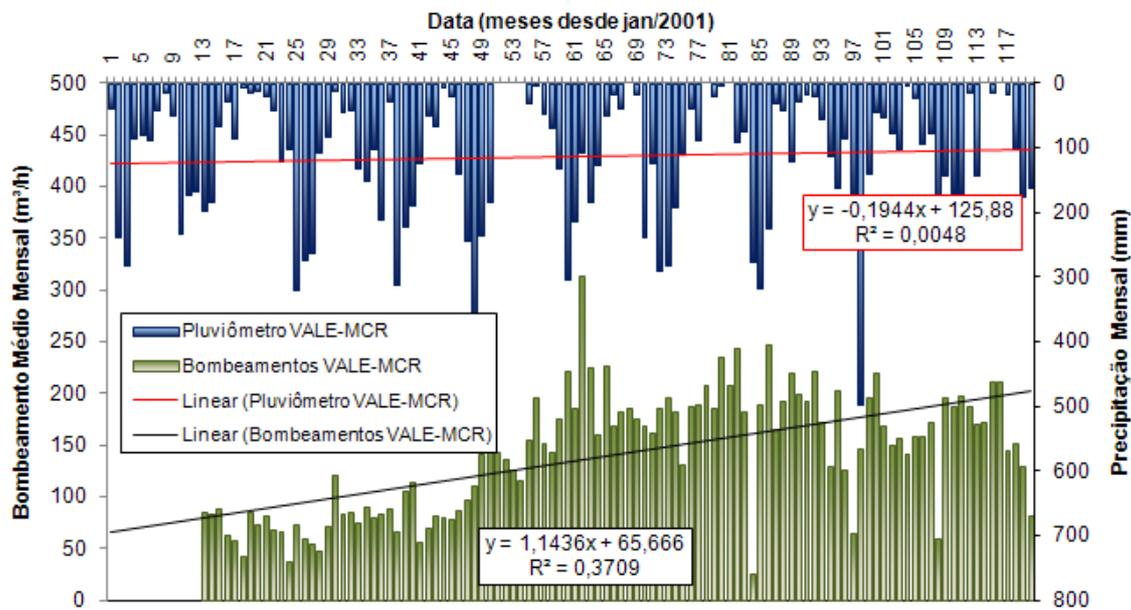
Na Tabela 4.1.7.6.3-1 estão sintetizadas algumas vazões características abstraídas das séries restituídas, e que auxiliam na compreensão do regime hidrológico nos cursos de água estudados, junto aos hidrogramas e às curvas de permanência. Os vertedouros de referência têm suas células marcadas em azul.



**Figura 4.1.7.6.3-5.** Curvas de permanência adimensionalizadas dos córregos Piraputangas, Bolo Fofo, Três Córregos e Dona Inácia.



**Figura 4.1.7.6.3-6.** Avaliação das tendências temporais das vazões médias mensais no córrego Piraputangas e dos bombeamentos médios mensais da MCR no período entre 2002 e 2010.



**Figura 4.1.7.6.3-7.** Avaliação das tendências temporais dos bombeamentos médios mensais da MCR e das chuvas mensais no pluviômetro da Barragem do Gregório no período entre 2001 e 2010.

**Tabela 4.1.7.6.3-1.** Vazões notáveis em alguns dos vertedouros estudados, obtidas a partir de suas séries de vazões médias mensais restituídas.

Seção Fluvial	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	Q <sub>MLT</sub> (m <sup>3</sup> /h)	q <sub>MLT</sub> (l/s.km <sup>2</sup> )	Q <sub>mín, mensal</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>máx, mensal</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>95%</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>mín, mensal</sub> ÷ Q <sub>MLT</sub>	Q <sub>máx, mensal</sub> ÷ Q <sub>MLT</sub>	Q <sub>95%</sub> ÷ Q <sub>MLT</sub>
VIP-01+VIP-02	36,3	1368	10,5	1157	1536	1237	0,85	1,12	0,90
VIP-03A+VIP-04	38,9	1346	9,6	1171	1571	1212	0,87	1,17	0,90
VIP-05	46,2	1289	7,74	1140	1512	1174	0,88	1,17	0,91
VIBF-01	1,74	53,8	8,58	21,4	92,6	31,9	0,40	1,72	0,59
VIBF-02	2,87	46,6	4,50	12,8	94,2	19,7	0,28	2,02	0,42
VICTC-01	0,608	10,6	4,82	5,21	26,8	5,71	0,49	2,54	0,54
VIDI-01	3,05	26,9	2,45	9,16	60,6	10,7	0,34	2,25	0,40

Nota: Q<sub>MLT</sub> - Vazão média de longo termo; q<sub>MLT</sub> - Vazão específica média de longo termo ; Q<sub>mín,mensal</sub> - Vazão mensal mínima; Q<sub>máx,mensal</sub> - Vazão mensal máxima; Q<sub>95%</sub> - Vazão média mensal com 95% de permanência no tempo.

Analisando os dados de monitoramento fluviométrico dos vertedouros operados pela MCR, verificou-se que as vazões ao longo do rio Piraputangas são fortemente moduladas pelas descargas do escoamento subterrâneo na escarpa sul da morraria Grande, onde está localizada a nascente do referido curso de água. Uma das causas desse fato é a baixa amplitude de variação de suas vazões quando observadas em intervalo mensal, o pequeno volume de escoamento superficial comparativamente ao escoamento de base nos hidrogramas, e o pequeno incremento de vazões a jusante de sua nascente face à magnitude das vazões observadas. Além disso, observou-se que as cheias e estiagens alternam-se anualmente com defasagem de cerca de seis meses em relação às chuvas totais mensais. Isso significa que as mais altas vazões ocorrem no córrego Piraputangas por volta de agosto a novembro, enquanto os maiores índices pluviométricos mensais são registrados entre dezembro e fevereiro. As menores vazões médias mensais acontecem em abril e maio.

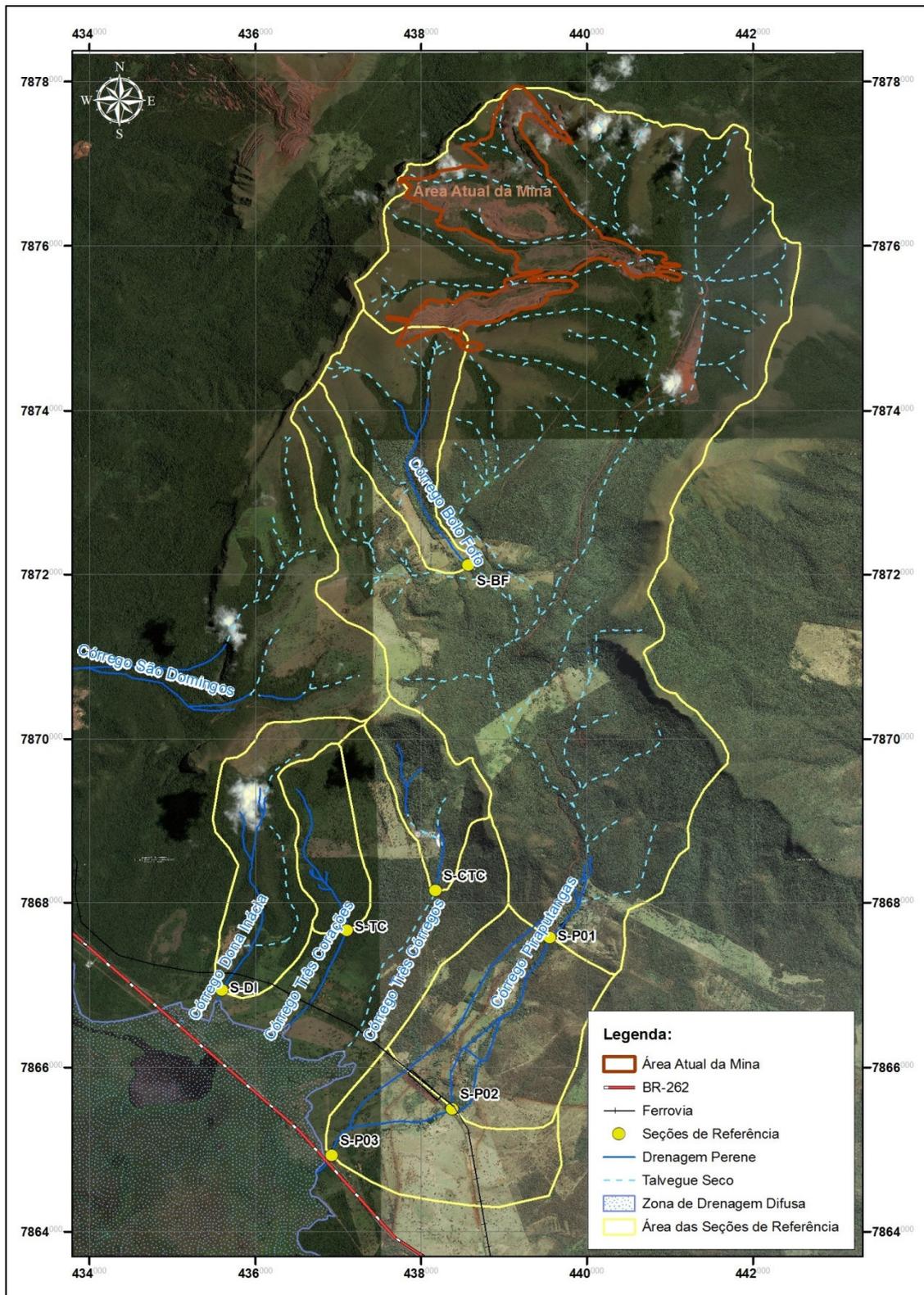
#### **4.1.7.6.4 Disponibilidade Hídrica Superficial**

Na Figura 4.1.7.6.4-1 estão representadas as seções de referência para cálculo da disponibilidade hídrica, usadas no estudo em questão.

Em função da distribuição de pontos de captação na área de interesse, e da localização dos vertedouros selecionados como referência para caracterização do regime fluviométrico nos cursos de água perenes, foram definidas seções fluviais para cálculo da oferta hídrica superficial e da disponibilidade a ela associada nos cenários atual e futuro. Tais seções localizam-se conforme disposto na Figura 4.1.7.6.4-1. Essas seções fluviais de referência são descritas a seguir:

- Seção S-P01: córrego Piraputangas nas seções dos vertedouros VIP-03A e VIP-04: essa seção deve ser encarada como se os braços leste e oeste fossem um só e representa o alto curso do referido córrego, além de concentrar a montante de si 2 balneários e um número significativo de captações;
- Seção S-P02: córrego Piraputangas (braços leste e oeste) na seção da ferrovia: representa o trecho médio desse curso de água;

- Seção S-P03: córrego Piraputangas (braços leste e oeste) na seção da BR-262: representa a bacia contribuinte a esse córrego como um todo e computa todos os usos consuntivos cadastrados no mesmo;
- Seção S-BF: córrego Bolo-Fofo imediatamente a montante do seu sumidouro, algumas dezenas de metros a jusante do VIBF-02;
- Seção S-CTC: córrego Três Córregos imediatamente a montante de seu sumidouro, alguns metros a jusante do VICTC-01;
- Seção S-DI: córrego Dona Inácia na seção do VIDI-01;
- Seção S-TC: córrego Três Corações na seção do VITC-01.
- Seção S-CTC: córrego Três Córregos imediatamente a montante de seu sumidouro, alguns metros a jusante do VICTC-01;
- Seção S-DI: córrego Dona Inácia na seção do VIDI-01;
- Seção S-TC: córrego Três Corações na seção do VITC-01.



**Figura 4.1.7.6.4-1.** Localização das seções de referência para cálculo da oferta e da disponibilidade hídrica superficial. Fonte: Potamos, 2011.

A Tabela 4.1.7.6.4-1 resume as vazões características extraídas das séries de vazões médias mensais obtidas nas seções de referência para cálculo da disponibilidade hídrica superficial e a oferta hídrica legal associada à Q95% nas mesmas.

**Tabela 4.1.7.6.4-1.** Vazões características e oferta hídrica legal nas seções de referência.

Seção	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	Vazões Características					Oferta Hídrica (m <sup>3</sup> /h)	
		Q <sub>MLT</sub> (m <sup>3</sup> /h)	q <sub>MLT</sub> (l/s.km <sup>2</sup> )	Q <sub>min</sub> , mensal (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>máx</sub> , mensal (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>95%</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Individual 20% Q <sub>95%</sub>	Coletiva 70% Q <sub>95%</sub>
S-P01	38,9	1368	9,77	1157	1536	1237	247	866
S-P02	43,3	1368	8,77	1157	1536	1237	247	866
S-P03	46,4	1368	8,18	1157	1536	1237	247	866
S-BF	3,11	46,6	4,16	12,8	94,2	19,7	3,93	13,8
S-CTC	1,75	23,4	3,71	11,6	59,6	12,7	2,54	8,87
S-TC	1,59	22,1	3,87	7,53	49,8	8,83	1,77	6,18
S-DI	3,05	26,9	2,45	9,16	60,6	10,7	2,15	7,52

Fonte: Potamos, 2011.

#### 4.1.7.7 BALANÇO HÍDRICO INTEGRADO

Conhecendo-se a interação entre o escoamento subterrâneo e superficial, os dados de monitoramento fluviométrico e os usos da água atuais na bacia em questão, foi possível estabelecer vazões notáveis em determinadas seções ao longo do córrego Piraputangas e quantificar a reserva renovável associada ao aquífero correspondente à Formação Banda Alta (principal unidade hidrogeológica da área de estudo), unidade litoestratigráfica constituída primordialmente por jaspilites hematíticos intensamente fraturados.

A Tabela 4.1.7.7-1 apresenta algumas vazões naturais notáveis de referência para a finalidade do presente estudo, representativas do cenário sem nenhuma intervenção humana na bacia. Nesta tabela, foram consideradas como "Água Superficial" as vazões válidas ao longo do córrego Piraputangas na seção da rodovia BR-262 (S-P03), e como "Água Subterrânea" as vazões associadas ao aquífero da Formação Banda Alta (Blocos A e C). Para efeito de quantificação da oferta legal, utilizou-se a publicação *Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos - Diretrizes e Prioridades* (ANA, 2005).

**Tabela 4.1.7.7-1.** Vazões notáveis: água superficial e subterrânea na bacia de contribuição ao córrego Piraputangas.

<b>Vazão Notável (m<sup>3</sup>/h)</b>	
<b>ÁGUA SUPERFICIAL</b>	
Q <sub>MLT</sub>	1368
Q <sub>mín,mensal</sub>	1158
Q <sub>95%</sub>	1237
Oferta Legal Individual (20%Q <sub>95%</sub> )	247
Oferta Legal Coletiva (70%Q <sub>95%</sub> )	866
<b>ÁGUA SUBTERRÂNEA</b>	
Reserva Renovável	1346
20% Reserva Renovável	269
40% Reserva Renovável	538

Nota: Q<sub>MLT</sub> - Vazão média de longo termo; Q<sub>mín,mensal</sub> - Vazão mensal mínima; Q<sub>95%</sub> - Vazão média mensal com 95% de permanência no tempo. Fonte: Potamos, 2011.

A Q<sub>95%</sub>, ou vazão média mensal com 95% de permanência no tempo, é característica da estiagem e utilizada pela ANA para definição de critérios de outorga expedidas em âmbito federal, caso dos corpos de água da região do Pantanal Mato-grossense, como ocorre com o córrego Piraputangas. Dessa forma, foi estabelecido por essa agência que o limite máximo outorgável a um usuário deve ser igual a 20% da Q<sub>95%</sub>, que corresponde, portanto, à oferta legal individual. Na situação de avaliação coletiva de todos os usuários em determinada unidade hidrográfica, tal como a área de interesse dos estudos, admite-se a utilização de

até 70% da  $Q_{95\%}$ , sendo os 30% restantes garantidos a jusante necessários à manutenção da biota aquática.

Em se tratando das águas subterrâneas, de domínio do estado, e para as quais não há critérios legais definidos no estado do Mato Grosso do Sul, sugere-se a adoção de limites recomendados de consenso no meio técnico. Quando a exploração por poços profundos se dá sobre a reserva renovável, como ocorre no caso da MCR, as vazões extraídas, avaliadas no longo termo e de maneira contínua, não devem ultrapassar uma faixa situada entre 20% e 40% da reserva renovável.

A Tabela 4.1.7.7-2 sintetiza algumas relações que podem ser extraídas entre as vazões de demanda na bacia do córrego Piraputangas, dentre elas a da Vale, e as vazões características da oferta hídrica nesse curso de água e no principal aquífero que o abastece. A Tabela 4.1.7.7-3 apresenta o Índice de Utilização da Disponibilidade (IUD), indicador que aponta qual é a porcentagem de utilização da oferta hídrica legal em uma bacia de referência.

**Tabela 4.1.7.7-2.** Relações entre usos consuntivos e ofertas na bacia de contribuição ao córrego Piraputangas.

VAZÃO NOTÁVEL (m <sup>3</sup> /h)		Índice de Utilização sobre as Vazões Notáveis					
		VALE		Demais Usuários		Todos os Usuários	
		Atual	Futura	Atual	Futura	Atual	Futura
$Q_{95\%}$	1237	0,15	0,33	0,05	0,09	0,19	0,42
Oferta Legal para Uso Individual (20% $Q_{95\%}$ ) - IUD	247	0,73	1,65	-	-	-	-
Oferta Legal para Uso Coletivo (70% $Q_{95\%}$ ) - IUD	866	-	-	-	-	0,27	0,60
Reserva Renovável - RR	1346	0,13	0,30	0,04	0,08	0,18	0,38
Limite Inferior Oferta Subterrânea (20% RR) - IUD	269	0,67	1,52	0,21	0,40	0,88	1,91
Limite Superior Oferta Subterrânea (40% RR) - IUD	538	0,33	0,76	0,11	0,20	0,44	0,96

Fonte: Potamos, 2011

**Tabela 4.1.7.7-3.** Escala de avaliação do IUD – Índice de Utilização da Disponibilidade.

Faixa do IUD	Conceito
$IUD \leq 0,25$	Taxa de uso insignificante
$0,25 < IUD \leq 0,50$	Taxa de baixa utilização
$0,50 < IUD \leq 0,75$	Taxa de moderada utilização (necessidade de manejo)
$0,75 < IUD \leq 1,00$	Utilização crítica
$IUD > 1,00$	Utilização acima da Oferta Hídrica Legal

Fonte: Potamos, 2011.

