

Setembro/2011

SERVIÇO DE DIAGNÓTICO GEOAMBIENTAL
CONTRATO PETROBRAS S.A
Nº 6000.0056040.10.2 / SMES

RELATÓRIO

RELATÓRIO DE
INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA
NA ÁREA DO TERMINAL NORTE CAPIXABA - TNC

(PERÍODO DE 04/04/2011 a 17/06/11)



"Integração em
serviços de E&P
e meio Ambiente".





**PETROBRAS S.A
TERMINAL NORTE CAPIXABA - TNC**

STRATAGEO SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS S.A

**RELATÓRIO DE INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA
NA ÁREA DO TERMINAL NORTE CAPIXABA -TNC**

Revisão N.º	Revisão N.º	Revisão N.º	Revisão N.º	Revisão N.º
Data:	Data:	Data:	Data:	Data:
Contrato: 4600306204				

Índice

1. APRESENTAÇÃO E OBJETIVO	9
2. BREVE HISTÓRICO	10
3. CONTEXTO FÍSICO REGIONAL	13
3.1. Relevo e Vegetação	13
3.2. Clima	14
3.3. Aspectos Geológicos	16
4. METODOLOGIA	19
4.1. Topografia	20
4.2. Levantamento Geofísico	20
4.2.1 Aquisição e Processamento	23
4.3. Sondagens, Medições de Vapores Orgânicos e TPH no Solo (Soil Gas Survey), Ensaio Físicos e Granulométricos e Geoquímica	31
4.4. Instalação de PMs, Desenvolvimento, Monitoramento Piezométrico, Determinação dos parâmetros físico-químicos, Hidroquímica e Ensaio Hidrogeológicos	38
4.5. Valores Orientadores	46
5. Quantitativos	47
6. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO	48
6.1. Sondagem	48
6.2. Interpretação Geofísica	54
6.2.2. SEVME	55
6.2.3. Ground Penetrating Radar (GPR)	67
6.3. Hidrodinâmica	79
6.3.1 Potenciometria do aquífero freático	79
6.3.2 - Condutividade Hidráulica (K)	81
7. RESULTADOS	86
7.1. Caracterização Geofísica	86
7.2. Medição de VOC <i>on-site</i>	88
7.3 Medição de TPH <i>on site</i>	88
7.4. Medição dos Parâmetros Físico-Químicos <i>in situ</i>	92
7.4. Caracterização Geoquímica e Hidroquímica	96

7.5 Modelo conceitual	105
8. ORIGEM DA CONTAMINAÇÃO	108
9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	109
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
11. EQUIPE TÉCNICA	115
12. RESPONSABILIDADE TÉCNICA	116

Sumário de Figuras, Quadros, e Anexos

FIGURAS

Figura 1.1. Mapa de Localização da Área.....	12
Figura 3.1 – Fisiografia da Região do Terminal Norte Capixaba.....	15
Figura 3.2. Mapa Geológico Regional –Terminal Norte Capixaba -TNC.....	18
Figura 4.1. Mapa de Aquisição Geofísica – SEVME 2D 40 metros.....	24
Figura 4.2. Mapa de Aquisição Geofísica – SEVME 2D 80 metros.....	25
Figura 4.3. Mapa de Aquisição Geofísica – GPR 2D.....	30
Figura 4.4. Mapa de localização das Sondagens.....	33
Figura 4.5. Mapa de localização dos pontos de coleta para amostras granulométricas.....	35
Figura 4.6. Mapa de Localização dos Poços de Monitoramento.....	39
Figura 6.1. Seção Geológica da área.....	49
Figura 6.3. Histogramas de Percentagem em Peso das Frações Granulométricas..	53
Figura 6.4. Seção de SEVME 2D com Interpretação Geológica:S2-TNC-0027.....	57
Figura 6.5. Seção de SEVME 2D com Interpretação Geológica:S2-TNC-0004A.....	58
Figura 6.6. Seção de SEVME 2D com Interpretação Geológica:S2-TNC-0021.....	59
Figura 6.7. Seção de SEVME 2D com Interpretação Geológica:S2-TNC-0034.....	60
Figura 6.8. Seção de SEVME 2D com Interpretação Geológica:S2-TNC-0036.....	61
Figura 6.9. Seção de SEVME 2D com Interpretação Geológica:S2-TNC-0002.....	62
Figura 6.10. Seção de SEVME 2D com Interpretação Geológica:S2-TNC-0002A.....	63
Figura 6.11. Seção de SEVME 2D com Interpretação Geológica:S2-TNC-0006A.....	64
Figura 6.12. Seção de SEVME 2D com Interpretação Geológica:S2-TNC-0009A.....	65
Figura 6.13. Seção de SEVME 2D com Interpretação Geológica:S2-TNC-00027A.....	66
Figura 6.14. Seção de GPR com Interpretação Geológica:G2-TNC-0002A.....	69
Figura 6.15. Seção de GPR com Interpretação Geológica: G2-TNC 0006.....	70
Figura 6.16. Seção de GPR com Interpretação Geológica: G2-TNC-0009.....	71
Figura 6.17. Seção de GPR Interpretação Geológica: G2-TNC-0009A.....	72
Figura 6.18. Seção de GPR com Interpretação Geológica: G2-TNC 00010.....	73
Figura 6.19. Seção de GPR com Interpretação Geológica:G2-TNC-00026.....	74
Figura 6.20. Seção de GPR com Interpretação Geológica:S1-TNC-0034.....	75
Figura 6.21. Seção de GPR com Interpretação Geológica:G2-TNC-0035.....	76

Figura 6.22 Seção de GPR com Interpretação Geológica:G2-TNC-0036	77
Figura 6.23. Seção de GPR com Interpretação Geológica:G2-TNC-0037	78
Figura 6.24. Mapa Potenciométrico	80
Figura 6.25 (curva granulométrica).....	84
Figura 7.1. Seção de SEVME GPR com Zonas Anômalas.	87
Figura 7.2. Mapa com as concentrações de VOC para área do TNC	90
Figura 7.3. Mapa com as concentrações de TPH <i>onsite</i> para área do TNC	91
Figura 7.4 Mapa de Anomalia Hidroquímica – Metais	104
Figura 7.5. Modelo Conceitual da Área.....	107

QUADROS

Quadro 4.1 – Resumo descritivo - etapas técnicas aplicadas na investigação ambiental. ...	20
Quadro 4.2 - Faixa de condutividade hidráulica sedimentos inconsolidados.....	41
Quadro 4.3 – Valor do coeficiente C de acordo com o material (FETTER, 1994)	42
Quadro 5.1 – Quantitativos totais dos trabalhos executados	47
Quadro 6.1 – Porcentagem das classes granulométricas das amostras analisadas e resultados das análises físicas das amostras indeformadas do TNC	51
Quadro 7.1 - Resultados das análises físico-químicas dos parâmetros in situ.	92
Quadro 7.2 - . Resultados das análises de metais em amostras de água com valor acima dos limites de investigação	103

ANEXOS

Anexo 01 – ART

Anexo 02 – Avaliação Ambiental Preliminar e Plano de Trabalho para Investigação Ambiental Confirmatória

Anexo 03 – Padronização dos Elementos

Anexo 04 – Memorial Geodésico

Anexo 05 – Relatório de Testes Geofísicos e Dados Processados

Anexo 06 – Tabela de Quantitativos

Anexo 07 – Fluxos das Atividades de Campo

Anexo 08 – Perfis Geológico de Sondagem e Perfis Construtivos dos PMs

Anexo 09 – Memorial Fotográfico

Anexo 10 – Laudos e Cadeias de Custódias

Anexo 11 – *Report* Geoquímica e Hidroquímica

Anexo 12 – Banco de Dados Geoquímicos e Hidroquímicos

Anexo 13 – Metodologia e Fluxo Laboratorial

1. APRESENTAÇÃO E OBJETIVO

Este relatório apresenta os resultados da Investigação Confirmatória ocorrida entre os dias 04 de Abril a 16 de Junho 2011 na área do Terminal Norte Capixaba TNC. A área em apreço localiza-se no Município de São Mateus/ Estado do Espírito Santo, mais precisamente no Distrito de Barra Nova próximo ao litoral do Estado, sendo compreendido entre as coordenadas N7901406 e E422218 e abrangendo uma área de aproximadamente 205.000m². A **Figura 1.1** apresenta a localização da área investigada.

O trabalho foi realizado no âmbito do contrato número 4600306204, vigente entre **Stratageo** Soluções Tecnológicas S.A e a PETROBRAS S.A. (SMES/GGSMS/MA/RAI), à partir da integração dos resultados do método geofísico GPR 2D (*Ground Penetrating Radar*) e SEVME 2D (Sondagem Elétrica Vertical Multi-eletrodos) com métodos diretos representados tanto por análises químicas de solo em amostras provenientes de sondagens quanto de amostras de água superficial e coletadas a partir dos poços de monitoramento instalados.

No **Anexo 1** encontra-se a Anotação de Responsabilidade Técnica (**ART**) do presente relatório.

Justifica-se a execução deste trabalho pela realização da Avaliação Preliminar Ambiental visando à caracterização da qualidade ambiental de solos e águas subterrâneas no tocante à verificação da existência de impactos ambientais.

O objetivo foi a confirmação da existência de fontes atuais ou pretéritas de contaminação tendo em vista o uso do solo anterior à instalação do empreendimento e, as atividades operacionais desenvolvidas atualmente as quais tem potencial de causar impactos ao meio ambiente. Os serviços foram executados em conformidade com a Avaliação Ambiental Preliminar definida pela ABNT NBR 15515-1, que subsidiou a elaboração do Plano de Trabalho para a Investigação Confirmatória da área.

O relatório da Avaliação Ambiental Preliminar na sua íntegra encontra-se no **Anexo 2**.

2. BREVE HISTÓRICO

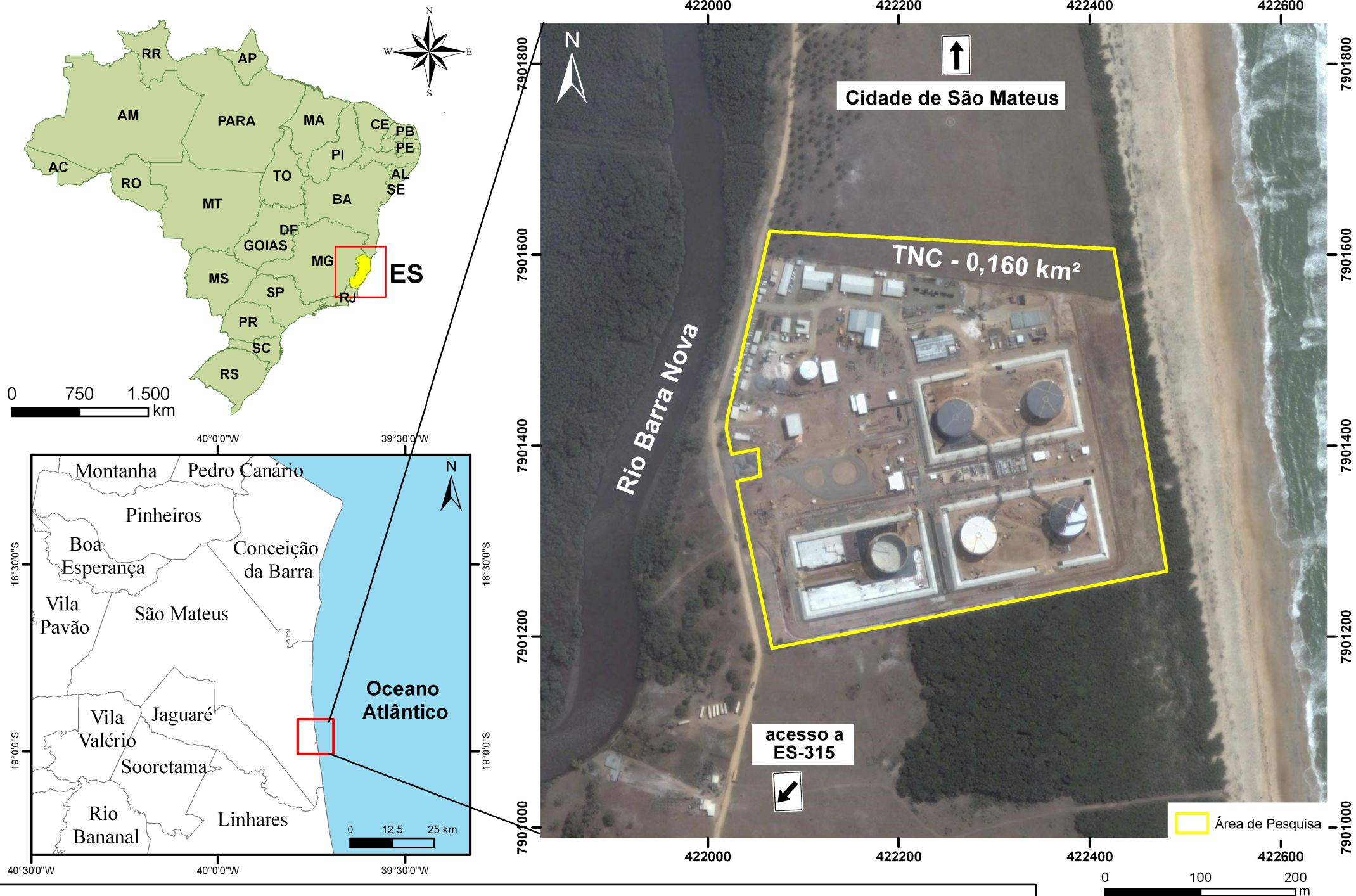
O Terminal Norte Capixaba localiza-se no Município de São Mateus a cerca de 250 km de Vitória e a 25 km do núcleo urbano mais próximo representado pela cidade São Mateus, em um terreno de aproximadamente 95 mil m². A área é predominantemente rural e até meados do século XIX a economia local teve sua base de sustentação na cultura da mandioca. A partir daí, o café passou a ganhar importância e, em pouco tempo tornou-se a cultura dominante (Loureiro, 2006).

Já no século XX, a economia do Estado do Espírito Santo passou por um profundo processo de transformação, da aptidão agrícola para produção industrial com o início da produção iniciando em São Mateus, em 1973. A infra-estrutura de transporte – oleoduto e gasoduto – começou a operar em 1981. O primeiro de uma série de empreendimentos foi a Unidade de Processamento de Gás Natural (Pólo de Cacimbas - UTGC) que por sua vez iniciou suas atividades em 1983. O primeiro fornecimento de gás foi feito em 1982, para a Aracruz Celulose. A primeira descoberta de gás na foz do rio Doce, precursora dos atuais campos de Peroá e Cangoá, deu-se em 1988. Em dezembro de 1993, o Estado deu a concessão para distribuição de gás canalizado, com exclusividade, à BR-Distribuidora. Em agosto de 1996 e maio de 1997, novas descobertas foram feitas na foz do rio Doce. Atualmente, as reservas estimadas dos campos submarinos de Peroá e Cangoá são estimadas em 10 bilhões de m³ (Agência de Desenvolvimento em Rede do Espírito Santo - ADERES - *in*: ecen.com/eee17/petrgases.htm).

O óleo proveniente de 66 poços que produzem Petróleo no Espírito Santo é tratado na Estação Fazenda Alegre onde são eliminados água e sais minerais pois para seu uso, o óleo deve ter um teor de água inferior a 1%. Após o

tratamento o óleo é bombeado através de dutos para o Terminal Norte Capixaba - TNC. O terminal possui cinco tanques de armazenagem sendo 4 tanques de teto fixo com capacidade nominal de 16.160 m³ e 1 tanque de teto flutuante com capacidade nominal de 15.600 m³ além de estruturas de monobóias formando um cais flutuante onde atracam navios que escoam o produto para a Lubnor, empresa produtora de lubrificantes.

A Unidade operacional é provida de fornecimento público de energia elétrica (ESCELSA). O abastecimento de água para uso geral (banheiros, cozinha e lavatórios) é feito por caminhão-pipa (armazenamento em reservatório elevado) e para uso industrial, por poços rasos de captação de águas subterrâneas. O tratamento de esgotos é efetuado por conjuntos de fossas sépticas e os resíduos são coletados, segregados e dispostos adequadamente.



Data: 08/2011
 Projeto: TNC
 Contrato: 4600306204

Elaborado por : T.Fernandes
 Revisto por: J.Matos
 Aprovado por: K.Gouvea

Figura 1.1 Mapa de Localização da área de estudo - São Mateus-ES
 Fonte: Stratageo (2011)

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Sirgas 2000
 Zona: 24s

3. CONTEXTO FÍSICO REGIONAL

3.1. Relevo, Vegetação e Hidrografia

A área do TNC insere-se, na área de estudo, na Unidade Geomorfológica de Complexos Deltáicos, Estuarinos e Praias. Tal unidade se assenta morfológicamente sobre um setor do relevo litorâneo onde predominam os processos de acumulação marinha em forma de terraços. Esses condizem áreas planas com leve inclinação para o mar, apresentando ruptura de declive em relação à planície marinha recente, sendo esculpida devido à variação do nível marinho ou por movimentação tectônica.

A geomorfologia é constituída de terrenos planos com baixadas alagadiças e dunas no litoral onde predomina um relevo extremamente plano, caracterizando-se em uma área de forte homogeneidade dos aspectos morfológicos, morfométricos e morfodinâmicos, destacando a nível local a presença de extensos cordões arenosos dispostos paralelamente à linha de costa. As partes mais altas (tabuleiros) são constituídas de chapadões com ligeira declividade para o litoral, com altitudes iniciais em torno dos 30 metros atingindo altitudes em torno dos 350 metros onde ocorrem as elevações rochosas Pré-Cambrianas.

Historicamente, dos 45.597 km² do Estado do Espírito Santo, quase 85% estavam cobertos por matas. Os restantes 15% eram ocupados por restinga. Em São Mateus, especificamente, na região costeira predominava a restinga e manguezais. Nos tabuleiros e vales dos rios a cobertura vegetal era de Mata Atlântica de Planície e de Encosta, com abundância de madeiras nobres.

A hidrografia local é representada por rios que compõem a Bacia Hidrográfica do rio Barra Seca a qual forma o estuário de Barra Nova, constituídos por vegetação de restingas e manguezais que adentram para o interior.

3.2. Clima

O clima na Região é relativamente ameno ao longo do ano inteiro. A temperatura média anual fica em torno dos 24° C, variando entre 25° e 30° C, no verão, e 19° a 21° C, no inverno. Nesse sentido, o clima de São Mateus pode ser considerado como megatérmico com temperaturas relativamente altas que não são consideradas como muito quentes (sensação térmica) por causa do vento do nordeste, quase constante, que o torna ameno tal como colocado.

Como a precipitação pluviométrica local está na média de 1.432 mm e o índice de evapotranspiração na média de 1.395 mm por ano, o clima pode ser enquadrado como seco sub-úmido.

A **Figura 3.1** apresenta os aspectos fisiográficos da área do Terminal Norte Capixaba.



3.3. Aspectos Geológicos

3.3.1 Contexto Geológico Regional

A área em estudo insere-se no contexto geológico regional da porção terrestre da Bacia do Espírito Santo representada por sedimentos inconsolidados Terciários, Quaternários e do Grupo Barreiras, que recobrem o embasamento cristalino Pré-Cambriano do Complexo Paraíba do Sul (Coutinho, 1974).

As rochas do Complexo Paraíba do Sul estão associadas à região serrana, constituindo terras altas submetidas a intenso processo erosivo (Albino, 1999). Apresentam-se fazendo as cadeias de montanhas próximas à Nova Venécia e as formações rochosas que se iniciam a partir do km 35 da rodovia São Mateus – Nova Venécia.

Os sedimentos Terciários são formados pelos tabuleiros de argilitos e arenitos. Dão origem aos latossolos vermelho / amarelo distróficos, com fertilidade variando de média a baixa e pH em torno de 5,0. Em São Mateus essa faixa Terciária caracteriza a paisagem dos tabuleiros e chapadões que variam entre 30 e 100 metros de altitude, iniciando-se na cidade de São Mateus indo até a faixa de rochas próxima a Nova Venécia.

O Grupo Barreiras foi associado a um sistema fluvial entrelaçado depositado sob condições semi-áridas. A Unidade Superior foi descrita como um conjunto de camadas predominantemente areno-argilosas, argilo-arenosas e argilo-siltosas, mostrando laterização em diferentes níveis assim como estratificações incipientes (Morais 2005).

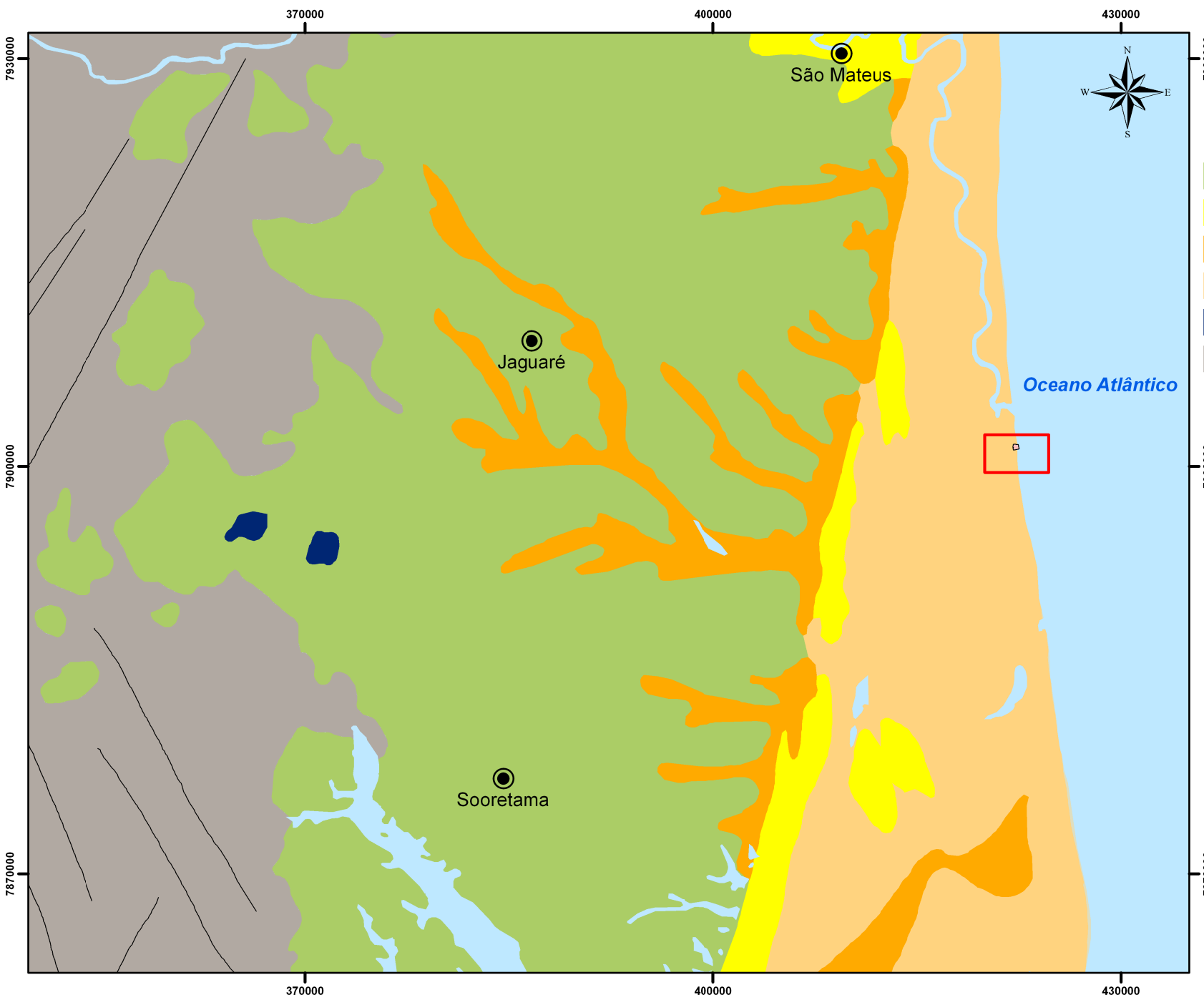
Os sedimentos inconsolidados do Quaternário são sedimentos arenosos que ocorrem ao longo dos vales e vias fluviais e, nas planícies costeiras, formam dunas, praias de aluviões marinhos, recifes de arenito (Barra Nova e Uruçuquara) e restingas, associadas a depósitos de mangue, originando solos hidromórficos (Figura 3.2).

3.3.2 Contexto Geológico Local

A foz do estuário do Rio Mariricu localiza-se no setor da costa capixaba que faz parte da planície costeira do Rio Doce, onde há o predomínio dos sedimentos quaternários sobre os sedimentos terciários, estando distante do relevo esculpido nas rochas do Pré-Cambriano. O estuário do Rio Barra Nova apresenta barra fluvial e cordões arenosos, além de apresentar bancos de sedimentação na laguna costeira (Vale, 2006).

De acordo com Martin et al. (1996), a área está inserida no trecho do litoral capixaba onde os depósitos quaternários atingem o seu desenvolvimento máximo, cuja distância entre as falésias mortas da Formação Barreiras situadas mais ao interior do continente e a linha de costa é de, aproximadamente, 38 km.

A restinga existente entre o Rio Barra Nova, o Oceano Atlântico e as praias de Barra Nova e Guriri encontra-se com as suas fitofisionomias originais pouco modificadas por atividades antrópicas.

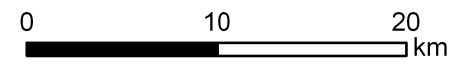
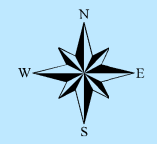


Legenda

Área de Estudo - TNC

Unidades Geológicas

- ENb Formação Barreiras
- Qdl Coberturas detriticas indiferenciadas
- Q2ca Depositos coluvio-aluvionares
- Q2II Depositos litoraneos
- NPjq Complexo Jequitinhonha
- NPps Complexo Paraiba do Sul



Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Sirgas 2000
 Zona: 24s



Data: 08/2011
 Projeto: TNC
 Contrato: 4600306204

Elaborado por : T.Fernandes
 Revisto por: J.Matos
 Aprovado por: K.Gouvea

Figura 3.2 Mapa Geológico Regional- TNC
 Fonte: Stratageo (2011)

4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesta investigação levou em consideração os termos do contrato número 4600306204, realizado de modo a contemplar a caracterização física, geoquímica e hidroquímica da área investigada. Esta metodologia foi elaborada em conjunto por equipes técnicas da **Stratageo** e da PETROBRAS S.A (SMES/GGMS/MA/RAI). A investigação na área contou com as seguintes fases:

- Levantamento Topográfico.
- Aquisição Geofísica.
- Execução de Sondagens, Leitura de VOC *on site* e Análise Geoquímica.
- Instalação de Poços de Monitoramento e Análise Hidroquímica.

Os serviços obedeceram aos padrões preconizados por normas técnicas nacionais (ABNT- NBR) e procedimentos de segurança da PETROBRAS S.A.

Todas as amostras coletadas foram codificadas por duas letras que identificam o tipo de amostragem, seguidas de três letras identificando a localização e por fim, quatro algarismos em ordem numérica crescente. As siglas a seguir representam um exemplo dos elementos de pesquisa descritos nas cadeias de custódia deste relatório.

- **AS**-TNC-0001 (**A**mostra de **S**olo, de número 0001, coletada na área do Terminal Norte Capixaba - TNC).
- **AA**-TNC-0001 (**A**mostra de **Á**gua subterrânea, de número 0001, coletada na área do Terminal Norte Capixaba - TNC).

A padronização dos elementos de pesquisa adotados neste trabalho estão apresentados no **Anexo 03**.

No **Quadro 4.1** encontra-se um resumo descritivo das etapas técnicas utilizadas na presente investigação, que será melhor detalhado nos itens seguintes.

Quadro 4.1 – Resumo descritivo das etapas técnicas aplicadas na investigação ambiental.

FASE	SERVIÇO	RESUMO DESCRITIVO
1	Topografia	Levantamento com estação total, locação em campo dos pontos de sondagem/amostragem de solo e das estruturas relacionadas
2	Levantamento Geofísico	Constituído pelos levantamentos: SEVME 2D (Sondagem Elétrica Vertical Multi-Eletrodo) e GPR 2D (<i>GroundPenetrating Radar</i>)
3	Sondagem, VOC, TPH e Geoquímica	Constituídos pela perfuração de sondagens a trado manual, rastreamento de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC), amostragem de solo e análises geoquímicas
4	Caracterização Hidrodinâmica	Corresponde as análises dos parâmetros físicos do solo (densidade aparente, densidade das partículas, microporosidade, macroporosidade, porosidade total, permeabilidade e umidade), além dos ensaios de permeabilidade
5	Instalação de PMS e Hidroquímica	Monitoramento do nível potenciométrico local, amostragem de água subterrânea e análise hidroquímica, além da determinação dos parâmetros físico-químicos <i>in situ</i> .

4.1. Topografia

Os serviços de topografia abrangeram a locação em campo e a determinação, por estação total, do georreferenciamento dos pontos de sondagem, além do transporte de coordenadas de bases conhecidas. Utilizou-se como referência o marco topográfico existente.

As informações geradas pela topografia foram utilizadas para o balizamento espacial de todo o trabalho, correlacionando os pontos no campo ao planejamento e aos produtos finais sob a forma de mapas. A utilização de uma base georreferenciada gerou um banco de dados confiável, com possibilidade de múltiplas aplicações futuras.

O **Anexo 04** apresenta o Memorial Geodésico.

4.2. Levantamento Geofísico

A campanha geofísica realizada pela **Stratageo** ocorreu entre os dias 06 de abril a 04 de maio de 2011 e contou com as aquisições de imageamento bidimensionais usando as técnicas geofísicas de eletrorresistividade e GPR, que são descritas na sequência.

Método Elétrico

- **SEVME (Sondagem Elétrica Vertical Multi-eletrodo)**

A **SEVME**, também denominada como Eletrorresistividade, é um método geofísico destinado à investigação da resistividade elétrica em subsuperfície. Esta resistividade é obtida por meio da aplicação da corrente elétrica em diversos pontos de uma seção e, posterior medição da diferença de potencial entre eles.

Após o processamento dos dados de SEVME obtém-se um perfil de resistividade, em profundidade através do qual se pode inferir a ocorrência de descontinuidades geológicas, estratigrafia de camadas, localização de objetos enterrados e detecção de zonas anômalas que podem estar associadas a hidrocarbonetos.

A penetração da corrente elétrica no solo está diretamente ligada ao comprimento da seção de SEVME sendo que a resolução tende a diminuir com o aumento da profundidade, através da criação de protocolos de aquisição é feita a adequação da resolução em intervalos de profundidade estabelecidos para uma melhor definição em imagem do alvo pretendido.

A utilização deste método baseia-se na avaliação de anomalias geofísicas mapeando-se as Zonas Anômalas de Resistividade - ZANR (tanto as de alta resistividade (ZAR) quanto as de baixa resistividade (ZBR)) visando o fornecimento de indícios qualitativos sobre as diferenças resistivas entre os materiais do subsolo.

A identificação das ZARs é importante pois permite inferir quanto:

- Às condições naturais do substrato onde terrenos com maior porosidade, mais arenosos e com espaços entre os grãos não preenchidos por água tornam o meio mais resistivo; enquanto que, a presença de água nesses espaços diminui a resistividade. A presença de materiais pelíticos torna o meio condutivo.

- À presença de hidrocarbonetos em áreas contaminadas atualmente os quais estão associados às zonas de alta resistividade, enquanto que a presença de contaminação antiga biodegradada está associada à zona de baixa resistividade aparente.

Método Eletromagnético

- **GPR (*Ground Penetrating Radar*)**

O **GPR** é um método geofísico de investigação que consiste na emissão pulsada de ondas eletromagnéticas no solo. Parte da energia é refletida ou espalhada nas estruturas ou objetos em profundidade, dependendo das características elétricas do meio, tais como mudanças do material geológico e interfaces rocha/água. Os sinais são emitidos e recebidos através de duas antenas (emissora e receptora) dispostas na superfície do terreno.