Neste estudo, a avaliação sobre a  $Q_{95\%}$  foi realizada sob a hipótese de que a redução de vazões no córrego Piraputangas é equivalente ao impacto sobre o aquífero correspondente, respaldo este dado pelo modelo hidrogeológico conceitual e confirmado pelo modelo computacional, apresentado em Potamos 2011.

Da Tabela 4.1.7.7-3 conclui-se que os poços atualmente em operação na MCR, cuja vazão média horária desde novembro de 2005 é cerca de  $180\text{m}^3/\text{h}$ , respondem por 13% de utilização sobre a reserva renovável do aquífero da Formação Banda Alta, e por 15% da  $Q_{95\%}$ .

Futuramente, na primeira etapa do Projeto de Expansão da Vale, a exploração por poços profundos da MCR, prevista em  $408\text{m}^3/\text{h}$  se analisada de forma contínua, representará 30% da reserva renovável e 33% da  $Q_{95\%}$ , porcentagem esta que ultrapassa o limite preconizado pela ANA para um só usuário em termos de água superficial.

Se a avaliação é realizada coletivamente sobre as águas superficiais, então todos os usuários demandam atual e futuramente 19% e 42% da  $Q_{95\%}$ , respectivamente, porcentagens dentro do limite de 70% dessa vazão característica. Portanto, a avaliação junto ao IBAMA e à ANA pode ser realizada à luz dessa estatística, mas não isenta a Vale de questionamentos quanto ao percentual máximo estabelecido para uso individual.

O IUD, quando avaliado isoladamente para as captações por poços da MCR, mostra que o nível de utilização é moderado atualmente (73%), mas, quando da implantação da 1ª etapa do Projeto de Expansão da Vale, ter-se-á uma situação em

que a demanda será acima da oferta hídrica legal para um usuário isolado, o que se confirma pelo valor de 165%.

Se a interpretação do IUD é feita de forma a englobar todos os usuários na bacia do córrego Piraputangas, situação para a qual a oferta hídrica legal é igual a 70% da  $Q_{95\%}$ , então o cenário atual é de baixa utilização da oferta (27%) e o futuro será de moderada utilização (60%). Para situações de moderada utilização da oferta hídrica, não há muita folga na oferta legal para garantir o suprimento de todos os usuários em situações de escassez do recurso, como pode ocorrer em anos de estiagens severas.

Caso se considere o cálculo do IUD para a oferta hídrica subterrânea na totalidade do aquífero da Formação Band'Alta, a MCR utiliza atualmente 33% do seu limite superior. Na exploração futura, esse percentual subiria para 76%, de forma que o cenário adquiriria condições moderadas de utilização em termos de água subterrânea.

#### **4.1.8 QUALIDADE DAS ÁGUAS E SEDIMENTOS**

O presente documento, objetiva realizar uma avaliação da qualidade das águas subterrâneas, superficiais e sedimentos da microbacia do córrego Piraputanga e sub-bacia do córrego Bolo Fofo (Área de Influência Direta - AID), além de um trecho no rio Paraguai onde será instalada a adutora (Área de Influência Indireta - AII). No caso, o levantamento de informação inclui os dados secundários de monitoramento de água superficial e subterrânea feito pela MCR durante 2007 e 2008, e os dados primários obtidos em campo nas campanhas realizadas durante os meses de junho e novembro de 2011, abrangendo o período de estiagem e de chuva.

##### **4.1.8.1 METODOLOGIA**

Os padrões de qualidade hídrica, utilizados como diretrizes para análise foram os estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 modificada pela Resolução CONAMA nº 397/08 para águas superficiais e Resolução CONAMA nº 430/11 para

emissões líquidas, bem como as contidas na ABNT nº 12649/1992 sobre caracterização de cargas poluidoras na mineração. A Resolução CONAMA nº 396/08 foi utilizada como diretriz legal para o enquadramento das águas subterrâneas. Já para os sedimentos, cabe salientar, que não existe legislação específica em vigor com diretrizes de análise deste compartimento. Entretanto, foi tomado como referência, e a título de comparação, o estabelecido pela Resolução CONAMA nº 344/04, a qual dá as diretrizes gerais e procedimentos mínimos para avaliação de material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras.

#### **4.1.8.1.1 Águas Superficiais e Sedimentos**

Para caracterizar a qualidade de água superficial e sedimentos foram utilizados dados secundários provenientes do monitoramento de água superficial realizados durante 2007 e 2008 pela MCR nos córregos Piraputanga e Bolo Fofó (AID), e no rio Paraguai (AII). Dados primários foram obtidos durante as campanhas realizadas nos meses de junho/11 e novembro/11, que define, respectivamente, o início da estação seca e chuvosa na região.

#### **4.1.8.1.2 Água Subterrânea**

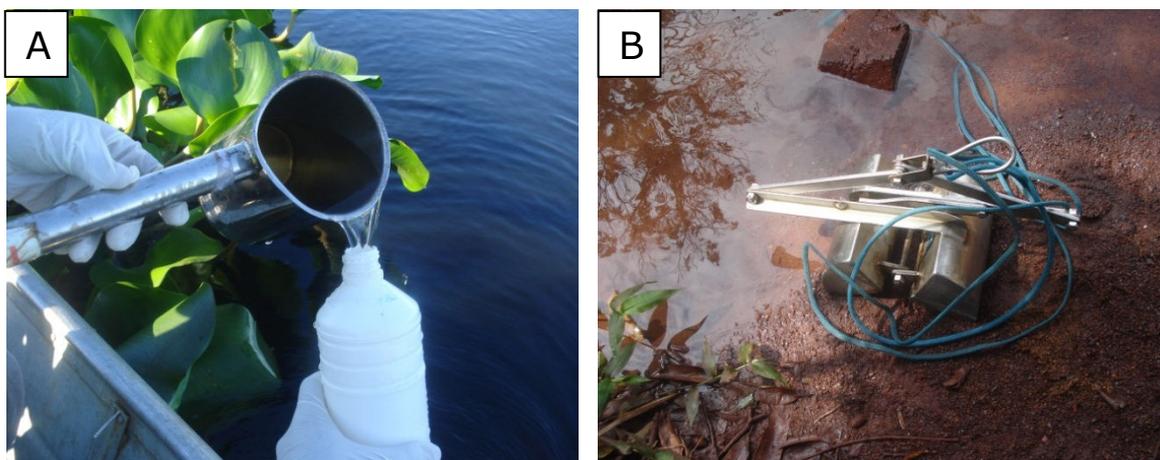
Para caracterizar a qualidade das águas subterrâneas foi realizada a análise das séries históricas de monitoramento executado pela MCR nos anos 2007 e 2008, em conjunto a uma campanha de avaliação durante o mês de novembro de 2011 em (10) poços, já instalados, que perfazem a rede de monitoramento de águas subterrâneas da MCR.

### **4.1.8.2 AMOSTRAGEM**

#### **4.1.8.2.1 Águas superficiais e sedimentos**

As amostras de água e sedimento foram coletadas na parte central de cada um dos corpos de água por meio de um coletor com refratário na extremidade e extensor em inox (Figura 4.1.8.2.1-1 A) e, em seguida, vertido para os frascos acondicionados segundo o parâmetro de análise. Na campanha de novembro foi

utilizado balde de plástico para a obtenção de amostras mais homogêneas. No momento da coleta, os recipientes coletores e os frascos foram *rinsados* previamente com água específica do local, à exceção dos frascos que continham preservantes. Posteriormente, as amostras de água foram acondicionadas e transportadas para o laboratório de análise. A coleta de amostras das águas superficiais foi executada segundo procedimentos estabelecidos pela norma ABNT NBR 9897 e pelas diretrizes de preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores fixados pela NBR 9898. Para preservação e acondicionamento das amostras, foram usados recipientes que atendem ao estabelecido no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21ª ed., 2005. As amostras de sedimento foram coletadas em triplicata no mesmo local da coleta de água, através de um busca fundo de *Petersen* com capacidade nominal de 3.0 litros (Figura 4.1.8.2.1-1 B) e, posteriormente, acondicionadas em frascos adequados para análise laboratorial. Ver MAPA 4.1-12 Pontos de amostragem águas e sedimentos (Anexo 2).



**Figura 4.1.8.2.1-1:** (A) Coleta de água no rio Paraguai a montante (PRPM) e transferência da amostra para os frascos e (B). Coleta de sedimento no córrego Bolo Fofó com a utilização de busca fundo.

#### 4.1.8.2.2 Águas subterrâneas

O procedimento de amostragem foi realizado segundo indicado na norma ABNT – NBR 15847/2010. Em geral, os piezômetros foram esgotados 24 horas antes da

coleta. Após recuperação dos piezômetros, foi realizada a coleta com *amostradores tubulares ou bailers*. As amostras foram etiquetadas, condicionadas e transportadas ao laboratório de ensaio. A escolha de amostradores tubulares foi devido ao desconhecimento das características geoquímicas do lençol nos diferentes pontos de coleta, fator crucial para definir a finalização da purga, pelo qual optamos por utilizar a purga de volume determinado, com amostradores tubulares segundo definido no Item 7 da ABNT 15897/2010.

#### **4.1.8.3 ÁGUAS SUPERFICIAIS E SEDIMENTOS**

##### **4.1.8.3.1 Parâmetros e Métodos de Análise Laboratorial**

Em água as análises de salinidade, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura e pH foram medidas *in loco* por meio de uma sonda multiparâmetro da marca Hanna modelo HI9828 (certificado de calibração no Anexo). Para determinar a qualidade do corpo hídrico, foi considerada a avaliação de 38 parâmetros em água e 30 em sedimentos.

Os parâmetros e os métodos de análise em águas superficiais e sedimentos são listados nas Tabelas 4.1.8.3.1-1 e 4.1.8.3.1-2, respectivamente. Para qualidade das águas, as análises laboratoriais foram realizadas pelo laboratório SPECTRUM LABOR, e em sedimentos pelo laboratório QualityLab. Ambos os laboratórios de ensaio são certificados pela CGCRE/INMETRO de acordo com a ABNT NBR ISSO/IEC 17025 e foram supervisionados pela Vereda Estudos e Execução de Projetos Ltda.

A metodologia analítica dos parâmetros analisados foi indicada pela agência norte-americana de meio Ambiente (USEPA) nos Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21ª Ed (SMEWW). A análise granulométrica em sedimentos foi realizada seguindo o indicado na ABNT NBR 6502/95.

**Tabela 4.1.8.3.1-1.** Parâmetros e métodos analíticos usados na avaliação da água superficial no mês de Junho/11 (período seco) e Novembro/11 ( período chuvoso).

Parâmetro	Unidade	Limite de Quantificação	Metodologia
Temperatura	°C	-	<i>in loco</i>
Condutividade	µS/cm	-	<i>in loco</i>
Salinidade	mg/L	-	<i>in loco</i>
Oxigênio Dissolvido	mg/L	-	<i>in loco</i>
pH	-	-	<i>in loco</i>
Turbidez	NTU	0,01	SMEWW 2130 B
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,4	SMEWW 4500-NH <sub>3</sub> D
Nitrogênio Kjeldahl	mg/L	0,5	SMEWW 4500 org B
Nitrato	mg/L	0,02	SMEWW 4110 B
Nitrito	mg/L	0,03	SMEWW 4110 B
Fósforo total	mg/L	0,03	SMEWW 4500-P C/E
cloreto	mg/L	0,03	SMEWW 4110 B
Alcalinidade	mg/L	20	SMEWW 2320 B
Dureza	mg/L	0,01	SMEWW 2340 B
RFT	mg/L	20	SMEWW 2540 C
RNFT	mg/L	20	SMEWW 2540 D
COT	mg/L	0,5	SMEWW 5310 A e 5310 B
Óleos e graxas	mg/L	0,1	SMEWW 5520B
Cor	mg Pt/L	2,5	SMEWW 2120 C
DBO	mg/L	2,0	SMEWW 5210 B
DQO	mg/L	10	SMEWW 5220 D

Parâmetro	Unidade	Limite de Quantificação	Metodologia
Clorofila a	mg/L	0,03	SMEWW 10200 H
Feofitina	mg/L	0,03	SMEWW 10200 H
Alumínio solúvel	mg/L	0,007	SMEWW 3120B
Cádmio	mg/L	0,001	SMEWW 3120B
Chumbo	mg/L	0,0098	SMEWW 3120B
Cobre Total	mg/L	0,0011	SMEWW 3120B
Cromo	mg/L	0,0018	SMEWW 3120B
Ferro Total	mg/L	0,0018	SMEWW 3120B
Manganês	mg/L	0,0002	SMEWW 3120B
Magnésio	mg/L	0,0004	SMEWW 3120B
Mercúrio	mg/L	0,0002	SMEWW 3112B
Níquel	mg/L	0,0015	SMEWW 3120B
Potássio	mg/L	0,0018	SMEWW 3120B
Sódio	mg/L	0,001	SMEWW 3120
Zinco	mg/L	0,0033	SMEWW 3120B
Coliformes termo- tolerantes	NMP/100mL	ausência	SMEWW 9222B
Coliformes totais	NMP/100mL	ausência	

**Tabela 4.1.8.3.1-2.** Parâmetros e métodos analíticos usados na avaliação de Sedimentos.

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Limite de Quantificação</b>	<b>Metodologia</b>
Matéria Orgânica Total	%	0,9	IT-LAB IX-011-REV-0
Fósforo Total	(mg/Kg)	6,7	USEPA 3052, 1996
Fosfato	(mg/Kg)	2	USEPA 300-1
Nitrogênio Kjeldhal	(mg/Kg)	2	4500N
Cascalho (>2mm)	%	0,1	ABNT NBR 650/95
Areia Grossa (2mm a >0,6mm)	%	0,1	ABNT NBR 650/95
Areia Média (0,6mm a >0,2mm)	%	0,1	ABNT NBR 650/95
Areia Fina (0,2mm a 0,06mm)	%	0,1	ABNT NBR 650/95
Silte (0,06mm a >0,002mm)	%	0,1	ABNT NBR 650/95
Argila (<0,002mm)	%	0,1	ABNT NBR 650/95
Alumínio	(mg/Kg)	0,5	USEPA 3052, 1996
Arsênio	(mg/Kg)	1,3	USEPA 3052, 1996
Berílio	(mg/Kg)	0,3	USEPA 3052, 1996
Bário	(mg/Kg)	0,3	USEPA 3052, 1996
Boro	(mg/Kg)	6,7	USEPA 3052, 1996
Cálcio	(mg/Kg)	1	USEPA 3052, 1996
Cádmio	(mg/Kg)	0,6	USEPA 3052, 1996
Chumbo	(mg/Kg)	2,8	USEPA 3052, 1996
Cobre	(mg/Kg)	12	USEPA 3052, 1996

Parâmetro	Unidade	Limite de Quantificação	Metodologia
Cobalto	(mg/Kg)	0,7	USEPA 3052, 1996
Cromo total	(mg/Kg)	0,8	USEPA 3052, 1996
Estanho	(mg/Kg)	6,7	USEPA 3052, 1996
Ferro Total	(mg/Kg)	0,4	USEPA 3052, 1996
Lítio	(mg/Kg)	0,7	USEPA 3052, 1996
Manganês	(mg/Kg)	0,1	USEPA 3052, 1996
Mercúrio	(mg/Kg)	0,1	USEPA 3052, 1996
Níquel	(mg/Kg)	0,7	USEPA 3052, 1996
Prata	(mg/Kg)	3,3	USEPA 3052, 1996
Vanádio	(mg/Kg)	1,3	USEPA 3052, 1996
Zinco	(mg/Kg)	0,5	USEPA 3052, 1996

#### 4.1.8.3.2 Rede amostral

A amostragem de águas superficiais e sedimentos ocorreram em 10 pontos amostrais (Tabela 4.1.8.3.2-1) distribuídos em três setores distintos durante o ciclo hidrológico, quais sejam:

- sudoeste da Mina: 2 (dois) pontos situados no córrego Bolo Fofó (CBFM e CBFJ);
- sentido sul: 5 (cinco) pontos na microbacia do rio Piraputanga (PPRM, PPRJ1, PPRJ2 e PPRJ3), incluindo o afluente do rio Piraputanga (AP2);
- sudeste da mina: 1 (um) ponto situado no rio Paraguai no setor de implantação da adutora (PRPA)\* *Este último foi avaliado somente em junho uma vez que no mês de novembro apresentava-se seco.*

Ressalta-se que para uma avaliação mais robusta dos dados do rio Paraguai foi incluída a amostragem de dois pontos de coleta localizados à montante (PRPM) e à jusante (PRPJ) do setor de implantação da adutora.

O mapa com a rede amostral de qualidade das águas superficiais e subterrâneas e sedimentos pode ser visualizado no MAPA 4.1-12 (Anexo 2).