O GPR é comumente aplicado em estudos de Geologia, Geotecnia, Engenharia e Meio Ambiente em aplicações, tais como levantamentos de estradas e pontes, arqueologia e localização de tubulações.

A interpretação dos dados de GPR resulta em um perfil do subsolo permitindo individualizar a presença de materiais metálicos, topos rochosos, tubulações, cabos, cavidades, empilhamento estratigráfico e, indiretamente, áreas contaminadas.

4.2.1 Aquisição e Processamento

- **SEVME 2D**

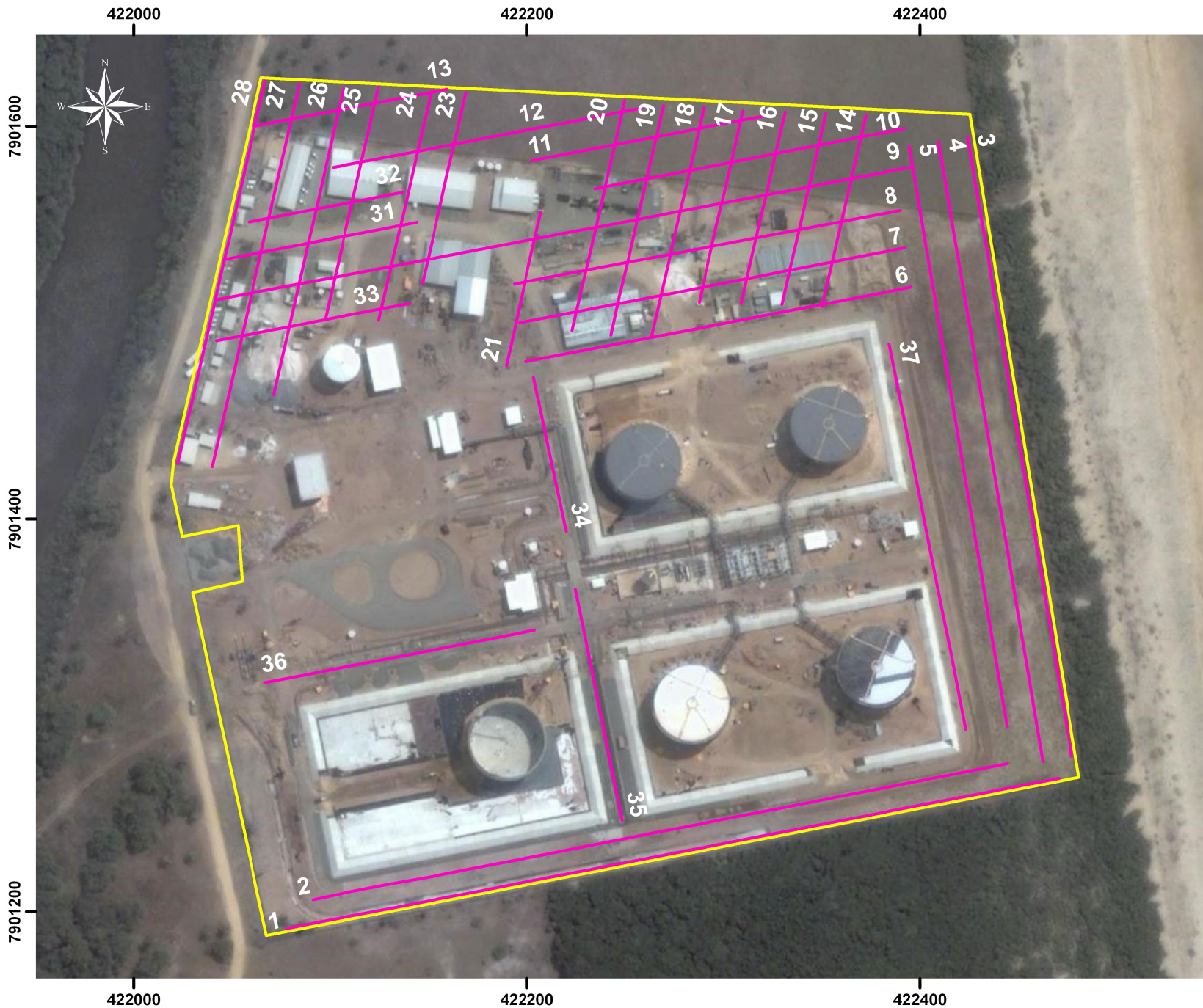
A definição dos parâmetros de aquisição de SEVME foi realizada com base nos objetivos propostos para o método, definindo assim, o número de cabos e eletrodos a utilizar, o comprimento das seções, espaçamento entre eletrodos, arranjo e protocolo, sendo sempre realizados testes de campo para orientar a definição final dos parâmetros a serem utilizados. Em seguida, os testes preliminares foram entregues a fiscalização (**Anexo 05**).

Os levantamentos de SEVME foram realizados com o equipamento SAS 4000 do fabricante ABEM e com dois de cabos “multicabo” de 21 “takeouts” cada.

Foram executadas 359 seções de SEVME 2D de 40,0 metros e 80 metros (incluindo os três testes), adquiridas pela técnica de *roll-along* que consiste em realizar seções de eletrorresistividade usando vários multicabos sendo estes sobrepostos em distancias de 50% em um comprimento total de 40 metros por seção. Utilizou-se o arranjo Dipolo-Dipolo com espaçamento entre eletrodos de 1,0 metro e a realização de 03 testes com arranjos diferentes (Dipolo-Dipolo, Shlumberger e Wenner).

As características físicas (tamanho, posição, número de linhas) e técnicas (quantidade de eletrodos, arranjo etc) de cada uma das linhas encontram-se descritas na **Tabela 1.1** do **Anexo 06**. As **Figuras 4.1 e 4.2** apresentam a localização das seções de SEVME 2D de 40 metros e 80 metros, respectivamente.

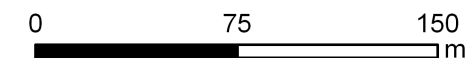
Todas as seções de SEVME adquiridas na área do TNC estão inseridas no **Anexo 05**.



Legenda

- Área-Estudo_TNC
- SEVME - 40 m - Rasa

ID	Linha	Comprimento (m)
1	S2-TNC-0001	400,19
2	S2-TNC-0002	359,96
3	S2-TNC-0003	320,01
4	S2-TNC-0004	319,99
5	S2-TNC-0005	300,14
6	S2-TNC-0006	200,03
7	S2-TNC-0007	199,92
8	S2-TNC-0008	200,00
9	S2-TNC-0009	359,95
10	S2-TNC-0010	160,12
11	S2-TNC-0011	119,95
12	S2-TNC-0012	159,98
13	S2-TNC-0013	100,00
14	S2-TNC-0014	100,00
15	S2-TNC-0015	100,07
16	S2-TNC-0016	99,96
17	S2-TNC-0017	99,99
18	S2-TNC-0018	120,05
19	S2-TNC-0019	119,96
20	S2-TNC-0020	120,06
21	S2-TNC-0021	80,09
22	S2-TNC-0022	100,01
23	S2-TNC-0023	100,01
24	S2-TNC-0024	119,93
25	S2-TNC-0025	119,95
26	S2-TNC-0026	160,13
27	S2-TNC-0027	199,99
28	S2-TNC-0028	199,95
31	S2-TNC-0031	119,66
32	S2-TNC-0032	79,96
33	S2-TNC-0033	99,99
34	S2-TNC-0034	80,10
35	S2-TNC-0035	120,08
36	S2-TNC-0036	140,00
37	S2-TNC-0037	200,02



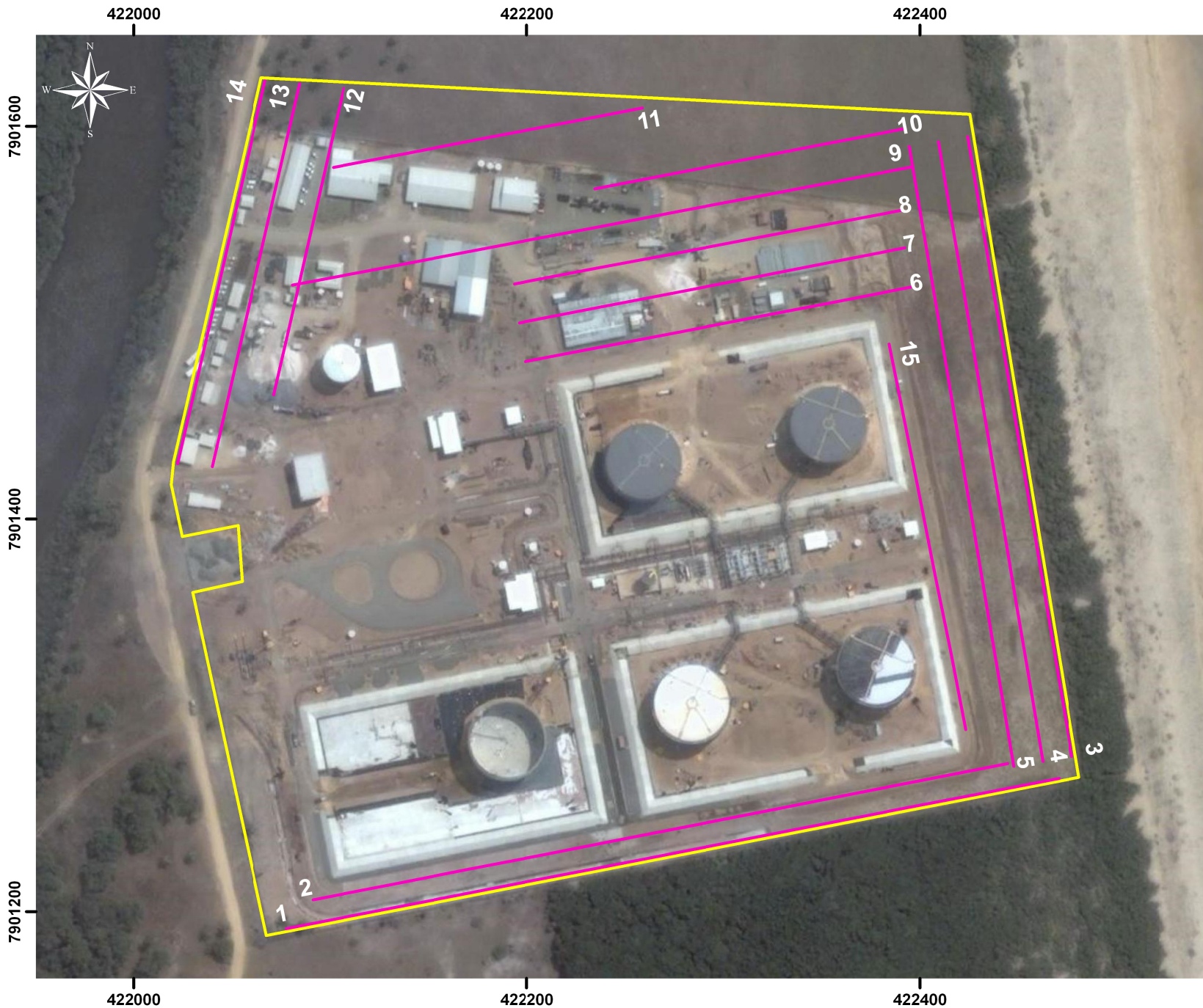
Projeção: Universal Transversa de Mercator
Datum: Sirgas 2000
Zona: 24s



Data: 08/2011
Projeto: TNC
Contrato: 4600306204

Elaborado por: T.Fernandes
Revisto por: J.Matos
Aprovado por: K.Gouvea

Figura 4.1: Mapa de Aquisição Geofísica - SEVME2D (40m)
Fonte: Stratageo (2011)



Legenda

- Área-Estudo_TNC
- SEVME - 80 m - Profunda

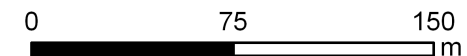
ID	Linha	comprimento (m)
1	S2-TNC-0001	400,19
2	S2-TNC-0002	359,95
3	S2-TNC-0003	320,01
4	S2-TNC-0004	319,99
5	S2-TNC-0005	320,26
6	S2-TNC-0006	200,03
7	S2-TNC-0007	199,92
8	S2-TNC-0008	200,00
9	S2-TNC-0009	320,08
10	S2-TNC-0010	160,12
11	S2-TNC-0012	159,98
12	S2-TNC-0026	160,13
13	S2-TNC-0027	199,99
14	S2-TNC-0028	199,95
15	S2-TNC-0037	200,02



Data: 08/2011
 Projeto: TNC
 Contrato: 4600306204

Elaborado por : T.Fernandes
 Revisto por: J.Matos
 Aprovado por: K.Gouvea

Figura 4.2: Mapa de Aquisição de Geofísica - SEVME2D (80m)
 Fonte: Stratageo (2011)



Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Sirgas 2000
 Zona: 24s

O processamento das seções de eletrorresistividade foi realizado utilizando o software RES2DINV, produzido pela *Geoelectrica* onde, primeiramente, é feita uma inspeção visual dos dados com a finalidade de identificar leituras espúrias caracterizadas por picos destacados (“*spikes*”) de amplitude extrema e compostos por apenas uma leitura. Qualquer anomalia é, então, amostrada mais de uma vez para representar um resultado confiável. Portanto, desconsiderou-se a existência de “*spikes*”. Neste contexto, também é possível identificar eletrodos mal acoplados ou fuga entre conectores que normalmente aparecem na seção como anomalias fortes com um formato de “V”.

Após esse controle de qualidade inicial inicia-se o processo de inversão. O método de inversão usado foi o método dos mínimos quadrados (de Groot-Hedlin&Constable, 1990; Sasaki,1992).

O “*forwardmodelling*” é realizado pelo método dos elementos finitos utilizando-se de 2 a 4 nós por eletrodo (dependendo dos contrastes observados na região) e uma condição mista de contorno nas bordas. O modelo de blocos é usualmente não regular. Na primeira camada cada bloco tem arestas de comprimento igual ao espaçamento mínimo de eletrodos na linha. Para retratar a perda de resolução com profundidade, os blocos dos níveis inferiores são progressivamente maiores. Quando a densidade de dados superficial é alta e a superfície bastante não-homogênea, iniciou-se com blocos de tamanho igual à metade do espaçamento mínimo de eletrodos, mas reforçando o vínculo de suavização.

Os cálculos de inversão são geralmente apresentados com o logaritmo dos valores de resistividade, exceto nas seções onde estes valores são em média menores do que 1.

O “*dampingfactor*” (λ) inicial varia entre 0,16 e 0,33, dependendo da qualidade dos dados, sendo multiplicado por 1,10 a cada nível mais profundo do modelo. Devido à enorme influência do nível mais superficial no resultado, em certas situações utilizamos um valor excepcionalmente alto apenas para a camada mais superficial (ex.: linha adquirida sobre concreto ou asfalto). Essa correção evita flutuações excessivas dos valores de resistividade nesse primeiro nível; artefatos conhecidos como “*fingers*”.

Caso ocorram instabilidades numéricas fixa-se os valores mínimos e máximos de resistividade para o modelo final tomando como base os valores nas seções vizinhas ou até mesmo o resultado da mesma linha, após uma única iteração. É também usual durante o processo de inversão diminuir o peso dos blocos nas bordas do modelo pois estes são os mais sujeitos a erros.

Um bom resultado deve apresentar um erro RMS final baixo e convergir até a quinta iteração. Além disso, o histograma de amostras por erro deve ser concentrado próximo à origem. Em alguns casos todos os pontos convergem bem, exceto alguns poucos que são destacados no histograma mencionado acima. Se a densidade de amostragem for alta e estes pontos não forem espacialmente concentrados, eles podem ser removidos. O novo arquivo de dados pode ser então re-submetido ao processo de inversão.

Em regiões com contrastes/ruídos muito altos o algoritmo de inversão apresenta maior erro matemático para encontrar a conversão devido aos vínculos de suavidade.

- **GPR 2D**

As seções de GPR foram adquiridas utilizando-se parâmetros previamente determinados através de testes realizados na área com antena de 100 MHz, juntamente com testes de análise hiperbólica. Foi realizado com o objetivo de se definir a velocidade do meio para posterior utilização no processamento. Esses testes orientaram a escolha dos parâmetros de campo para o levantamento e seus resultados encontram-se no **Anexo 05**.

Foi utilizado um equipamento marca GSSI modelo SIR3000 com antena de 100 MHz blindada, aquisição dinâmica e parametrização a seguir:

- Espaçamento entre traços de 10,00 cm.
- *Samplefrequency* de 1.72 GHz.
- *Timewindow* de 300ns.
- *Número de amostras*: 512
- *Número de stack* 8.

No processamento foi utilizada a velocidade de 0,120 m/ns com base nos testes efetuados.

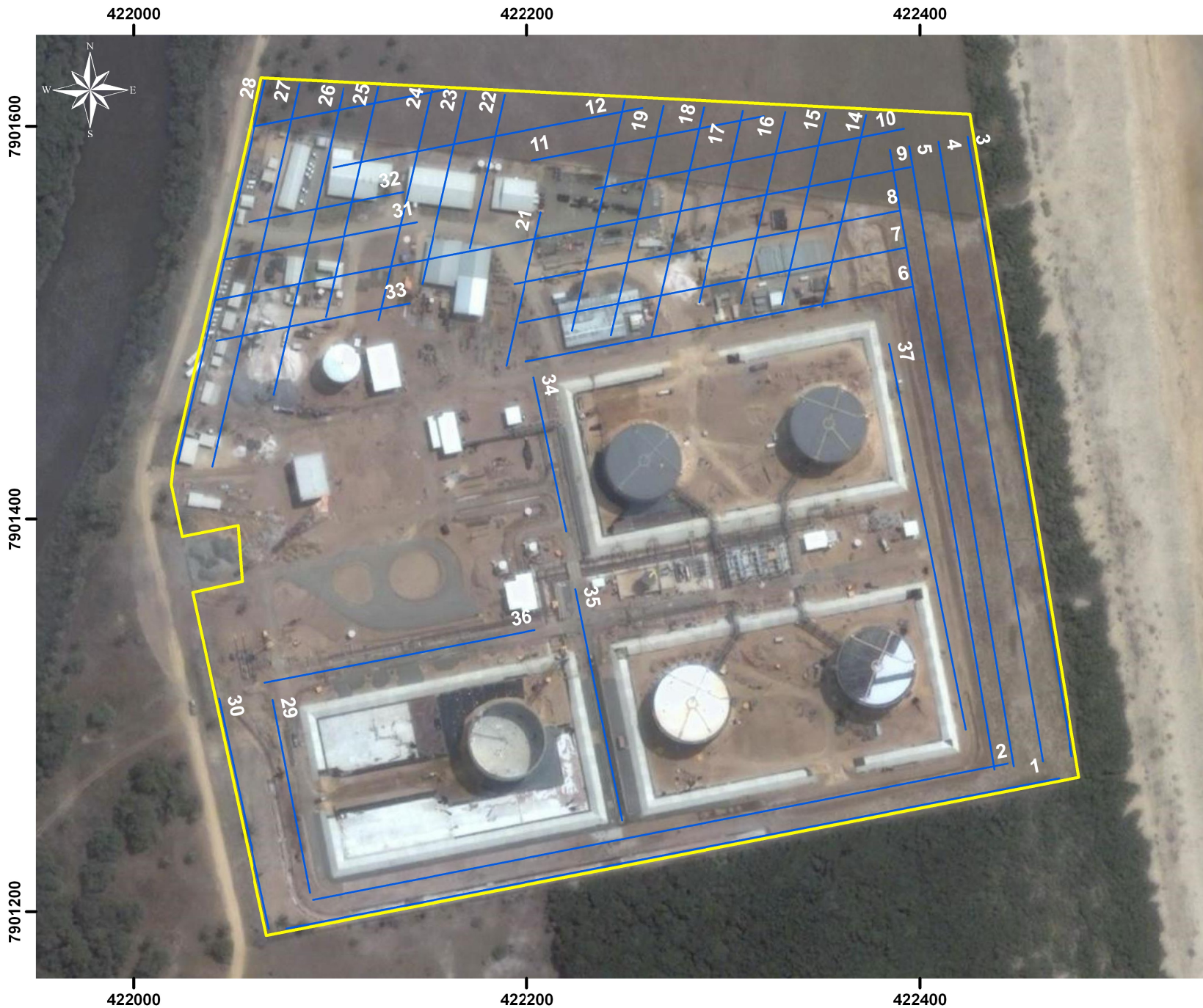
Definidos os parâmetros de aquisição, os levantamentos contaram com a realização de 38 linhas de GPR-2D totalizando 7.699,40 km. A **Tabela 1.2** do **Anexo 06** apresenta as informações das linhas de GPR-2D adquiridas.

O processamento contou com as seguintes etapas: conversão de formato, ajuste para o tempo zero, janelamento, filtro de baixas frequências (*dewow*), atenuação de frequências (*remove attenuation*), filtro Passa Banda (*Band Pass1Dfilter*) remoção de ruído de fundo (*remove background*), ganho AGC (*Automatic Gain Control*), correções topográficas, conversão tempo-profundidade (*Time depht conversion*) e saída em formato *seg-y*.


Os trabalhos de integração dos dados foram realizados utilizando-se softwares específicos, que estão ajustados para processamento, carregamento e visualização destas informações. A interpretação baseou-se nos conceitos de Sismo-Estratigráfica, que por possuir alguns princípios de aquisição e processamento análogos ao GPR, permitiu a adoção de um modelo de interpretação Radar-Estratigráfico, semelhante ao proposto por Neal, 2004. A partir deste critério de interpretação pôde-se, assim, definir as principais feições estratigráficas presentes na área, bem como quaisquer outros objetos presentes em sub-superfície que pudessem ser captados pelo equipamento.

A **Figura 4.3** representa a localização das linhas de GPR 2D. O fluxo de processamento e os testes geofísicos (definição do arranjo e parâmetros ideais para o levantamento) e todas as seções adquiridas encontram-se no **Anexo 05**.

O fluxo das atividades de campo destinados aos diferentes métodos de aquisição geofísica (SEVME e GPR) encontra-se descrito no **Anexo 07**.



Legenda

 Área-Estudo_TNC

 GPR-2D

ID	LINHA	Comprimento (m)
1	G2-TNC-0001	400
2	G2-TNC-0002	360
3	G2-TNC-0003	320
4	G2-TNC-0004	320
5	G2-TNC-0005	320
6	G2-TNC-0006	200
7	G2-TNC-0007	200
8	G2-TNC-0008	200
9	G2-TNC-0009	360
10	G2-TNC-0010	160
11	G2-TNC-0011	120
12	G2-TNC-0012	160
13	G2-TNC-0013	100
14	G2-TNC-0014	100
15	G2-TNC-0015	100
16	G2-TNC-0016	100
17	G2-TNC-0017	100
18	G2-TNC-0018	120
19	G2-TNC-0019	120
20	G2-TNC-0020	120
21	G2-TNC-0021	80
22	G2-TNC-0022	80
23	G2-TNC-0023	100
24	G2-TNC-0024	120
25	G2-TNC-0025	120
26	G2-TNC-0026	160
27	G2-TNC-0027	200
28	G2-TNC-0028	200
29	G2-TNC-0029	100
30	G2-TNC-0030	120
31	G2-TNC-0031	100
32	G2-TNC-0032	80
33	G2-TNC-0033	100
34	G2-TNC-0034	80
35	G2-TNC-0035	120
36	G2-TNC-0036	140
37	G2-TNC-0037	200
38	G2-TNC-0038	320

0 75 150
m

Projeção: Universal Transversa de Mercator
Datum: Sirgas 2000
Zona: 24s



Data: 08/2011
Projeto: TNC
Contrato: 4600306204

Elaborado por: T.Fernandes
Revisto por: J.Matos
Aprovado por: K.Gouvea

Figura 4.3: Mapa de Aquisição de Geofísica - GPR2D
Fonte: Stratageo (2011)

4.3. Sondagens, Medições de Vapores Orgânicos e TPH no Solo (*Soil Gas Survey*), Ensaio Físicos e Granulométricos e Geoquímica

- **Sondagens e Medições de Vapores Orgânicos no Solo**

Foram realizadas perfurações de sondagens a trado manual que consiste em um método de avaliação geológico-geotécnico utilizando um tipo de amostrador de solo constituído por lâminas cortantes convexas que tiveram por finalidade a coleta de amostras deformadas para determinações físico-químicas, identificação da profundidade do nível d'água e, descrição geológica para determinação de horizontes estratigráficos.

Conforme proposta aprovada pela fiscalização, a malha de amostragem foi primeiramente regular, e em uma segunda etapa após as leituras de VOC e TPH *on-site* foram redefinidas as sondagens a serem amostradas.

Foram executadas 145 perfurações e efetuadas 547 leituras de VOCs (Compostos Orgânicos Voláteis) e 423 amostragens de TPH *on-site*, concomitantemente à realização das sondagens até a profundidade máxima de 6,0 metros perfazendo um total de 410,10 metros. O objetivo principal das leituras de VOC e TPF *on-site* foi obter um indicador para coletar amostras de solo para análises geoquímicas

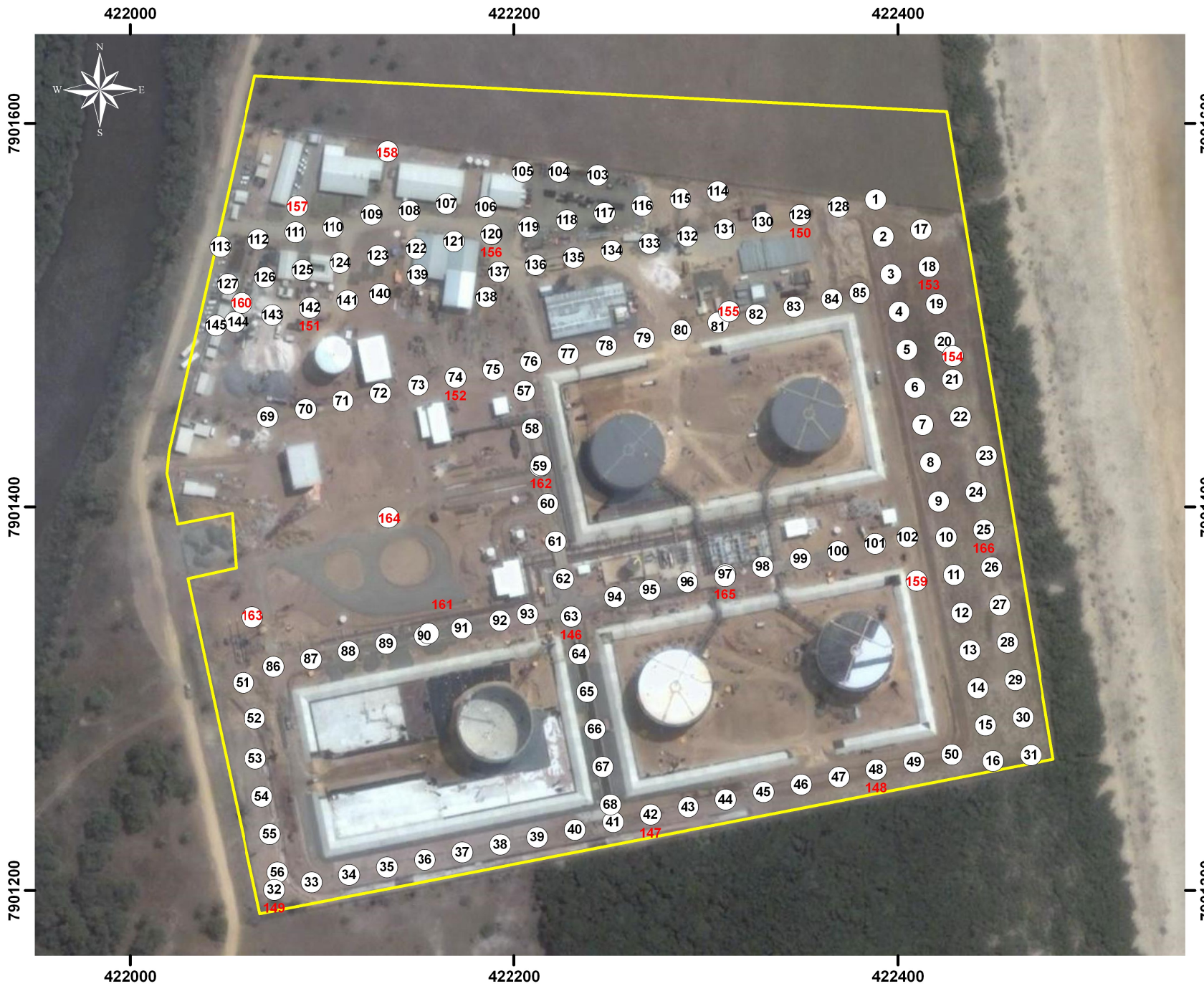
Para realização das medições de VOCs foi utilizado o equipamento portátil denominado Mini RAE 3000 que monitora os VOCs com intervalo estendido de 0 a 15.000 ppm de seu detector de fotoionização (PID), que o torna um instrumento ideal na avaliação ambiental.

Foram colocadas em sacos plásticos as alíquotas de solo retiradas das sondagens para realização das medições de VOCs. O saco foi agitado e, imediatamente, realizada a medição dos gases presentes no espaço vazio do

saco plástico, inserindo-se o tubo de amostragem do analisador de gases orgânicos na embalagem através de um pequeno orifício, evitando-se tocar o tubo do analisador na amostra ou nas paredes do recipiente.

A **Figura 4.4** apresenta a localização dos 169 furos de sondagens na área investigada. Os primeiros 145 furos de sondagem foram posicionados utilizando-se malha regular para uma primeira delimitação de anomalias através das medições de VOC e TPH *on-site* como também interpretação das SEVMes, procurando-se investigar as anomalias resistivas e condutivas reconhecidas no imageamento geo-elétrico. Posteriormente, foram realizadas amostragens de solo somente em 24 sondagens, totalizando 169 furos.

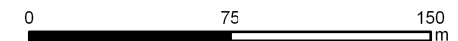
A **Figura 4.4** e a Tabela 1.3 do **Anexo 06** apresentam a localização e quantitativo das sondagens a trado manual, respectivamente.



Legenda

Área-Estudo_TNC

ID	SONDAGEM	PROFUNDIDADE PERFORADA	ID	SONDAGEM	PROFUNDIDADE PERFORADA
1	SD-TNC-0001	3,70	84	SD-TNC-0084	2,00
2	SD-TNC-0002	4,40	85	SD-TNC-0085	2,00
3	SD-TNC-0003	4,40	86	SD-TNC-0086	2,50
4	SD-TNC-0004	5,00	87	SD-TNC-0087	2,00
5	SD-TNC-0005	5,40	88	SD-TNC-0088	2,00
6	SD-TNC-0006	5,70	89	SD-TNC-0089	2,00
7	SD-TNC-0007	5,50	90	SD-TNC-0090	2,00
8	SD-TNC-0008	5,40	91	SD-TNC-0091	2,00
9	SD-TNC-0009	5,40	92	SD-TNC-0092	2,00
10	SD-TNC-0010	5,40	93	SD-TNC-0093	2,50
11	SD-TNC-0011	5,40	94	SD-TNC-0094	2,00
12	SD-TNC-0012	5,40	95	SD-TNC-0095	2,00
13	SD-TNC-0013	5,40	96	SD-TNC-0096	2,00
14	SD-TNC-0014	5,40	97	SD-TNC-0097	2,00
15	SD-TNC-0015	5,40	98	SD-TNC-0098	2,00
16	SD-TNC-0016	5,40	99	SD-TNC-0099	2,00
17	SD-TNC-0017	5,50	100	SD-TNC-0100	2,00
18	SD-TNC-0018	5,50	101	SD-TNC-0101	2,00
19	SD-TNC-0019	5,50	102	SD-TNC-0102	2,00
20	SD-TNC-0020	5,50	103	SD-TNC-0103	2,00
21	SD-TNC-0021	6,00	104	SD-TNC-0104	2,00
22	SD-TNC-0022	6,00	105	SD-TNC-0105	2,00
23	SD-TNC-0023	5,50	106	SD-TNC-0106	2,00
24	SD-TNC-0024	5,50	107	SD-TNC-0107	2,00
25	SD-TNC-0025	5,50	108	SD-TNC-0108	2,50
26	SD-TNC-0026	5,50	109	SD-TNC-0109	2,50
27	SD-TNC-0027	5,50	110	SD-TNC-0110	2,50
28	SD-TNC-0028	5,50	111	SD-TNC-0111	2,50
29	SD-TNC-0029	5,00	112	SD-TNC-0112	2,50
30	SD-TNC-0030	5,00	113	SD-TNC-0113	2,50
31	SD-TNC-0031	5,00	114	SD-TNC-0114	3,50
32	SD-TNC-0032	2,00	115	SD-TNC-0115	2,00
33	SD-TNC-0033	2,00	116	SD-TNC-0116	2,00
34	SD-TNC-0034	2,00	117	SD-TNC-0117	2,00
35	SD-TNC-0035	2,00	118	SD-TNC-0118	2,00
36	SD-TNC-0036	2,00	119	SD-TNC-0119	2,00
37	SD-TNC-0037	2,00	120	SD-TNC-0120	2,00
38	SD-TNC-0038	2,00	121	SD-TNC-0121	2,00
39	SD-TNC-0039	2,00	122	SD-TNC-0122	2,00
40	SD-TNC-0040	2,00	123	SD-TNC-0123	2,00
41	SD-TNC-0041	2,00	124	SD-TNC-0124	2,00
42	SD-TNC-0042	2,00	125	SD-TNC-0125	2,00
43	SD-TNC-0043	2,00	126	SD-TNC-0126	2,00
44	SD-TNC-0044	2,00	127	SD-TNC-0127	2,00
45	SD-TNC-0045	2,50	128	SD-TNC-0128	3,00
46	SD-TNC-0046	2,00	129	SD-TNC-0129	3,00
47	SD-TNC-0047	2,50	130	SD-TNC-0130	2,60
48	SD-TNC-0048	2,50	131	SD-TNC-0131	2,50
49	SD-TNC-0049	2,50	132	SD-TNC-0132	2,00
50	SD-TNC-0050	4,00	133	SD-TNC-0133	2,00
51	SD-TNC-0051	2,40	134	SD-TNC-0134	2,00
52	SD-TNC-0052	2,40	135	SD-TNC-0135	2,00
53	SD-TNC-0053	2,00	136	SD-TNC-0136	2,00
54	SD-TNC-0054	2,00	137	SD-TNC-0137	2,00
55	SD-TNC-0055	2,00	138	SD-TNC-0138	2,00
56	SD-TNC-0056	2,00	139	SD-TNC-0139	2,00
57	SD-TNC-0057	2,50	140	SD-TNC-0140	2,00
58	SD-TNC-0058	2,50	141	SD-TNC-0141	2,00
59	SD-TNC-0059	2,50	142	SD-TNC-0142	2,00
60	SD-TNC-0060	2,50	143	SD-TNC-0143	2,00
61	SD-TNC-0061	2,50	144	SD-TNC-0144	2,00
62	SD-TNC-0062	2,50	145	SD-TNC-0145	2,00
63	SD-TNC-0063	2,50	146	SD-TNC-0146	2,00
64	SD-TNC-0064	2,00	147	SD-TNC-0147	2,00
65	SD-TNC-0065	2,00	148	SD-TNC-0148	2,00
66	SD-TNC-0066	2,00	149	SD-TNC-0149	2,00
67	SD-TNC-0067	2,00	150	SD-TNC-0150	2,00
68	SD-TNC-0068	2,00	151	SD-TNC-0151	2,00
69	SD-TNC-0069	2,50	152	SD-TNC-0152	2,00
70	SD-TNC-0070	2,00	153	SD-TNC-0153	6,00
71	SD-TNC-0071	2,00	154	SD-TNC-0154	5,80
72	SD-TNC-0072	2,00	155	SD-TNC-0155	2,00
73	SD-TNC-0073	2,00	156	SD-TNC-0156	2,30
74	SD-TNC-0074	2,00	157	SD-TNC-0157	2,50
75	SD-TNC-0075	2,00	158	SD-TNC-0158	2,30
76	SD-TNC-0076	2,00	159	SD-TNC-0159	2,40
77	SD-TNC-0077	2,00	160	SD-TNC-0160	2,50
78	SD-TNC-0078	2,00	161	SD-TNC-0161	2,00
79	SD-TNC-0079	2,00	162	SD-TNC-0162	2,30
80	SD-TNC-0080	2,00	163	SD-TNC-0163	2,50
81	SD-TNC-0081	2,00	164	SD-TNC-0164	2,00
82	SD-TNC-0082	2,00	165	SD-TNC-0165	2,40
83	SD-TNC-0083	2,00	166	SD-TNC-0166	5,50



Projeção: Universal Transversa de Mercator
Datum: Sirgas 2000
Zona: 24s



Data: 08/2011
Projeto: TNC
Contrato: 4600306204

Elaborado por : T.Fernandes
Revisto por: J.Matos
Aprovado por: K.Gouvea

Figura 4.4: Mapa de Sondagens Executadas
Fonte: Stratageo (2011)

As anomalias detectadas nas seções de Sondagem Elétrica Vertical Multieletrodos e das anomalias do sinal eletromagnético do GPR interpretadas, orientaram a locação de sondagens. As sondagens seguiram os preceitos da norma ABNT 15492 – Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – procedimento.

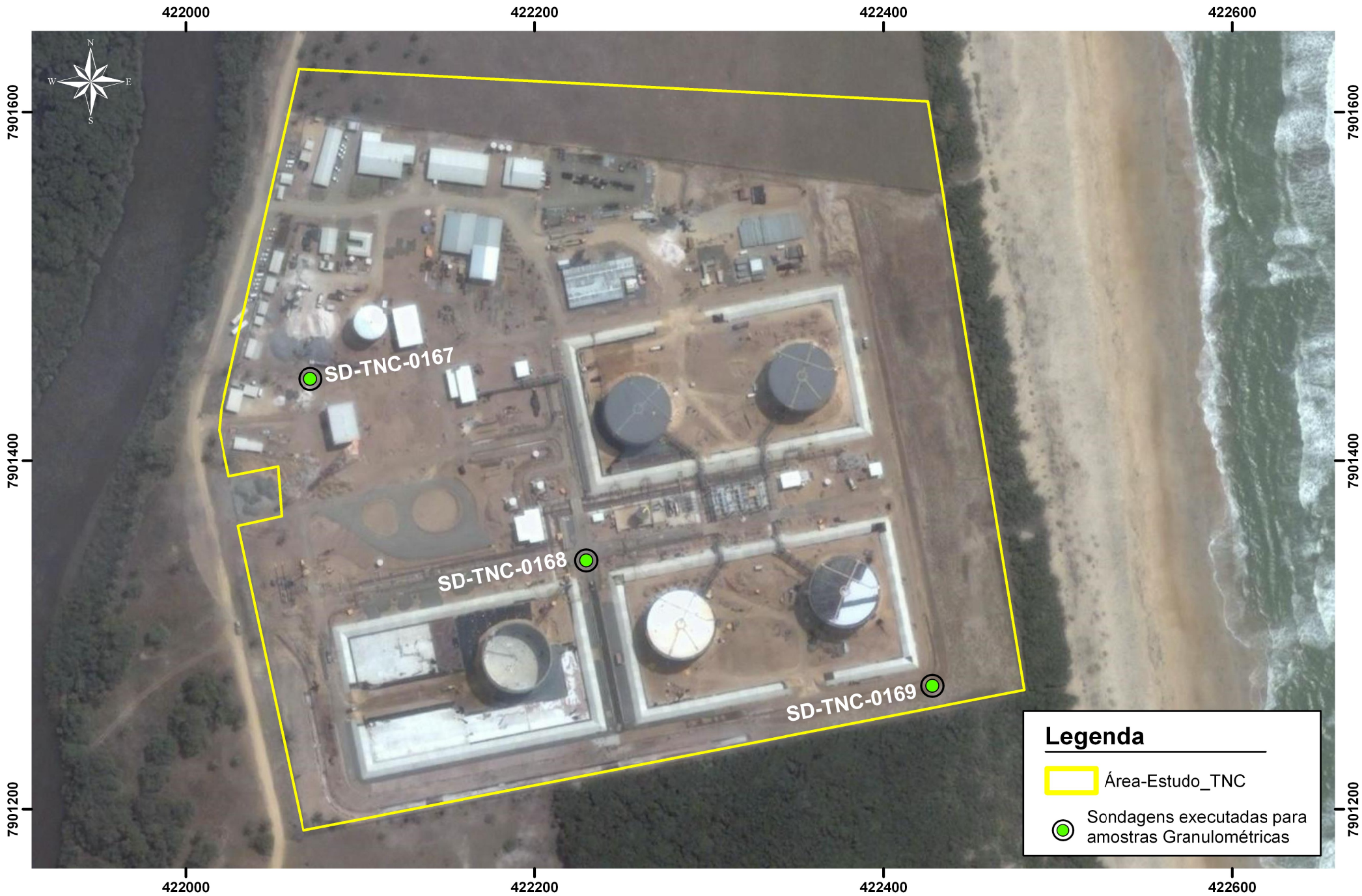
Os perfis geológicos com descrição granulométrica do material encontram-se inseridos no **Anexo 08**. As metodologias aplicadas aos trabalhos executados em campo encontram-se dispostas no **Anexo 05**.

- **Ensaio Físicos e Granulométricos**

Para fins de caracterização física do solo foram realizadas 03 (três) sondagens (**Figura 4.5**) em pontos distintos da área para coleta de 03 (três) amostras indeformadas destinadas à análise dos parâmetros físicos do solo (porosidade, permeabilidade, densidade, umidade e matéria orgânica) e 03 (três) para análise granulométrica. Estas amostras foram coletadas na profundidade de 0,20 m, seguindo os procedimentos determinados por Barboza (2007):

- retirada com trado amostrador para permitir o encaixe da amostra de maneira homogênea sem enroscar o cilindro nem causar grandes perturbações.
- A amostra retirada foi envolvida em filme de PVC ou papel alumínio, plástico bolha e, em seguida, colocada em um isopor, de modo que sua umidade fosse mantida sem alterações até a entrega ao laboratório responsável pela análise.

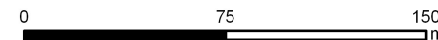
Os resultados obtidos para as análises granulométricas foram representados no diagrama triangular de classificação textural dos solos construído com base nas percentagens das principais classes granulométricas (areia, silte e argila), das amostras analisadas.



Data: 08/2011
 Projeto: TNC
 Contrato: 4600306204

Elaborado por: T.Fernandes
 Revisto por: J.Matos
 Aprovado por: K.Gouvea

Figura 4.5: Mapa de Localização dos pontos de coleta para amostras granulométricas
 Fonte: Stratageo (2011)



Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Sirgas 2000
 Zona: 24s

- **Geoquímica**

Em relação ao estudo geoquímico, preliminarmente foi elaborado um plano de amostragem de solo o qual foi repassado aos técnicos de campo com todos os procedimentos de amostragem, preservação e envio ao laboratório *Analytical Technology*, além da descontaminação dos equipamentos.

Previamente à coleta das amostras os frascos foram identificados com o nome do projeto, data e hora de coleta, parâmetro a ser analisado e o número da amostra, conforme descrito no item 4.0. Sobre a etiqueta foi utilizada uma fita adesiva transparente a fim de manter visível a identificação da amostra e a vedação da mesma. A nomenclatura a ser adotada para o número da amostra foi informada pelo coordenador do projeto.

Depois de atingida a profundidade desejada a amostra foi transferida para o frasco de amostragem o mais rapidamente possível, para diminuir a perda de VOCs, preenchendo-o completamente, evitando-se assim o contato da amostra com o ambiente.

O armazenamento das amostras foi realizado em frascos novos fornecidos pelo laboratório, de forma que a escolha do tipo de frasco estava de acordo com os parâmetros a serem analisados. Fez-se, também, necessária a utilização de uma ou mais caixas de isopor ou *cooler*. Após a coleta e identificação da amostra foi realizado o armazenamento imediato das amostras juntamente à adição de gelo, sendo refrigerada, entre 0 e 4°C, para conservação das mesmas.

As amostras foram entregues ao laboratório junto com a cadeia de custódia, transferindo a responsabilidade do técnico pela coleta das amostras para o responsável do laboratório, o qual foi encarregado do armazenamento até o momento da análise química, assim como o registro de recebimento das mesmas.

Foram coletadas 48 amostras de solo e analisados os seguintes parâmetros de interesse:

- HTP com cromatograma.
- Análise de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (16 HPAs prioritários reportados pela EPA).
- Metais Totais (todas as amostras - conforme Anexo II – Resolução CONAMA nº 420/2009).
- BTXE.

Os equipamentos de amostragem foram descontaminados utilizando a sequência composta por água destilada, detergente isento de fosfato (Extran), n-hexano (grau pesticida) e água deionizada ou destilada. Os efluentes gerados na descontaminação foram armazenados em recipientes adequados. O solo retirado do local da sondagem, que não foi enviado para laboratório, foi devolvido ao local de origem e posteriormente tamponado com calda de bentonita e selo de concreto (quando aplicável).

O material utilizado nas amostragens para a realização das análises geoquímicas seguiu os critérios e métodos da EPA SW-846, *Test Methods for Evaluating Solid Wastes* e, a escolha da frascaria condicionada à análise a ser efetuada.

4.4. Instalação de PMs, Desenvolvimento, Monitoramento Piezométrico, Determinação dos parâmetros físico-químicos, Hidroquímica e Ensaios Hidrogeológicos.

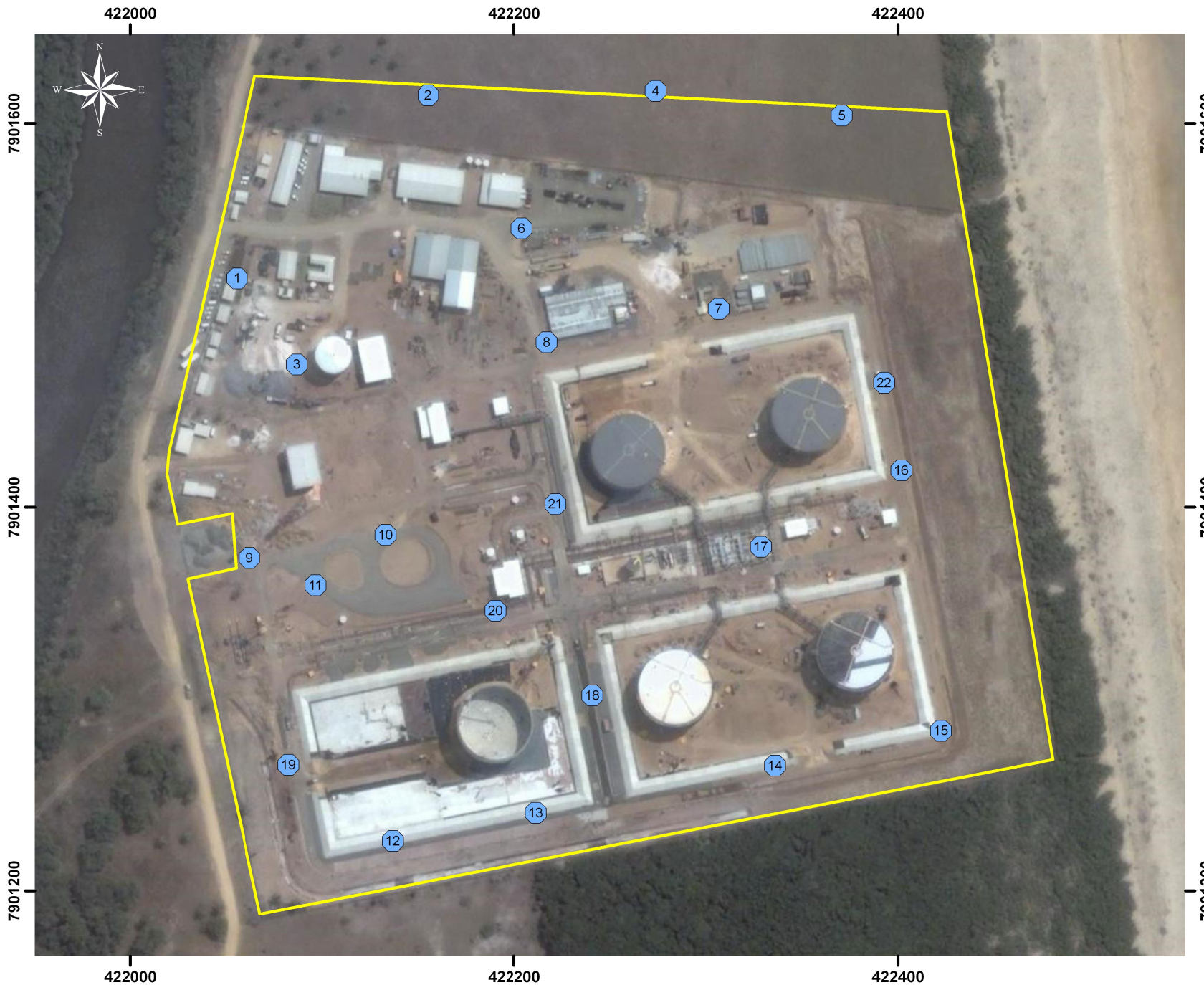
- **Instalação de PMs, Desenvolvimento e Monitoramento Piezométrico**

Após a execução das sondagens e a confirmação da inexistência de interferências deram-se prosseguimento aos trabalhos de instalação dos poços de monitoramento com a execução de sondagem mecânica (*Hollow Stem Auger*), instalando os poços de monitoramento com 2” de diâmetro.


A rede de monitoramento local compreende, então, 22 poços de monitoramento (PMs) com profundidade de cerca de 5,0 m que foram instalados pela **Stratageo** no período de 01/06/2011 a 07/06/2011 (**Figura 4.6**).


A instalação dos poços de monitoramento, desenvolvimento e coleta das amostras de água subterrânea atenderam às especificações contidas na norma ABNT - NBR 13895 – Construção de poços de monitoramento e amostragem – Junho de 1997.

O desenvolvimento e limpeza dos poços teve como objetivo remover todos os resíduos resultantes da operação de perfuração, instalação do revestimento e pré-filtro. Esta operação é de fundamental importância, de modo a eliminar possíveis fatores que podem interferir nos resultados da qualidade da água, como: turbidez elevada e concentrações químicas falsas.



Legenda

 Área-Estudo_TNC

 Poços de Monitoramento instalados pela Stratageo


ID	Pm's	Profundidade(m)
1	PM-TNC-0001	4,20
2	PM-TNC-0002	4,95
3	PM-TNC-0003	4,90
4	PM-TNC-0004	6,20
5	PM-TNC-0005	5,20
6	PM-TNC-0006	4,00
7	PM-TNC-0007	4,75
8	PM-TNC-0008	4,80
9	PM-TNC-0010	4,65
10	PM-TNC-0011	4,90
11	PM-TNC-0013	4,90
12	PM-TNC-0014	4,70
13	PM-TNC-0015	4,75
14	PM-TNC-0016	4,53
15	PM-TNC-0017	4,70
16	PM-TNC-0018	4,77
17	PM-TNC-0019	4,80
18	PM-TNC-0020	4,75
19	PM-TNC-0021	4,50
20	PM-TNC-0022	4,65
21	PM-TNC-0023	4,80
22	PM-TNC-0024	4,65



Data: 08/2011
 Projeto: TNC
 Contrato: 4600306204

Elaborado por : T.Fernandes
 Revisto por : J.Matos
 Aprovado por: K.Gouvea

Figura 4.6: Mapa de Localização dos Poços de Monitoramento
 Fonte: Stratageo (2011)

0 75 150
 m

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Sirgas 2000
 Zona: 24s

- **Caracterização Hidrodinâmica**

A metodologia utilizada para a caracterização hidrodinâmica da área de estudo consistiu basicamente na medição dos níveis d'água e nos testes de condutividade hidráulica (*Slug test* ou *Bail test*) nos poços de monitoramento existentes na área além das análises físicas do solo, conforme será descrito a seguir.

A medição dos níveis d'água foi realizada através do equipamento interface da marca *Hidrosuprimentos* (Modelo HSIFD-30) que consiste em um cabo com indicadores sonoros que são acionados quando o equipamento toca o nível d'água ou a fase livre, sendo formado por um cabo elétrico revestido por uma trena de marcação milimétrica e um sensor de aço inox localizado na extremidade inferior da trena.

Os dados dos níveis d'água estáticos foram aplicados na interpretação dos testes de permeabilidade do aquífero e as cotas destes níveis de água foram utilizadas na confecção do mapa potenciométrico da área.

A condutividade hidráulica exprime a maior ou menor facilidade com que o fluido (água) percola na rocha, podendo ser caracterizada por diversos métodos de campo e de laboratório. Fetter (1994) estimou uma faixa de valores de condutividade hidráulica para sedimentos inconsolidados que pode ser observada no **Quadro 4.2**.

Os ensaios de condutividade hidráulica são realizados para medir a capacidade do aquífero em permitir o fluxo de água. No presente estudo foram realizados os testes de permeabilidade do tipo *Slug test* ou *Bail test* nos poços de monitoramento.

Os ensaios de condutividade objetivaram a determinação da recuperação (seja por rebaixamento ou por elevação) do nível d'água e, a partir disso calcular a condutividade hidráulica do aquífero.

É importante ressaltar que o raio de influência deste ensaio é de alguns metros a partir do poço de monitoramento e para este ensaio tornar-se mais confiável foi de fundamental importância o conhecimento do posicionamento do filtro para identificar possíveis erros de interpretação.

Quadro 4.2 - Faixa de condutividade hidráulica para sedimentos inconsolidados (FETTER, 1994).

MATERIAL	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (cm/s)
Argilas	$10^{-9} - 10^{-6}$
Silte, siltito arenoso, argila arenosa, till	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia siltosa, Areia fina	$10^{-5} - 10^{-3}$
Areia bem selecionada	$10^{-3} - 10^{-1}$
Cascalho bem selecionado	$10^{-2} - 1$

A aplicação deste ensaio na área de estudo foi baseada nos seguintes procedimentos:

- Medição do nível d'água estático.
- Inserção de um volume conhecido ou de um "bailer" (amostrador de água descartável) no interior do poço para alteração do nível estático da água ou bombeamento de um volume de água, causando um rebaixamento na coluna d'água do poço.
- Monitoramento em intervalos regulares da recuperação do nível d'água até sua estabilização.

Para a interpretação deste ensaio e para o cálculo da condutividade hidráulica aplicou-se o método de Hvorslev. Os dados obtidos durante os ensaios foram plotados em gráficos gerando uma curva de variação do N.A versus tempo, que permitiu a determinação da condutividade hidráulica do aquífero, naquele ponto.

Existem na literatura diversos métodos que fornecem valores da condutividade hidráulica à partir de formulações matemáticas. Dados obtidos em curvas granulométricas podem ser utilizados em fórmulas empíricas para a estimativa da condutividade hidráulica. Neste estudo foi utilizado o método de Hazen (FETTER, 1994) que se aplica a sedimentos que contenham o diâmetro efetivo (d_{10}) variando de 0,1 a 3,0 mm, sendo este o diâmetro que corresponde o ponto da curva granulométrica de 10% passante, ou seja, 10% das partículas do material que possuem diâmetros inferiores ao d_{10} .

A fórmula aplicada a este método é:

$$K = C(d_{10})^2, \text{ onde}$$

K = condutividade hidráulica (cm/s);

D₁₀ = diâmetro efetivo (cm);

C = coeficiente de acordo com o material de interesse (vide Quadro 4.3)

Quadro 4.3 – Valor do coeficiente C de acordo com o material (FETTER, 1994)

MATERIAL	C
Areia muito fina, pobremente selecionada	0,4 - 0,8
Areia fina argilosa ou siltosa	0,4 – 0,8
Areia média, bem selecionada	0,8 – 1,2
Areia grossa, pobremente selecionada	0,8 – 1,2
Areia grossa, bem selecionada, limpa	1,2 – 1,5

A determinação dos parâmetros físicos do solo tiveram como finalidade fornecer dados de permeabilidade e porosidade efetiva para a determinação da velocidade do fluxo subterrâneo e, conseqüentemente a compreensão do comportamento do aquífero.

Os ensaios granulométricos foram realizados para a melhor compreensão dos materiais existentes na área, além de servirem como base de entrada para a determinação da condutividade hidráulica através do método empírico de Hazen. Os resultados obtidos com a análise granulométrica foram representados em gráficos do tipo histograma, relacionando a porcentagem em peso correspondente a cada classe granulométrica. O diagrama triangular de classificação do solo foi construído com base nas percentagens das principais classes granulométricas (areia, silte e argila) das amostras analisadas.

- **Amostragem de água subterrânea, Determinação dos parâmetros físico-químicos e Hidroquímica**

A operação de amostragem de água subterrânea teve dois objetivos básicos complementares: determinar as características físico-químicas da água subterrânea no campo e coletar amostras representativas do aquífero para determinações das concentrações químicas em laboratório.

O monitoramento, a determinação dos parâmetros físico-químicos e a amostragem de água foram realizados nos 22 poços de monitoramento, instalados pela **Stratageo**.

A amostragem ocorreu em junho de 2011, seguindo um Plano de Amostragem que foi elaborado levando em consideração a potentiometria da área, de montante a jusante, como também contornando potenciais pontos contaminados, evitando assim uma possível contaminação cruzada.

Foram realizadas também três amostras controle: brancos de campo, de equipamento e transporte, totalizando, então, 25 amostras de água.

A metodologia de amostragem atendeu às especificações contidas no contrato número 4600306204, sendo utilizado o método *Low Flow* (baixa vazão). Esta amostragem utiliza a purga, assegurando uma coleta de água representativa da formação aquífera.

O equipamento utilizado foi uma bomba peristáltica da marca *Solinst* acoplada a uma célula de fluxo da marca *AgSolve*, que em função da sua vazão poder ser controlada, propiciando um baixo fluxo no bombeamento da água gerando, assim, uma turbulência mínima que diminui a possibilidade de modificação das características físico-químicas da água durante a extração do aquífero. Foi utilizado para medição dos parâmetros um multi-parâmetro da marca *Hanna Instruments*, modelo - HI 96108.

A água subterrânea foi bombeada para o interior da célula de fluxo até que os parâmetros físico-químicos obtivessem três leituras sucessivas de 3 em 3 minutos obedecendo às seguintes características de estabilização: ± 0.1 para o pH, $\pm 3\%$ para a CE, ± 10 mV para o Eh, e $\pm 10\%$ para a turbidez e OD (Puls W. R., Barcelona J. M., 1996).

A célula de fluxo consiste de um recipiente hermeticamente fechado com eletrodos para medição dos parâmetros físico-químicos inseridos no seu interior.

O objetivo da célula de fluxo é preservar ao máximo as condições físico-químicas da água da formação aquífera, para monitorar tais condições. Logo após a amostragem, o material e os equipamentos utilizados foram descontaminados.

Os equipamentos foram calibrados sempre ao início de cada dia de amostragem com a finalidade da obtenção mais fidedigna possível dos dados físico-químicos.

As amostras foram acondicionadas em caixa de isopor na posição vertical e conservadas a uma temperatura de 4°C. A **Tabela 1.4** no **Anexo 02** apresenta o quantitativo das amostras de água subterrânea.

Conforme estabelecido pelo contrato 4600306204 foram realizadas análises hidroquímicas para os seguintes parâmetros de interesse:

- Hidrocarboneto Total de Petróleo (HTP) fracionado.
- Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (16 HPAs prioritários reportados pela EPA).
- Metais Totais (todas as amostras - conforme Anexo II – Resolução Conama nº 420/2009).
- Metais Dissolvidos (todas as amostras - conforme Anexo II – Resolução Conama nº 420/2009).
- BTXE.

4.5. Valores Orientadores

Foram considerados como valores orientadores neste trabalho os publicados na Resolução CONAMA nº 420/2009 (considerou-se para solo os teores tidos como passíveis de intervenção para áreas agrícolas e, para águas subterrâneas, os limites de intervenção estabelecidos), a qual apresenta as seguintes definições para os valores de referência:

- **Valores Orientadores:** são concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo e da água subterrânea.
- **Valor de Referência de Qualidade-VRQ:** é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo. Valor determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos.
- **Valor de Prevenção-VP:** é a concentração do valor limite de determinada substância no solo, tal que o mesmo seja capaz de garantir a manutenção da sua funcionalidade ou, de maneira corretiva, sustentar condições de restaurar a sua qualidade ou recuperá-la de forma compatível com os usos previstos.
- **Valor de Investigação-VI:** é a concentração de determinada substância no solo, ou na água subterrânea, acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

Para os compostos analisados cujos valores orientadores não constavam na Resolução CONAMA nº 420/2009 foram utilizados os valores contidos na Lista Holandesa (1999) e EPA R9 (2010), respectivamente.

5. QUANTITATIVOS

O **Quadro 5.1** relaciona o quantitativo das atividades realizadas na presente investigação ambiental levando em consideração o levantamento geofísico, sondagem (amostras de solo/geoquímica) e hidrogeologia (amostras de água subterrânea/hidroquímica).

Quadro 5.1 – Quantitativos totais dos trabalhos executados

ITEM	SERVIÇO	QUANTITATIVO
2	Levantamento Geofísico SEVME 2D*	359 seções
3	Levantamento Geofísico GPR 2D**	6,480 Km
4	Sondagem a trado manual	469,6 metros
5	Leitura de VOCs nas perfurações***	547 Leituras
6	Leitura de TPH nas perfurações****	423 Leituras
7	Análises em amostras de solo	48 amostras
8	Instalação de PMs	105,05 metros
6	Análises em amostras de água	25 amostras

*Sondagem Elétrica Vertical Multi-Eletrodo Bidimensional

**Ground Penetrating Radar Bidimensional

*** Compostos Orgânicos Voláteis

****Hidrocarboneto Total de Petróleo

6. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

6.1. Sondagem

As sondagens realizadas na área investigada atingiram profundidades entre 2,0 e 6,00 metros (**Anexo 08**). O nível d'água variou entre o mesmo intervalo de profundidade e para a área em questão foi o responsável pelo encerramento do furo.

Através das descrições litológicas das sondagens e dos poços de monitoramento observou-se que o subsolo local é composto por um pacote de sedimentos inconsolidados.

O pacote superior é constituído por camadas tabulares de areias finas a médias, por vezes areias grossas, maciças ou sem estrutura aparente, bastante mosqueada, com coloração variegada de cinza, laranja e marrom e, em geral, apresentam uma granulodecrescência.

Nas porções mais inferiores ocorrem intercalações de camadas de areias finas a grossas com alguma matriz argilosa, esbranquiçadas a amareladas e, lamitos esbranquiçados a acinzentados, com grânulos dispersos e geometria lenticular.

Esses sedimentos correspondem à planície deltáica do Rio Doce cujas cidades limites são Barra Nova e Guriri. Este é o trecho do litoral Capixaba onde os depósitos quaternários atingem o seu desenvolvimento máximo do Grupo Barreiras (Santos, 2005).

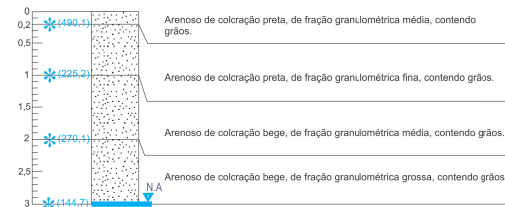
A **Figura 6.1** apresenta a seção geológica típica da área.