**Tabela 4.1.8.3.2-1.** Pontos amostrais para coleta de água superficial e sedimentos na área do Projeto.

<u>Pontos de Monitoramento</u>	<u>Coordenadas</u>
Ponto Piraputanga a Montante (PPRM)	440023 E/7868294 N
Ponto Piraputanga a Jusante (PPRJ1)	439691 E/7867680 N
Ponto Piraputanga a Jusante (PPRJ2)	438650 E/7865826 N
Córrego Bolo Fofo (CBFM)	438338 E/7872406 N
Córrego Bolo Fofo (CBFJ)	438422 E/7872299 N
Ponto Rio Paraguai a Montante (PRPM)	460114 E/7852937 N
Ponto Rio Paraguai a Jusante (PRPJ)	457575 E/7849790 N
Ponto Rio Paraguai alagado (PRPA)	458471 E/7852136 N
Afluente Piraputanga (AP2)	437242 E/7865143 N
Ponto Piraputanga a Jusante (PPRJ3)	437973 E/7865423 N

#### 4.1.8.4 ÁGUA SUBTERRÂNEA

##### 4.1.8.4.1 Parâmetros e Métodos de Análise

Na avaliação de qualidade das águas subterrâneas foram considerados 47 parâmetros que estão listados na Tabela 4.1.8.4.1-1 em conjunto aos métodos de análise empregados. Os métodos analíticos utilizados foram os indicados pela agência norte-americana de meio ambiente (USEPA) nos *Methods for the Examination of Water e Wastewater 21ª Ed* (SMEWW).

Os piezômetros foram esgotados 24 horas antes da coleta com amostradores tubulares, evitando-se a amostragem de água estagnada. As coletas foram realizadas por meio de um bailler descartável (amostrador específico composto de um tubo de pvc transparente equipado com uma válvula de retenção de teflon tipo portinhola na extremidade inferior). As análises laboratoriais foram realizadas pelo laboratório spectrum labor, laboratório de ensaio certificado pela CGCRE/INMETRO

de acordo com a ABNT NBR ISSO/TEC 17025, e supervisionadas pela VEREDA Estudos e Execução de Projetos Ltda.

**Tabela 4.1.8.4.1-1.** Parâmetros e métodos analíticos usados na avaliação de água subterrânea.

Parâmetro	Unidade	Limite de Quantificação	Metodologia
Temperatura	°C	-	<i>in loco</i>
Condutividade	µS/cm	-	<i>in loco</i>
pH	pH	-	<i>in loco</i>
Turbidez	NTU	0,1	SMEWW 2130B
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,01	SMEWW 4500-NH3 F
Nitrogênio Kjeldahl	mg/L	0,9	SMEWW 4500
Nitrato	mg/L	0,1	SMEWW 4500B
Nitrito	mg/L	0,002	SMEWW 4500B
Fósforo total	mg/L	0,04	SMEWW 4500C
Cloreto	mg/L	1	SMEWW 4500-cl B
Alcalinidade	mg/L	1	SMEWW 2320 B
Dureza	mg/L	1	SMEWW 2340 C
COT	mg/L	0,5	SMEWW 5310 A e 5310 B
Óleos e graxas	mg/L	1	SMEWW 5520D
Surfactantes	mg/L LAS	0,2	SMEWW 5540 C
Cor	Mg Pt/L	5	SMEWW 2120B/C
DBO	mg/L	1	SMEWW 5210B
DQO	mg/L	1	SMEWW 5220C

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Limite de Quantificação</b>	<b>Metodologia</b>
Alumínio	mg/L	0,01	SMEWW 3500B
Cádmio	mg/L	0,003	SMEWW 3120B
Chumbo	mg/L	0,002	SMEWW 3113B
Cobre Total	mg/L	0,003	SMEWW 3500B
Cromo	mg/L	0,002	SMEWW 3120B
Ferro Total	mg/L	0,01	SMEWW 3500B
Ferro dissolvido	mg/L	0,01	SMEWW 3500B
Manganês	mg/L	0,01	SMEWW 3500B
Manganês dissolvido	mg/L	0,01	SMEWW 3500B
Magnésio	mg/L	1	SMEWW 3500B
Mercúrio	mg/L	0,0001	EPA 7470A
Níquel	mg/L	0,01	SMEWW 3500 Ni
Potássio	mg/L	1	SMEWW 3500-K B
Sódio	mg/L	1	SMEWW 3500-Na B
Zinco	mg/L	0,02	SMEWW 3500-Zn B
Coliformes termo-tolerantes	UFC/100mL	1	SMEWW 9222B
Coliformes totais	UFC/100mL	1	SMEWW 9222B
Sól. dissolvidos Totais	mg/L	0,0001	SMEWW 2540C
Sólidos Fixos	mg/L	0,0001	SMEWW 2540E
Sólidos sedimentáveis	ml/L	0,1	SMEWW 2540 F

Parâmetro	Unidade	Limite de Quantificação	Metodologia
Sólidos suspensos	mg/L	0,0001	SMEWW 2540 D
Sólidos totais	mg/L	0,0001	SMEWW 2540 B
Sólidos voláteis	mg/L	0,0001	SMEWW 2540E

#### 4.1.8.4.2 Rede Amostral

A rede amostral considerou oito (8) piezômetros já instalados na área de influência direta (AID), os quais fazem parte do plano de monitoramento de águas subterrâneas da MCR VALE. Destes oito piezômetros, dois (2) piezômetros estão localizados na área da mineração, outros cinco (5) estão localizados no quadrante Sudeste (SE) seguindo o fluxo do lençol, e um (1) na direção Oeste (W). O mapa com a rede amostral das águas subterrâneas pode ser visualizado no MAPA 4.1.8 do Anexo 2. As informações sobre a qualidade das águas subterrâneas desta rede amostral tiveram o intuito de avaliar a qualidade física e química da água que infiltra, drena e escoar desde as morrarias. As referências geográficas em UTM estão disponíveis na Tabela 4.1.8.4.2-1.

**Tabela 4.1.8.4.2-1.** Identificação e localização geográfica dos pontos de monitoramento de água Subterrânea.

ID	Nome	Coordenadas
ASB 26	PZ São Domingos	7871037/433394
ASB 28	PZ Monjolo 01	7868466/444550
ASB 30	PZ n°4	7874410/441081
ASB 32	PZ n°1	7874785/441219
ASB 34	PZ São Benedito	7866839/442190
ASB 35	PZ Monjolo 03	7865705/443458

ASB 36	PZ Monjolinho	7865613/440846
ASB 38	PZ luna e Sol	7866845/439085

#### **4.1.8.5 ANÁLISE DE DADOS**

##### **4.1.8.5.1 Águas superficiais e sedimentos**

Os resultados das campanhas realizadas durante 2011 foram analisados e comparados considerando os períodos de seca e chuva. Dados pretéritos de monitoramento da MCR dos anos 2007 e 2008 também foram utilizados para compor este levantamento. Para águas superficiais, o padrão de qualidade adotado como referência ambiental foi o estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05, que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água, utilizando-se como valores de referência aqueles estabelecidos para as águas doces superficiais classe 2. Para análise comparativa dos dados foi utilizada ainda a ABNT NBR 12649/92 que identifica qualitativamente a carga poluidora em função das alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas das águas decorrentes dos efluentes advindos das atividades da mineração.

O padrão de qualidade de sedimento adotado como referência ambiental para propósitos de comparação e análise foi o estabelecido pela Resolução CONAMA 344/04, que dispõe sobre os materiais de dragagem oriundos de águas doces. Como não existe legislação brasileira específica para limites ambientais de parâmetros químicos em sedimentos, foi utilizada a referida Resolução como norma orientadora quanto às diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação de material a ser dragado, a título de comparação dos resultados e não enquadramento legal do conselho.

##### **4.1.8.5.2 Águas subterrâneas**

Os resultados foram analisados e comparados considerando o histórico de monitoramento realizado durante os anos 2007 e 2008, além de uma campanha de amostragem realizada em novembro de 2011, em período de chuva. O padrão de qualidade adotado como referência ambiental foi o estabelecido pela Resolução

CONAMA 396/08, que dispõem sobre a qualidade das águas subterrâneas segundo uso preponderante.

#### **4.1.8.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

##### **4.1.8.6.1. Água Superficiais e Sedimentos**

###### **4.1.8.6.1.1 Micro-bacia do Piraputangas e Córrego Bolo Fofó - Área de Influência Direta (AID)**

A análise dos dados levantados durante os anos 2007 e 2008 (Tabela 4.1.8.6.1.1-1) mostra que a qualidade da água dos córregos Piraputanga e Bolo Fofó estão dentro dos padrões da CONAMA 357/05 para águas classe II. No caso, destacam os níveis de ferro, alumínio, fósforo, manganês e coliformes fecais em alguns pontos, sendo ambos os córregos enquadrados no estado oligotrófico.

Os dados apresentados na Tabela 4.1.8.6.1.1-2 mostram a presença de ferro, alumínio, manganês e fósforo nos dois córregos com concentrações inferiores aos limites da resolução CONAMA 357/05. Sendo que a presença de ferro e de manganês nas águas superficiais pode ser atribuída à geologia dos solos da região.

Nota-se que a sazonalidade é elucidada por meio da concentração de sólidos suspensos que mostram serem maiores durante o primeiro semestre, mês de chuva que gera carregamento de solo. Já o número de coliformes parece ser maior em período de seca. No caso, a existência de coliformes fecais é atribuída ao dreno de água desde as áreas de pastagem de animais e/ou lançamento de esgoto doméstico até as fazendas.

Os resultados obtidos para as águas superficiais e sedimentos durante os meses de junho (seca) e novembro (chuva) de 2011 encontram-se nas Tabelas 4.1.8.6.1.1-2 a 4.1.8.6.1.1-5 com as respectivas referências ambientais. Destacam-se valores de pH com características notavelmente ácidas ( $\text{pH} < 7.0$ ) no córrego do Bolo Fofó. Baixos níveis de oxigênio dissolvido (OD) foram detectados no córrego Piraputanga, sobretudo no PPRJ2. Níveis similares de resíduos filtráveis totais (RFT) e resíduos não filtráveis (RNFT) em conjunto aos níveis de ferro foram observados em todos os pontos de monitoramento, sendo indicativos de

carreamento de sedimentos ao longo dos corpos hídricos, especialmente em período chuvoso, cujos níveis de ferro incrementaram significativamente (Tabelas 4.1.8.6.1.1-2 e 4.1.8.6.1.1-3).

A ABNT NBR 12649/92 ratifica a presença destes indicadores nos setores da rede amostral da AID cujas atividades de estocagem e transporte de minério são desenvolvidas.

Nota-se que o efeito do incremento de vazão, gera além de ferro total (dissolução), uma diluição observada a partir da diminuição da turbidez e sólidos (RNFT e RFT) no período chuvoso em ambos os córregos. A baixa variação do COT com aumento da DQO, óleos e graxas, cloretos, dureza, e coliformes fecais no período chuvoso é indicativo de arrasto de resíduos e está diretamente relacionada com o lançamento de esgoto doméstico oriundo de sítios e fazendas em ambos os córregos.

Nota-se que, durante o período chuvoso, os valores detectados de ferro não superam o limite definido pela Resolução CONAMA Nº 357/05 para águas doces, classe II. No período seco apenas os pontos próximos ao pátio Antônio Maria Coelho excederam os valores de ferro com 0,4mg/L. Com relação aos metais tóxicos, observa-se durante o período de seca, a presença de mercúrio nos pontos PPRM, PPRJ2, CBFM e CBFJ em concentrações superiores ao indicado na Resolução CONAMA 357/05 de 0.0002 mg/L. O mesmo não foi observado no período chuvoso. No mesmo período de seca, o cádmio apresentou, para a maioria dos pontos de amostragem, valor em concentrações levemente superiores (0,002mg/L) ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 357/05 (0,001mg/L). Com relação à presença de mercúrio (0,009mg/L no PPRM) e cádmio, não existe informação da fonte destes metais, descartando a possibilidade de ser característica da geoquímica local, ou da atividade humana circunstancial, uma vez que não foram detectados no período chuvoso.

Em suma, baixos níveis de clorofila e fósforo total foram indicativos da boa qualidade destas águas podendo ser classificadas segundo o índice de Carlson (1977) em estado ultraoligotrófico ( $P < 13\text{mg/L}$ ,  $CL < 0.74\text{mg/L}$ ).

Nas amostras de sedimentos foram identificados ferro, manganês, fósforo e alumínio, com baixa concentração de matéria orgânica protéica. Os valores de

fósforo total foram superiores no período chuvoso em ambos setores de coleta, todavia abaixo do especificado pela legislação ambiental. O mesmo ocorreu para o fosfato, quando detectado, em concentrações bem inferiores. No córrego Bolo Fofó, a presença de nitrogênio orgânico (kjeldahl) e matéria orgânica no período chuvoso foi indicativo do maior aporte de esgoto neste córrego se comparado ao Piraputanga (Tabelas 4.1.8.6.1.1-4 e 4.1.8.6.1.1-5).

A análise granulométrica indica a existência de tamanho de grãos maiores nos pontos mais próximos à mineração. Os pontos mais afastados, próximos ao pátio da AMC, apresentaram tamanho dos grãos menores, variando de areia a silte. Os metais cromo e cádmio apareceram em todos os pontos amostrais reforçando a hipótese da eventual influência das fazendas na qualidade química dos sedimentos. Os valores de cádmio foram superiores ao estabelecido pela Resolução CONAMA 344/04, para a maioria dos pontos, sobretudo no período chuvoso. Contudo, a existência de chumbo em baixas concentrações nos sedimentos, pode ser decorrente da geoquímica local. Apesar dos valores no período chuvoso serem mais elevados, apenas um ponto no rio Piraputanga se sobrepôs ao estabelecido na normativa. Foram detectados valores de mercúrio e níquel abaixo do especificado pela legislação de referência. Os mesmos não foram detectados no período seco.

Estes resultados são coincidentes com levantamentos anteriores (BRANT, 2007) que indicam alta concentração de ferro nos sedimentos, associado à geoquímica local e da atividade mineira, especialmente na produção de finos. Destaca-se a presença de interferência das atividades humanas, principalmente por esgoto e/ou efluentes líquidos das fazendas localizadas na área de influência através do incremento de matéria orgânica e fosfatos nos sedimentos superficiais.

**Tabela 4.1.8.6.1.1-1.** Resultados das análises de qualidade das águas superficiais dos córregos Bolo Fofo e Piraputanga- Área de Influência Direta (AID) (Vale - 2007 e 2008).

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 357- Classe II	Bolo Fofo (montante)				Afluente Piraputanga (Jusante)				Piraputanga (Montante)			
			2007		2008		2007		2008		2007		2008	
			1ºSEM	2ºSEM	1ºSEM	2ºSEM	1ºSEM	2ºSEM	1ºSEM	2ºSEM	1ºSEM	2ºSEM	1ºSEM	2ºSEM.
<b>pH</b>		6,0 a 9,0	NA	NA	6,96	7,4	NA	NA	6,64	6,71	NA	NA	6	6,96
<b>Alcalinidade Total</b>	mg/L		NA	<5	<5	5,00	NA	NA	7	<5	NA	NA	NA	<5
<b>Temperatura da água</b>	°C		NA	NA	NA	21	NA	NA	NA	23	NA	NA	NA	22
<b>Turbidez</b>	UNT	100	NA	0,77	3,7	2	NA	NA	7,3	9,1	NA	NA	1,7	0,97
<b>Cor</b>	UNT	75	NA	<5	22	<5	NA	NA	6	10	NA	NA	<5	6
<b>Dureza Total</b>	mg/L		NA	<5	<5	<5	NA	NA	26	<5	NA	NA	<5	<5
<b>Condutividade elétrica</b>	µS/cm		NA	11	<2	15	NA	NA	12	7	NA	NA	5,5	6
<b>Sólidos Sedimentáveis</b>	mg/L		NA	<0,3	<0,3	<0,3	NA	NA	<0,3	<0,3	NA	NA	<0,3	<0,3
<b>Sólidos Suspensão</b>	mg/L		NA	<5	9	<2	NA	NA	20	<2	NA	NA	7	<2
<b>Sólidos Dissolv. Totais</b>	mg/L	500	NA	20	96	20	NA	NA	38	79	NA	NA	80	53
<b>OD</b>	mg/L	>5	NA	NA	NA	6,5	NA	NA	NA	7,7	NA	NA	NA	6
<b>DBO</b>	mg/L	5	NA	2,1	<2	<2	NA	NA	<2	<2	NA	NA	<2	<2
<b>DQO</b>	mg/L		NA	10	<5	<5	NA	NA	8	<5	NA	NA	<5	<5
<b>Óleos e Graxas</b>	mg/L	Virtualmente ausente	NA	<1	<1	NA	NA	NA	<1	NA	NA	NA	<1	NA
<b>Fenóis</b>	mg/L	0,003	NA	<0,001	NA	NA	NA	NA	<0,001	NA	NA	NA	NA	NA