NE

Seção geológica rasa - TNC

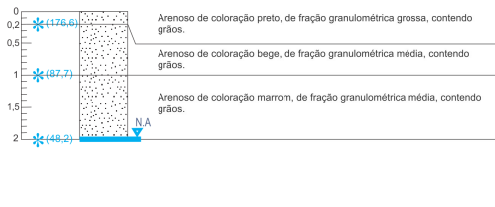
SW

SD-TNC-0128 14/04/2011
Prof. (m)
3,00



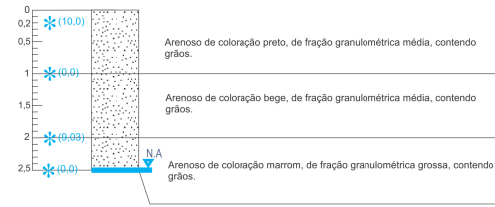
MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

SD-TNC-0082 23/04/2011
Prof. (m)
2,00



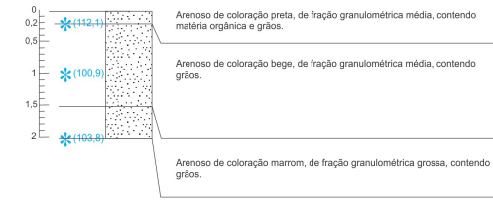
MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

SD-TNC-0093 25/04/2011
Prof. (m)
2,50

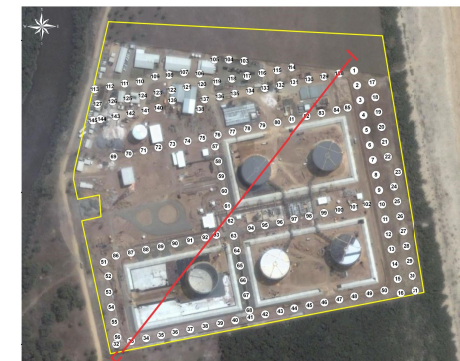
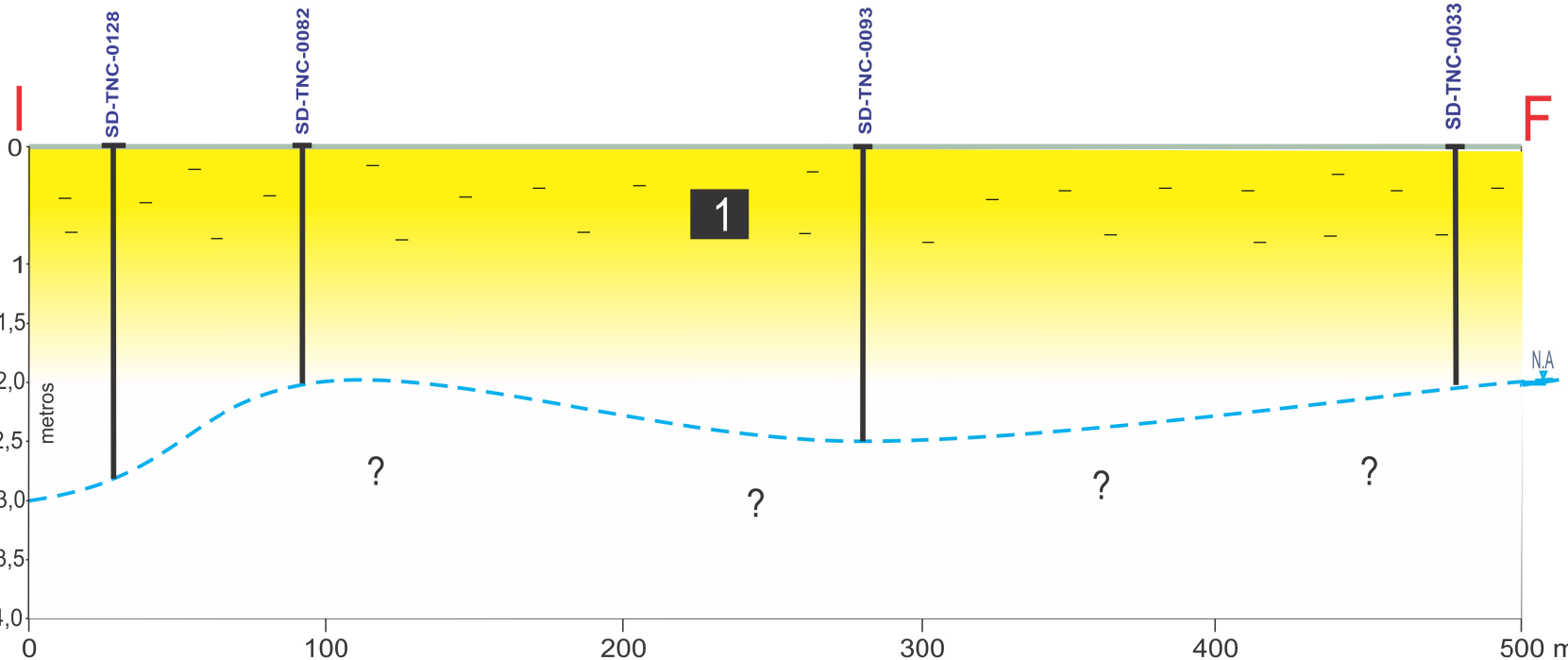


MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

SD-TNC-0033 11/04/2011
Prof. (m)
2,00



MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.



Interpretação

1 Horizonte 1	Material Arenoso
Contato N.A.	Material Arenoso com Orgânica



Data: 08/2011
Projeto: TNC
Contrato:4600306204

Elaborado por: T.Fernandes
Revisto por: J.Matos
Aprovado por: K.Gouvea

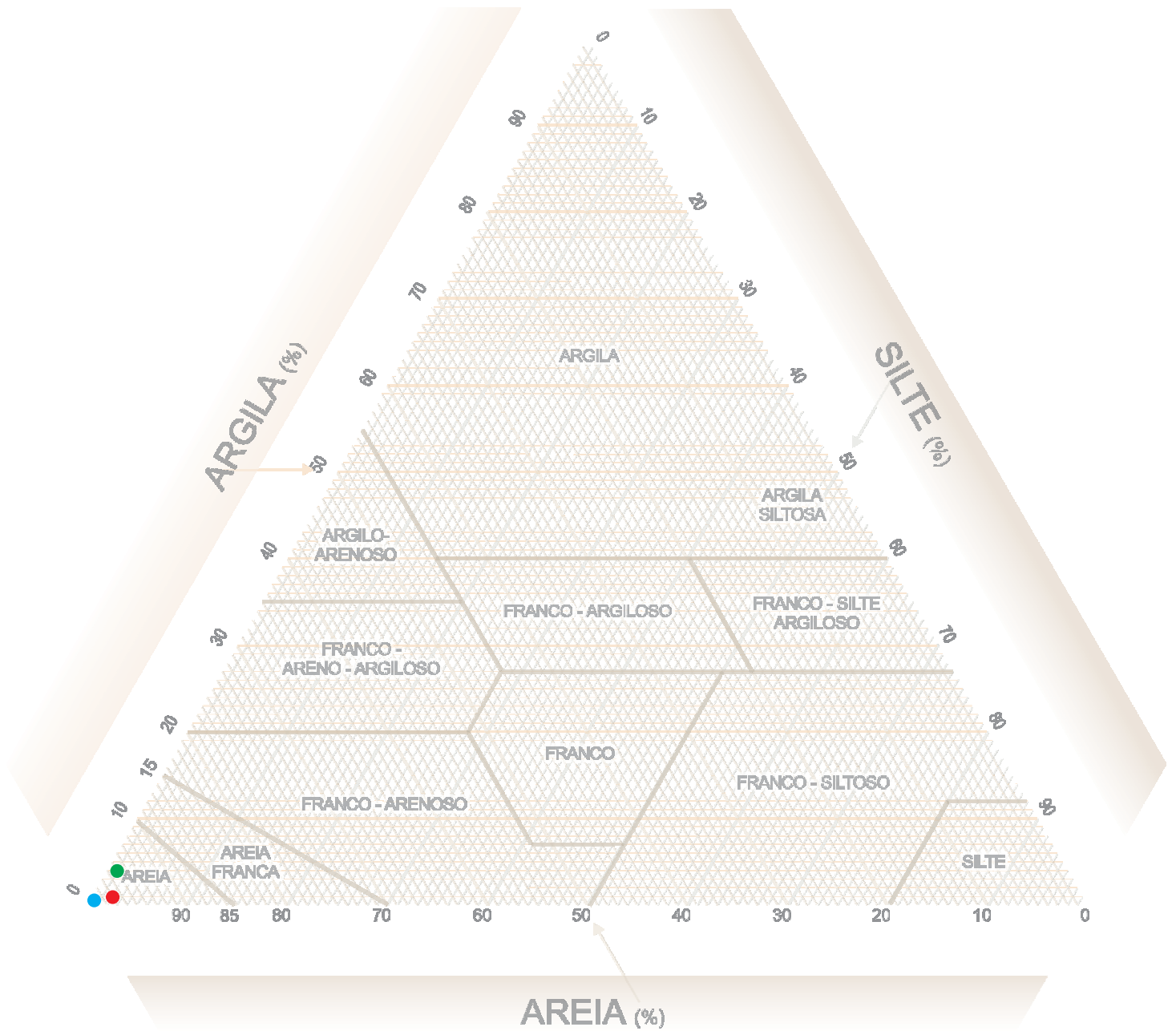
Figura 6.1: Seção Geológica da área
Fonte: Stratageo (2011)

O **Quadro 6.1** apresenta a porcentagem normalizada das classes granulométricas identificadas nas amostras analisadas AG-TNC-0001, AG-TNC-0002, AG-TNC-0003. No **Anexo 10** encontram-se os laudos e suas respectivas cadeias de custódia.

Com base nos resultados obtidos na análise granulométrica, representados no diagrama triangular de classificação textural e nos histogramas (**Figuras 6.2 e 6.3**, respectivamente), constatou-se que as amostras analisadas pertencem ao grupo areia sendo representadas por litofácies arenosas – composta predominantemente por areia com granulometria média a grossa e matriz argilosa com concentrações de sedimentos finos variando entre 0,09% e 1,36% aproximadamente.

Quadro 6.1 – Porcentagem das classes granulométricas das amostras analisadas e resultados das análises físicas das amostras indeformadas do TNC

PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS						
Amostra	Sondagem	Profundidade (m)	Classe Granulométrica (%)			
			Cascalho	Areia	Silte	Argila
AG-TNC-0001	SD-TNC-167	1,00	1,38	97,42	1,12	0,10
AG-TNC-0002	SD-TNC-168	1,00	1,41	95,97	1,25	1,36
AG-TNC-0003	SD-TNC-169	1,00	0,09	99,39	0,43	0,09



Amostra	
●	AG-TNC-0001 - (1,0 m)
●	AG-TNC-0002 - (1,0 m)
●	AG-TNC-0003 - (1,0 m)



Data: 08/2011
 Projeto: TNC
 Contrato: 4600306204

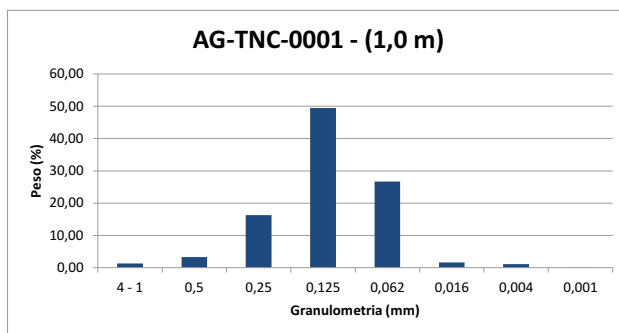
Projetado por: P.Filho
 Desenhado por: P.Filho
 Aprovado por: K .Gouvea



Figura 6.2 - Diagrama triangular de Classificação Textural.
 Fonte: Stratageo (2011)

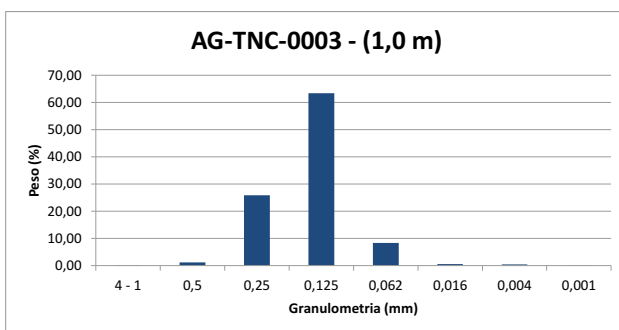
AG-TNC-0001 - (1,0 m)

Cascalho	4 - 1	1,38
Areia muito grossa	0,5	3,34
Areia grossa	0,25	16,30
Areia média	0,125	49,40
Areia fina	0,062	26,70
Areia muito fina	0,016	1,68
Silte	0,004	1,12
Argila	0,001	0,10



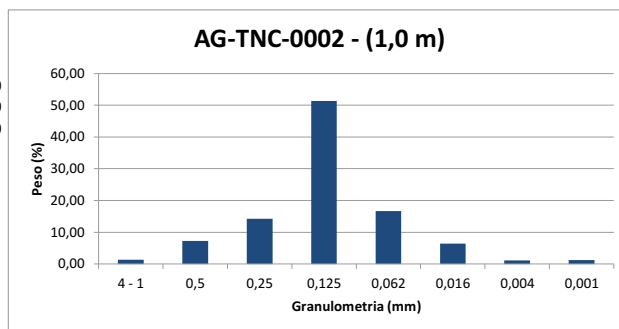
AG-TNC-0003 - (1,0 m)

Cascalho	4 - 1	0,10
Areia muito grossa	0,5	1,18
Areia grossa	0,25	25,90
Areia média	0,125	63,40
Areia fina	0,062	8,33
Areia muito fina	0,016	0,59
Silte	0,004	0,44
Argila	0,001	0,10



AG-TNC-0002 - (1,0 m)

Cascalho	4 - 1	1,35
Areia muito grossa	0,5	7,23
Areia grossa	0,25	14,20
Areia média	0,125	51,30
Areia fina	0,062	16,70
Areia muito fina	0,016	6,48
Silte	0,004	1,19
Argila	0,001	1,30



6.2. Interpretação Geofísica

A interpretação geofísica da área em estudo foi realizada utilizando-se os dados de SEVME e GPR, conjuntamente.

A interpretação dos dados foi realizada de forma individualizada e, posteriormente carregada em um único projeto para análise conjunta dos dados, de modo a fazer uma integração dos mesmos para se obter um único modelo geofísico/geológico para a área como um todo.

A geofísica possibilitou a caracterização do arcabouço geológico/estratigráfico da área através da interpretação das seções de SEVME e GPR que contribuíram para o conhecimento da profundidade e espessura dos sedimentos ocorrentes na área de estudo em maior profundidade, bem como auxiliou na interpretação das variações desses sedimentos

Ambas as técnicas se complementaram e ajudaram na elaboração do modelo geológico conceitual.

Para cumprir os objetivos propostos as primeiras seções adquiridas na área foram testes para determinação do arranjo e o protocolo que seriam utilizados para o método de SEVME e, a definição da melhor antena e parâmetros de aquisição de GPR.

6.2.2. SEVME

As seções de SEVMEs adquiridas nas áreas do Terminal Norte Capixaba - TNC foram interpretadas com a finalidade de se obter informações relativas às variações na resistividade aparente dos materiais investigados. As sondagens realizadas na área foram delimitadas com base nas anomalias elétricas identificada nas seções interpretatas.

Para definição da geologia local e da identificação de áreas potencialmente impactadas foram definidas diferentes zonas de resistividade, tais como: Zona Alta de Resistividade (ZAR), Zona Intermediária de Resistividade (ZIR) e Zona Baixa de Resistividade (ZBR), exemplificadas nas seções S2 TNC 0036 e na S2-TNC-0004A e representadas nas **Figuras 6.4 e 6.5**.

As seções de SEVME apresentaram uma forte correspondência entre si. De uma maneira geral foram reconhecidos três pacotes distintos, sendo eles:

- O primeiro corresponde a um horizonte superficial com resistividade elevada (ZAR) apresentando valores na ordem de 10^3 Ohm.m;
- Gradação para um pacote de resistividade intermediária (ZIR) na ordem de 10^2 Ohm.m.
- Contato com um terceiro horizonte com resistividade menor (ZBR) na ordem de 10^1 Ohm.m.

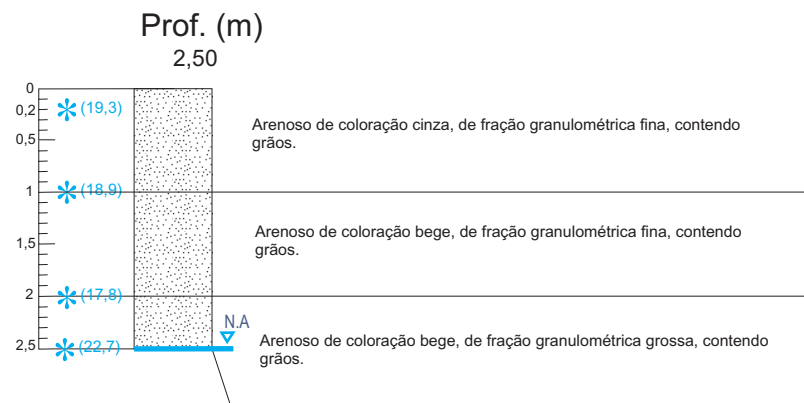
A profundidade de investigação das seções SEVME está diretamente ligado ao comprimento da seção sendo que a resolução tende a diminuir com o aumento da profundidade. Através da aplicação de protocolos de aquisição foi possível adequar a resolução em intervalos de profundidade definidos para uma melhor definição em imagem.

As **Figuras 6.6 a 6.9** apresentam as seções de SEVME de 40 metros adquiridas com a interpretação proposta.

As seções acima descritas apresentam um horizonte superficial com alta resistividade que atinge em média 3,0 metros de profundidade. Esse horizonte é interpretado como um pacote arenoso com baixa umidade por vezes representado com uma geometria lenticular. A partir dessa profundidade observa-se um horizonte com resistividades intermediárias, interpretado como um sedimento areno-argiloso. Finalmente, sotopostos a todos os demais pacotes ocorre um horizonte com baixa resistividade, correlacionável a sedimentos da Formação Barreiras saturados.

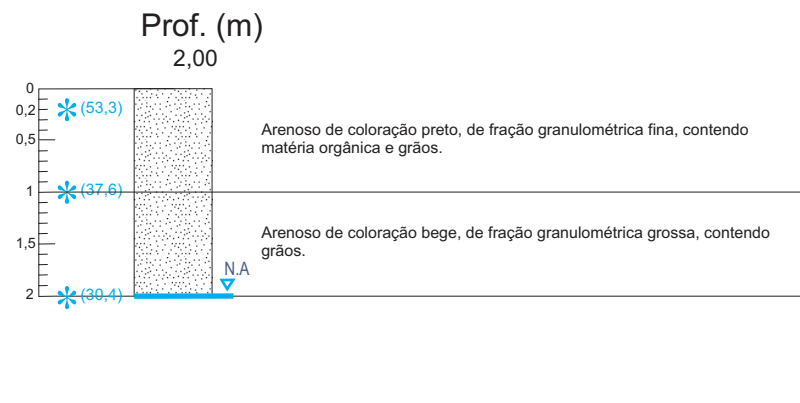
Os modelos invertidos apresentados nas de SEVME de 80,00 metros representados nas **Figuras 6.10 e 6.13** demonstraram que os contrastes elétricos identificados são representativos na distinção entre a zona saturada e insaturada. A zona insaturada é composta por sedimentos da Formação Barreiras com valores de resistividade da ordem de 10^3 Ohm.m enquanto que, na zona saturada os valores de resistividade diminuem progressivamente atingindo valores mínimos de 10^1 Ohm.m.

SD-TNC-0112 21/04/2011



MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

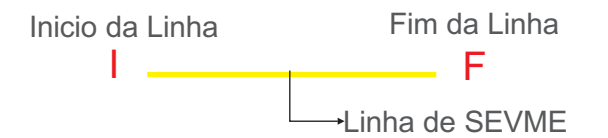
SD-TNC-0144 19/04/2011



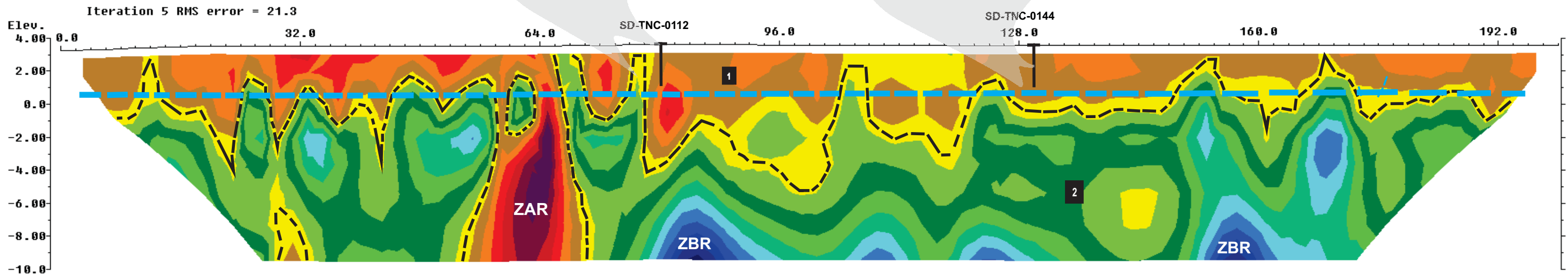
MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.



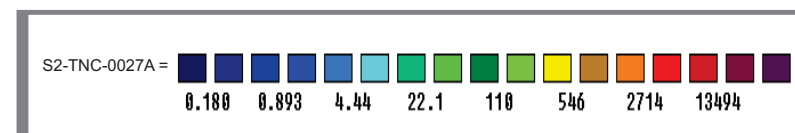
Mapa Chave



S2-TNC-0027



Resistivity in ohm.m



LEGENDA

Interpretação

- ZAR** Zona de Alta Resistividade
- ZBR** Zona de Baixa Resistividade
- Contato **1** Sedimento Arenoso Insaturado
- - - - - Nível d'água **2** Sedimento Arenoso saturado

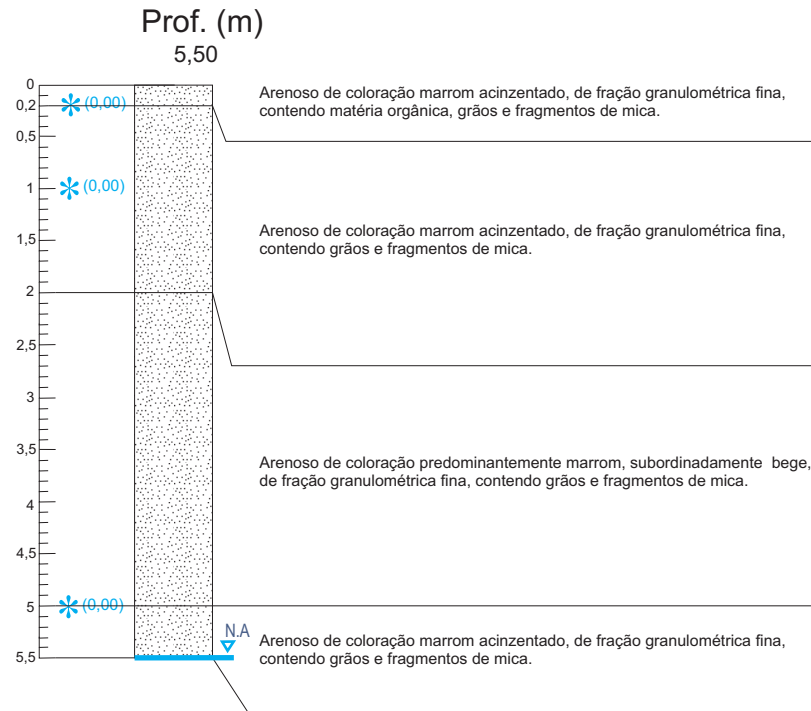


Data: 09/2011
 Projeto: TNC
 Contrato:4600306204

Elaborado por: T.Fernandes
 Revisto por: J.Matos
 Aprovado por: K.Gouvea

Figura 6.4 : Seção de SEVME2D - Interpretação Geológica
 Fonte: Stratageo (2011)

SD-TNC-0018 13/04/2011

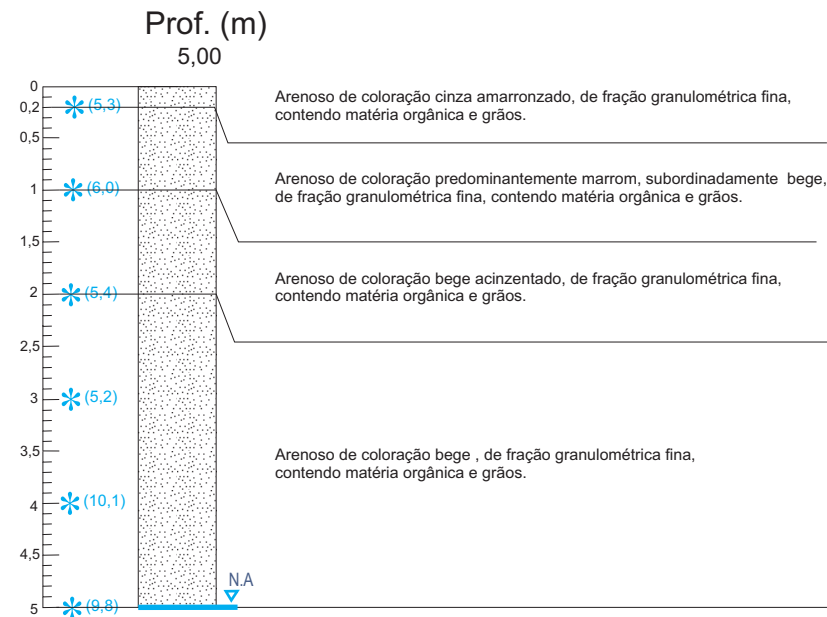


MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

SD-TNC-0018

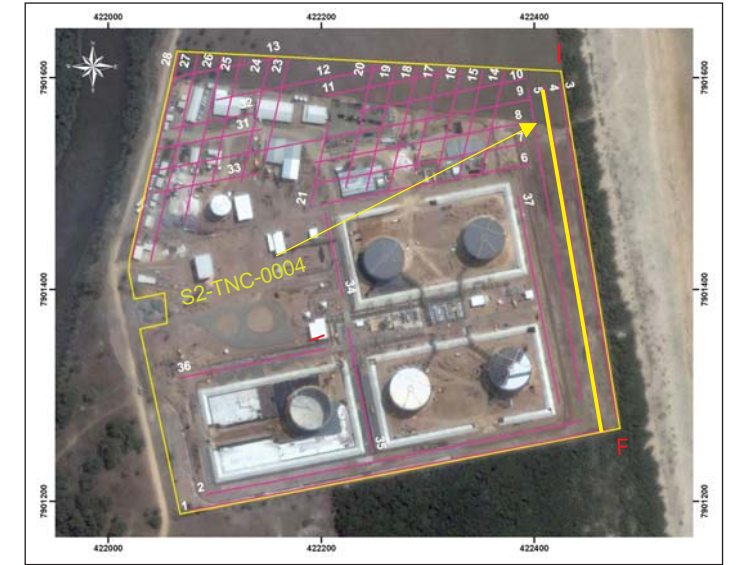
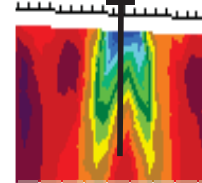


SD-TNC-0029 02/05/2011

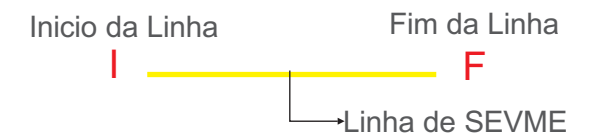


MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

SD-TNC-0029

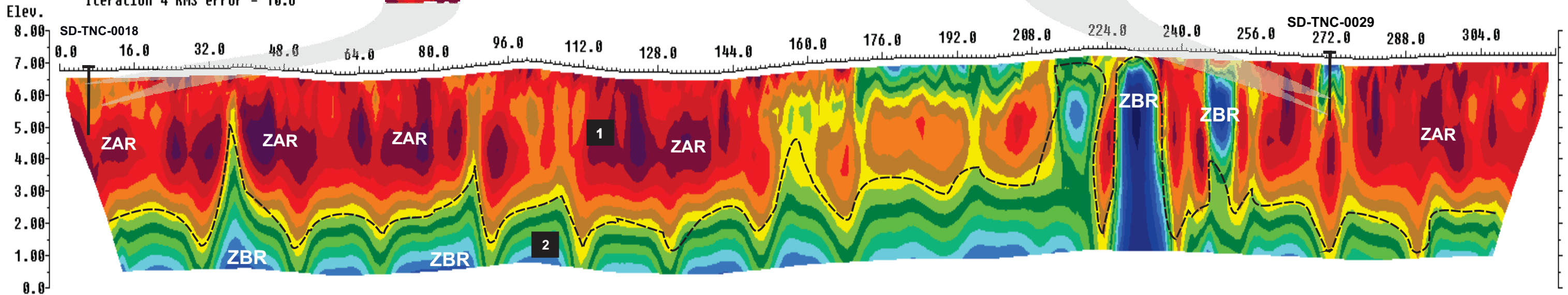


Mapa Chave

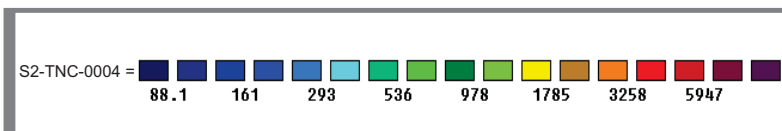


S2-TNC-0004

Iteration 4 RMS error = 10.6



Resistivity in ohm.m



LEGENDA

Interpretação

- ZAR** Zona de Alta Resistividade
- ZBR** Zona de Baixa Resistividade
- Contato **1** Sedimento Arenoso Insaturado
- Nivel d'água **2** Sedimento Arenoso saturado



Data: 09/2011
Projeto: TNC
Contrato:4600306204

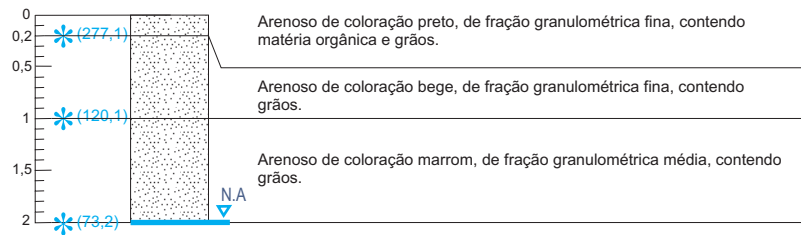
Elaborado por: T.Fernandes
Revisto por: J.Matos
Aprovado por: K.Gouvea

Figura 6.5 : Seção de SEVME2D - Interpretação Geológica
Fonte: Stratageo (2011)

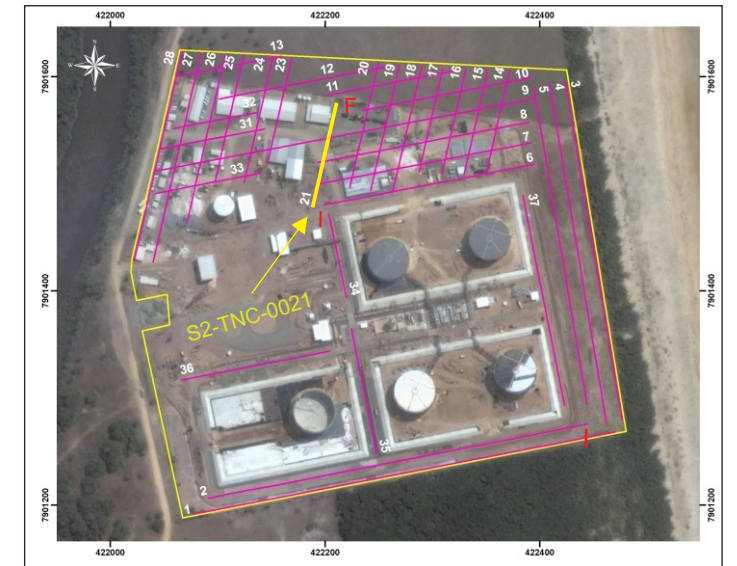
SD-TNC-0138

18/04/2011

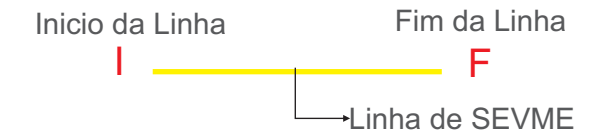
Prof. (m)
2,00



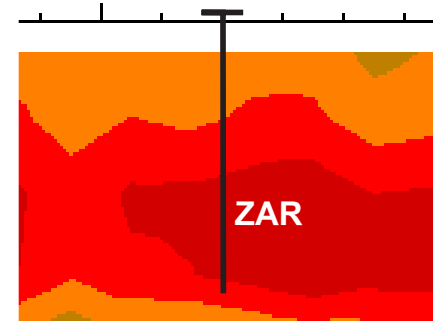
MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.