		Bolo Fofo (montante)					Afluente Piraputanga (Jusante)				Piraputanga (Montante)			
<b>Nitrogênio Total</b>	mg/L		NA	0,61	0,26	NA	NA	NA	0,26	NA	NA	NA	0,57	NA
<b>Fosforo Total</b>	mg/L	0.025 mg/l	NA	0,05	0,01	0,05	NA	NA	0,01	<0,01	NA	NA	0,03	0,08
<b>Alumínio Total</b>	mg/L		NA	0.455	0,032	NA	NA	NA	0,0119	NA	NA	NA	<0,0001	NA
<b>Alumínio Dissolvido</b>	mg/L	0,1	NA	0,033	0,029	0,024	NA	NA	0,011	0,022	NA	NA	<0,0001	0,005
<b>Ferro Dissolvido</b>	mg/L	0,3	NA	0,072	0,055	0,055	NA	NA	0,127	0,066	NA	NA	0,092	0,009
<b>Ferro Total</b>	mg/L		NA	0,354	0,12	0,155	NA	NA	0,39	0,1955	NA	NA	0,068	0,0276
<b>Bário Total</b>	mg/L	0,7	NA	0,0023	<0,0005	<0,0005	NA	NA	0,0142	0,0067	NA	NA	<0,005	0,0023
<b>Nitrogênio Amoniacal Total</b>	mg/L		NA	<0,1	NA	<0,1	NA	NA	<0,1	<0,1	NA	NA	NA	<0,1
<b>Manganês Dissolvido</b>	mg/L		NA	0,002	<0,0001	<0,0001	NA	NA	0,015	<0,0001	NA	NA	0,036	<0,0001
<b>Manganês Total</b>	mg/L	0,1	NA	0,0243	0,008	0,0086	NA	NA	0,0256	0,0111	NA	NA	0,025	0,0048
<b>Coliformes Totais</b>	NMP		NA	NA	NA	18500	NA	NA	NA	2420	NA	NA	NA	5850
<b>Coliformes Termo-tolerantes</b>	NMP	1x10 <sup>3</sup>	NA	NA	NA	1203	NA	NA	NA	720	NA	NA	NA	370
<b>Zinco</b>	mg/L	0,18	NA	0,0072	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA
<b>Zinco Dissolvido</b>	mg/L		NA	0,007	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA
<b>Arsênio</b>	mg/L	0,01	NA	<0,1	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA
<b>Arsênio Dissolvido</b>	mg/L		NA	<0,0001	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA
<b>Bário Dissolvido</b>	mg/L		NA	0,001	<0,0005	NA	NA	NA	0,014	NA	NA	NA	<0,0005	NA
<b>Cádmio</b>	mg/L	0,001	NA	<0,1	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA

		Bolo Fofo (montante)					Afluente Piraputanga (Jusante)					Piraputanga (Montante)			
<b>Cádmio Dissolvido</b>	mg/L		NA	<0,0001	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA	NA	NA	NA	<0,0001	NA
<b>Chumbo</b>	mg/L	0,01	NA	<0,0005	<0,0005	NA	NA	NA	<0,0005	NA	NA	NA	NA	<0,0005	NA
<b>Chumbo Dissolvido</b>	mg/L		NA	<0,0005	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0005	NA	NA	NA	NA	<0,0005	NA
<b>Cromo</b>	mg/L	0,05	NA	0,001	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA	NA	NA	NA	<0,0001	NA
<b>Cromo Dissolvido</b>	mg/L		NA	<0,0001	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA	NA	NA	NA	<0,0001	NA
<b>Mercúrio Dissolvido</b>	mg/L		NA	<0,0001	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA	NA	NA	NA	<0,0001	NA
<b>Selênio</b>	mg/L	0,01	NA	<0,5	<0,0005	NA	NA	NA	<0,0005	NA	NA	NA	NA	<0,0005	NA
<b>Selênio Dissolvido</b>	mg/L		NA	<0,0005	<0,0005	NA	NA	NA	<0,0005	NA	NA	NA	NA	<0,0005	NA
<b>Cobre</b>	mg/L		NA	0.0002	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA	NA	NA	NA	<0,0001	NA
<b>Cobre Dissolvido</b>	mg/L	0,009	NA	<0,0001	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA	NA	NA	NA	<0,0001	NA
<b>Fluoreto</b>	mg/L	1,4	NA	<0,1	<0,1	NA	NA	NA	<0,1	NA	NA	NA	NA	<0,1	NA
<b>Prata</b>	mg/L	0,01	NA	<0,1	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA	NA	NA	NA	<0,0001	NA
<b>Prata Dissolvida</b>	mg/L		NA	<0,0001	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA	NA	NA	NA	<0,0001	NA
<b>Nitrato (como N)</b>	mg/L	10	NA	<0,1	<0,1	NA	NA	NA	<0,1	NA	NA	NA	NA	<0,1	NA
<b>Nitrito (como N)</b>	mg/L	1	NA	<0,02	<0,02	NA	NA	NA	<0,02	NA	NA	NA	NA	0,03	NA
<b>Mercúrio</b>	mg/L	0,0002	NA	<0,1	<0,0001	NA	NA	NA	<0,0001	NA	NA	NA	NA	<0,0001	NA
<b>Acidez</b>	mg/L		NA	<1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

		Bolo Fofo (montante)				Afluente Piraputanga (Jusante)				Piraputanga (Montante)				
<b>Nitrogênio Orgânico</b>	mg/L		NA	0,61	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Níquel Total</b>	µg/L	100	NA	<0,1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Cloreto</b>	mg/L	75	NA	<1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Alcalinidade Bicarbonatos</b>	mg/L		NA	<5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Dureza Carbonato</b>	mg/L		NA	<5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Sulfeto</b>	mg/L		NA	<0,05	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Níquel Dissolvido</b>	mg/L		NA	<0,0001	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Sulfato</b>	mg/L	500	NA	<1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Alcalinidade Carbonatos</b>	mg/L	>5	NA	<5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Surfactantes</b>	mg/L		NA	<0,1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Cianeto</b>	mg/L		NA	<0,005	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

**Tabela 4.1.8.6.1.1-2.** Resultados das análises de qualidade das águas superficiais do córrego Piraputanga - Área de Influência Direta (AID) (2011).

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 357/05 Águas Doce Classe II	(PPRM) Ponto Piraputanga a montante		(PPRJ1) Ponto Piraputanga a jusante 1		(PPRJ2) Ponto Piraputanga a jusante 2		(PPRJ3) Ponto Piraputanga a jusante 3		(AP2) Afluente do Piraputanga 2	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
Temperatura	°C	-	24,2	27,6	24	29,1	22,5	28	24	28,26	24,2	25,2
Condutividade		-	22	13	15	10	10	10	22	7	9	10
Salinidade	mg/L	-	0,01	0	0,01	0	0	0	0,01	0	0	0
Oxigênio Dissolvido	mg/L	maior ou igual a 6	4,3	8,2	4,82	8,5	4,85	2,2	3,95	8,7	4,08	5,7
pH	-	6.0 a 9.0	6,35	5,83	6,04	6	5,86	6	6,56	5,99	5,99	5,96
Turbidez	NTU	40	11,09	0,31	1,88	0,6	2,9	1,86	3,96	1,31	6,3	3,87
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	3.7 mg/l	<0,5	<0,01	<0,5	<0,01	<0,5	<0,01	<0,4	<0,01	<0,4	<0,01
Nitrogênio	mg/L	-	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 357/05 Águas Doce Classe II	(PPRM) Ponto Piraputanga a montante		(PPRJ1) Ponto Piraputanga a jusante 1		(PPRJ2) Ponto Piraputanga a jusante 2		(PPRJ3) Ponto Piraputanga a jusante 3		(AP2) Afluente do Piraputanga 2	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
Kjeldahl												
Nitrato	mg/L	10 mg/l	<0,23	<0,02	<0,23	<0,02	<0,23	<0,02	<0,23	<0,02	<0,23	<0,02
Nitrito	mg/L	1.0 mg/l	<0,30	<0,002	<0,30	<0,002	<0,30	<0,002	<0,30	<0,002	<0,30	<0,002
Fósforo total	mg/L	0.025 mg/l	0,04	<0,1	0,056	<0,1	0,047	<0,1	<0,03	<0,1	<0,03	<0,1
cloreto	mg/L	250 mg/l	1,78	10,6	8,55	10,1	<1	14,2	0,4	10,1	0,7	16,7
Alcalinidade	mg/L	-	<20	3,12	<20	5,21	<20	6,25	<20	6,25	<20	9,3
Dureza	mg/L	-	1,29	31	0,88	23,5	1,71	26,7	3	21,4	4	21,4
RFT	mg/L	-	102	11	222	28	208	14	0	10	0	7
RNFT	mg/L	-	92	13	136	1	126	2	<20	9	<20	3
COT	mg/L	-	0,6	0,5	1,3	1	0,5	0,7	<1,0	0,5	<1	0,7
Óleos e graxas	mg/L	virtualmente	AUSENTE	22	AUSENTE	41,2	AUSENTE	28	AUSENTE	93,6	AUSENTE	106,8

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 357/05 Águas Doce Classe II	(PPRM) Ponto Piraputanga a montante		(PPRJ1) Ponto Piraputanga a jusante 1		(PPRJ2) Ponto Piraputanga a jusante 2		(PPRJ3) Ponto Piraputanga a jusante 3		(AP2) Afluente do Piraputanga 2	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
		ausentes										
Surfactantes	mg/L LAS	0,5	<0,5	<0,2	<0,5	<0,2	<0,5	<0,2	<0,2	<20	<0,2	<20
Cor	Mg Pt/L	75 Mg Pt/L	2,5	0	0	6	7,5	17	5	10,4	40	21,4
DBO	mg/L	<5	<2	1,8	<2	1,2	<2	1,8	<2	1,5	<2	1,5
DQO	mg/L	-	<10	44,8	<10	51,2	17	32	14	51,2	<10	38,4
Clorofila a	mg/L	<10 µg/l	<0,01	16,69	<0,01	<1	0,74	<1	0,26	6,41	<0,01	22,34
feofitina	mg/L	-	<0,01	<16,25	<0,01	<1,30	<0,01	<1,30	<0,01	<2,60	<0,01	<2,50
Alumínio total	mg/L	-	0,078	<0,01	0,046	0,01	0,74	<0,01	0,02	<0,01	0,02	<0,01
Cádmio	mg/L	0.001 mg/l	0,002	<0,003	0,002	<0,003	0,001	<0,003	<0,001	<0,00015	<0,001	<0,00015
Chumbo	mg/L	0.01 mg/l	0,002	<0,002	0,002	<0,002	0,002	<0,002	<0,01	<0,002	<0,01	<0,002

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 357/05 Águas Doce Classe II	(PPRM) Ponto Piraputanga a montante		(PPRJ1) Ponto Piraputanga a jusante 1		(PPRJ2) Ponto Piraputanga a jusante 2		(PPRJ3) Ponto Piraputanga a jusante 3		(AP2) Afluente do Piraputanga 2	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
Cobre Total	mg/L	-	0,004	<0,01	0,003	<0,01	0,004	0,01	<0,001	<0,01	0,002	<0,01
Cromo	mg/L	0.05 mg/l	0,004	<0,01	0,003	<0,01	0,003	<0,01	<0,002	<0,01	<0,002	<0,01
Ferro Total	mg/L	0.3 mg/l	0,065	0,1	0,038	0,1	0,067	0,2	0,4	0,02	0,4	0,2
Manganês	mg/L	0.1 mg/l	0,003	<0,01	<0,0002	0,01	<0,0002	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02
Magnésio	mg/L	-	0,12	3,13	0,081	3,11	0,18	3,37	0,3	4,4	0,4	3,9
Merúrio	mg/L	0.0002 mg/l	0,009	<0,0001	0,009	<0,0001	0,008	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0002	<0,0001
Níquel	mg/L	0.025 mg/l	<0,0002	<0,01	<0,0002	<0,01	<0,0002	<0,01	<0,0002	<0,01	<0,0002	<0,01
Potássio	mg/L	-	3,21	ND	2,4	ND	1,6	ND	0,5	ND	0,5	ND
Sódio	mg/L	-	0,5	ND	0,28	ND	0,34	ND	0,5	ND	0,9	ND
Zinco	mg/L	0.18 mg/l	<0,003	<0,02	<0,003	0,03	<0,003	<0,02	<0,003	<0,02	0,004	<0,02

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 357/05 Águas Doce Classe II	(PPRM) Ponto Piraputanga a montante		(PPRJ1) Ponto Piraputanga a jusante 1		(PPRJ2) Ponto Piraputanga a jusante 2		(PPRJ3) Ponto Piraputanga a jusante 3		(AP2) Afluente do Piraputanga 2	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
Coliformes termo- tolerantes	NMP	1000/100ml	1733	370	42	1000	3	240	6	360	8	520
Coliformes totais	NMP/100ml	-	>2419	1550	85,4	1590	22	1600	711	1720	1443	1200

**Tabela 4.1.8.6.1.1-3.** Resultados das análises de qualidade das águas superficiais do Córrego Bolo Fofó - Área de Influência Direta (AID) (2011).

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 357/05 Águas Doce Classe II	(CBFM) Córrego Bolo Fofó à montante		(CBFJ) Córrego Bolo Fofó à jusante	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
Temperatura	°C	-	19,5	23,38	19,2	22,76
Condutividade		-	7	9	5	3
salinidade	mg/L	-	0	-	0	0
Oxigênio Dissolvido	mg/L	maior ou igual a 6	8,09	7,4	8,02	8
Ph	-	6.0 a 9.0	5,93	6,27	5,51	6,09
Turbidez	NTU	40	1,9	0,47	3,8	0,1
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	3.7 mg/l	<0,5	<0,01	<0,5	<0,01
Nitrogênio Kjeldahl	mg/L	-	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02
Nitrato	mg/L	10 mg/l	<0,23	<0,02	<0,23	<0,02
Nitrito	mg/L	1.0 mg/l	<0,30	<0,002	<0,30	<0,002
Fósforo total	mg/L	0.025 mg/l	0,03	0,1	0,03	0,1
cloreto	mg/L	250 mg/l	2,68	16,7	<1	14,2
Alcalinidade	mg/L	-	<20	5,21	<20	5,21
Dureza	mg/L	-	0,37	13,9	0,99	10,7
RFT	mg/L	-	188	17	114	19

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 357/05 Águas Doce Classe II	(CBFM) Córrego Bolo Fofo à montante		(CBFJ) Córrego Bolo Fofo à jusante	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
RNFT	mg/L	-	132	54	74	1
COT	mg/L	-	1,4	3,2	1,3	1,3
Óleos e graxas	mg/L	Virtualmente ausentes	AUSENT E	4	AUSENT E	19,6
Surfactantes	mg/L LAS	0,5	<0,5	<0,20	<0,5	<0,20
Cor	Mg Pt/L	75 Mg Pt/L	5	5	5	<5
DBO	mg/L	<5	<2	1,2	<2	1,3
DQO	mg/L	-	<10	44,8	<10	32
Clorofila a	mg/L	<10 µg/l	<0,01	25,16	1,42	<1,82
Feofitina	mg/L	-	0,48	<2,50	<0,01	<2,36
Alumínio total	mg/L	-	0,042	0,01	1,46	<0,01
Cádmio	mg/L	0.001 mg/l	0,002	<0,0001 5	0,002	<0,0001 5
Chumbo	mg/L	0.01 mg/l	0,001	0,04	0,001	<0,002
Cobre Total	mg/L	-	0,005	<0,01	0,002	<0,01
Cromo	mg/L	0.05 mg/l	0,003	<0,01	0,003	<0,01
Ferro Total	mg/L	0.3 mg/l	0,036	0,2	0,043	0,2
Manganês	mg/L	0.1 mg/l	0,002	0,04	0,005	0,02
Magnésio	mg/L	-	0,04	2	0,2	10,7
Mercurio	mg/L	0.0002 mg/l	0,018	<0,0001	0,0006	<0,0001

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 357/05 Águas Doce Classe II	(CBFM) Córrego Bolo Fofo à montante		(CBFJ) Córrego Bolo Fofo à jusante	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
Níquel	mg/L	0.025 mg/l	0,002	<0,01	<0,002	<0,01
Potássio	mg/L	-	2,12	ND	1,44	ND
Sódio	mg/L	-	0,77	ND	0,13	ND
Zinco	mg/L	0.18 mg/l	<0,003	<0,02	<0,003	<0,02
Coliformes termo- tolerantes	NMP	1000/100ml	71	140	12,4	90
Coliformes totais	NMP/100 ml	-	1300	1760	128	2000

**Tabela 4.1.8.6.1.1-4.** Resultados das análises de sedimento do córrego Piraputanga - Área de Influência Direta (AID) (2011).

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 344/04 Valor Alerta (Nível 1)	(PPRM) Ponto Piraputanga a montante		(PPRJ1) Ponto Piraputanga a jusante 1		(PPRJ2) Ponto Piraputanga a jusante 2		(PPRJ3) Ponto Piraputanga a jusante 3		(AP2) Afluente do Piraputanga 2	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
Alumínio	(mg/Kg)	-	33567	22700	14185	11200	13407	24400	17756	17600	24602	38200
Arsênio	(mg/Kg)	5,9	<1,3	<0,3	<1,3	<0,3	<1,3	<0,3	<3,3	<0,3	<3,3	<0,3
Berílio	(mg/Kg)	-	<0,3	<0,27	<0,3	<0,27	<0,3	<0,27	<0,027	<0,27	<0,027	<0,27
Bário	(mg/Kg)	-	257	437	426	221	497	474	435	274	368	316
Boro	(mg/Kg)	-	<6,7	<3,3	<6,7	<3,3	<6,7	<3,3	<6,7	<3,3	<6,7	21
Cálcio	(mg/Kg)	-	246	600	536	308	441	955	774	390	2004	443
Cádmio	(mg/Kg)	0,6	0,43	15	0,7	28	0,73	7,1	1	2,8	0,53	25
Chumbo	Mg/Kg)	35	2,8	28	6,4	45	3,3	19	11,7	9,5	10	35
Cobre	(mg/Kg)	35,7	12	6,6	1,8	8,6	1,2	7,1	1,85	2,8	3,48	17
Cobalto	(mg/Kg)	-	4	3,1	<0,7	12	<0,7	<0,4	0,65	<0,4	1,2	8,2

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 344/04 Valor Alerta (Nível 1)	(PPRM) Ponto Piraputanga a montante		(PPRJ1) Ponto Piraputanga a jusante 1		(PPRJ2) Ponto Piraputanga a jusante 2		(PPRJ3) Ponto Piraputanga a jusante 3		(AP2) Afluente do Piraputanga 2	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
Cromo total	(mg/Kg)	37,3	70	12	9,2	11	4	15	3,38	8,3	6,96	20
Estanho	(mg/Kg)	-	<6,7	<6,7	<6,7	<6,7	<6,7	<6,7	<1,4	<6,7	<1,4	<6,7
Ferro Total	(mg/Kg)	-	258564	232800	42497	427800	18824	122700	20146	45600	47421	436100
Lítio	(mg/Kg)	-	4	1,8	<0,7	1,5	<0,7	1,8	1,34	3	6,7	5,2
Manganês	(mg/Kg)	-	495	847	417	433	154	197	411	189	96	298
Mercúrio	(mg/Kg)	0,17	<0,1	<0,001	<0,1	0,02	<0,1	0,02	<0,033	0,07	<0,033	0,05
Níquel	(mg/Kg)	18	<0,7	1,8	<0,7	4,1	<0,7	1,9	1,52	2,1	3,19	3,6
Prata	(mg/Kg)	-	<3,3	0,44	<3,3	0,61	<3,3	<0,3	<0,33	<0,3	<0,33	<0,3
Vanádio	(mg/Kg)	-	60	28	9,9	44	5,2	33	9,1	15	18,3	51
Zinco	(mg/Kg)	123	16	<0,5	3,8	<0,5	2,8	<0,5	5,11	4,3	9,1	<0,5
Matéria Orgânica Total	% p/p	10	2,2	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	0,44	<0,9	1,04	2,5

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 344/04 Valor Alerta (Nível 1)	(PPRM) Ponto Piraputanga a montante		(PPRJ1) Ponto Piraputanga a jusante 1		(PPRJ2) Ponto Piraputanga a jusante 2		(PPRJ3) Ponto Piraputanga a jusante 3		(AP2) Afluente do Piraputanga 2	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
Fósforo Total	(mg/Kg)	2000	956	352	157	475	118	362	161	289	136	820
Fosfato	(mg/Kg)	-	<2,4	14	14	24,8	16	13,5	<0,6	13,7	<0,6	12,1
Nitrogênio Kjeldhal	(mg/Kg)	4800	275	736	<218	442	<218	<218	742	<218	789	653
Porcentagem de sólidos	% p/p	-	73	91,5	90	32	92	90,1	73,3	82,8	75,1	70,4
Alcalinidade carbonatos	% p/p	-	<0,9	1,2	<0,9	8	<0,9	<0,9	0,07	2,1	0,4	<0,9
Sílica	% p/p	-	21	52,2	30	23,6	84	54,3	95,8	46,3	94,8	17,2
Sulfeto	(mg/Kg)	-	<214	<214	<214	<214	<214	<214	<6	<214	<6	<214
Grânulos	%	Maior que 2mm	5,14	52,52	42,54	97,92	46	43,51	-	22,17	-	0,19
Areia muito Grossa	%	2 a 1mm	1,04	14,59	25,38	1,33	18,27	22,61	1,00	11,32	0,70	0,12
Areia Grossa	%	1 a 0,5mm	0,81	11,39	15,58	0,6	9,07	9,43	22,30	14,50	34,70	0,5

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 344/04 Valor Alerta (Nível 1)	(PPRM) Ponto Piraputanga a montante		(PPRJ1) Ponto Piraputanga a jusante 1		(PPRJ2) Ponto Piraputanga a jusante 2		(PPRJ3) Ponto Piraputanga a jusante 3		(AP2) Afluente do Piraputanga 2	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
Areia Média	%	0,5 a 0,25mm	0,54	9,18	9,66	0,08	12,6	6,72	39,70	16,61	12,60	0,9
Areia Fina	%	0,25 a 0,125mm	0,46	6,06	4,69	0,11	10,15	8,69	15,00	13,09	9,60	1,29
Areia muito Fina	%	0,125 a 0,062mm	0,59	3,37	0,88	0,03	3,17	6,88	4,50	8,31	6,10	22,69
Silte	%	0,062 a 0,00394mm	61,23	0,99	0,36	0	0,32	0,83	13,2	6,43	23,9	52,66
Argila	%	0,00394 a 0,0002mm	26,03	1,53	0,4	0	0,25	1,01	4,3	5,18	12,4	17,84

**Tabela 4.1.8.6.1.1-5.** Resultados das análises de sedimento do córrego Bolo Fofó - Área de Influência Direta (AID) (2011).

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 344/04 Valor Alerta (Nível 1)	(CBFM) Córrego Bolo Fofó à montante		(CBFJ) Córrego Bolo Fofó à jusante	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
Alumínio	(mg/Kg)	-	9542	33500	13697	17800
Arsênio	(mg/Kg)	5,9	<1,3	<0,3	<1,3	<0,3
Berílio	(mg/Kg)	-	<0,3	<0,27	<0,3	<0,27
Bário	(mg/Kg)	-	111	154	130	84
Boro	(mg/Kg)	-	<6,7	4,51	<6,7	<3,3
Cálcio	(mg/Kg)	-	109	497	189	228
Cádmio	(mg/Kg)	0,6	<0,6	22	<0,6	37
Chumbo	Mg/Kg)	35	2,2	32	<0,7	40
Cobre	(mg/Kg)	35,7	7,9	13	11	8,4
Cobalto	(mg/Kg)	-	14	10	5,3	11
Cromo total	(mg/Kg)	37,3	55	41	59	7,5
Estanho	(mg/Kg)	-	<6,7	<6,7	<6,7	<6,7
Ferro Total	(mg/Kg)	-	157764	345500	181064	544300
Lítio	(mg/Kg)	-	5,4	12	10	2,8
Manganês	(mg/Kg)	-	3088	1100	382	128
Cobalto	(mg/Kg)	-	14	10	5,3	11
Mercúrio	(mg/Kg)	0,17	<0,1	<0,001	<0,1	<0,001
Níquel	(mg/Kg)	18	<0,7	6,6	<0,7	2,4

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 344/04 Valor Alerta (Nível 1)	(CBFM) Córrego Bolo Fofo à montante		(CBFJ) Córrego Bolo Fofo à jusante	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
Prata	(mg/Kg)	-	<3,3	<0,3	<3,3	1,3
Vanádio	(mg/Kg)	-	78	76	73	55
Zinco	(mg/Kg)	123	21	6,9	32	<0,5
Matéria Orgânica Total	%	10	1,3	5,9	1,5	4,8
Fósforo Total	(mg/Kg)	2000	748	866	803	580
Fosfato	(mg/Kg)	-	<2,4	12,2	<2,4	12,3
Nitrogênio Kjeldhal	(mg/Kg)	4800	<218	1259	488	2059
Sílica	%	-	30	18,4	31	3,8
Carbonatos	(mg/Kg)	-	<0,9	1	<0,9	<0,9
Sulfeto	(mg/Kg)	-	<214	<214	<214	<214
Porcentagem de sólidos	%	-	88	66,6	95	77,2
Grânulos	%	Maior que 2mm	76,86	46,22	95,93	99,36
Areia muito Grossa	%	2 a 1mm	9,38	11,45	1,8	0,25
Areia Grossa	%	1 a 0,5mm	6,35	12,7	0,88	0,13
Areia Média	%	0,5 a 0,25mm	4,07	13,45	0,36	0,17
Areia Fina	%	0,25 a 0,125mm	1,5	7,04	0,43	0,02

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 344/04 Valor Alerta (Nível 1)	(CBFM) Córrego Bolo Fofó à montante		(CBFJ) Córrego Bolo Fofó à jusante	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
Areia muito Fina	%	0,125 a 0,062mm	0,76	3,49	0,2	0,01
Silte	%	0,062 a 0,00394mm	0	3,76	0	0
Argila	%	0,00394 a 0,0002mm	0	1,48	0	0

#### 4.1.8.6.1.2 Bacia do rio Paraguai - Área de Influência Indireta (AII)

Dados estabelecidos pela EMBRAPA-PANTANAL (2011), mostram que o rio Paraguai ainda que tenha uma água dentro dos padrões para consumo humano após tratamento convencional, está sofrendo impacto em sua qualidade, em função do aporte de esgoto doméstico decorrente do incremento de população, tanto pelo aumento do número de coliformes fecais quanto pelas elevadas concentrações das formas de nitrogênio e fósforo. Dados pretéritos do monitoramento realizado em 2007 e 2008 pela MCR reforçam o fato do rio Paraguai receber esgoto doméstico, em função dos altos níveis de coliformes termotolerantes observados (Tabela 4.1.8.6.1.2-1). Níveis de ferro, alumínio e manganês são relacionados a geoquímica da região.

**Tabela 4.1.8.6.1.2-1.** Resultados da análise de qualidade das águas superficiais do rio Paraguai – Área de Influência Indireta (AII) (Vale - 2008).

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 357- Classe 2	2008	
			1ºSEM.	2ºSEM.
<b>pH</b>		6,0 a 9,0	7,12	6,98
<b>Alcalinidade Total</b>	mg/L	-	NA	28
<b>Temperatura da água</b>	°C	-	NA	2.
<b>Turbidez</b>	UNT	100	6,4	13
<b>Cor</b>	uH(mgPtCo/ L)	75	113	24
<b>Dureza Total</b>	mg/L	-	NA	20
<b>Condutividade elétrica</b>	µS/cm	-	62	59
<b>Sólidos Sedimentáveis</b>	ml/L	-	<0,3	<0,3
<b>Sólidos Suspensão</b>	mg/L	-	<5	<2
<b>Sólidos Dissolv. Totais</b>	mg/L	500	27	126
<b>OD</b>	mg/L	>5	NA	5,9
<b>DBO</b>	mg/L	5	12	<2
<b>DQO</b>	mg/L	-	31	11
<b>Óleos e Graxas</b>	mg/L	-	<1	NA
<b>Nitrogênio Total</b>	mg/L		17	NA
<b>Fosforo Total</b>	mg/l	0 03	0 038	0 01

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 357- Classe 2	2008	
			1ºSEM.	2ºSEM.
<b>Alumínio Total</b>	mg/L	-	0,059	NA
<b>Alumínio Dissolvido</b>	mg/L	0,1		0,136
<b>Ferro Dissolvido</b>	mg/L	0,3	0,648	0,151
<b>Ferro Total</b>	mg/L		0,674	0,4527
<b>Bário Total</b>	mg/L	0,7	NA	0,0296
<b>Nitrogênio Amoniacal Total</b>	mg/L	-	NA	<0,1
<b>Manganês Dissolvido</b>	mg/L		0,021	0,006
<b>Manganês Total</b>	mg/L	0,1	0,03	0,0293
<b>NMP de Coliformes Totais</b>	UFC/100ml	1000	350000	8920

Os resultados da campanha realizada durante o mês de junho (seca) e novembro (chuva) de 2011, nas águas superficiais e sedimentos do rio Paraguai encontram-se nas Tabelas 4.1.8.6.1.2-2 e 4.1.8.6.1.2-3. Os resultados obtidos foram comparados com a Resolução CONAMA Nº 357/05 (água doce classe 2) e 344/04 (sedimentos). Os dois eventos de amostragem foram realizados em três pontos situados ao redor da área de implantação da adutora. Os resultados de qualidade das águas evidenciam valores elevados de resíduos, indicando o carreamento de sedimentos ao longo do rio.

Os altos valores de ferro total detectados no rio Paraguai não estão enquadrados no limite estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 357/05 (0,3mg/L), ver Tabela 4.1.8.6.1.2-2. O cádmio apresentou o mesmo perfil da Área de Influência Direta, ou seja, valores em concentração levemente superiores (0,002mg/L) ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 357/05 (0,001mg/L) em todos os pontos do rio Paraguai.

O rio Paraguai recebe ao longo de seus percursos resíduos agrícolas e efluentes domésticos sem tratamento prévio, o que pode comprometer a qualidade microbiológica deste rio. Foram detectados elevados valores de coliformes no ponto a montante e à jusante da área de implantação da adutora (PRPM e PPRJ). A variabilidade nos valores de contaminantes microbiológicos entre os pontos de coleta e épocas do ano é comum nos trabalhos de monitoramento da qualidade da água em uma micro bacia hidrográfica. (MBH) como exemplo, Crabill et al. (1999) constataram que as concentrações de coliformes termotolerantes podem variar com o revolvimento do sedimento do rio, com alterações no terreno e na vazão ( Gonçalves et al., 2005). Segundo índice de estado trófico de Carlson (1977), o rio Paraguai pode ser considerado em estado mesotrófico. Nota-se que no período de cheia há uma redução de matéria orgânica e fósforo transportado pelo rio Paraguai. Nesse período as águas do rio estão em contato com a planície de inundação e a redução de fósforo nesse período indica a retenção de nutrientes na planície de inundação.

Quanto aos sedimentos, o rio Paraguai apresentou resultados similares aos detectados no córrego Piraputanga e Bolo Foro, isto é, elevado teor de alumínio, bário, cálcio, ferro, manganês, baixo teor de matéria orgânica e fósforo total, ver Tabela 4.1.8.6.1.2-3. Todos os parâmetros detectados no rio Paraguai apresentaram concentrações abaixo do especificado pela Resolução CONAMA Nº 344/04. Durante o período de seca, os pontos localizados a jusante (PRPJ) e alagado (PRPA) apresentaram valores de carga orgânica superiores ao localizado à montante. Os sedimentos nos três pontos são compostos, em sua maioria, por areia fina à muito fina. Não foram observados metais tóxicos como arsênio e mercúrio. A ocorrência de chumbo e cromo nos sedimentos, especialmente no ponto a montante (PRPM), pode ser considerada característica da geoquímica local. Contudo, os níveis observados não ultrapassam os valores considerados de alerta, segundo a Resolução CONAMA Nº 344/04.

**Tabela 4.1.8.6.1.2-2.** Resultados das análises de qualidade das águas superficiais da bacia do rio Paraguai – Área de Influência Indireta (AII) (2011).

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 357/05 Águas Doce Classe II	PRPM (Ponto rio Paraguai a Montante)		PRPJ (Ponto rio Paraguai a Jusante)		PRPA (Ponto rio Paraguai Alagado)	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
Temperatura	°c	-	24	31	24	30	21,5	Não houve coleta*
Condutividade		-	67	51	65	51	64	
Salinidade	mg/L	-	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	
Oxigênio Dissolvido	mg/L	maior ou igual a 6	1,23	6,1	1,58	6	0,94	
Ph	-	6.0 a 9.0	6,4	6,41	6,3	6,24	5,73	
Turbidez	NTU	40	1,89	29,9	2,2	35	1,7	
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	3.7 mg/l	<0,5	<0,01	<0,5	<0,01	<0,5	
Nitrogênio Kjeldahl	mg/L	-	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02	<0,5	
Nitrato	mg/L	10 mg/l	<0,23	<0,02	<0,23	<0,02	<0,23	
Nitrito	mg/L	1.0 mg/l	<0,30	<0,002	<0,30	<0,002	<0,30	
Fósforo total	mg/L	0.025 mg/l	0,086	<0,1	0,07	<0,1	0,07	
Cloreto	mg/L	250 mg/l	<1	10,1	<1	5,3	4,8	
Alcalinidade	mg/L	-	21	23,9	<20	19,7	24,8	
Dureza	mg/L	-	23,32	42,8	22,13	52,4	22,53	
RFT	mg/L	-	184	83	212	82	144	
RNFT	mg/L	-	88	4	28	11	26	

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 357/05 Águas Doce Classe II	PRPM (Ponto rio Paraguai a Montante)		PRPJ (Ponto rio Paraguai a Jusante)		PRPA (Ponto rio Paraguai Alagado)	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
COT	mg/L	-	11	3,8	11	4,6	11	
Óleos e graxas	mg/L	virtualmente ausentes	ausente	26,4	ausente	26,8	ausente	
Surfactantes	mg/L LAS	0,5	<0,5	<0,20	<0,5	<0,20	<0,50	
Cor	Mg Pt/L	75 Mg Pt/L	100	72,5	75	104	75	
DBO	mg/L	<5	<2	1,5	<2	1,3	<2	
DQO	mg/L	-	27	96	39	128	49	
Clorofila a	mg/L	<10 µg/l	2	<5	2,1	7,07	3,1	
feofitina	mg/L	-	0,33	16,82	<0,01	8,32	<0,01	
Alumínio total	mg/L	-	0,04	0,05	0,03	<0,01	0,02	
Cádmio	mg/L	0.001 mg/l	0,002	<0,00015	0,002	<0,00015	0,002	
Chumbo	mg/L	0.01 mg/l	0,003	0,008	0,002	0,004	0,003	
Cobre Total	mg/L	-	0,003	<0,01	0,004	<0,01	0,005	
Cromo	mg/L	0.05 mg/l	0,004	<0,01	0,004	<0,01	0,004	
Ferro Total	mg/L	0.3 mg/l	0,78	0,4	0,76	<0,01	0,72	
Manganês Total	mg/L	0.1 mg/l	0,002	0,01	0,002	<0,01	0,002	
Magnésio	mg/L	-	2,36	6	2,5	8,8	2,5	
Mercúrio	mg/L	0.0002 mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	
Níquel	mg/L	0.025 mg/l	<0,002	<0,01	0,002	<0,01	0,002	
Potássio	mg/L	-	4,6	0,3	6,5	0,3	6,3	

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 357/05 Águas Doce Classe II	PRPM (Ponto rio Paraguai a Montante)		PRPJ (Ponto rio Paraguai a Jusante)		PRPA (Ponto rio Paraguai Alagado)	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
Sódio	mg/L	-	2,1	ND	1,4	ND	1,4	
Zinco	mg/L	0.18 mg/l	<0,003	<0,02	<0,003	<0,02	<0,003	
Coliformes termotolerantes	NMP	1000/100ml	1203	360	10	900	80	
Coliformes totais	NMP/100ml	-	>2419	840	78	5900	372	

**Tabela 4.1.8.6.1.2-3.** Resultados das análises de sedimento da bacia do rio Paraguai – Área de Influência Indireta (AII) (2011).