Mapa Chave

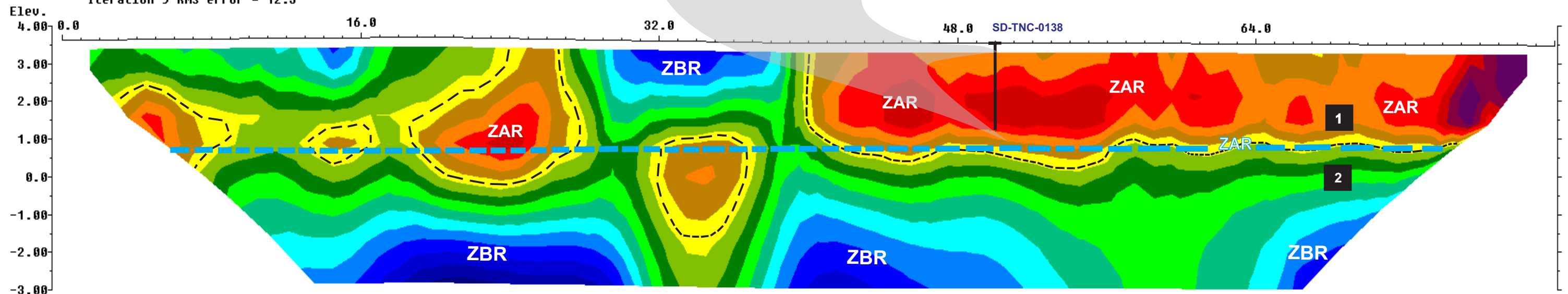


SD-TNC-0138

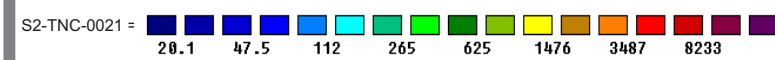


S2-TNC-0021

Iteration 5 RMS error = 12.3



Resistivity in ohm.m



LEGENDA

Interpretação

- ZAR** Zona de Alta Resistividade
- ZBR** Zona de Baixa Resistividade
- Contato **1** Sedimento Arenoso Insaturado
- - - - - Nível d'água **2** Sedimento Arenoso saturado



Data: 09/2011
Projeto: TNC
Contrato:4600306204

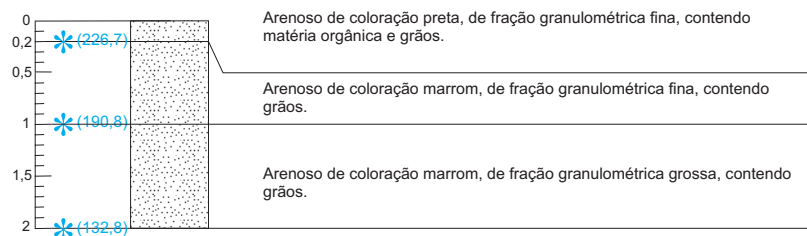
Elaborado por: T.Fernandes
Revisto por: J.Matos
Aprovado por: K.Gouvea

Figura 6.6 : Seção de SEVME2D - Interpretação Geológica

Fonte: Stratageo (2011)

SD-TNC-0015

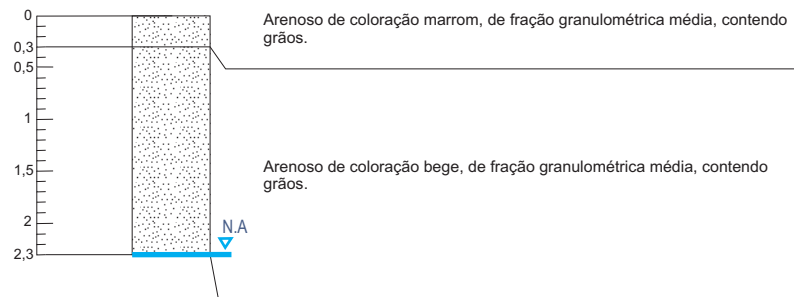
Prof. (m)
2,00



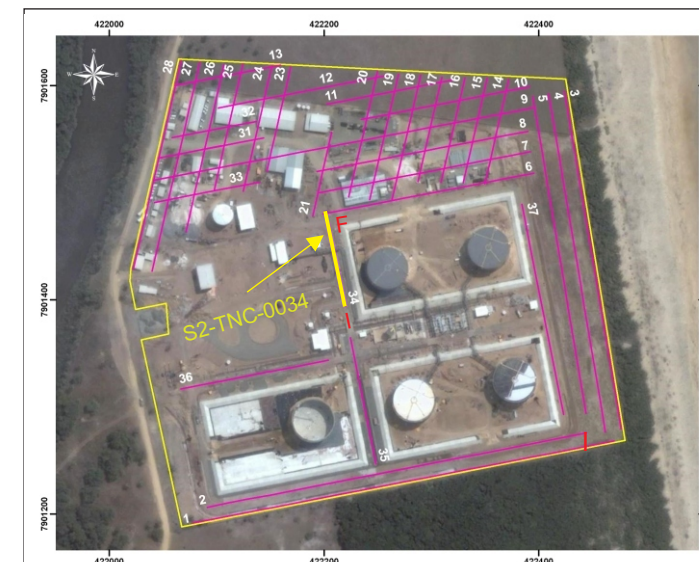
MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

SD-TNC-0162

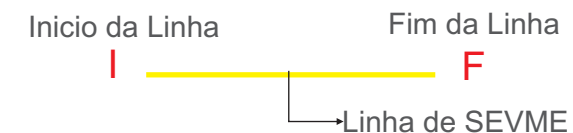
Prof. (m)
2,30



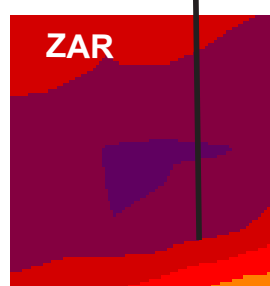
MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.



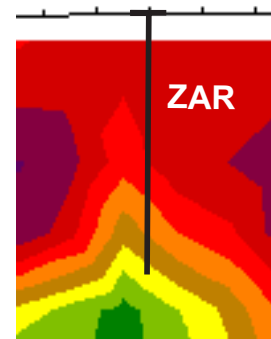
Mapa Chave



SD-TNC-0015

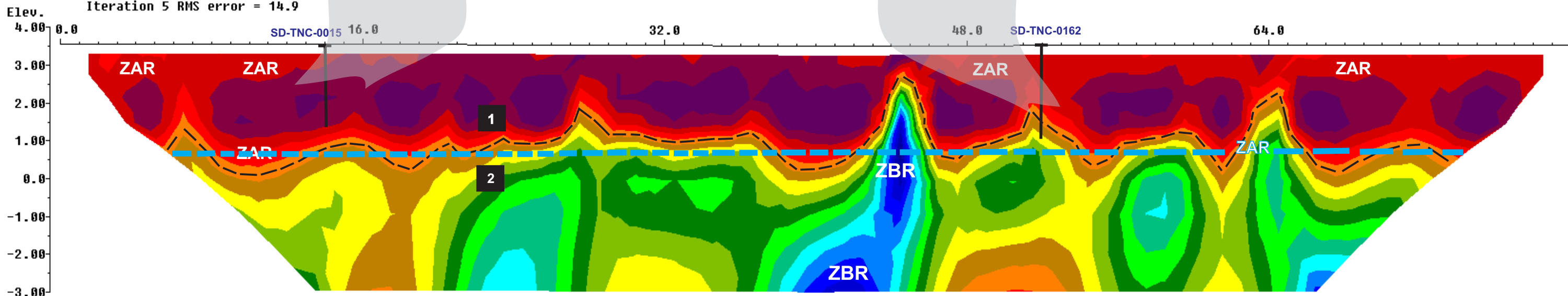


SD-TNC-0162

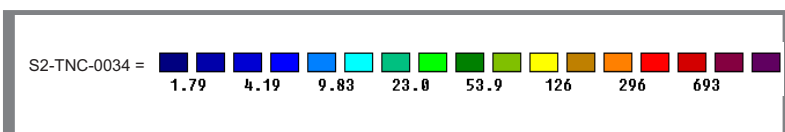


S2-TNC-0034

Iteration 5 RMS error = 14.9



Resistivity in ohm.m



LEGENDA

Interpretação

- ZAR** Zona de Alta Resistividade
- ZBR** Zona de Baixa Resistividade
- Contato
- - - - - Nível d'água
- 1** Sedimento Arenoso Insaturado
- 2** Sedimento Arenoso saturado



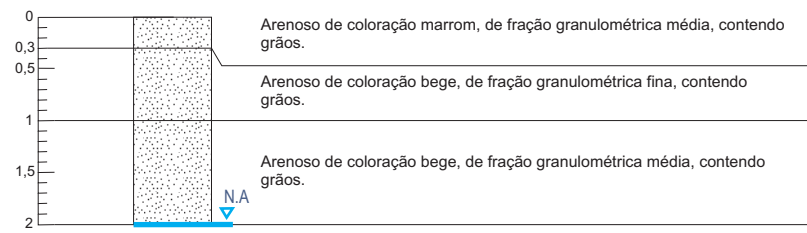
Data: 09/2011
Projeto: TNC
Contrato:4600306204

Elaborado por: T.Fernandes
Revisto por: J.Matos
Aprovado por: K.Gouvea

Figura 6.7 : Seção de SEVME2D - Interpretação Geológica
Fonte: Stratageo (2011)

SD-TNC-0086

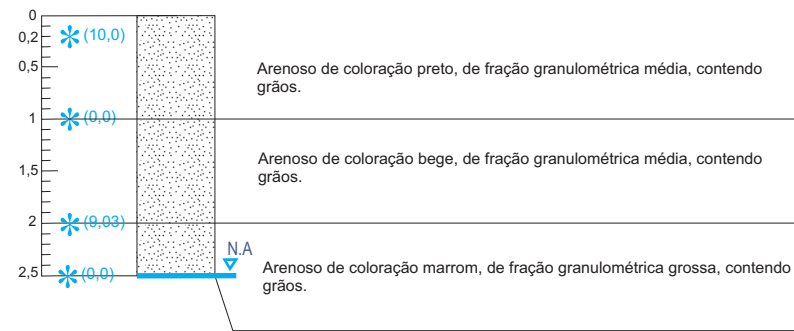
Prof. (m)
2,00



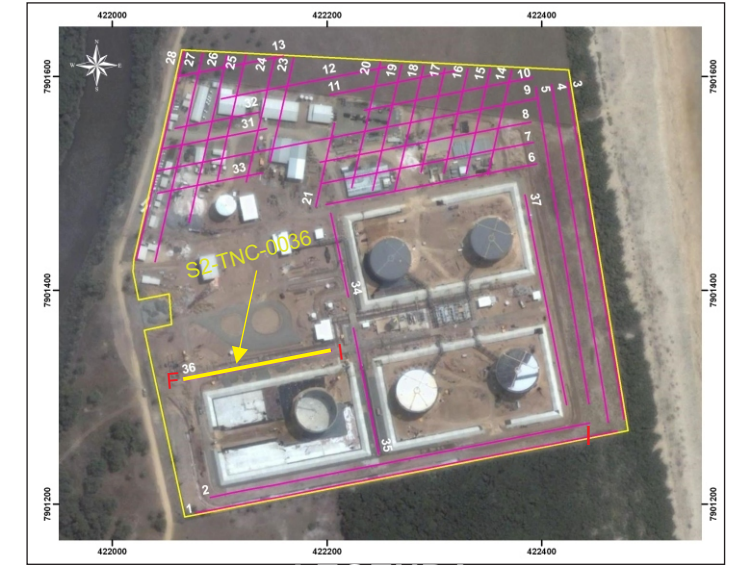
MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

SD-TNC-0093

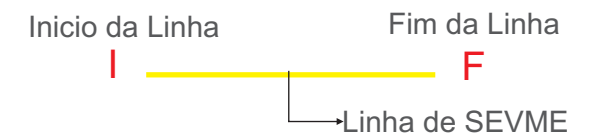
Prof. (m)
2,50



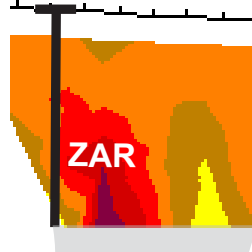
MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.



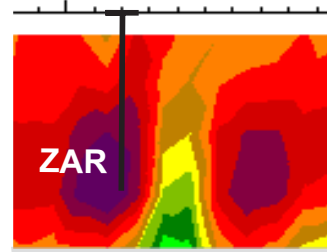
Mapa Chave



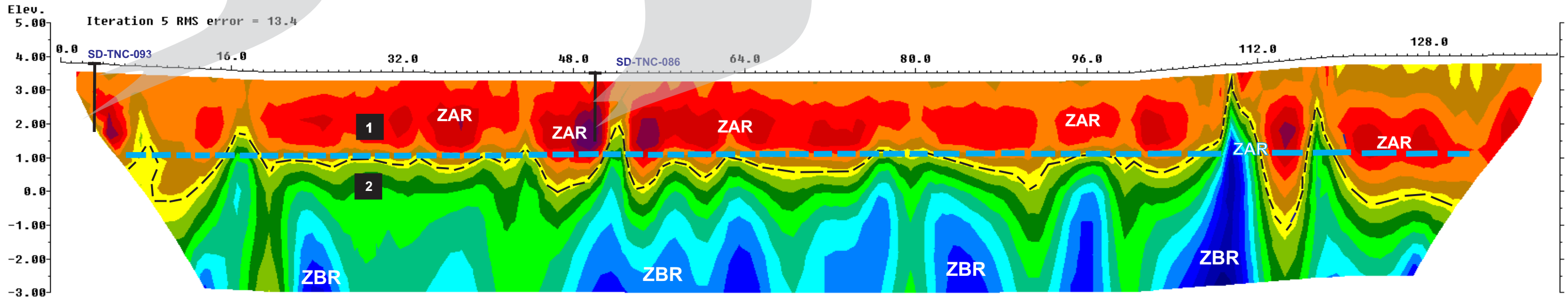
SD-TNC-093



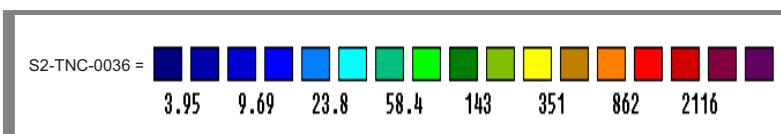
SD-TNC-086



S2-TNC-0036



Resistivity in ohm.m



LEGENDA

Interpretação

- ZAR** Zona de Alta Resistividade
- ZBR** Zona de Baixa Resistividade
- Contato **1** Sedimento Arenoso Insaturado
- - - - - Nível d'água **2** Sedimento Arenoso saturado



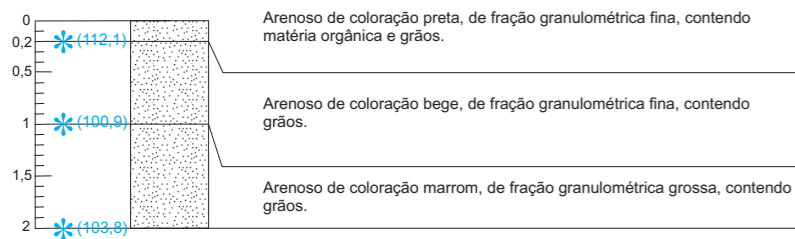
Data: 09/2011
Projeto: TNC
Contrato:4600306204

Elaborado por: T.Fernandes
Revisto por: J.Matos
Aprovado por: K.Gouvea

Figura 6.8 : Seção de SEVME2D - Interpretação Geológica
Fonte: Stratageo (2011)

SD-TNC-0043

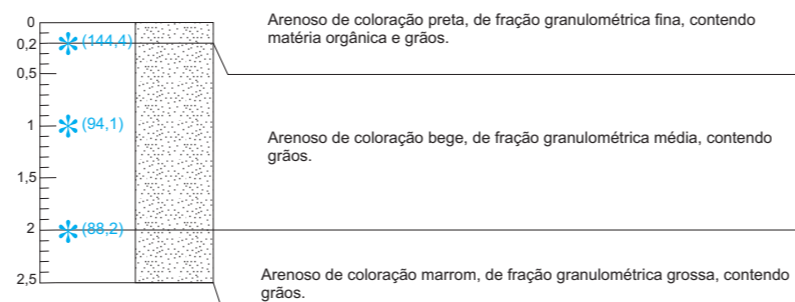
Prof. (m)
2,00



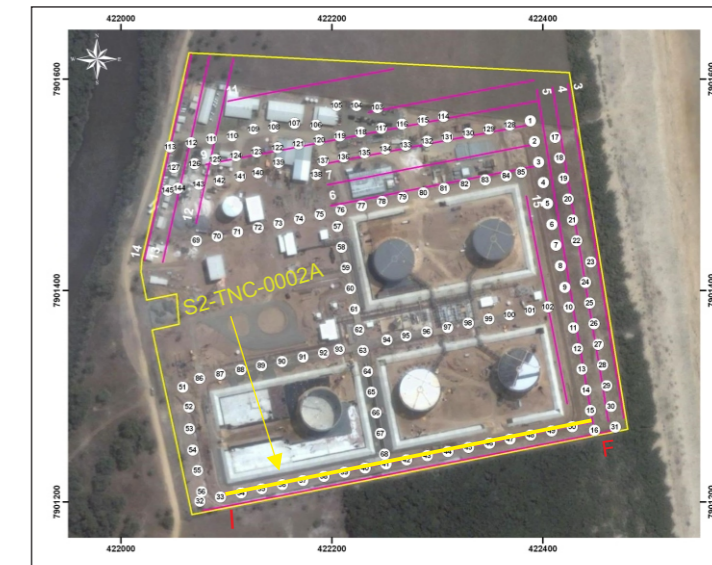
MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

SD-TNC-0049

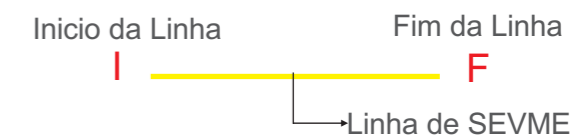
Prof. (m)
2,50



MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

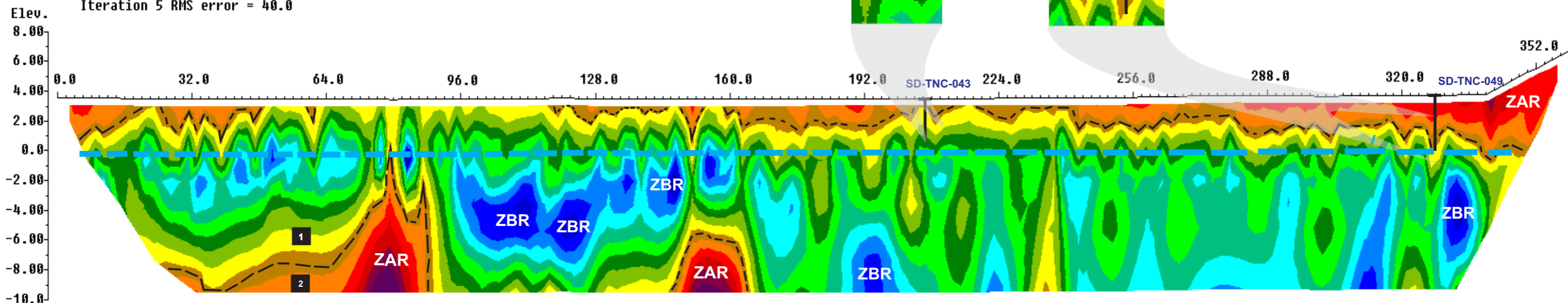


Mapa Chave

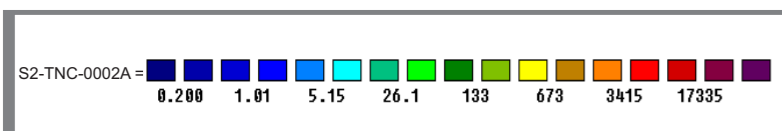


S2-TNC-0002A

Iteration 5 RMS error = 40.0



Resistivity in ohm.m



LEGENDA

Interpretação

- ZAR** Zona de Alta Resistividade
- ZBR** Zona de Baixa Resistividade
- Contato 1 Sedimento Arenoso Insaturado
- Nível d'água 2 Sedimento Arenoso saturado



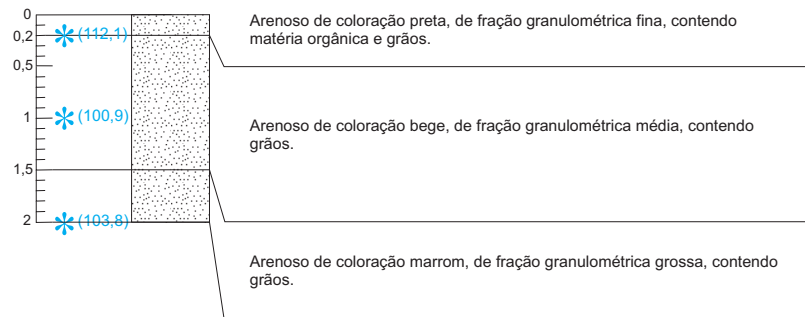
Data: 09/2011
Projeto: TNC
Contrato:4600306204

Elaborado por: T.Fernandes
Revisto por: J.Matos
Aprovado por: K.Gouvea

Figura 6.9 : Seção de SEVME2D - Interpretação Geológica
Fonte: Stratageo (2011)

SD-TNC-0034 11/04/2011

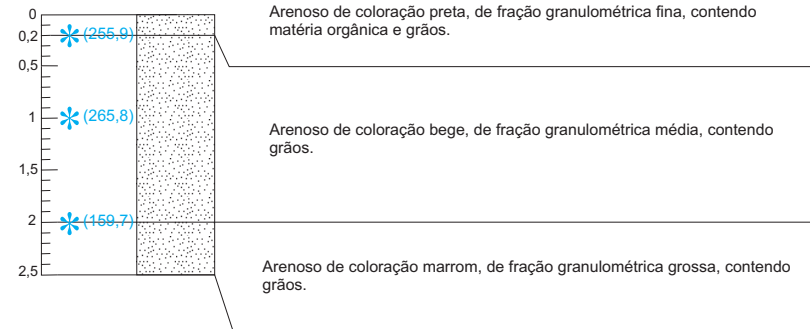
Prof. (m)
2,00



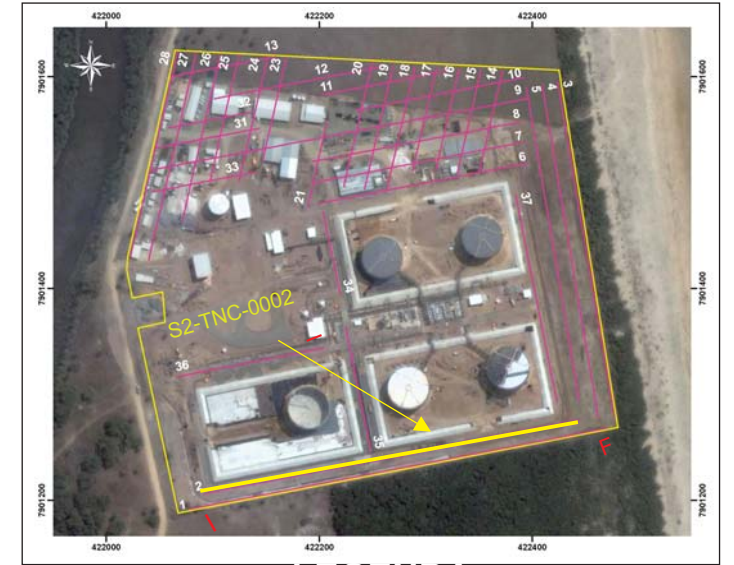
MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

SD-TNC-0048 12/04/2011

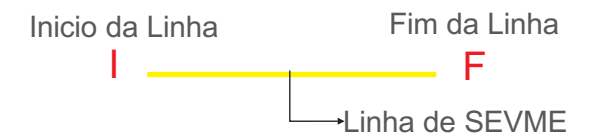
Prof. (m)
2,50



MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

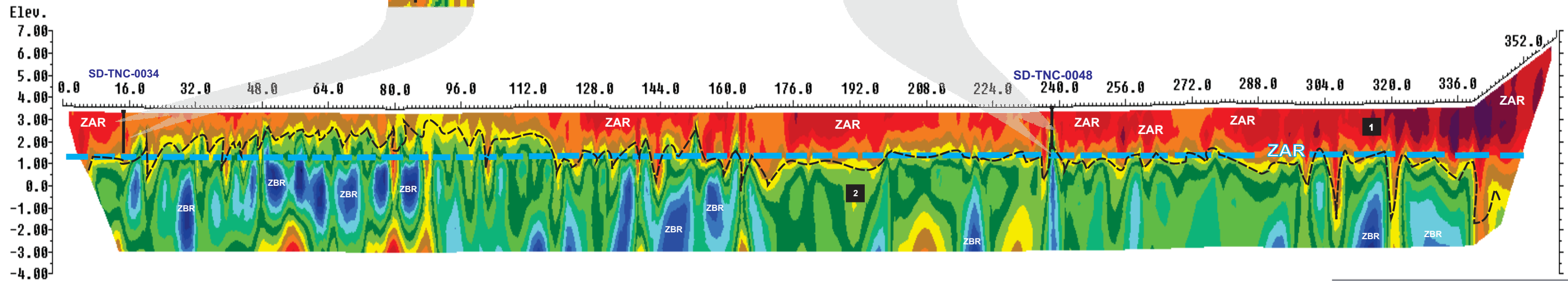


Mapa Chave

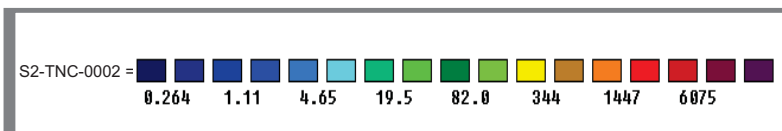


S2-TNC-0002

Iteration 5 RMS error = 27.8



Resistivity in ohm.m



LEGENDA

Interpretação

- ZAR** Zona de Alta Resistividade
- ZBR** Zona de Baixa Resistividade
- Contato **1** Sedimento Arenoso Insaturado
- - - - - Nível d'água **2** Sedimento Arenoso saturado



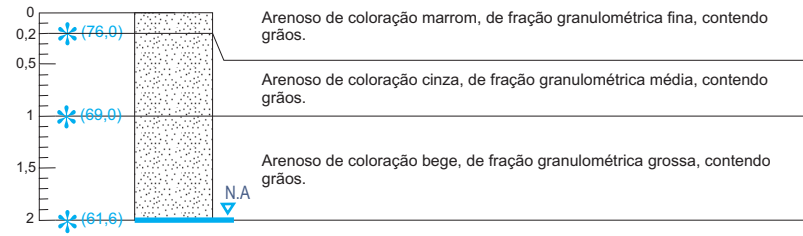
Data: 09/2011
Projeto: TNC
Contrato:4600306204

Elaborado por: T.Fernandes
Revisto por: J.Matos
Aprovado por: K.Gouvea

Figura 6.10 : Seção de SEVME2D - Interpretação Geológica
Fonte: Stratageo (2011)

SD-TNC-0078

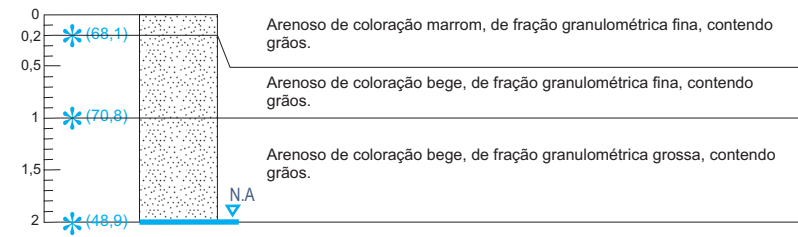
Prof. (m)
2,00



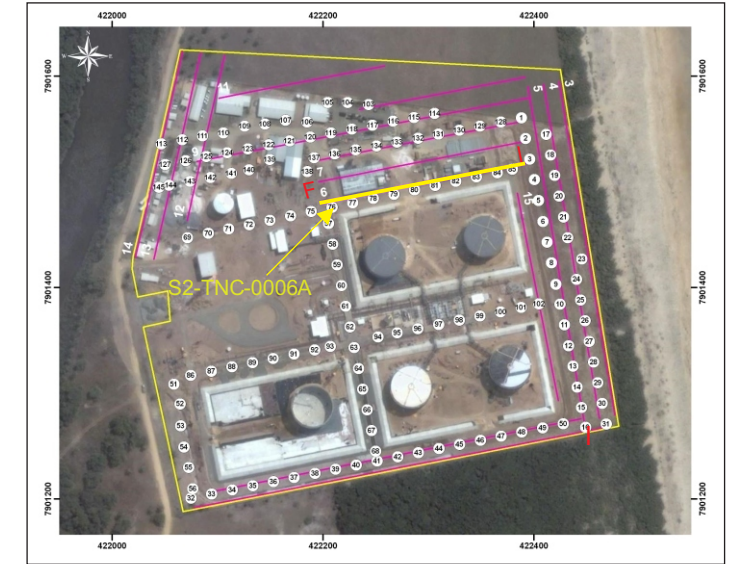
MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

SD-TNC-0085

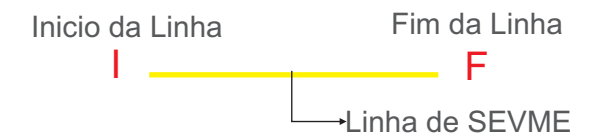
Prof. (m)
2,00



MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

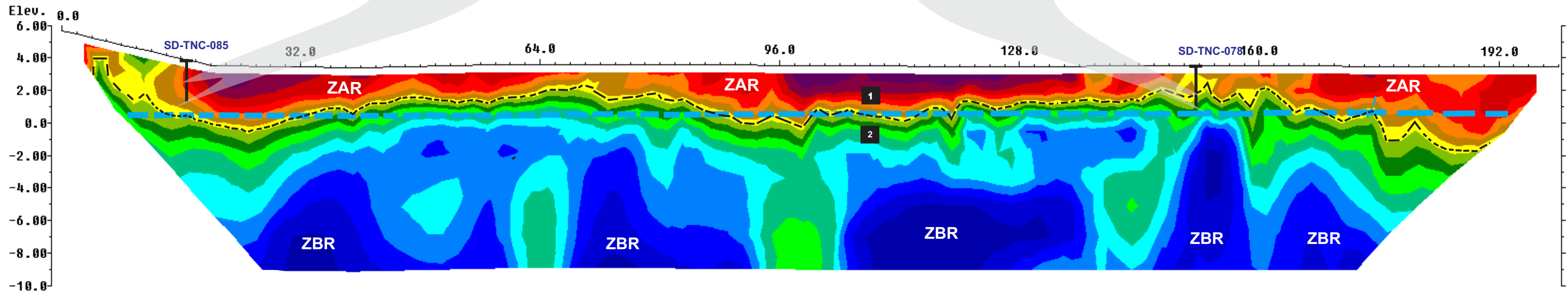


Mapa Chave

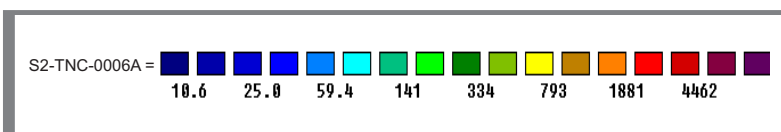


S2-TNC-0006A

Iteration 5 RMS error = 18.7



Resistivity in ohm.m



LEGENDA

Interpretação

ZAR	Zona de Alta Resistividade
ZBR	Zona de Baixa Resistividade
- - -	Contato
- . - . -	Nível d'água
1	Sedimento Arenoso Insaturado
2	Sedimento Arenoso saturado



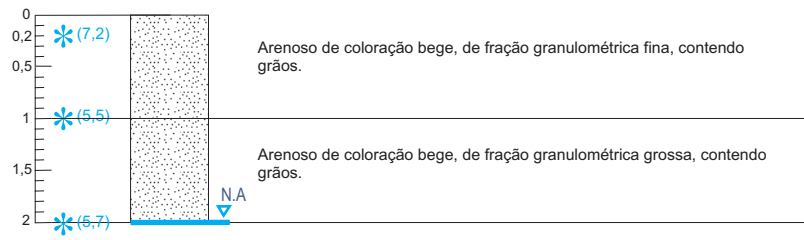
Data: 09/2011
Projeto: TNC
Contrato:4600306204

Elaborado por: T.Fernandes
Revisto por: J.Matos
Aprovado por: K.Gouvea

Figura 6.11 : Seção de SEVME2D - Interpretação Geológica
Fonte: Stratageo (2011)

SD-TNC-0115

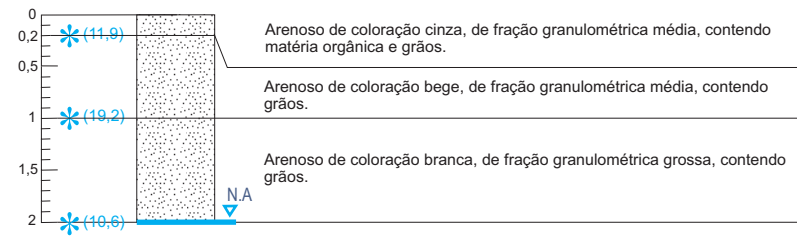
Prof. (m)
2,00



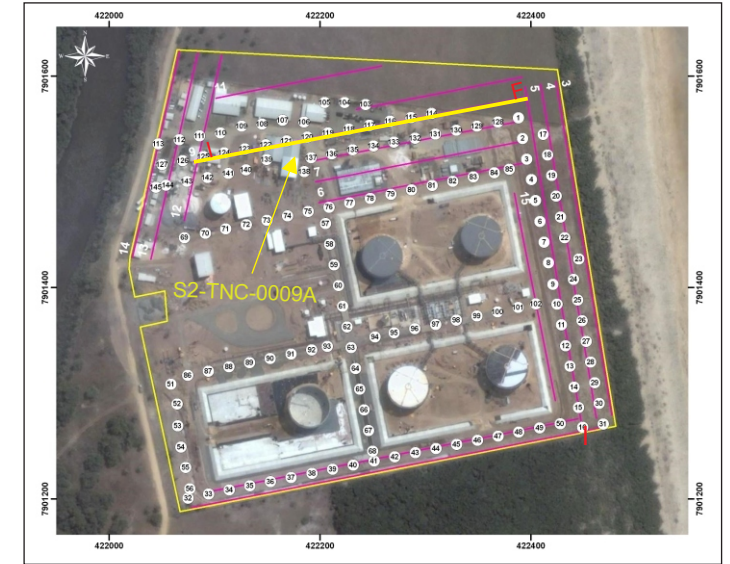
MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

SD-TNC-0126

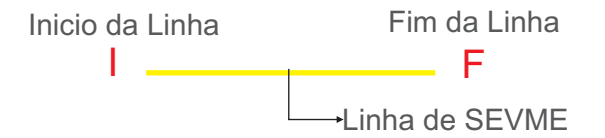
Prof. (m)
2,00



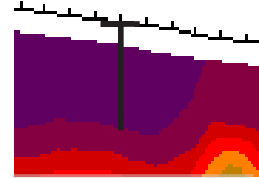
MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.