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA344/04 Valor alerta (nível 1)	PRPM (Ponto rio Paraguai a Montante)		PRPJ (Ponto rio Paraguai a Jusante)		PRPA (Ponto rio Paraguai Alagado)		
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	
Alumínio	(mg/Kg)	-	37542	3700	28795	6000	20872		Não Houve coleta
Arsênio	(mg/Kg)	5,9	<1,3	<0,3	<1,3	<0,3	<1,3		
Berílio	(mg/Kg)	-	<0,3	<0,27	<0,3	<0,27	<0,3		
Bário	(mg/Kg)	-	82	81	195	137	167		
Boro	(mg/Kg)	-	<6,7	<3,3	<6,7	8,5	<6,7		
Cálcio	(mg/Kg)	-	418	118	752	179	852		
Cádmio	(mg/Kg)	0,6	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,7		
Chumbo	(mg/Kg)	35	8,1	1,7	6,2	2,5	5,2		
Cobre	(mg/Kg)	35,7	10	1,7	8,3	2	9,1		
Cobalto	(mg/Kg)	-	6,5	0,61	4,5	0,74	6,9		
Cromo Total	(mg/Kg)	37,3	34	2,2	17	3,9	14		
Estanho	(mg/Kg)	-	<6,7	<6,7	<6,7	<6,7	<6,7		
Ferro total	(mg/Kg)	-	16484	2700	14247	3700	10070		
Lítio	(mg/Kg)	-	19	3,5	10	4,3	8,5		
Manganês	(mg/Kg)	-	103	34	123	56	137		
Mercúrio	(mg/Kg)	0,17	<0,1	0,05	<0,1	<0,001	<0,1		
Níquel	(mg/Kg)	18	4,6	<1,7	<0,7	<1,7	<0,7		

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA344/04 Valor alerta (nível 1)	PRPM (Ponto rio Paraguai a Montante)		PRPJ (Ponto rio Paraguai a Jusante)		PRPA (Ponto rio Paraguai Alagado)	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
Prata	(mg/Kg)	-	<3,3	<0,3	<3,3	<0,3	<3,3	
Vanádio	(mg/Kg)	-	56	5,7	32	8,6	23	
Zinco	(mg/Kg)	123	24	3,1	21	3,9	22	
Materia Orgânica Total	%	10%	<0,9	<0,9	6,2	<0,9	6,7	
Fósforo Total	(mg/Kg)	2000	95	28	192	42	197	
Fosfato	(mg/Kg)	-	<2,4	12	3	11,8	<2,4	
Nitrogênio Kjeldhal	(mg/Kg)	4800	<218	<218	2234	<218	2621	
Sílica	%		29	61	95	48,6	97	
Carbonatos	(mg/Kg)		<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	
Sulfeto	(mg/Kg)		<214	<214	<214	<214	<214	
Porcentagem de sólidos	%		79	82,7	24	81	62	
Granulometria								
Grânulos	%	Maior que 2mm	0	0	0	0	0	Não houve coleta
Areia muito Grossa	%	2 a 1mm	0,01	0	0,07	0	0,06	
Areia Grossa	%	1 a 0,5mm	0,02	0,04	0,18	0,05	0,12	

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA344/04 Valor alerta (nível 1)	PRPM (Ponto rio Paraguai a Montante)		PRPJ (Ponto rio Paraguai a Jusante)		PRPA (Ponto rio Paraguai Alagado)	
			Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso	Período Seco	Período chuvoso
Areia Média	%	0,5 a 0,25mm	0,21	3,59	0,72	0,7	0,42	
Areia Fina	%	0,25 a 0,125mm	13,58	67,02	6,27	16,73	2,34	
Areia muito Fina	%	0,125 a 0,062mm	46,63	25,2	43,47	75,32	31,8	
Silte	%	0,062 a 0,00394mm	35,94	1,35	32,68	7,49	51,83	
Argila	%	0,00394 a 0,0002mm	7,07	4,66	14,42	3,66	18,19	

#### 4.1.8.6.2. Água Subterrânea

As informações disponíveis do histórico de avaliações da MCR sobre qualidade de água subterrânea na área de influencia direta são correspondentes ao primeiro e segundo semestre do ano 2007 e 2008 (Tabela 4.1.8.6.2-1). Esta informação foi usada de comparação para os levantamentos realizados pela VEREDA durante o mês de novembro de 2011. A qualidade das águas subterrâneas é dada, a princípio, pela dissolução dos minerais presentes nas rochas que constituem os aquíferos por ela percolados, mas, ela pode sofrer a influência de outros fatores como composição da água de recarga, tempo de contato, água/meio físico, clima e até mesmo a poluição causada pelas atividades humanas. Devido ao maior contato com os materiais geológicos, baixa velocidade de fluxo e maiores pressões e temperaturas, as águas subterrâneas são geralmente mais mineralizadas do que as águas superficiais. Pelas mesmas razões, possuem menores teores de matérias em suspensão e matéria orgânica, esta última devido à ação dos microrganismos presentes no solo. Também, devido as suas condições de circulação, as

águas subterrâneas tendem a possuir menor teor de oxigênio dissolvido do que as superficiais. Nas avaliações realizadas durante 2007 e 2008 é possível distinguir um forte efeito da geoquímica local nos altos níveis de ferro, manganês e fósforo observado no lençol (Tabela 4.1.8.6.2-1). Em todos os casos, são observados maiores níveis de água (NA) durante o segundo semestre, período chuvoso na região, a qual coincide com maiores níveis de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), parâmetro proporcional a condutividade que indica maior carregamento e dissolução de sólidos no lençol pelo incremento da hidrodinâmica local. Também é observado baixo teor de OD e coliformes, bem como de nutrientes e produtos de degradação (Serie nitrogenada). No caso, a qualidade é definida pelas características físicas, químicas e biológicas da água. Dentro dos valores encontrados para cada um destes parâmetros, é possível estabelecer os diferentes usos, por exemplo, para consumo humano, irrigação, industrial e outros. Neste caso, foram observados altos níveis de chumbo sobre o padrão de qualidade para consumo humano ( $>10$  mg/l) nos pontos ASB26, ASB28, ASB34, ASB35, ASB36 e ASB38 que ficam na planície, já os pontos que ficam no topo das morrarias (ASB30 e ASB32) não apresentaram este metal. O Bário, outro metal pesado, também foi observado em maior concentração nos pontos de planície. Pela estrutura espacial dos valores observados de chumbo e bário, é altamente provável que a presença destes metais seja decorrente das percolações de água das formações geológicas mais profundas, já que no topo da morraria não foram observados.

Os resultados da avaliação realizada em novembro/11 encontram-se apresentados na Tabela 4.1.8.6.2-2.

De maneira geral, as características observadas nas campanhas realizadas pela VEREDA em 2011 são condizentes com os registros realizados pela MCR em 2007 e 2008. De fato, o metal chumbo foi detectado em todos os poços localizados na planície, com valores acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/08 para consumo humano (0,01mg/l). Já os poços localizados próximos à área de mineração; ABS 30 (poço nº4) e ABS 32 (poço nº1) apresentaram os menores valores de Chumbo. Destaca-se que nos poços localizados em setores próximos ao Pátio do Terminal Ferroviário da Vetorial foram detectados altos valores de condutividade e sólidos solúveis (ABS nº34 - São Benedito e ABS nº35 - Monjolo e ABD nº36 - Monjolinho). Nesta mesma linha, o ABS 38 (luna e Sol) situado na área principal de drenagem do Piraputanga, à jusante da mineração,

apresenta valores igualmente elevados, o que configura o efeito da percolação das águas chuvas de áreas utilizadas para pastagem de animais e fazendas. Nota-se que a exceção do ABS 26 (São Domingos), todos os poços de monitoramento apresentaram presença de óleos e graxas. Neste poço que apresentou a maior turbidez da série, foi detectada, em particular, a presença relevante de magnésio, coliformes, sólidos e pH levemente ácido (pH=6.74). Neste perfil, observa-se ainda que o escoamento ocorre principalmente, em função das unidades estratigráficas e do gradiente topográfico imposto pela conformação das morrarias. Portanto, de norte para sul, o escoamento da água subterrânea ocorre para fora do anfiteatro definido pelas morrarias e segue o alinhamento estrutural definido pela dessa falha N/NE, que corta o talvegue seco do Piraputanga. Em vista disso, neste setor verifica-se uma barreira hidráulica que impede o escoamento das águas subterrâneas para leste, através da morraria Grande (BRANDT, 2007).

**Tabela 4.1.8.6.2-1.** Resultado da análise das águas subterrâneas (Vale - 2007 e 2008 / 1ª parte) – Área de Influência Direta.

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB26				Ponto ASB28				Ponto ASB30				Ponto ASB32			
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008	
			1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM
Alumínio	mg/L	50	NA	0,00 84	10,3 125	NA	94	<0,1	21,2	NA	71	0,01	<0,0 001	NA	NA	NA	0,005	13,3
Alumínio Dissolvido	mg/L	50	NA	<0,0 001	10,3 9,3	NA	8	<0,1	<0,1	NA	6	0,01	<0,0 001	NA	NA	NA	<0,00 01	3
Arsênio	mg/L	-	NA	<0,0 001	NA NA	NA	001	NA	NA	NA	001	<0,0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Bário	mg/L	20	NA	0,09 64	121, 8	99	1	22,5	13,4	NA	5	0,02	0,00 5	NA	NA	NA	0,009 8	8,46
Bário Dissolvido	mg/L	20	NA	0,08 5	122 98	NA	0,02	22,5	2,9	NA	1	0,02	0,00 2	NA	NA	NA	0,032	7
Cádmio	µg/L	5	NA	<0,0 001	<0,1 <0,1	NA	001	<0,1	<0,1	NA	001	<0,0	<0,0 001	NA	NA	NA	<0,00 01	<0,1

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB26				Ponto ASB28				Ponto ASB30				Ponto ASB32			
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008	
			1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM
<b>Cádmio Dissolvido</b>	mg/L	5	NA	<0,0 001	<0,1 <0,1	<0,1 <0,1	NA 001	<0,1 <0,1	<0,1 <0,1	NA 001	<0,1 <0,1	NA 001	<0,0 <0,0	NA 001	NA 001	NA 001	<0,0 01	<0,1 <0,1
<b>Cálcio</b>	µg/L	-	NA	15,1	NA	NA	NA	4,83	NA	NA	NA	0,5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Chumbo</b>	mg/L	10	NA	0,03 04	25 21,6	25 21,6	NA 4	9 11,7	9 11,7	11,7 11,7	NA 005	<0,0 005	<0,0 005	NA 005	NA 005	NA 005	<0,0 05	<0,5 <0,5
<b>Chumbo Dissolvido</b>	µg/L	10	NA	0,03 0,03	25 24	24 24	NA 4	9 7,9	9 7,9	7,9 7,9	NA 005	<0,0 005	<0,0 005	NA 005	NA 005	NA 005	<0,0 05	<0,5 <0,5
<b>Cianeto</b>	µg/L	-	NA	<0,0 05	NA	NA	NA	<0,0 05	NA	NA	NA	<0,0 05	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Cloreto</b>	µg/L	-	NA	8,3	8,5	2	NA	<1	<1	4	NA	<1	<1	NA	NA	NA	<1	<100 0
<b>Cobre</b>	µg/L	50	NA	0,01 8	<0,1 7,35	<0,1 7,35	NA 73	0,02 <0,1	<0,1 15,3	15,3 15,3	NA 6	0,00 6	<0,0 001	NA 001	NA 001	NA 001	<0,0 01	4,83 4,83

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB26				Ponto ASB28				Ponto ASB30				Ponto ASB32				
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008		
			1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	
<b>Cobre Dissolvido</b>	mg/L	50	NA	0,01 5	<0,1 6	6	NA	0,02 6	<0,1 13,5	13,5	NA	0,00 5	<0,0 001	001	NA	NA	NA	<0,00 01	2
<b>Coliformes T</b>	UFC/100 mL	-	NA	NA	NA	15	NA	NA	NA	<1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	<1
<b>Coluna D'água</b>	m	-	NA	NA	35,7 5	43,2 6	NA	NA	38,7 3	40,8 6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Condutividade de</b>	mg/L	-	NA	213	274	283	NA	43	33	36	NA	13	12	NA	NA	NA	NA	13	11
<b>Cromo</b>	mg/L	10	NA	<0,0 001	<0,1 <0,1	<0,1	NA	<0,0 001	<0,1 <0,1	<0,1	NA	<0,0 001	<0,0 001	NA	NA	NA	NA	<0,00 01	<0,1
<b>Cromo Dissolvido</b>	mg/L	10	NA	<0,0 001	<0,1 <0,1	<0,1	NA	<0,0 001	<0,1 8	0,62 8	NA	<0,0 001	<0,0 001	NA	NA	NA	NA	<0,00 01	<0,1
<b>DBO</b>	mg/L	-	NA	<2	<2	<2	NA	<2	<2	<2	NA	<2	<2	NA	NA	NA	NA	<2	<2

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB26				Ponto ASB28				Ponto ASB30				Ponto ASB32			
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008	
			1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM
<b>DQO</b>	mg/L	-	NA	<5	17	7	NA	<5	<5	<5	NA	<5	13	NA	NA	NA	16	<5
<b>Dureza</b>	mg/L	-	NA	83	70	26	NA	17	13	13	NA	<5	<5	NA	NA	NA	5	<5
<b>Ferro</b>	mg/L	100	NA	0,00 22	11	64,8	NA	0,00 98	52,7	30,1	NA	0,48	<0,0 001	NA	NA	NA	0,085	15,1
<b>Ferro Dissolvido</b>	µg/L	100	NA	<0,0 001	11	15,1	NA	0,00 2	52,7	5	NA	0,28 5	<0,0 001	NA	NA	NA	0,007	5
<b>Fluoreto</b>	µg/L	500	NA	0,2	0,2	<20 0	NA	<0,1 <0,1	<0,1	0	NA	<0,1	<0,1	NA	NA	NA	<0,1	<100
<b>Fosfato (como PO4)</b>	µg/L	-	NA	0,67	NA	NA	NA	0,8	NA	NA	NA	<0,0 6	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Fósforo Total</b>	mg/L	-	NA	269	NA	NA	NA	306	NA	NA	NA	75	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB26				Ponto ASB28				Ponto ASB30				Ponto ASB32			
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008	
			1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM
<b>Índice de Fenóis</b>	$\mu\text{g/L}$	-	NA	<0,0 01	NA	2	NA	<0,0 01	NA	<1	NA	<0,0 01	NA	NA	NA	NA	0,005	<1
<b>Magnésio</b>	$\mu\text{g/L}$	-	NA	11,7	NA	NA	NA	1,52	NA	NA	NA	0,09 32	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Manganês</b>	$\text{mg/L}$	25	NA	<0,0 001	4	4	NA	0,02 35	27,1	19,9	NA	0,05 08	0,00 4	NA	NA	NA	0,035	3,28
<b>Manganês Dissolvido</b>	$\text{mg/L}$	25	NA	0,00 4	4	2	NA	0,23 0,23	27,1	11	NA	0,02 9	<0,0 001	NA	NA	NA	<0,00 01	<0,1
<b>Mercúrio</b>	$^{\circ}\text{C}$	-	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Mercúrio Dissolvido</b>	$\mu\text{g/L}$	-	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Níquel</b>	$\mu\text{g/L}$	-	NA	<0,0	NA	NA	NA	<0,0	NA	NA	NA	<0,0	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB26				Ponto ASB28				Ponto ASB30				Ponto ASB32			
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008	
			1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM
				001				001					001					
<b>Níquel Dissolvido</b>	<i>µg/L</i>	-	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Nitrato (como N)</b>	<i>µg/L</i>	300	NA	0,9	0,8	816	NA	<0,1	<0,1	612	NA	0,4	<0,1	NA	NA	NA	<0,1	<100
<b>Nitrito (como N)</b>	<i>mg/L</i>	-	NA	<0,0 4	NA	NA	NA	<0,0 2	NA	NA	NA	<0,0 2	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Nitrito (como NO2)</b>	<i>µg/L</i>	-	NA	<0,1	NA	NA	NA	<0,0 5	NA	NA	NA	<0,0 5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Nitrogênio Amoniacal</b>	<i>µg/L</i>	-	NA	<0,1	NA	NA	NA	0,1	NA	NA	NA	<0,1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Nitrogênio</b>	<i>mg/L</i>	-	NA	0,81	NA	NA	NA	0,7	NA	NA	NA	0,05	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB26				Ponto ASB28				Ponto ASB30				Ponto ASB32			
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008	
			1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM												
<b>Total Kjeldahal</b>																		
<b>Nível Estático</b>	<i>m</i>	-	NA	NA	16,2 5	16,5 5	NA	NA	18,2 7	18,7 1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>OD</b>	<i>mg/L</i>	-	NA	NA	1,2	1,6	NA	NA	0,7	0,3	NA	NA	4,9	NA	NA	NA	4,5	5,9
<b>Óleos e Graxas</b>	<i>mg/L</i>	-	NA	<1	NA	NA	NA	<1	NA	NA	NA	<1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>pH (a 20°C)</b>	<i>uH(mgPt Co/L)</i>	-	NA	6,59	5,68	6,2	NA	5,8	4,8	5,2	NA	6,4	6,31	NA	NA	NA	5,34	4,57
<b>Potássio</b>	<i>µg/L</i>	-	NA	4,31	NA	NA	NA	0,3	NA	NA	NA	0,13	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Potencial Redox</b>		-	NA	NA	67,6	59,2	NA	NA	133, 3	97	NA	NA	4,5	NA	NA	NA	82,4	0
<b>Profundida</b>		-	NA	NA	52	59,8	NA	NA	57	59,5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB26				Ponto ASB28				Ponto ASB30				Ponto ASB32				
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008		
			1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	
de do Poço (h)					1				7										
Prata	mg/L	-	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	NA	
Selênio	mg/L	-	NA	<0,0 005	NA	NA	NA	NA	<0,0 005	NA	NA	NA	NA	<0,0 005	NA	NA	NA	NA	
Sódio	µg/L	-	NA	23,1	310 20	177 90	NA	1,21	5	136 8	132	NA	0,75	NA	NA	NA	NA	129, 3	
Sólidos Dissolv. Totais	mg/L	2000	NA	230	238	000	181 NA	<5	71	200 00	NA	728	35	NA	NA	NA	37	8400 0	
Sólidos Sedimentáv	mL/L.h	-	NA	<0,3	<0,3	<0,3	NA	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	NA	0,4	<0,3	NA	NA	NA	<0,3	<0,3

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB26				Ponto ASB28				Ponto ASB30				Ponto ASB32			
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008	
			1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM												
eis																		
<b>Sólidos Susp. Totais</b>	mg/L	-	NA	<5	<2	<2	NA	<5	<2	<2	NA	<5	<2	NA	NA	NA	5	<2
<b>Sulfato</b>	µg/L	-	NA	5,4	NA	NA	NA	<1	NA	NA	NA	<1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Sulfeto</b>	µg/L	-	NA	<0,0 5	NA	NA	NA	<0,0 5	NA	NA	NA	<0,0 5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Surfactante s</b>	µg/L	-	NA	<0,1	NA	NA	NA	<0,1	NA	NA	NA	<0,1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Temperatur a</b>	°C	-	NA	NA	27	27	NA	NA	25	26	NA	NA	26	NA	NA	NA	25	23
<b>Turbidez</b>	mV	-	NA	0,28	1,3	0,4	NA	0,32	0,4	0,81	NA	8,9	0,34	NA	NA	NA	0,46	0,61
<b>Volume</b>	L	-	NA	NA	70,2	84,9	NA	NA	76	80,2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB26				Ponto ASB28				Ponto ASB30				Ponto ASB32			
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008	
			1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM	1º SEM	2º SEM
<b>Estagnado</b>																		
<b>Zinco</b>	mg/L	100	NA	0,03 72	10,4	25	NA	0,01 8	36,2	60,5	NA	0,09 1	<0,0 001	NA	NA	NA	0,011	5

**Cont. Tabela 4.1.8.6.2-1.** Resultado da análise de qualidade das águas subterrâneas (Vale - 2007 e 2008 / 2ª parte).

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB34				Ponto ASB35				Ponto ASB36				Ponto ASB38			
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008	
			1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.												
Alumínio	mg/L	50	NA	<0,0 001	4,58	<0,1	NA	<0,0 001	15,6	<0,1	NA	<0,0 001	24,5	6,17	NA	<0,0 001	33	<0,1
Alumínio Dissolvido	mg/L	50	NA	<0,0 001	4,6	<0,1	NA	<0,0 001	15,6	<0,1	NA	<0,0 001	24,5	<0,1	NA	<0,0 001	33	<0,1
Arsênio	mg/L	-	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	0,003 8	NA	NA	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	<0,0 001	NA	NA
Bário	mg/L	20	NA	0,14	188,3	135	NA	0,3	270,9	203,2	NA	0,6	710	570,4	NA	0,027 7	44,7	35
Bário Dissolvido	mg/L	20	NA	0,145	188	125	NA	0,285	271	198	NA	0,582	710	383	NA	0,028	44,7	29
Cádmio	µg/L	5	NA	<0,0 001	<0,1	<0,1												

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB34				Ponto ASB35				Ponto ASB36				Ponto ASB38			
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008	
			1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.
<b>Cádmio Dissolvido</b>	mg/L	5	NA	<0,0 001	<0,1	<0,1	NA	001	<0,1	<0,1	NA	001	<0,1	<0,1	NA	001	<0,1	<0,1
<b>Cálcio</b>	µg/L	-	NA	62	NA	NA	NA	35,1	NA	NA	NA	79,4	NA	NA	NA	13,3	NA	NA
<b>Chumbo</b>	mg/L	10	NA	<0,0 005	32	28	NA	0,007	9	18,3	NA	005	125	25	NA	0,016	125	21,8
<b>Chumbo Dissolvido</b>	µg/L	10	NA	<0,0 005	32	27	NA	0,006	9	<0,5	NA	005	125	2,1	NA	0,015	125	14,7
<b>Cianeto</b>	µg/L	-	NA	<0,0 05	NA	NA	NA	05	NA	NA	NA	05	NA	NA	NA	05	NA	NA
<b>Cloreto</b>	µg/L	-	NA	6,4	6,2	5930	NA	27,3	26,4	29455	NA	26,3	30,2	27965	NA	2,6	2,6	2736
<b>Cobre</b>	µg/L	50	NA	<0,0 001	<0,1	5,54	NA	001	<0,1	<0,1	NA	001	4,8	5,81	NA	0,028	4,24	5,46

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB34				Ponto ASB35				Ponto ASB36				Ponto ASB38			
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008	
			1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.												
<b>Cobre Dissolvido</b>	mg/L	50	NA	<0,0 001	<0,1	5	NA	<0,0 001	<0,1	<0,1	NA	<0,0 001	4,8	<0,1	NA	0,027	4,2	5,4
<b>Coliformes Termotolerantes antes</b>	UFC/100 mL	-	NA	NA	NA	<1	NA	NA	NA	3,1	NA	NA	NA	<1	NA	NA	NA	<1
<b>Coluna D'água</b>	m	-	NA	NA	34,19	36,97	NA	NA	38,82	41,14	NA	NA	17,77	21,38	NA	NA	37,82	39,92
<b>Condutividade</b>	mg/L	-	NA	911	628	646	NA	178	825	990	NA	741	911	954	NA	195	199	208
<b>Cromo</b>	mg/L	10	NA	<0,0 001	<0,1	<0,1	NA	<0,0 001	<0,1	<0,1	NA	0,001 2	2,11	<0,1	NA	<0,0 001	<0,1	<0,1
<b>Cromo Dissolvido</b>	mg/L	10	NA	<0,0 001	<0,1	<0,1	NA	<0,0 001	<0,1	1,1	NA	<0,0 001	2,1	1,2	NA	<0,0 001	<0,1	<0,1

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB34				Ponto ASB35				Ponto ASB36				Ponto ASB38			
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008	
			1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.												
<b>DBO</b>	mg/L	-	NA	<2	<2	<2	NA	<2	<2	<2	NA	<2	<2	<2	NA	<2	<2	91
<b>DQO</b>	mg/L	-	NA	<5	6	<5	NA	<5	21	<5	NA	<5	12	<5	NA	<5	<5	531
<b>Dureza</b>	mg/L	-	NA	10	240	244	NA	5	150	180	NA	12	312	351	NA	66	65	47
<b>Ferro</b>	mg/L	100	NA	0,015	10,2	<0,1	NA	0,047 7	131,6	82	NA	0,031	126,3	9,75	NA	0,012	200,2	5
<b>Ferro Dissolvido</b>	µg/L	100	NA	0,015	10,2	11	NA	0,038	132	2,5	NA	0,029	126	<0,1	NA	0,011	200	<0,1
<b>Fluoreto</b>	µg/L	500	NA	<0,2	<0,5	<500	NA	1	0,9	810	NA	<0,5	<0,5	<500	NA	0,2	0,2	180
<b>Fosfato (como PO4)</b>	µg/L	-	NA	<0,1 2	NA	NA	NA	<0,3	NA	NA	NA	<0,3	NA	NA	NA	<0,0 6	NA	NA
<b>Fósforo Total</b>	mg/L	-	NA	17	NA	NA	NA	75	NA	NA	NA	44	NA	NA	NA	72	NA	NA

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB34				Ponto ASB35				Ponto ASB36				Ponto ASB38			
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008	
			1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.												
<b>Índice de Fenóis</b>	$\mu\text{g/L}$	-	NA	<0,0 01	NA	<1	NA	01	NA	10	NA	01	NA	4	NA	01	NA	<1
<b>Magnésio</b>	$\mu\text{g/L}$	-	NA	36,2	NA	NA	NA	33	NA	NA	NA	65,1	NA	NA	NA	8,12	NA	NA
<b>Manganês</b>	$\text{mg/L}$	25	NA	0,002	7,39	<0,1	NA	0,67	751	615,5	NA	0,003 5	12	3,71	NA	0,004	14,5	15
<b>Manganês Dissolvido</b>	$\text{mg/L}$	25	NA	0,002	7,4	5,2	NA	0,611	751	579	NA	<0,0 001	12	<0,1	NA	0,004	14,5	8,9
<b>Mercúrio</b>	$^{\circ}\text{C}$	-	NA	<0,0 001	NA	NA												
<b>Mercúrio Dissolvido</b>	$\mu\text{g/L}$	-	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	<0,0 01	NA	NA
<b>Níquel</b>	$\mu\text{g/L}$	-	NA	<0,0 001	NA	NA												

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB34				Ponto ASB35				Ponto ASB36				Ponto ASB38			
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008	
			1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.
<b>Níquel Dissolvido</b>	$\mu\text{g/L}$	-	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	001	NA	NA	NA	001	NA	NA	NA	001	NA	NA
<b>Nitrato (como N)</b>	$\mu\text{g/L}$	300	NA	0,4	<0,5	<500	NA	<0,5	<0,5	<500	NA	1,2	<0,5	1000	NA	0,5	0,5	470
<b>Nitrito (como N)</b>	$\text{mg/L}$	-	NA	<0,0 4	NA	NA	NA	<0,1	NA	NA	NA	<0,1	NA	NA	NA	2	NA	NA
<b>Nitrito (como NO2)</b>	$\mu\text{g/L}$	-	NA	<0,1	NA	NA	NA	<0,2 5	NA	NA	NA	<0,2 5	NA	NA	NA	5	NA	NA
<b>Nitrogênio Amoniacal</b>	$\mu\text{g/L}$	-	NA	0,35	NA	NA	NA	0,41	NA	NA	NA	<0,1	NA	NA	NA	<0,1	NA	NA
<b>Nitrogênio Total</b>	$\text{mg/L}$	-	NA	0,7	NA	NA	NA	0,84	NA	NA	NA	0,56	NA	NA	NA	0,47	NA	NA

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB34				Ponto ASB35				Ponto ASB36				Ponto ASB38			
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008	
			1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.												
<b>Kjeldahl</b>																		
<b>Nível Estático</b>	<i>m</i>	-	NA	NA	12,81	12,79	NA	NA	8,18	8,52	NA	NA	29,23	29,12	NA	NA	7,18	8,6
<b>OD</b>	<i>mg/L</i>	-	NA	NA	2,2	2,5	NA	NA	0,4	0,7	NA	NA	1,1	1,5	NA	NA	0,4	1,8
<b>Óleos e Graxas</b>	<i>mg/L</i>	-	NA	<1	NA	NA												
<b>pH (a 20°C)</b>	<i>uH(mgPt Co/L)</i>	-	NA	6,89	6,18	6,45	NA	7,12	7,4	8,1	NA	6,56	6,34	7,2	NA	6,22	6,57	6,88
<b>Potássio</b>	<i>µg/L</i>	-	NA	6,56	NA	NA	NA	14,8	NA	NA	NA	3,51	NA	NA	NA	5,01	NA	NA
<b>Potencial Redox</b>		-	NA	NA	4,5	44,8	NA	NA	-179,4	-251,3	NA	NA	37,8	63,6	NA	NA	2,3	24,7
<b>Profundidade do Poço</b>		-	NA	NA	47	49,76	NA	NA	47	49,66	NA	NA	47	50,5	NA	NA	45	48,52

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB34				Ponto ASB35				Ponto ASB36				Ponto ASB38				
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008		
			1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	
(h)																			
Prata	mg/L	-	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	NA	<0,0 001	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	<0,0 001	NA	NA
Selênio	mg/L	-	NA	<0,0 005	NA	NA	NA	NA	<0,0 005	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	<0,0 005	NA	NA
Sódio	µg/L	-	NA	22,2	3650 0	17255	NA	108	16040 0	70269	NA	44	0	8447 34950	NA	10,7	0	2160 9255	
Sólidos Dissolvidos. Totais	mg/L	2000	NA	331	382	0	NA	5	506	0	NA	639	507	0	NA	229	194	00	1640
Sólidos Sedimentáv eis	mL/L.h	-	NA	<0,3	<0,3	<0,3	NA	<0,3	0,3	<0,3	NA	<0,3	<0,3	<0,3	NA	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB34				Ponto ASB35				Ponto ASB36				Ponto ASB38			
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008	
			1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.												
<b>Sólidos Susp. Totais</b>	mg/L	-	NA	<5	9	<2	NA	52	4	<2	NA	26	7	<2	NA	<5	<2	<2
<b>Sulfato</b>	µg/L	-	NA	3,9	NA	NA	NA	21,9	NA	NA	NA	<5	NA	NA	NA	<1	NA	NA
<b>Sulfeto</b>	µg/L	-	NA	<0,0 5	NA	NA	NA	0,2	NA	NA	NA	<0,0 5	NA	NA	NA	<0,0 5	NA	NA
<b>Surfactante s</b>	µg/L	-	NA	<0,1	NA	NA												
<b>Temperatur a</b>	°C	-	NA	NA	26	27	NA	NA	27	26	NA	NA	26	27	NA	NA	27	29
<b>Turbidez</b>	mV	-	NA	0,35	0,44	0,31	NA	0,29	3,4	0,85	NA	0,13	1,7	0,62	NA	0,23	0,88	0,62
<b>Volume Estagnado</b>	L	-	NA	NA	67,1	72,6	NA	NA	76,2	80,8	NA	NA	34,9	42	NA	NA	74,3	78,4

Parâmetros	Unidade	Padrão Conama 396- 03 de abril de 2008	Ponto ASB34				Ponto ASB35				Ponto ASB36				Ponto ASB38			
			2007		2008		2007		2008		2007		2008		2007		2008	
			1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.	1º SEM.	2º SEM.
<b>Zinco</b>	mg/L	100	NA	<0,0 001	17,5	35	NA	001	<0,1	<0,1	NA	9	57	33,2	NA	6	33	29

**Tabela 4.1.8.6.2-2.** Resultado da análise de qualidade das águas subterrâneas (2011).

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 396/08 Consumo Humano.	ABS 30 poço 1	ABS 32 poço 4	ABS 36 Monjolinho	ABS 35 Monjolo 3	ABS 28 Monjolo 1	ABS 38 Luna e Sol	ABS 34 São Benedito	ABS 26 São Domingos
Condutividade	µS/cm	-	10,15	49	50	866	949	264	149,7	337
Ph	-	-	5,95	5,98	7,5	7,52	7,45	7,72	7,1	6,74
Turbidez	NTU	-	0,18	0,16	1,2	1,3	5,08	0,14	1,32	6,57
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Nitrogênio Kjeldahl	mg/L	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Nitrato	mg/L	10	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Nitrito	mg/L	1	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Fósforo total	mg/L	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
cloreto	mg/L	250	18,3	21,2	18,7	101,9	89,7	19,5	4,07	13,4
Alcalinidade	mg/L	-	5,21	5,21	17,7	291	312,6	72,9	56,2	36,4

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 396/08 Consumo Humano.	ABS 30 poço 1	ABS 32 poço 4	ABS 36 Monjolinho	ABS 35 Monjolo 3	ABS 28 Monjolo 1	ABS 38 Luna e Sol	ABS 34 São Benedito	ABS 26 São Domingos
Dureza	mg/L	-	13,9	19,2	36,3	188,3	267	103,7	68,4	233,2
COT	mg/L	-	0,4	ND	1	2,9	1,1	0,8	2,1	1,9
Óleos e graxas	mg/L	-	44	38,8	44	21,8	85,2	8,8	19,2	<1
Surfactantes	mg/L LAS	-	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Cor	Mg Pt/L	-	<5	<5	12,4	12,8	22,4	<5	7,4	42,1
DBO	mg/L	-	1,2	1,3	1,5	1,7	1,5	2,2	1	1,7
DQO	mg/L	-	64	51,2	6,4	32	25,6	32	44,8	19,2
Alumínio total	mg/L	0,2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cádmio	mg/L	0,005	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Chumbo	mg/L	0,01	0,006	0,004	0,02	0,03	0,03	0,002	0,15	0,02
Cobre Total	mg/L	2	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 396/08 Consumo Humano.	ABS 30 poço 1	ABS 32 poço 4	ABS 36 Monjolinho	ABS 35 Monjolo 3	ABS 28 Monjolo 1	ABS 38 Luna e Sol	ABS 34 São Benedito	ABS 26 São Domingos
Cromo	mg/L	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ferro Total	mg/L	0,3	0,1	0,1	<0,1	0,1	0,1	<0,1	0,2	<0,1
Ferro dissolvido	mg/L	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1
Manganês total	mg/L	-	0,01	<0,01	0,03	<0,01	0,01	0,01	0,03	0,01
Manganês dissolvido	mg/L	0,1	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01
Magnésio	mg/L	-	2,8	3,3	4,4	20	20,1	13	4,42	42,3
Mercúrio	mg/L	0,001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Níquel	mg/L	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Potássio	mg/L	-	ND	ND	ND	1,3	0,7	0,8	0,5	0,3
Sódio	mg/L	200	ND	ND	ND	31	15	7	2	7
Zinco	mg/L	5	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02

Parâmetro	Unidade	Res. CONAMA 396/08 Consumo Humano.	ABS 30 poço 1	ABS 32 poço 4	ABS 36 Monjolinho	ABS 35 Monjolo 3	ABS 28 Monjolo 1	ABS 38 Luna e Sol	ABS 34 São Benedito	ABS 26 São Domingos
Coliformes termotolerantes	NMP	ausentes em 100ml	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Coliformes totais	NMP/100ml	-	110	140	1160	1480	200	1690	1800	1590
Sól. dissolvidos Totais	mg/L	1000	14	4	9	21	30	22	19	9
Sólidos Fixos	mg/L	-	33	11	11	359	470	163	111	287
Sólidos sedimentáveis	ml/L	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sólidos suspensos	mg/L	-	1	1	1	84	103	105	14	35
Sólidos totais	mg/L	-	39	19	21	540	573	187	122	295
Sólidos voláteis	mg/L	-	6	8	10	201	103	24	11	11

#### **4.1.9 ESPELEOLOGIA**

Não foram identificadas cavidades naturais subterrâneas na área de estudo do projeto. O relatório de prospecção espeleológica, com os resultados dos trabalhos realizados, encontra-se no Anexo 2 deste estudo.