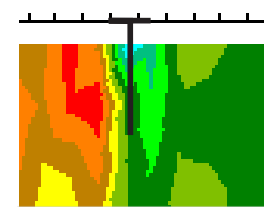
Mapa Chave



SD-TNC-0115

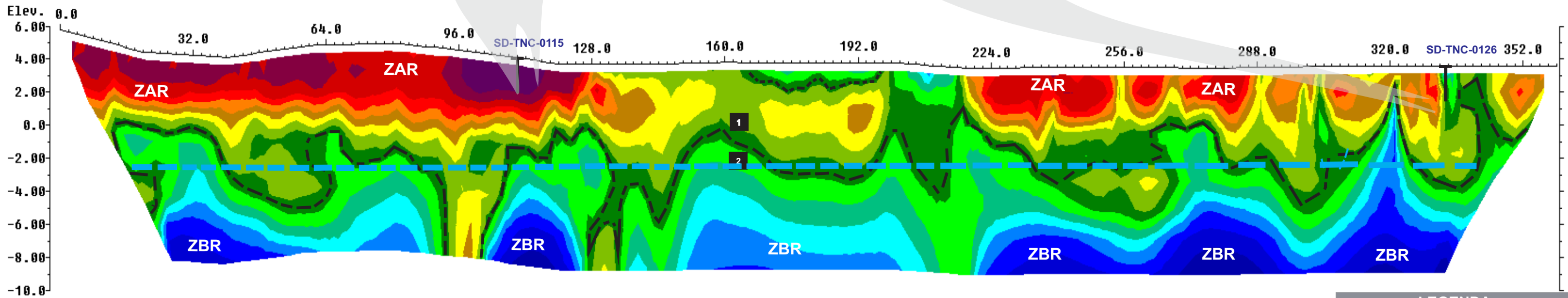


SD-TNC-0126

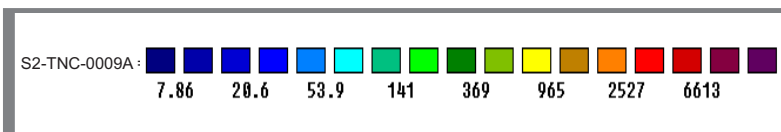


S2-TNC-0009A

Iteration 5 RMS error = 16.0



Resistivity in ohm.m



LEGENDA

Interpretação

- ZAR** Zona de Alta Resistividade
- ZBR** Zona de Baixa Resistividade
- Contato **1** Sedimento Arenoso Insaturado
- - - - - Nível d'água **2** Sedimento Arenoso saturado

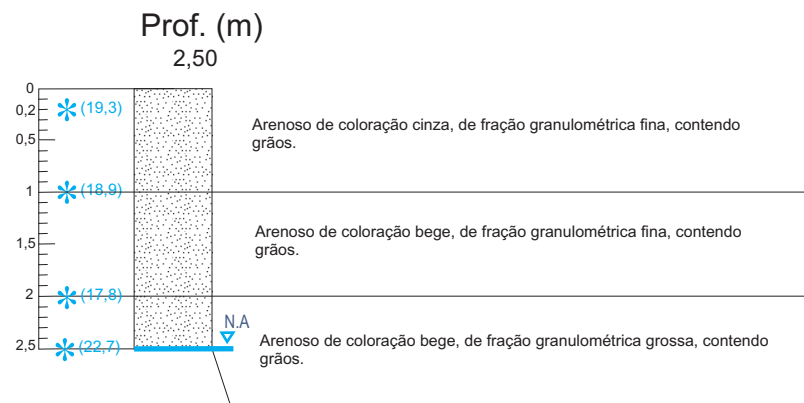


Data: 09/2011
Projeto: TNC
Contrato:4600306204

Elaborado por: T.Fernandes
Revisto por: J.Matos
Aprovado por: K.Gouvea

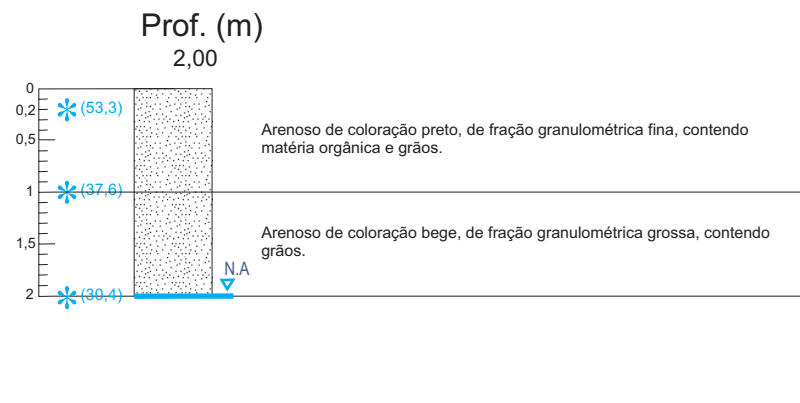
Figura 6.12 : Seção de SEVME2D - Interpretação Geológica
Fonte: Stratageo (2011)

SD-TNC-0112 21/04/2011

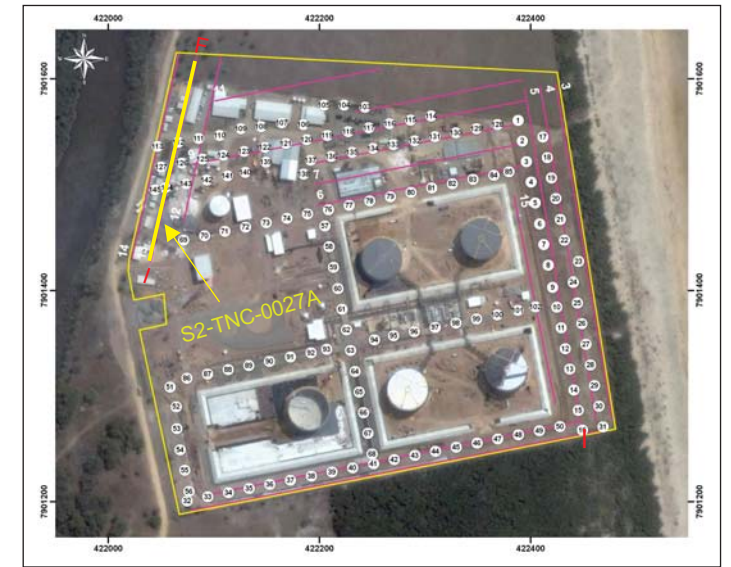


MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

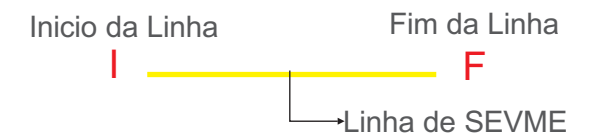
SD-TNC-0144 19/04/2011



MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

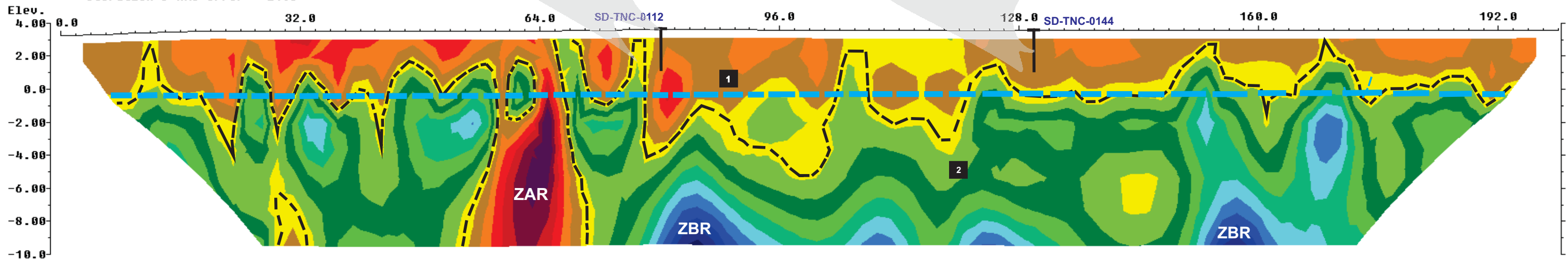


Mapa Chave

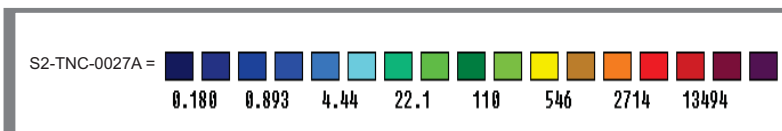


S2-TNC-0027A

Iteration 5 RMS error = 21.3



Resistivity in ohm.m



LEGENDA

Interpretação

- ZAR** Zona de Alta Resistividade
- ZBR** Zona de Baixa Resistividade
- Contato 1 Sedimento Arenoso Insaturado
- Nível d'água 2 Sedimento Arenoso saturado



Data: 08/2011
Projeto: TNC
Contrato:4600306204

Elaborado por: T.Fernandes
Revisto por: J.Matos
Aprovado por: K.Gouvea

Figura 6.13 : Seção de SEVME2D - Interpretação Geológica
Fonte: Stratageo (2011)

6.2.3. Ground Penetrating Radar (GPR)

A interpretação de GPR foi baseada em conceitos da radar-estratigrafia, definidos por Neal (2004) procurando-se individualizar as diferentes radar-fácies presentes em cada seção através da separação de pacotes similares, em termos de estrutura interna dos refletores (forma, mergulho, relação e continuidade), o que é diretamente ligado à geologia presente.

As imagens GPR mostraram-se uma ferramenta poderosa na análise do arcabouço geológico, demonstrando qualidade superior e boa interatividade com o meio. Os resultados obtidos das imagens de radar foram altamente satisfatórios sendo possível mapear tanto interferências subterrâneas existentes no local como também estruturas sedimentares.

De uma maneira geral, as interpretações dos radargramas (GPR-2D) possibilitaram a individualização de dois horizontes estratigráficos distintos. Os horizontes estão representados pela seguinte sequência estratigráfica vertical, a partir do topo para base:

- **Horizonte 1** - Caracterizado por apresentar fortes refletores planos, levemente sinuosos, amplitudes elevadas, sem mergulho, internamente paralelos a subparalelos e contínuos (característica típica de ambiente pós-praia - *backshore*), limite superior e inferior concordantes/*downlap*. Este pacote mostra refletores com boa definição refletindo uma baixa constante dielétrica e condutividade elétrica. Dentro deste pacote, próximo a sua base é observado um forte refletor característico do nível d'água. As sondagens realizadas na área corroboraram para a interpretação proposta para o horizonte acima, conforme demonstram as **Figuras 6.14 a 6.17**. Esse pacote corresponde aos sedimentos arenosos insaturados.

- **Horizonte 2** - Apresenta limite superior concordante, de forma sinuosa com reflexões internas predominantemente subparalelas, mesmo com relativa perda de potência do sinal radar em profundidade devido ao nível d' água. É possível verificar um padrão de continuidade e associar aos sedimentos arenosos saturados mantendo-se até, aproximadamente, 7 metros de profundidade. **Figuras de 6.18 a 6.21.**

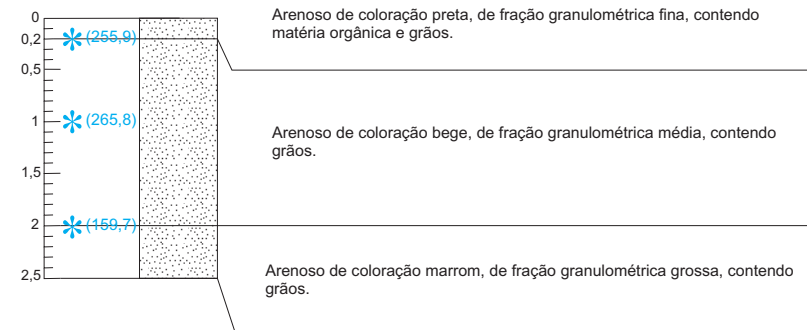
Adicionalmente, pôde-se observar reflexões internas caracterizadas por refletores na forma de hipérboles associadas a difrações de objetos enterrados, provavelmente relacionados a dutos.

As sondagens realizadas na área corroboraram para a interpretação proposta para a primeira e segunda camada descritas anteriormente, uma vez que, estas não alcançam profundidades maiores, e sendo a literatura o principal parâmetro para as demais interpretações.

De acordo com Moraes (2007), sabe-se que a Formação Barreiras na Bacia do Espírito Santo atinge a profundidade máxima de 80,00 metros e os sedimentos ocorrentes são provenientes de um ambiente flúvio/aluvial, favorecendo as intercalações desses sedimentos (arenosos, areno-argilosos, argilo-arenosos e argilosos).

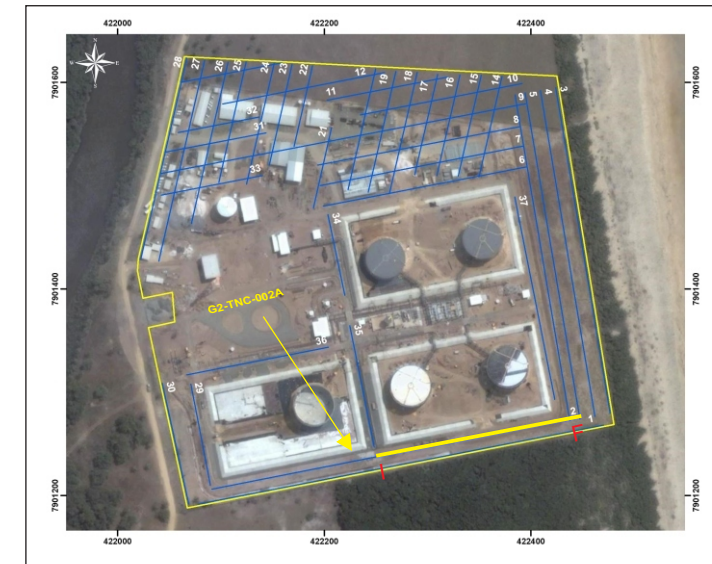
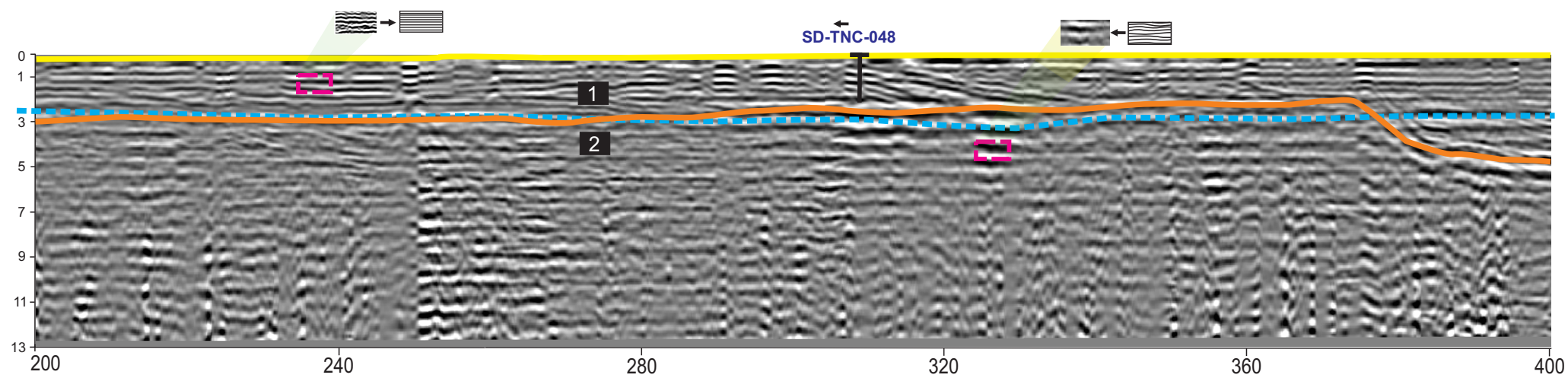
SD-TNC-0048

Prof. (m)
2,50

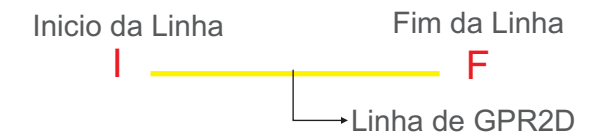


MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

G2-TNC-002A



Mapa Chave



Interpretação

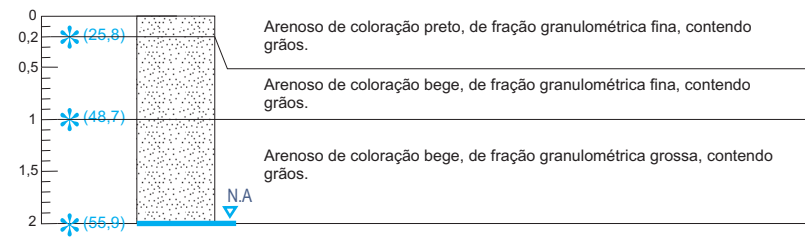
- 1** Aterro - Horizonte 1
- 2** Sedimentos Marinhos - Horizonte 2
- Topografia
- Base do Aterro

Legenda - Perfil

- * Amostra de Solo
- * Resultado VOC (ppm)
- N.A. Nível de Água
- Interferências Subterrâneas
- Material Arenoso Insaturado
- Material Arenoso Saturado

SD-TNC-0084

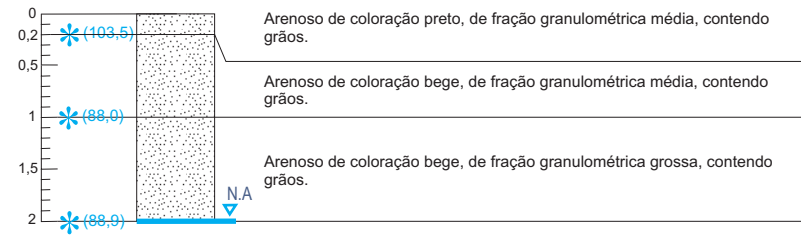
Prof. (m)
2,00



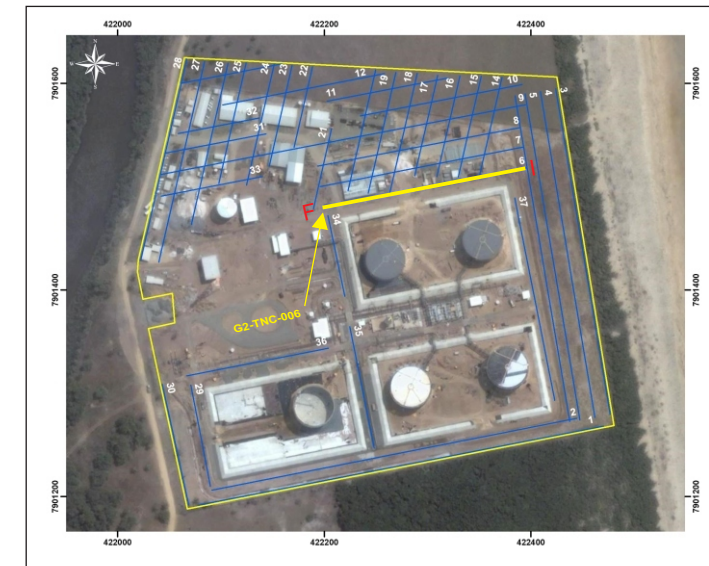
MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

SD-TNC-0077

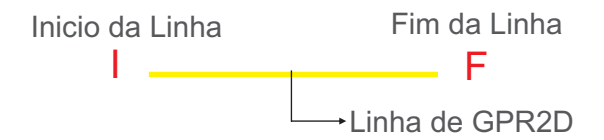
Prof. (m)
2,00



MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.



Mapa Chave



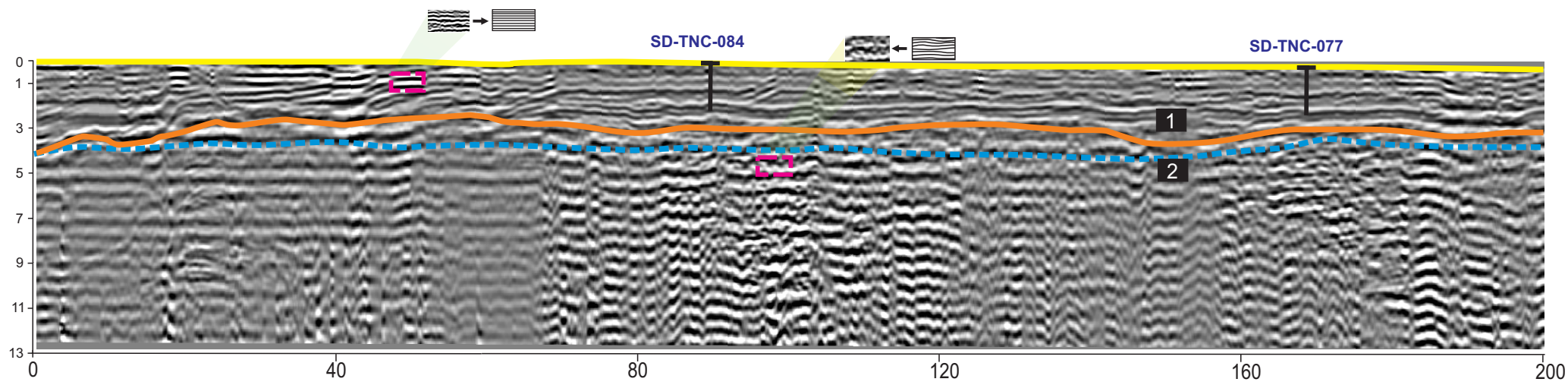
Interpretação

- 1** Aterro - Horizonte 1
- 2** Sedimentos Marinhos - Horizonte 2
- Topografia
- Base do Aterro

Legenda - Perfil

- * Amostra de Solo
- * Resultado VOC (ppm)
- N.A. Nível de Água
- Interferências Subterrâneas
- Material Arenoso Insaturado
- Material Arenoso Saturado

G2-TNC-006



Data: 09/2011
Projeto: TNC
Contrato: 4600306204

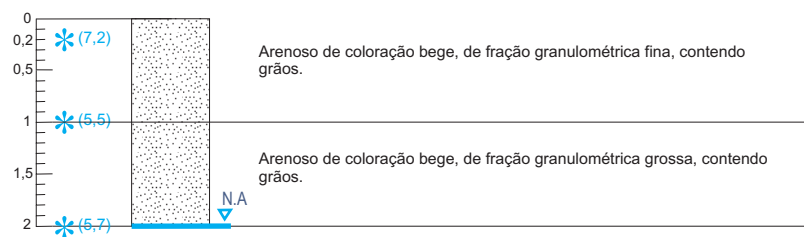
Projetado por: J. Matos
Desenhado por: P. Filho
Aprovado por: K. Gouvea

Figura 6.15: Seção de GPR 2D com Interpretação Geológica

Fonte: Stratageo (2011)

SD-TNC-0115

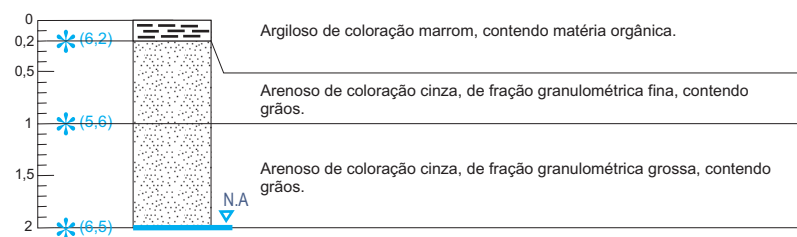
Prof. (m)
2,00



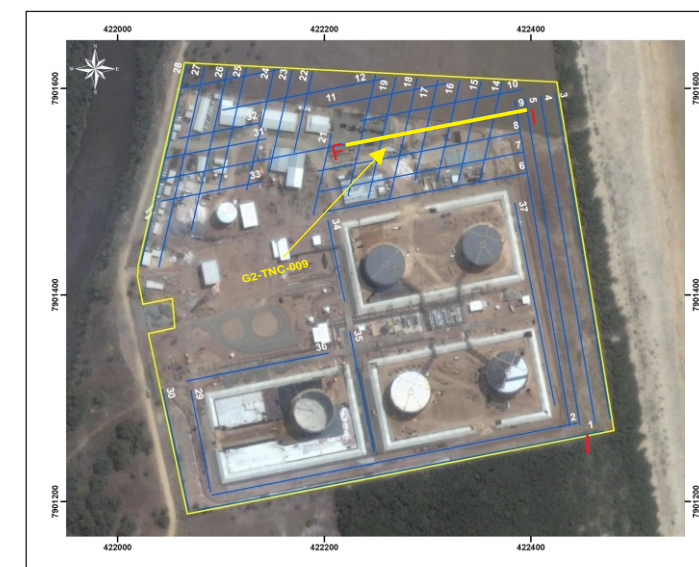
MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

SD-TNC-0117

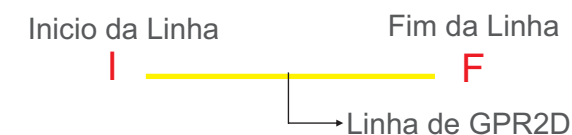
Prof. (m)
2,00



MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.



Mapa Chave



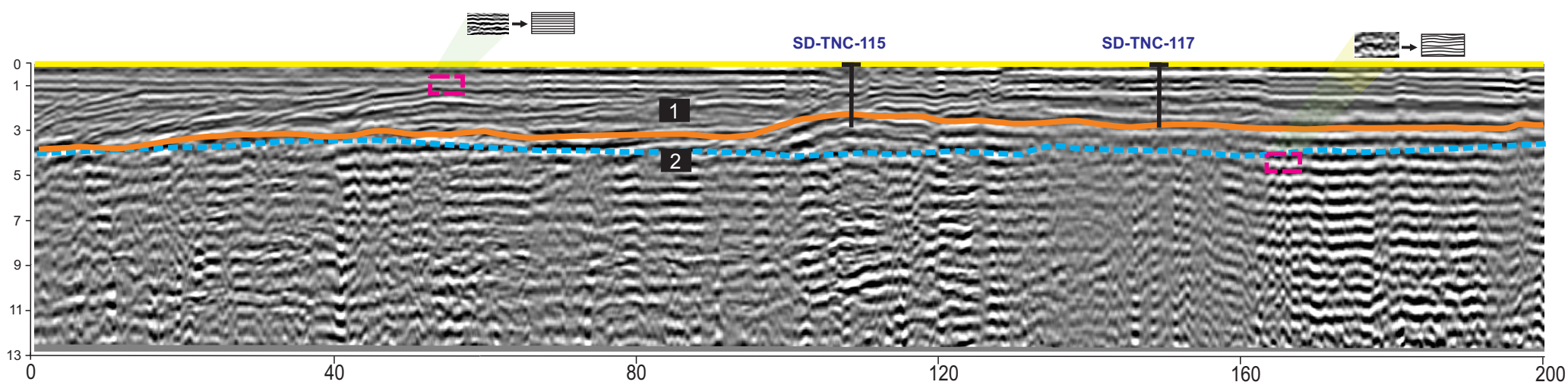
Interpretação

- 1** Aterro - Horizonte 1
- 2** Sedimentos Marinheiros - Horizonte 2
- Topografia
- Base do Aterro

Legenda - Perfil

- * Amostra de Solo
- * Resultado VOC (ppm)
- N.A. Nível de Água
- Interferências Subterrâneas
- Material Arenoso Insaturado
- Material Arenoso Saturado

G2-TNC-009



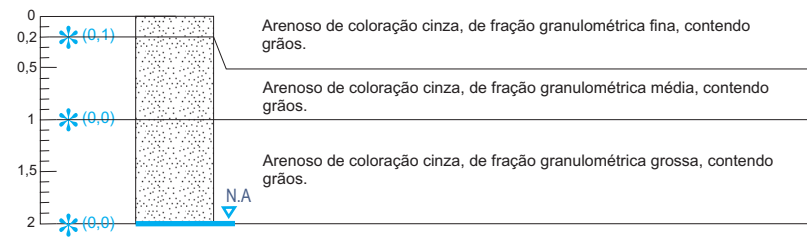
Data: 09/2011
Projeto: TNC
Contrato: 4600306204

Projetado por: J. Matos
Desenhado por: P. Filho
Aprovado por: K. Gouveia

Figura 6.16: Seção de GPR 2D com Interpretação Geológica
Fonte: Stratageo (2011)

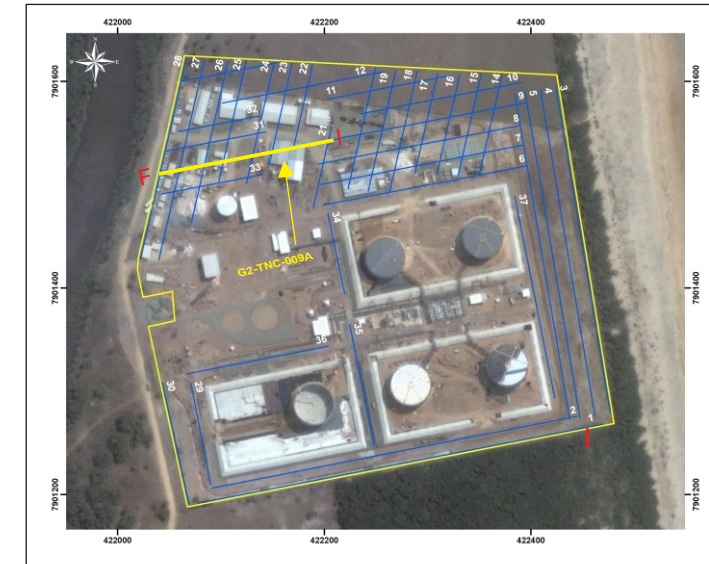
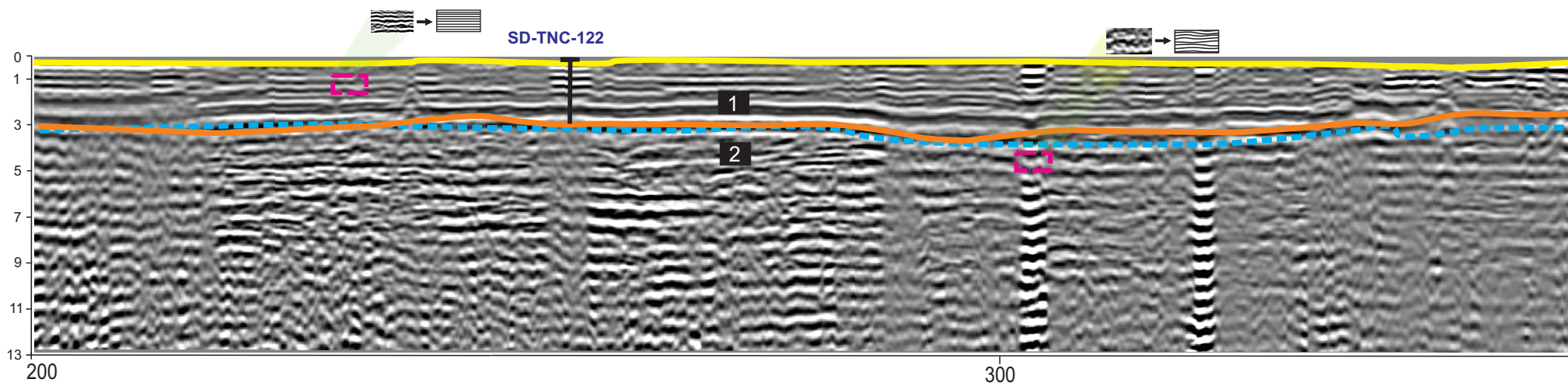
SD-TNC-0122

Prof. (m)
2,00

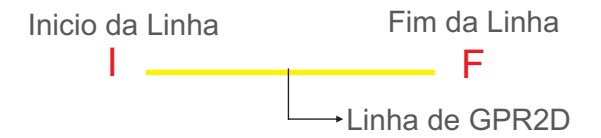


MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

G2-TNC-009A



Mapa Chave



Interpretação

- 1** Aterro - Horizonte 1
- 2** Sedimentos Marinhos - Horizonte 2
- Topografia
- Base do Aterro

Legenda - Perfil

- * Amostra de Solo
- * Resultado VOC (ppm)
- N.A. Nível de Água
- Interferências Subterrâneas
- Material Arenoso Insaturado
- Material Arenoso Saturado



Data: 09/2011
Projeto: TNC
Contrato: 4600306204

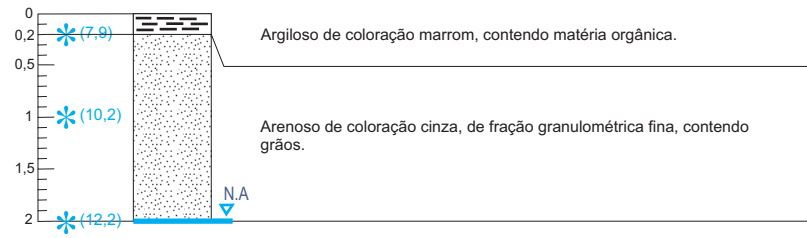
Projetado por: J. Matos
Desenhado por: P. Filho
Aprovado por: K. Gouvea

Figura 6.17: Seção de GPR 2D com Interpretação Geológica

Fonte: Stratageo (2011)

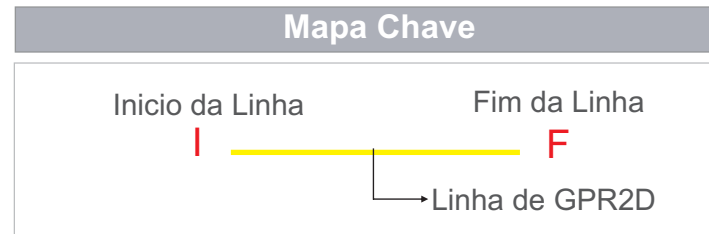
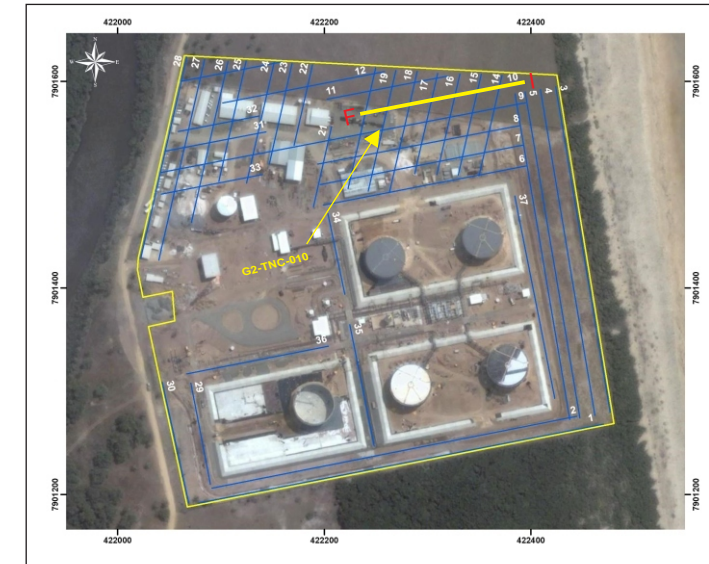
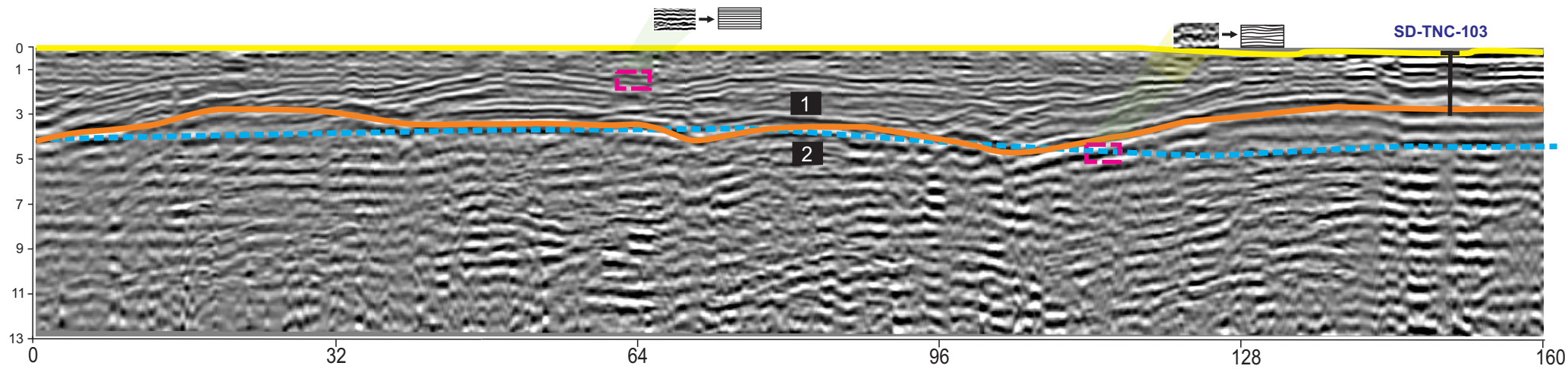
SD-TNC-0103

Prof. (m)
2,00



MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

G2-TNC-010



Interpretação

- 1 Aterro - Horizonte 1
- 2 Sedimentos Marinhos - Horizonte 2
- Topografia
- Base do Aterro

Legenda - Perfil

- * Amostra de Solo
- * Resultado VOC (ppm)
- NA Nível de Água
- Interferências Subterrâneas
- Material Arenoso Insaturado
- Material Arenoso Saturado



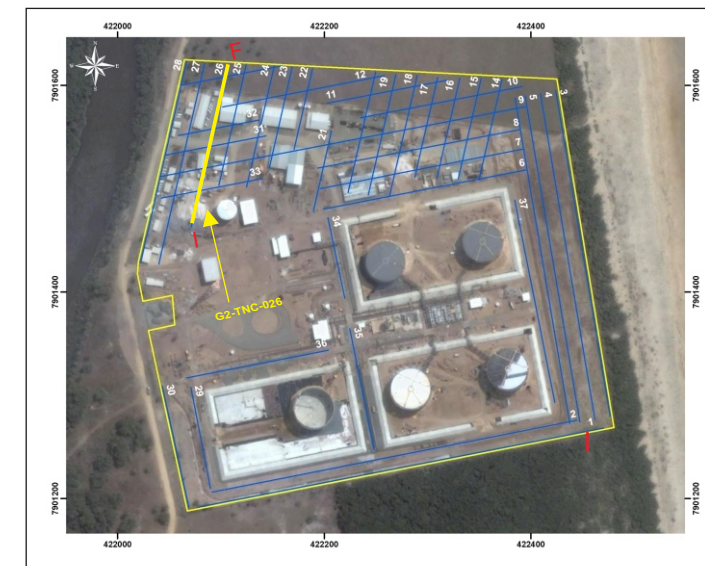
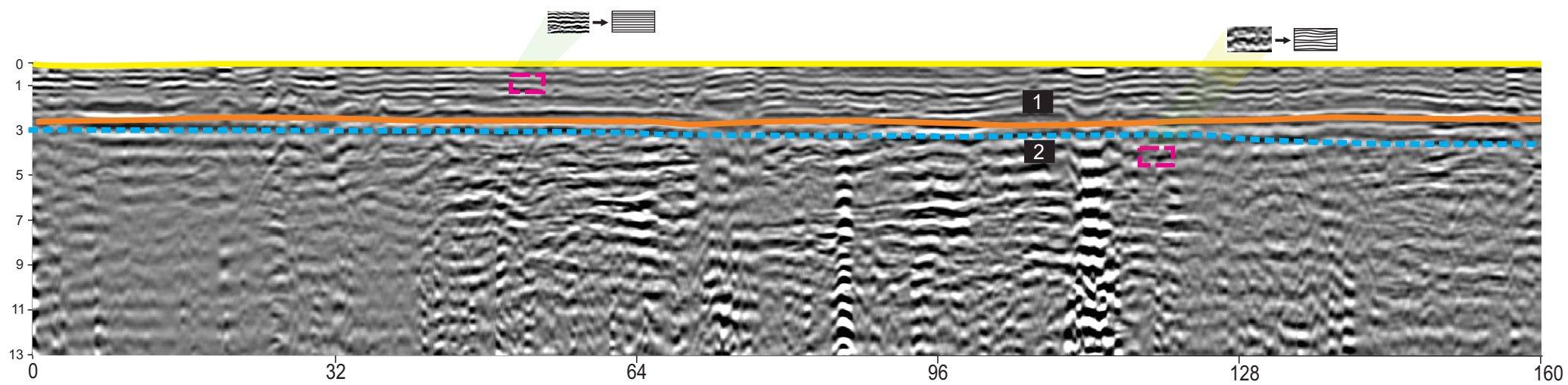
Data: 09/2011
Projeto: TNC
Contrato: 4600306204

Projetado por: J.Matos
Desenhado por: P.Filho
Aprovado por: K.Gouvea

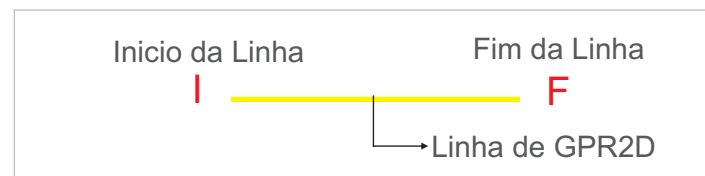
Figura 6.18: Seção de GPR 2D com Interpretação Geológica

Fonte: Stratageo (2011)

G2-TNC-026



Mapa Chave



Interpretação

- 1** Aterro - Horizonte 1
- 2** Sedimentos Marinhos - Horizonte 2
- Topografia
- Base do Aterro

Legenda - Perfil

- * Amostra de Solo
- * Resultado VOC (ppm)
- NA Nível de Água
- Interferências Subterrâneas
- Material Arenoso Insaturado
- Material Arenoso Saturado



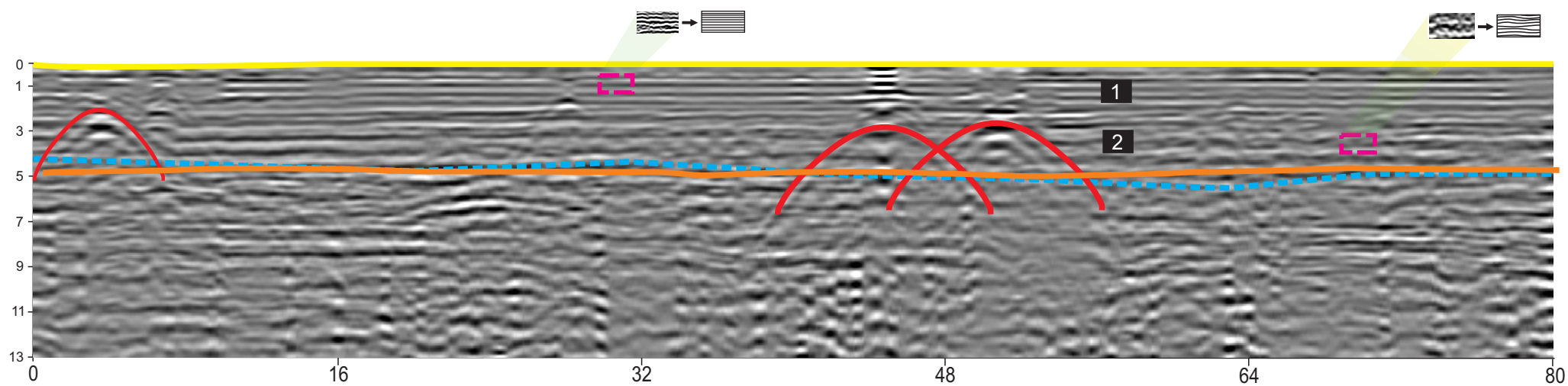
Data: 09/2011
 Projeto: Ipiranga
 Contrato: 4600306204

Projetado por: J. Matos
 Desenhado por: P. Filho
 Aprovado por: K. Gouvea

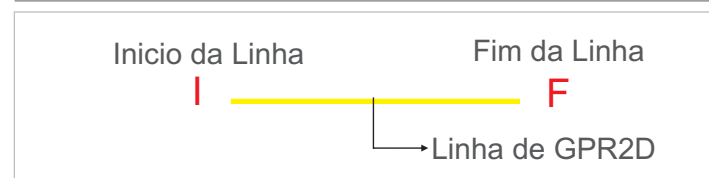
Figura 6.19: Seção de GPR 2D com Interpretação Geológica

Fonte: Stratageo (2011)

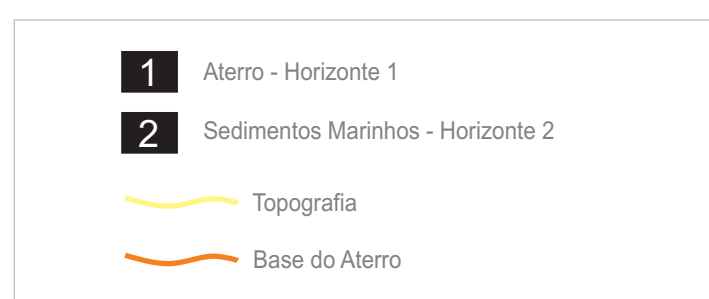
G2-TNC-034



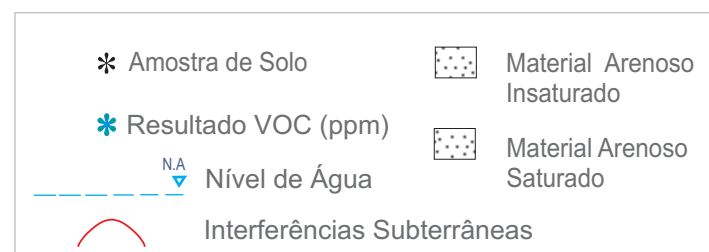
Mapa Chave



Interpretação



Legenda - Perfil



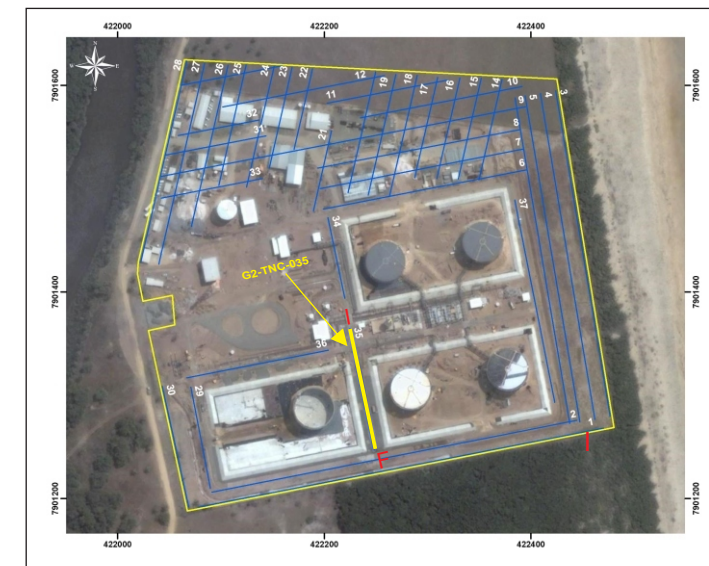
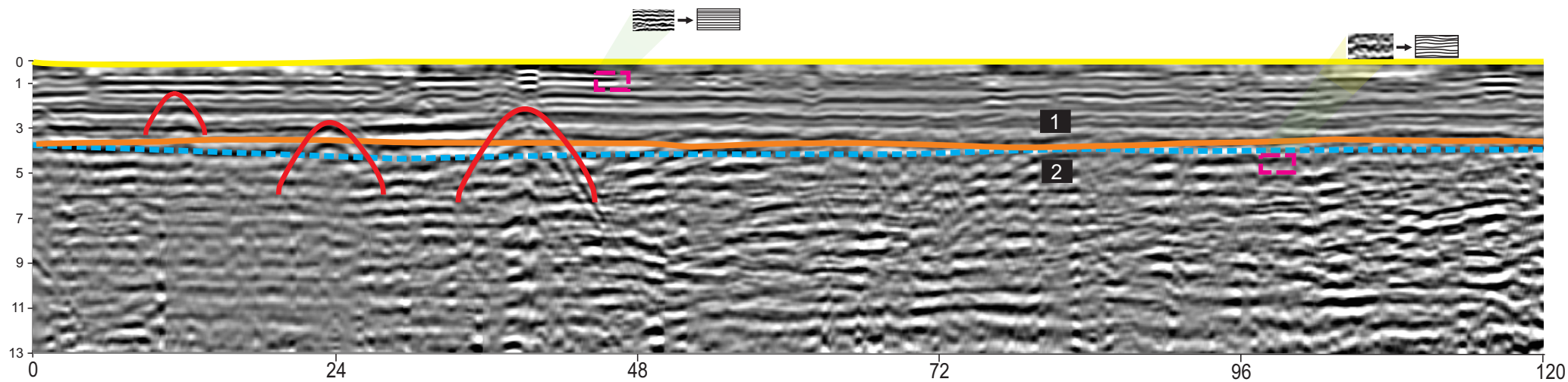
Data: 05/2011
Projeto: TNC
Contrato: 4600306204

Projetado por: J. Matos
Desenhado por: P. Filho
Aprovado por: K. Gouvea

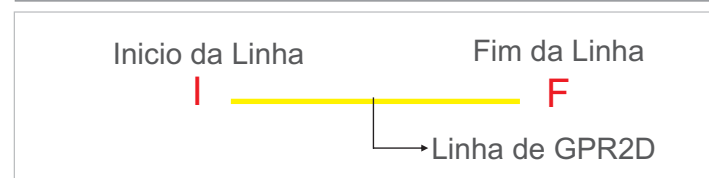
Figura 6.20: Seção de GPR 2D com Interpretação Geológica

Fonte: Stratageo (2011)

G2-TNC-035



Mapa Chave



Interpretação

- 1** Aterro - Horizonte 1
- 2** Sedimentos Marinhos - Horizonte 2
- Topografia
- Base do Aterro

Legenda - Perfil

- * Amostra de Solo
- * Resultado VOC (ppm)
- NA Nível de Água
- Interferências Subterrâneas
- Material Arenoso Insaturado
- Material Arenoso Saturado



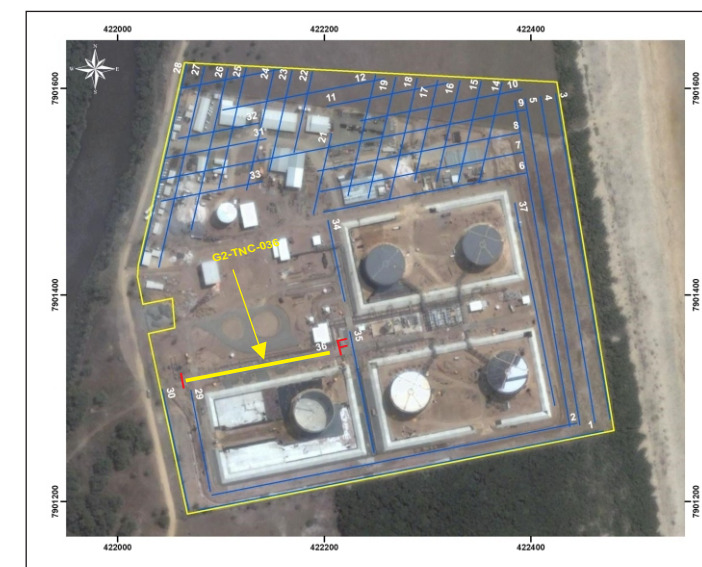
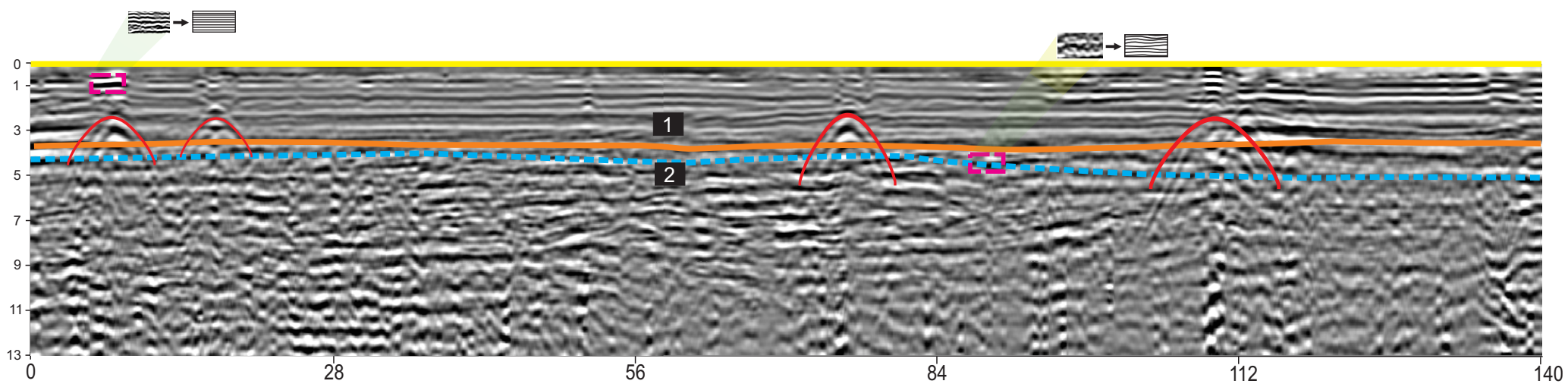
Data: 09/2011
Projeto: TNC
Contrato: 4600306204

Projetado por: J. Matos
Desenhado por: P. Filho
Aprovado por: K. Gouvea

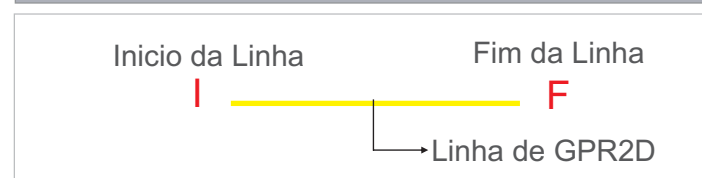
Figura 6.21: Seção de GPR 2D com Interpretação Geológica

Fonte: Stratageo (2011)

G2-TNC-036



Mapa Chave



Interpretação

- 1** Aterro - Horizonte 1
- 2** Sedimentos Marinhos - Horizonte 2
- Topografia
- Base do Aterro

Legenda - Perfil

- * Amostra de Solo
- * Resultado VOC (ppm)
- NA Nível de Água
- Interferências Subterrâneas
- Material Arenoso Insaturado
- Material Arenoso Saturado



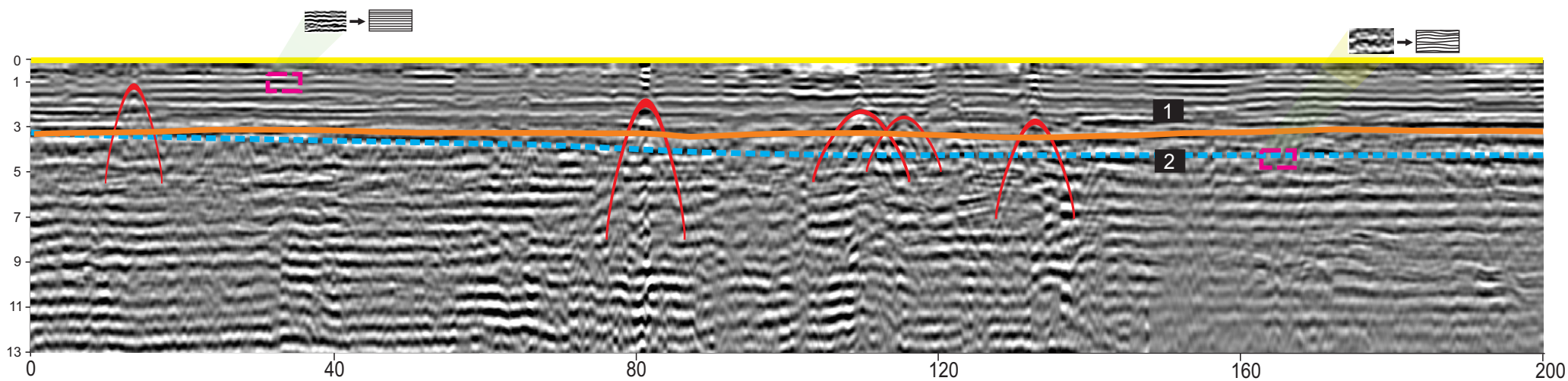
Data: 09/2011
 Projeto: TNC
 Contrato: 4600306204

Projetado por: J. Matos
 Desenhado por: P. Filho
 Aprovado por: K. Gouvea

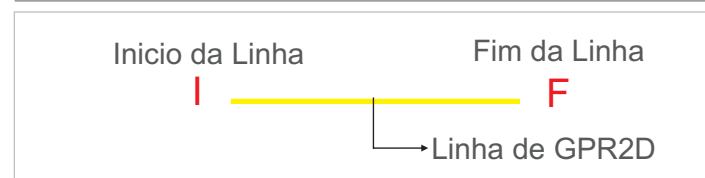
Figura 6.22: Seção de GPR 2D com Interpretação Geológica

Fonte: Stratageo (2011)

G2-TNC-037



Mapa Chave



Interpretação

- 1** Aterro - Horizonte 1
- 2** Sedimentos Marinhos - Horizonte 2
- Topografia
- Base do Aterro

Legenda - Perfil

- * Amostra de Solo
- * Resultado VOC (ppm)
- NA Nível de Água
- Interferências Subterrâneas
- Material Arenoso Insaturado
- Material Arenoso Saturado



Data: 09/2011
 Projeto: TNC
 Contrato: 4600306204

Projetado por: J. Matos
 Desenhado por: P. Filho
 Aprovado por: K. Gouvea

Figura 6.23: Seção de GPR 2D com Interpretação Geológica

Fonte: Stratageo (2011)

6.3. Hidrodinâmica

Os parâmetros hidrodinâmicos condicionam o escoamento no meio poroso do aquífero livre da área em questão e estão descritos a seguir.

6.3.1 Potenciometria do aquífero freático

Com base nos dados de nível d'água e cota da boca dos poços de monitoramento obtidos em campo foi gerado um mapa de isolinhas das cargas hidráulicas do aquífero freático, cujo rebatimento em planta demonstra a potenciometria do aquífero freático para a referida data ou período de medição no qual foram levantados os dados (**Figura 6.24**).

O monitoramento do nível de água indica profundidade média de 2,31 metros (máxima de 2,85 metros no poço de monitoramento PM-TNC-000, e mínima de 2,00 nos poços de monitoramento instalados a jusante da área), resultando no mapa potenciométrico da área. As linhas equipotenciais indicaram direção de fluxo preferencial de Nordeste para Sudoeste (NE-SW), com inflexão no sentido Leste-Oeste, seguindo o deslocamento do Rio Barra Nova, que desemboca no Oceano Atlântico ao norte do TNC. Esta direção por estar associada à influência da maré no momento das medições de nível água.





O **Quadro 6.1** apresenta o resultado de monitoramento realizado no dia 05/06/2011.

422000

422200

422400

Legenda

-  Direção do Fluxo
-  Poços de Monitoramento
-  Linhas Equipotenciais
-  Área de Investigação
- 2,45** Carga Hidráulica (m) - Linhas



7901600

7901600

7901400

7901400

7901200

7901200

422000

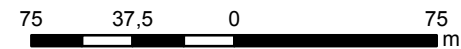
422200

422400



ID	PMs	Carga Hidráulica (m)
1	PM-TNC-0001	1.243
2	PM-TNC-0002	1.612
3	PM-TNC-0003	1.262
4	PM-TNC-0004	3.489
5	PM-TNC-0005	1.426
6	PM-TNC-0006	1.373
7	PM-TNC-0007	1.428
8	PM-TNC-0008	1.413
9	PM-TNC-0010	1.240
10	PM-TNC-0011	1.313
11	PM-TNC-0013	1.282
12	PM-TNC-0014	1.311
13	PM-TNC-0015	1.432
14	PM-TNC-0016	1.462
15	PM-TNC-0017	1.472
16	PM-TNC-0018	1.405
17	PM-TNC-0019	1.409
18	PM-TNC-0020	1.367
19	PM-TNC-0021	1.375
20	PM-TNC-0022	1.313
21	PM-TNC-0023	1.416
22	PM-TNC-0024	1.438

1:2.800



Data: 08/2011
 Projeto: TNC
 Contrato: 4600306204

Projetado por: T. Fernandes
 Desenhado por: T. Fernandes
 Revisto por: M. Soares
 Aprovado por: K. Gouvea



Figura 6.24: Mapa Potenciométrico - TNC
 Fonte: Stratageo (2011)

Projeção Universal Transversa de Mercator
 DATUM: SIRGAS 2000
 Zona: 24S

Quadro 6.1 – Resultado do monitoramento.