## BIBLIOGRAFIA

### Hidrologia

ABDON, M. M. Os impactos ambientais no meio físico – erosão e assoreamento na bacia hidrográfica do rio Taquari, MS, em decorrência da pecuária. 297p. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

Agência Nacional de Águas (ANA). Boletim de Monitoramento da Bacia do Alto Paraguai. Vol.6, n.04. ANA / Superintendência de Usos Múltiplos e Eventos Críticos. Brasília, abril 2011.

Agência Nacional de Águas (ANA). Projeto de Implementação de práticas de Gerenciamento integrado de bacia Hidrográfica para o pantanal e bacia do alto Paraguai / Modelo de simulação hidrológica na Bacia do Alto Paraguai – Relatório Final. ANA/GEF/PNUMA/OEA. Porto Alegre/RS, 2005.

Endereço Eletrônico Rios Vivos. Disponibilizado em: <http://www.riosvivos.org.br/Noticia/Bacia+do+Prata/15571> (último acesso em setembro/2011).

LAJEADO ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA. Avaliação Preliminar das Disponibilidades Hídricas Subterrâneas e Superficiais para a Mineração Corumbaense Reunida - MCR. Belo Horizonte/MG, 2005

Potamos Engenharia e Hidrologia Ltda. Estudo de Avaliação da disponibilidade Hídrica da Bacia do Córrego Piraputangas em Corumbá/MS. Relatório Técnico Final. Contrato DIAM nº 1522165. 2011.

Secretaria de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia e Instituto de Meio Ambiente do Estado do Mato Grosso do Sul (SEMAC/MS). Plano estadual de recursos hídricos de Mato Grosso do Sul. 194p. Campo Grande/MS, 2010.

TUCCI, C. E. M., CLARKE, R. T., COLLISCHONN, W. Variabilidade Temporal no Regime Hidrológico da Bacia do rio Paraguai. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), vol 8, n.1, pp 201-211, Jan/Março 2003.

### Clima e Meteorologia

BRANDT Meio Ambiente – Estudo de Impacto Ambiental da expansão de produção da mina para extração de 22,4 milhões de toneladas por ano – Corumbá, 2007.

Mendonça F., Danni-Oliveira I. M.; Climatologia, noções básicas e climas do Brasil. Ed. Oficina de textos, São Paulo, 2007.

Soriano B.M.A; Climatologia. Visitado no website da EMBRAPA PANTANAL: [http://www.cpap.embrapa.br/agencia/borda\\_oeste/paginas/clima\\_texto.htm](http://www.cpap.embrapa.br/agencia/borda_oeste/paginas/clima_texto.htm), visitado em 20/11/2011

Website do CPTEC-INPE, visitado em 01/09/2011.

Website do INMET: <http://www.inmet.gov.br>, visitado em 01/09/2011.

Website do GuiaNet :<http://www.guianet.com.br/brasil/mapaclima.htm> . Acesso em 29/02/2012.

Website NCDC/NOAA: <http://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdo>, visitado em 02/08/2011.

Website REDEMET: <http://www.redemet.aer.mil.br>.

## **Ruído**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. NBR 10151. São Paulo, 2000. 4p.

CETESB. Instrução Técnica para aplicação da Norma Brasileira 10.151. São Paulo, 1990. 4p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº. 01. Brasília, 1990.

MIRRA, A.L.V. Impacto Ambiental: aspectos da legislação brasileira. São Paulo: Oliveira Mendes, 1998.

MOTA, S. Introdução a engenharia ambiental. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1997. 292p

## Qualidade Do Ar

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH).

TLVs® e BEIs® – Limites de exposição ocupacional (TLVs®) para substâncias químicas e agentes físicos & índices biológicos de exposição (BEIs®). São Paulo, tradução da Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais (ABHO), (atualizada anualmente), 2008.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. *Limite de tolerância*. Portaria 3214 de 08 de junho de 1978 -NR 15 - anexo 11.

\_\_\_\_\_.Ministério do Trabalho e Emprego. *Programa de Prevenção de Riscos Ambientais*. Portaria 3214 – NR 9.

\_\_\_\_\_.Resolução CONAMA 03/90, de 28 de junho de 1990.

LIMA, IRENE VIDEIRA DE; PEDROZO, MARIA DE FÁTIMA. *Ecotoxicologia do ferro e seus compostos*. Salvador : CRA v.4, 2001. 112p.

LIMA. Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente. *Avaliação Ambiental Estratégico do Pólo Mineiro-Industrial de Corumbá e influências sobre a Planície Pantaneira*. Relatório Executivo PPE 9134. 2008.

MUNOZ, Franz and CARVALHO, Marília Sá. Efecto del tiempo de exposición a PM10 en las urgencias por bronquitis aguda. *Cad. Saúde Pública* [online]. 2009, vol.25, n.3 [cited 2012-01-23], pp. 529-539.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME/ WORLD HEALTH ORGANIZATION. GEM/AIR. Methodology review handbook series. Nairobi, UNEP/Geneva, WHO, 1994. V3. Measurement of suspended particulate matter in ambient air.

Verissimo, Ed Wilson., Munoz, Franz, (2007) Over exposure to manganês. XII Congresso Internacional de Epidemiologia e Saúde Coletiva, Associação Brasileira de Saúde Coletiva ABRASCO-CNPq, RJ/Brasil

## Geologia

ALMEIDA, F.F.M. de. Geologia do sudoeste matogrossense. Brasil. Div. Geol. Miner., B., Rio de Janeiro, nº 116: 9-115, 1945.

- ALMEIDA, F.F.M.de. Geologia da Serra da Bodoquena (Mato Grosso).Brasil. Div. Geol.Miner., B., Rio de Janeiro, nº 219: 01-96, 1965a (ilust.).
- Alvarenga, C.J.S. & Trompette, R. 1992. Glacially influenced sedimentation in the Later Proterozoic of the Paraguai belt (Mato Grosso, Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 92: 85-105.
- Boggiani, P.C. & Coimbra, A.M. 1996. The Corumbá Group (Central South America) In The Context of Late Neoproterozoic Global Changes. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, Resumo das Comunicações*, 68(4): 595-596.
- CORRÊA, J.A. et al. Projeto Bodoquena - Relatório Final - MME-DNPM-Convênio DNPM/CPRM - Superintendência Regional de Goiânia-Goiânia - 1976.
- Dardenne, M.A. 1998. Modelo Hidrotermal Sedimentar Exalativo para os Depósitos Fe-Mn da Região de Corumbá, Mato Grosso do Sul. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 40, Belo Horizonte, Anais, p. 152.
- DORR II, J. VAN. N. Manganese and iron deposits of morro do Urucum, Mato Grosso, Brasil. *Geological Survey Bulletin, Washington* (946-A): 1-47, 1945.
- EVANS, J.W. The Geology of Mato Grosso. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 50 (2): 85-104, 1894.
- FONSECA, J.S. da Viagem ao redor do Brasil. 1875-1878. Rio de Janeiro, Typ. Pinheiro, 1880. V.1.
- Freitas, B.T., Warren, L.V., Boggiani, P.C., Almeida, R.R. & Piacentini T. Tectono-sedimentary evolution of the Neoproterozoic BIF-bearing Jacadigo Group, SW-Brazil, *Sedimentary Geology* 238 (2011) 48-70.
- GODÓI, H. O.; MARTINS, E. G. & MELLO, J. C. R. 2001. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Corumbá - Folha SE.21-Y-D, Aldeia Tomázia, Folha SF.21-V-B, Porto Murtinho, Folha SF.21-V-D, Estado de Mato Grosso do Sul. Escala 1:250.000 - Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT, 2001.
- Godoy, A.M., Manzano, J.C., Araújo, L.M.B., & Silva, J.A. 2009. Contexto geológico e estrutural do maciço Rio Apa, sul do Cráton Amazônico - MS. *Geociências* 28: 485-499.

- Haralyi, N.L.E. & Walde, D.H.G. 1986. Os minérios de ferro e manganês da região de Urucum, Corumbá, Mato Grosso do Sul. In: Schobbenhaus, C. & Coelho, C.E.S. (eds.) Principais Depósitos Minerais do Brasil, II. Brasília, DNPM, 127-144.
- James, H.L. 1983. Distribution of banded iron-formation in space and time. In: A. F. Trendall & R.C. Morris (eds.) Iron-formation: facts and problems. Amsterdam, Elsevier, 471-490.
- Jones, J.P. 1985. The southern border of the Guaporé Shield in western Brazil and Bolivia: An interpretation of its geologic evolution. *Precambrian Research*, 28: 111-135.
- Klein, C. 2005. Some Precambrian banded iron-formation (BIFs) from around the world: their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origin. *American Mineralogist*, 90:1473-1499.
- Klein, C. & Ladeira, E.A. 2004. Geochemistry and Mineralogy of Neoproterozoic Banded Iron-Formations and some selected, Siliceous Manganese Formations from the Urucum District, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Economic Geology*, 99:1233-1244.
- LISBOA, A.R. Oeste de São Paulo, Sul de Mato Grosso. Estrada de Ferro Nordeste do Brasil. Com. E. Schnoor. Rio de Janeiro, 1909.
- MACIEL, P. Filito Cambriano no Estado de Mato Grosso. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*. São Paulo, 8(1):31-9, 1959.
- MCR, "Coluna litoestratigráfica do jazimento da MCR, elaborada por BARBOSA, M.; MCR, "Geology of Corumbé district and General aspects of MCR". Iron 2002/2003 International Study Tour, 2002.
- MCR, "Mapa Geológico" da área do grupamento mineiro 77/88, elaborado por MCR, "Relatório sobre a perfuração do poço 3: aspectos geológicos, hidrodinâmicos e recomendações", elaborado pelo Geólogo João Carlos Möller.

OLIVEIRA, A.I. de & MOURA, P. de Geologia da Região de Corumbá, e minérios de manganês e ferro de Urucum - Mato Grosso. Brasil. Div. Fom. Prod. Min., B., Rio de Janeiro, nº 62, 1944b, parte I.

Rosière, C.A. & Chemale Jr., F. 2000. Brazilian iron formations and their geological setting. *Revista Brasileira de Geociências*, 30: 274-278.

Trompette, R., Alvarenga, C.J.S., & Walde, D. 1998. Geological evolution of the Neoproterozoic Corumbá graben system (Brazil). Depositional context of the stratified Fe and Mn ores of the Jacadigo Group. *Journal of South American Earth Sciences* 11: 587-597.

Zaine, M.F., Fairchild, T.R., 1985. Comparison of *Aulophycus lucianoii*, Beurlen & Sommer from Ladário (MS) and the genus *Cloudina*, Germs, Ediacaran of Namibia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 57, 130.

### **Geomorfologia**

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. 1982. Projeto RADAMBRASIL. Folha SE.21 Corumbá e parte da Folha SE.20; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. 452 p.

CARDOSO, E. L.; SPERA, S. T.; PELLEGRIN, L. A. e SPERA, M. R. N. 2002. Solos do assentamento Urucum Corumbá-MS: caracterização, limitações e aptidão agrícola. Corumbá. EMBRAPA Pantanal. Documentos 30. 35p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília; Rio de Janeiro, 1999, 412 p.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M.; SOARES, M. T. S.; PELLEGRIN, L. A. e LIMA, I. B. T. 2007. Atualização do Mapa de Solos da Planície Pantaneira para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Corumbá. EMBRAPA Pantanal. Comunicado Técnico 61.

## Pedologia

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. 1982. Projeto RADAMBRASIL. Folha SE.21 Corumbá e parte da Folha SE.20; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. 452 p.

CARDOSO, E. L.; SPERA, S. T.; PELLEGRIN, L. A. e SPERA, M. R. N. 2002. Solos do assentamento Urucum Corumbá-MS: caracterização, limitações e aptidão agrícola. Corumbá. EMBRAPA Pantanal. Documentos 30. 35p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília; Rio de Janeiro, 1999, 412 p.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M.; SOARES, M. T. S.; PELLEGRIN, L. A. e LIMA, I. B. T. 2007. Atualização do Mapa de Solos da Planície Pantaneira para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Corumbá. EMBRAPA Pantanal. Comunicado Técnico 61.

## Hidrogeologia

ABDON, M. M. Os impactos ambientais no meio físico – erosão e assoreamento na bacia hidrográfica do rio Taquari, MS, em decorrência da pecuária. 297p. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

Agência Nacional de Águas (ANA). Boletim de Monitoramento da Bacia do Alto Paraguai. Vol.6, n.04. ANA / Superintendência de Usos Múltiplos e Eventos Críticos. Brasília, abril 2011.

Agência Nacional de Águas (ANA). Projeto de Implementação de práticas de Gerenciamento integrado de bacia Hidrográfica para o pantanal e bacia do alto Paraguai / Modelo de simulação hidrológica na Bacia do Alto Paraguai – Relatório Final. ANA/GEF/PNUMA/OEA. Porto Alegre/RS, 2005.

Endereço Eletrônico Rios Vivos. Disponibilizado em:  
<http://www.riosvivos.org.br/Noticia/Bacia+do+Prata/15571> (último acesso em setembro/2011).

LAJEADO ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA. Avaliação Preliminar das Disponibilidades Hídricas Subterrâneas e Superficiais para a Mineração Corumbaense Reunida - MCR. Belo Horizonte/MG, 2005

Potamos Engenharia e Hidrologia Ltda. Estudo de Avaliação da disponibilidade Hídrica da Bacia do Córrego Piraputanga em Corumbá/MS. Relatório Técnico Final. Contrato DIAM nº 1522165. 2011.

Secretaria de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia e Instituto de Meio Ambiente do Estado do Mato Grosso do Sul (SEMAC/MS). Plano estadual de recursos hídricos de Mato Grosso do Sul. 194p. Campo Grande/MS, 2010.

TUCCI, C. E. M., CLARKE, R. T., COLLISCHONN, W. Variabilidade Temporal no Regime Hidrológico da Bacia do rio Paraguai. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), vol 8, n.1, pp 201-211, Jan/Março 2003.

### **Qualidade Das Águas**

ABNT.Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9897.Planejamento de Amostragem de Efluentes Líquidos e CorposReceptores. Junho. 23 p.1987.

\_\_\_\_\_. NBR 9898. Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos eCorpos Receptores. Junho. 34 p.1987.

\_\_\_\_\_. NBR12649. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Caracterização de cargas poluidoras na mineração. São Paulo, SP, 8p.1992.

\_\_\_\_\_. NBR 6502.Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rochas e Solos. Rio de Janeiro, RJ, 18p.1995.

APHA- American Public Health Association 1998. Standard Methods for Examinationof Waterand Wastewater, 21th, Washington 2005.

BRANT MEIO AMBIENTE. Estudo de impacto ambiental. Expansão de produção da mina para extração de 22,4 milhões de toneladas por ano. Volume I.Empresa: Mineração Corumbaense Reunida S.A. Março de 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA. Resolução Nº 344, de 25 de março de 2004.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA. Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA. Resolução Nº 396, de 03 de abril de 2008.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA. Resolução Nº 397, de 03 de abril de 2008.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA. Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011.

CARLSON, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. Limnol. and Oceanogr. v.22 (2).p. 261- 269.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Meio Ambiente. Disponível em:

[http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/glossario/glossario\\_c.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/glossario/glossario_c.asp)> Acessado em novembro de 2009.

CRABILL, C.; RAVIN, D.; SNELLING, J.; FOUST, R.; SOUTHAN, G. The impact of sediment fecal coliform reservoirs on seasonal water quality in Oak Creek. Water Research, London, v.33,

n.9, p.2163-2171, 1999. EMBRAPA-PANTANAL. Site disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/destaques/noticias/2006/debora.htm>> acessado em 16.09.2011.

GONÇALVES, C. S., Rheinheimer, D.S. Pellegrini, J.B, Kist, S.L. Qualidade da água numa microbacia hidrográfica de cabeceira situada em região produtora de fumo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.3, p.391-399, 2005.