PMs	X	Y	Z	NA	(CH)
PM-TNC-0001	422055,377	7901511,953	3,703	2,460	1,243
PM-TNC-0002	422154,886	7901607,361	3,612	2,000	1,612
PM-TNC-0003	422086,429	7901467,132	3,962	2,700	1,262
PM-TNC-0004	422273,299	7901609,640	5,749	2,260	3,489
PM-TNC-0005	422370,198	7901596,828	4,276	2,850	1,426
PM-TNC-0006	422203,702	7901538,047	3,913	2,540	1,373
PM-TNC-0007	422306,331	7901496,167	3,428	2,000	1,428
PM-TNC-0008	422216,711	7901478,644	3,413	2,000	1,413
PM-TNC-0010	422061,746	7901366,239	3,390	2,150	1,240
PM-TNC-0011	422132,640	7901378,238	3,843	2,530	1,313
PM-TNC-0013	422096,170	7901352,007	3,642	2,360	1,282
PM-TNC-0014	422136,427	7901218,816	3,461	2,150	1,311
PM-TNC-0015	422211,124	7901233,435	3,472	2,040	1,432
PM-TNC-0016	422335,604	7901258,076	3,462	2,000	1,462
PM-TNC-0017	422422,076	7901276,254	3,472	2,000	1,472
PM-TNC-0018	422401,462	7901411,912	3,405	2,000	1,405
PM-TNC-0019	422328,263	7901372,066	3,539	2,130	1,409
PM-TNC-0020	422240,504	7901294,578	3,367	2,000	1,367
PM-TNC-0021	422082,156	7901258,432	3,835	2,460	1,375
PM-TNC-0022	422189,903	7901338,747	3,353	2,040	1,313
PM-TNC-0023	422221,408	7901394,377	3,416	2,000	1,416
PM-TNC-0024	422392,514	7901457,563	3,438	2,000	1,438

6.3.2 - Condutividade Hidráulica (K)

É de conhecimento científico que quanto maiores os grãos maiores são as gargantas entre os poros, conseqüentemente maior a permeabilidade. Como a seção filtrante dos poços de monitoramento instalados na área encontra-se na camada arenosa composta basicamente por areias de fração granulométrica média não foi possível concretizar o ensaio de condutividade hidráulica *in situ* através dos métodos Slug Test e Bail test devido à rápida recuperação associada à elevada condutividade hidráulica, uma vez que o objetivo principal do ensaio de

permeabilidade do tipo slug test é a recuperação do nível d'água, seja por rebaixamento (mínimo de 50 cm) ou por elevação (mínimo de 20 cm). Este ensaio não pôde ser aplicado nos PMs pois é quase impossível aplicar este método em aquífero altamente transmissivo, pois a recuperação do nível d'água é muito rápida e é necessário obter uma recuperação de no mínimo 75%. Por este motivo também não foi utilizado um transdutor (data-logger) que auxilia na precisão dos resultados, afinal o data-logger registra a profundidade da água acima do transdutor antes, durante e depois do início do slug test.

Ao aplicar o método de Hazen (Fetter, 1994) nas amostras estudadas foi possível determinar o diâmetro efetivo do grão (d_{10}) adquirido através da curva granulométrica (Figura 6.25), nas amostras AG-TNC-0001, AG-TNC-0002 e AG-TNC-0003 determinando assim, de forma empírica, a condutividade hidráulica. Os resultados de condutividade hidráulica obtidos empiricamente à partir das amostras supracitadas, podem ser observados no **Quadro 6.2** a seguir. Deve-se levar em conta que os métodos empíricos possuem limitações visto que, determinadas fórmulas foram desenvolvidas utilizando-se materiais e condições específicas, limitando dessa forma, a sua utilização. Sendo assim, somente a amostra AG-TNC-0002 apresentou valor de condutividade hidráulica da ordem de grandeza de 10^{-4} cm/s, compatível com a literatura (Fetter, 1994) para areia média.

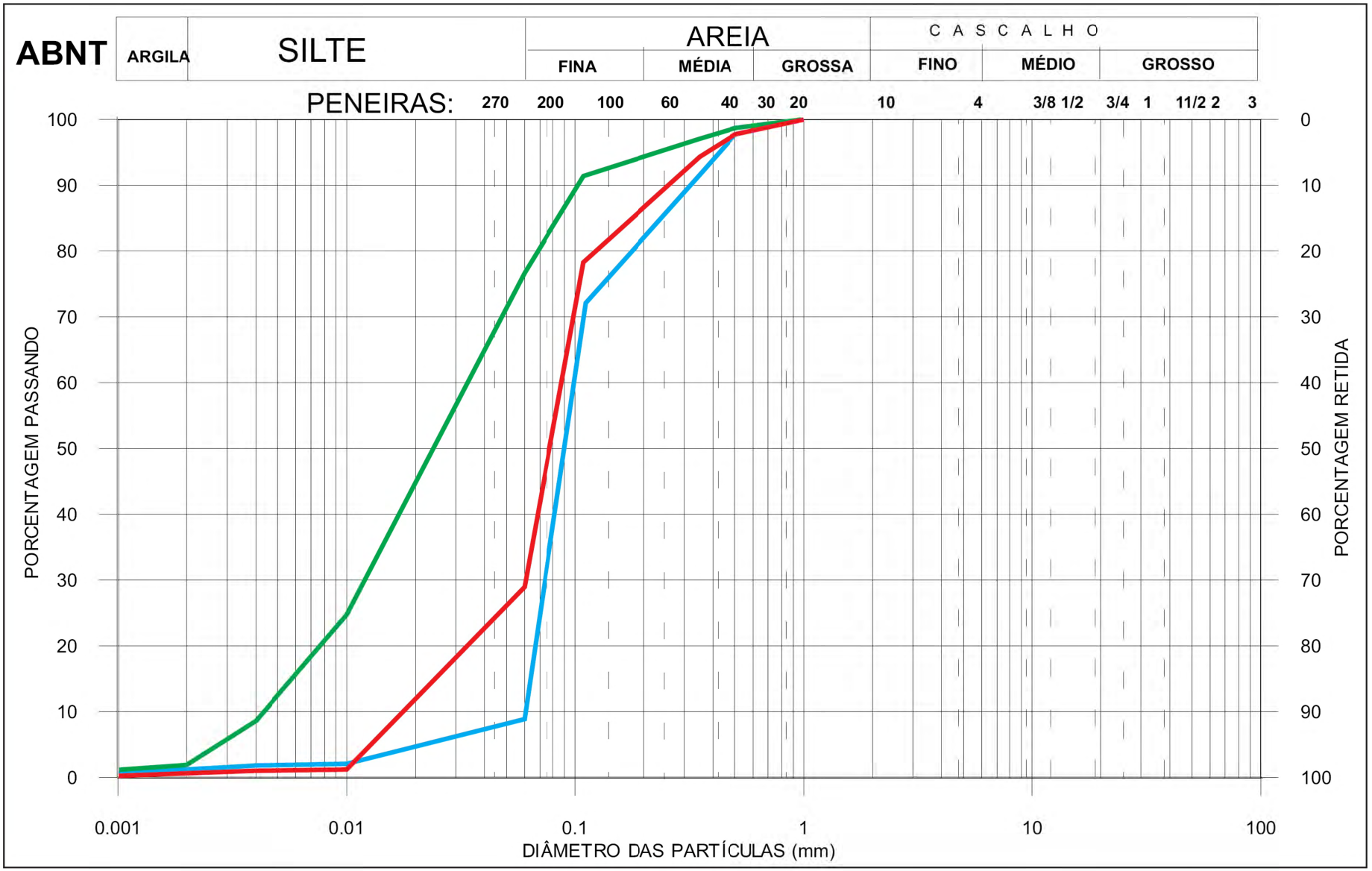
Quadro 6.2– Valores de condutividade hidráulica obtidos pelo método de Hazen

AMOSTRA	D_{10}	C	K (cm/s)
AG-TNC-0001	0,019	0,125	3,61E-7
AG-TNC-0002	0,43	0,125	1,85E-4
AG-TNC-0003	0,06	0,125	3,60E-6

Devido à instabilidade do solo arenoso presente no local das sondagens não foi possível a coleta de amostras indeformadas para análise dos parâmetros físicos

de interesse. De acordo com a literatura disponível (Driscoll, 1987) foi estimada uma porosidade efetiva da ordem de 15% para o material arenoso de fração granulométrica média existente na área do TNC.

A velocidade média do fluxo foi calculada utilizando o valor de condutividade hidráulica da ordem de grandeza de 10^{-4} cm/s obtido pelo método de Hazen e porosidade efetiva (Driscoll, 1987) da ordem de 15 %. O valor da velocidade do fluxo pode ser observado no **Quadro 6.3**.



Legenda:

Amostras:

- ↘ AG-TNC-0001 (1,0 m)
- ↘ AG-TNC-0002 (1,0 m)
- ↘ AG-TNC-0003 (1,0 m)

AG-TNC-0001 - (1,0 m)		
Cascalho	4 - 1	100,00
Areia muito grossa	0,5	98,62
Areia grossa	0,25	95,29
Areia média	0,125	78,99
Areia fina	0,062	29,59
Areia muito fina	0,016	2,89
Silte	0,004	1,22
Argila	0,001	0,10
AG-TNC-0002 - (1,0 m)		
Cascalho	4 - 1	100
Areia muito grossa	0,5	98,61875
Areia grossa	0,25	91,3575
Areia média	0,125	77,12625
Areia fina	0,062	25,795
Areia muito fina	0,016	9,06375
Silte	0,004	2,5525
Argila	0,001	1,33125
AG-TNC-0003 - (1,0 m)		
Cascalho	4 - 1	100,00
Areia muito grossa	0,5	99,90
Areia grossa	0,25	98,73
Areia média	0,125	72,83
Areia fina	0,062	9,44
Areia muito fina	0,016	1,11
Silte	0,004	0,53
Argila	0,001	0,10



Data: 08/2011
Projeto:TNC
Contrato:4600306204

Elaborado por: T.Fernandes
Revisto por: J.Matos
Aprovado por: K.Gouvea

Figura: 6.25 - Curvas de frequência acumulada obtidas a partir das análises granulométricas das amostras indeformadas - TNC.
Fonte: Stratageo (2011)

Quadro 6.3 – Resultado do cálculo de velocidade real do fluxo subterrâneo

Poços de monitoramento		Poço A		Poço B		ΔL (m)	Dh (m)	i (%)	$K_{\text{médio}}$ (m/s)	V_{Darcy} (m/s)	h_e (%)	Velocidade Real	
A	B	C. H. (m)	K (cm/s)	C. H. (m)	K (cm/s)							m/s	m/ano
PM-TNC-0004	PM-TNC-0006	3,49	1,85E-04	1,37	1,85E-04	99,86	2,12	2,12	1,85E-04	3,92E-06	15,00	2,61E-05	824,16
PM-TNC-0019	PM-TNC-0011	1,41	1,85E-04	1,31	1,85E-04	196,27	0,10	0,05	1,85E-04	9,05E-08	15,00	6,03E-07	19,02

K - Condutividade hidráulica do poço; C. H. - Carga hidráulica; Δh - Variação da carga hidráulica; i - Gradiente hidráulico; V_{Darcy} - Velocidade de Darcy (Velocidade aparente); η_e - Porosidade efetiva; ΔL - Distância entre pontos; $K_{\text{médio}}$ - Média da condutividade hidráulica da região avaliada;

7. RESULTADOS

7.1. Caracterização Geofísica

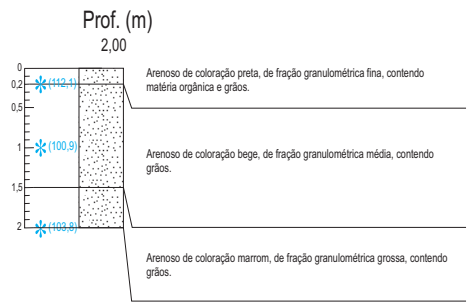
As sondagens realizadas na área também foram delimitadas com base nas anomalias elétricas e eletromagnéticas.

Para tal finalidade procurou-se identificar feições e anomalias próprias do GPR sendo estas com boa definição de refletores decorrentes do contraste de permissividade relativa do meio. Tais anomalias podem aparecer nas seções de SEVME como resistivas ou condutivas a depender das características composicionais e geológicas do substrato, com continuidade lateral significativa ou de forma pontual. Os locais de perfuração e os níveis amostrados foram determinados de forma a privilegiar o conhecimento dessas zonas anômalas, visando estabelecer a correspondência entre as anomalias geofísicas e possíveis anomalias geoquímicas

A Figura 7.1 referente às seções de SEVME S2-TNC-0035 e GPR G2-TNC-002 ilustram a utilização das SEVME e GPR na locação das sondagens e das amostragens.

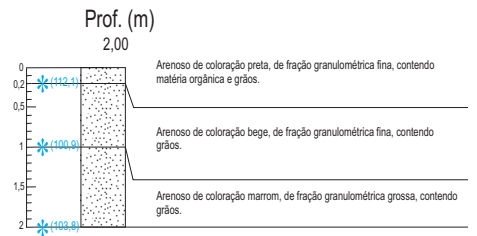
A variação nas resistividades está associada às variações texturais e ficou evidente que as zonas anômalas resistivas presentes na área refletem exclusivamente as características geológicas e hidrogeológicas presentes no local de investigação.

SD-TNC-0035



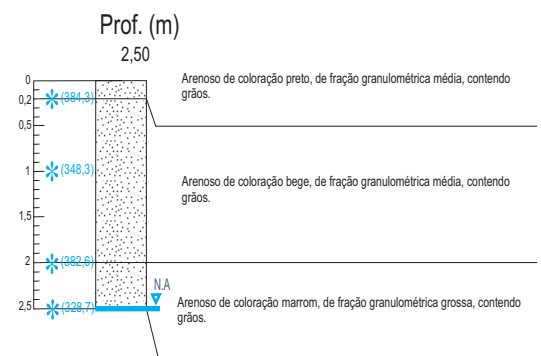
MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

SD-TNC-0040



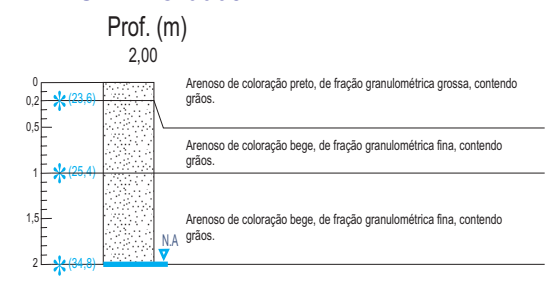
MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

SD-TNC-0063

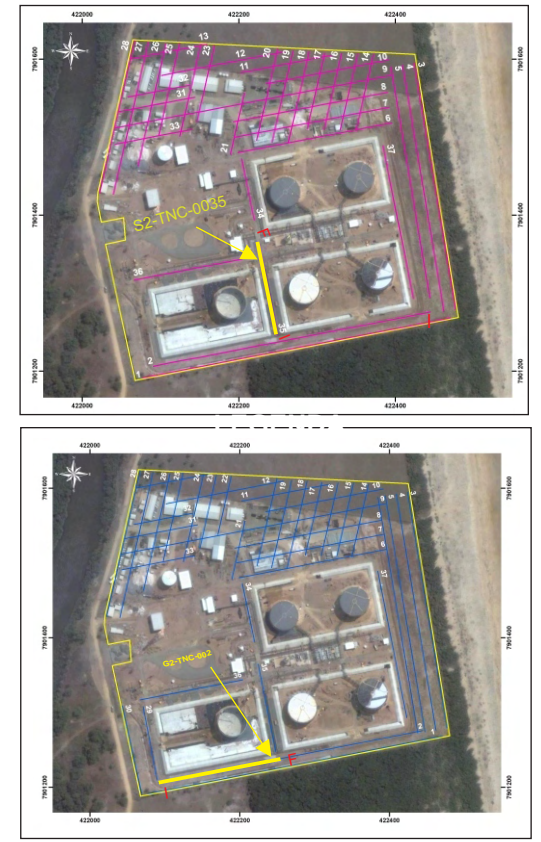


MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.

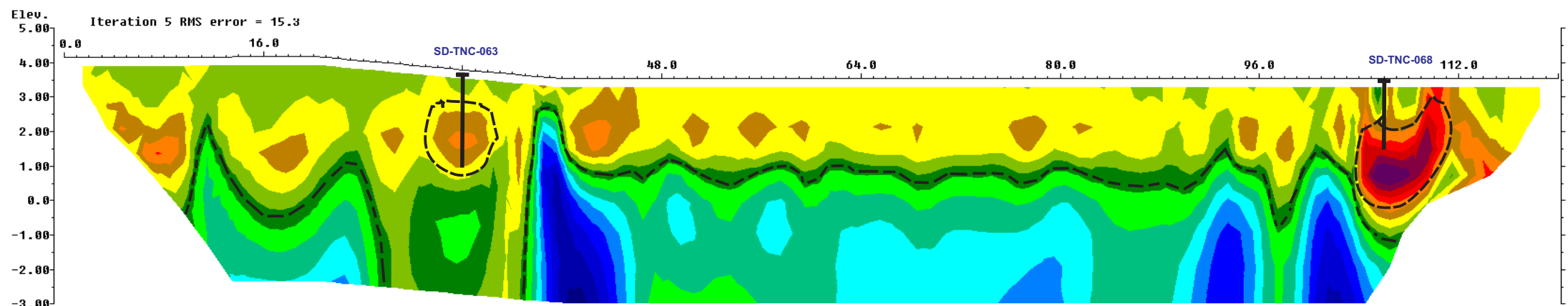
SD-TNC-0068



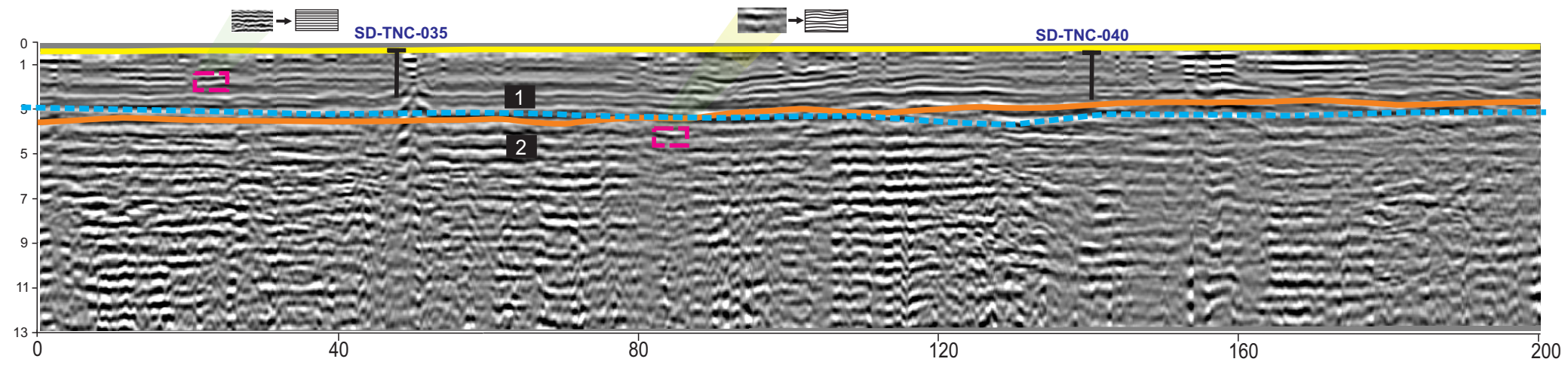
MOTIVO DA PARADA: Impenetrável.



S2-TNC-0035



G2-TNC-002



Mapa Chave

Início da Linha | Fim da Linha

— Linha de GPR2D

Interpretação

- 1 Aterro - Horizonte 1
- 2 Sedimentos Marinhos - Horizonte 2
- Topografia
- Base do Aterro

Legenda - Perfil

- * Amostra de Solo
- Resultado VOC (ppm)
- Nível de Água
- Interferências Subterrâneas
- Material Arenoso Insaturado
- Material Arenoso Saturado



Data: 09/2011
Projeto: TNC
Contrato: 4600306204

Projetado por: M.Passos
Desenhado por: P.Filho
Aprovado por: K .Gouvea

Figura 7.1: Seção de GPR 2D com Interpretação Geológica
Fonte: Stratageo (2011)

7.2. Medição de VOC *on-site*

A partir dos resultados obtidos nas medições de Vapores Orgânicos no Solo (VOC) *on-site* observa-se que aproximadamente 80% dos pontos investigados apresentaram indícios da presença de vapores orgânicos no solo. As médias são inferiores a 500 ppm e a maior concentração medida foi de 615,00 ppm. Portanto o solo da área apresenta-se, de forma disseminada, com médios teores de compostos orgânicos voláteis concentrados principalmente nas profundidades de 0,5 a 2,0 metros.

Os maiores valores estão localmente situados a Nordeste e a Sul da área, tangente à mureta dos diques de contenção. Porém o padrão é em geral disseminado por toda a área com concentrações médias abaixo de <500 ppm e, concentrados, principalmente, nas profundidades de 0,5 a 2,0 metros.

O **Anexo 08** apresenta os perfis das sondagens realizadas com os respectivos valores de VOC em profundidade.

A **Figura 7.2** apresenta o Mapa com as concentrações de VOCs para área do TNC.

7.3 Medição de TPH *on site*

As amostras analisadas de TPH *on-site* no solo levaram em consideração os limites de intervenção adotados pela Lista Holandesa (1000 mg/Kg). Dentre os pontos analisados nenhum apresentou valor acima de 1000 mg/Kg. Apenas quatro pontos (SD-TNC-0032, SD-TNC-0041, SD-TNC-0019 e SD-TNC-00129) obtiveram concentrações de até 350 mg/Kg. A **Figura 7.3** apresenta o Mapa com os pontos anômalos de TPH *on-site*.

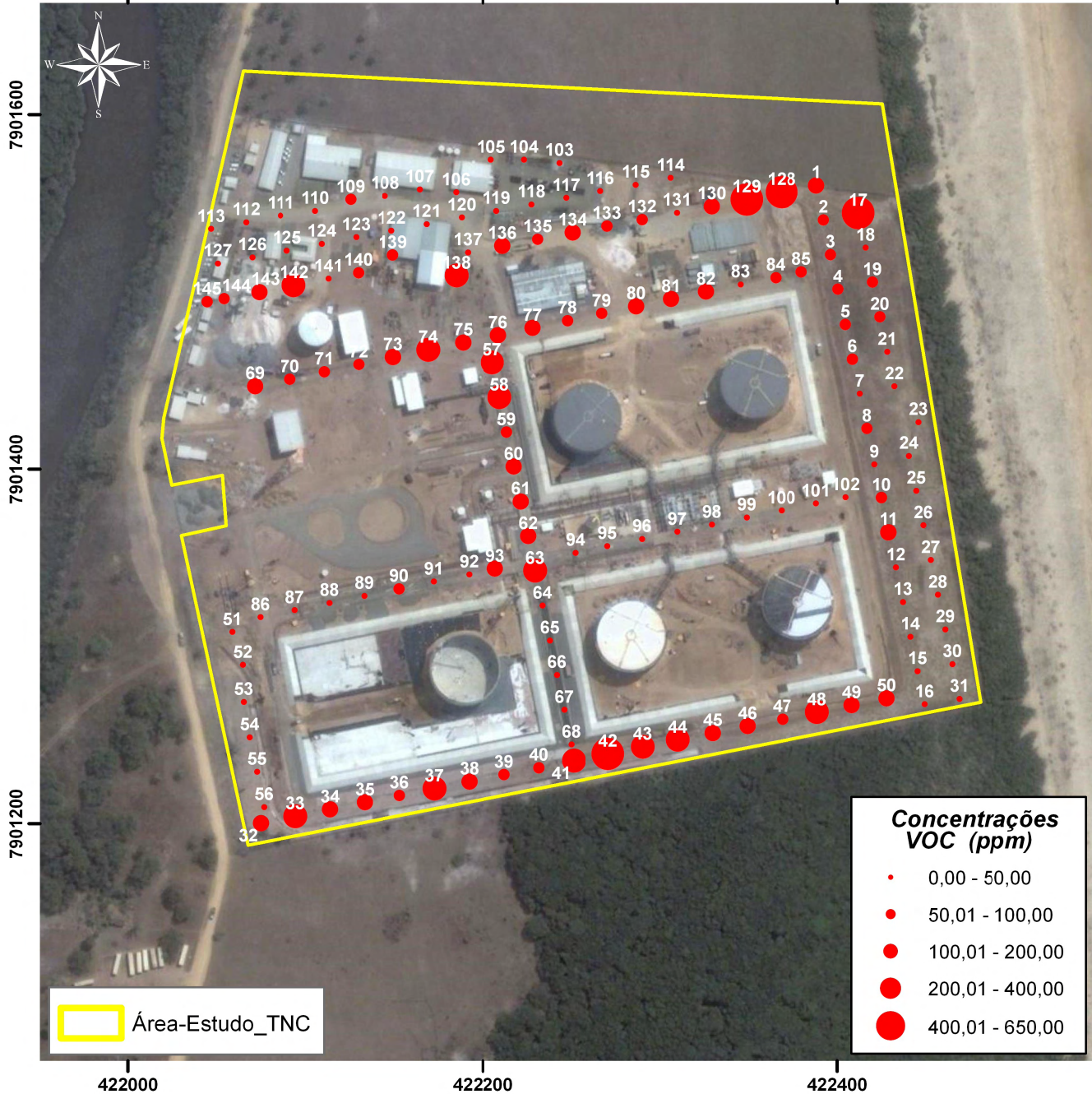


O **Anexo 08** apresenta os perfis das sondagens realizadas com o respectivo valor de TPH em profundidade.

422000

422200

422400



Legenda

ID	Sondagem	Valores de C.O.V. (profundidades de 0,20 a 6 m)				ID	Sondagem	Valores de C.O.V. (profundidades de 0,20 a 6 m)						
1	SD-TNC-0001	112,10	100,90	103,80	82,90	91,50								
2	SD-TNC-0002	56,10	32,00	32,80	48,20	48,50	44,30							
3	SD-TNC-0003	64,70	33,70	36,50	49,60	42,90	25,20							
4	SD-TNC-0004	60,30	34,50	26,60	28,90	24,40	11,70							
5	SD-TNC-0005	52,80	43,80	43,00	50,50	38,10	38,20	31,20						
6	SD-TNC-0006	96,80	87,00	86,10	39,40	18,80	22,90	16,10						
7	SD-TNC-0007	16,70	12,20	14,10	9,80	11,10	8,60	19,40						
8	SD-TNC-0008	20,70	60,80	28,60	14,80	12,20	9,40	7,00						
9	SD-TNC-0009	6,50	7,90	13,10	10,00	9,30	9,60	8,20						
10	SD-TNC-0010	88,90	71,50	78,30	89,90	53,70	58,70	58,70						
11	SD-TNC-0011	183,00	143,30	140,70	122,00	107,50	96,50	57,90						
12	SD-TNC-0012	18,00	41,00	39,70	38,30	38,70	20,90	14,30						
13	SD-TNC-0013	30,50	33,80	43,20	23,10	21,10	20,10	18,70						
14	SD-TNC-0014	9,70	6,40	8,80	7,30	10,60	6,90	7,30						
15	SD-TNC-0015	13,20	20,00	30,30	15,20	19,00	13,80	17,20						
16	SD-TNC-0016	12,00	13,00	11,00	10,70	10,90	8,70	6,10						
17	SD-TNC-0017	513,30	615,50	80,90										
18	SD-TNC-0018	13,20	17,30	29,30										
19	SD-TNC-0019	16,40	9,90	76,40										
20	SD-TNC-0020	24,30	46,10	78,40										
21	SD-TNC-0021	4,00	1,60	0,60	0,30	0,10	0,10	0,00						
22	SD-TNC-0022	14,20	17,90	22,50	27,90	28,40	33,90	32,60						
23	SD-TNC-0023	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
24	SD-TNC-0024	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
25	SD-TNC-0025	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
26	SD-TNC-0026	6,00	5,10	5,30	5,80	3,70	4,20	2,80						
27	SD-TNC-0027	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
28	SD-TNC-0028	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
29	SD-TNC-0029	5,30	6,00	5,40	5,20	10,10	9,80							
30	SD-TNC-0030	3,40	4,10	4,90	4,50	3,60	2,00							
31	SD-TNC-0031	3,90	5,90	3,50	4,80	5,30	3,50							
32	SD-TNC-0032	170,30	127,90	86,80										
33	SD-TNC-0033	325,00	230,30	175,00	358,70									
34	SD-TNC-0034	181,10	105,80	95,80	87,80									
35	SD-TNC-0035	108,00	55,00	54,00	44,80									
36	SD-TNC-0036	40,90	42,10	50,30	54,10									
37	SD-TNC-0037	134,90	201,90	179,70	134,90									
38	SD-TNC-0038	125,90	89,20	53,90	67,50									
39	SD-TNC-0039	87,80	79,10	80,50	72,30									
40	SD-TNC-0040	73,30	57,30	52,70	34,50									
41	SD-TNC-0041	363,30	350,70	245,30										
42	SD-TNC-0042	492,10	279,40	205,30										
43	SD-TNC-0043	309,30	100,30	115,40										
44	SD-TNC-0044	326,30	219,20	123,50										
45	SD-TNC-0045	327,80	101,70	110,20										
46	SD-TNC-0046	144,80	95,30	88,40										
47	SD-TNC-0047	68,00	60,50	44,40										
48	SD-TNC-0048	255,90	265,80	159,70										
49	SD-TNC-0049	144,40	94,10	88,20										
50	SD-TNC-0050	128,40	11,70	69,70										
51	SD-TNC-0051	9,90	10,80	15,60	17,30									
52	SD-TNC-0052	30,20	28,90	23,80	26,00									
53	SD-TNC-0053	21,70	13,30	7,50										
54	SD-TNC-0054	10,80	11,20	9,50										
55	SD-TNC-0055	16,80	17,80	10,80										
56	SD-TNC-0056	10,80	13,70	9,70										
57	SD-TNC-0057	226,70	190,80	132,80										
58	SD-TNC-0058	212,70	101,20	110,80										
59	SD-TNC-0059	72,30	78,90	80,90										
60	SD-TNC-0060	140,90	68,90	70,10										
61	SD-TNC-0061	53,20	68,70	72,30	101,70									
62	SD-TNC-0062	103,90	144,30	83,40	53,40									
63	SD-TNC-0063	384,30	348,30	382,60	328,70									
64	SD-TNC-0064	23,00	13,40	12,10										
65	SD-TNC-0065	13,80	10,90	9,70										
66	SD-TNC-0066	11,80	9,70	8,50										
67	SD-TNC-0067	31,70	22,10	23,70										
68	SD-TNC-0068	23,60	25,40	34,80										
69	SD-TNC-0069	128,30	89,10	78,90	51,00									
70	SD-TNC-0070	88,90	78,80	33,70										
71	SD-TNC-0071	82,70	63,70	17,90										
72	SD-TNC-0072	76,90	30,80	36,90										
73	SD-TNC-0073	108,90	106,00	112,90										

Área-Estudo_TNC

Concentrações VOC (ppm)

- 0,00 - 50,00
- 50,01 - 100,00
- 100,01 - 200,00
- 200,01 - 400,00
- 400,01 - 650,00

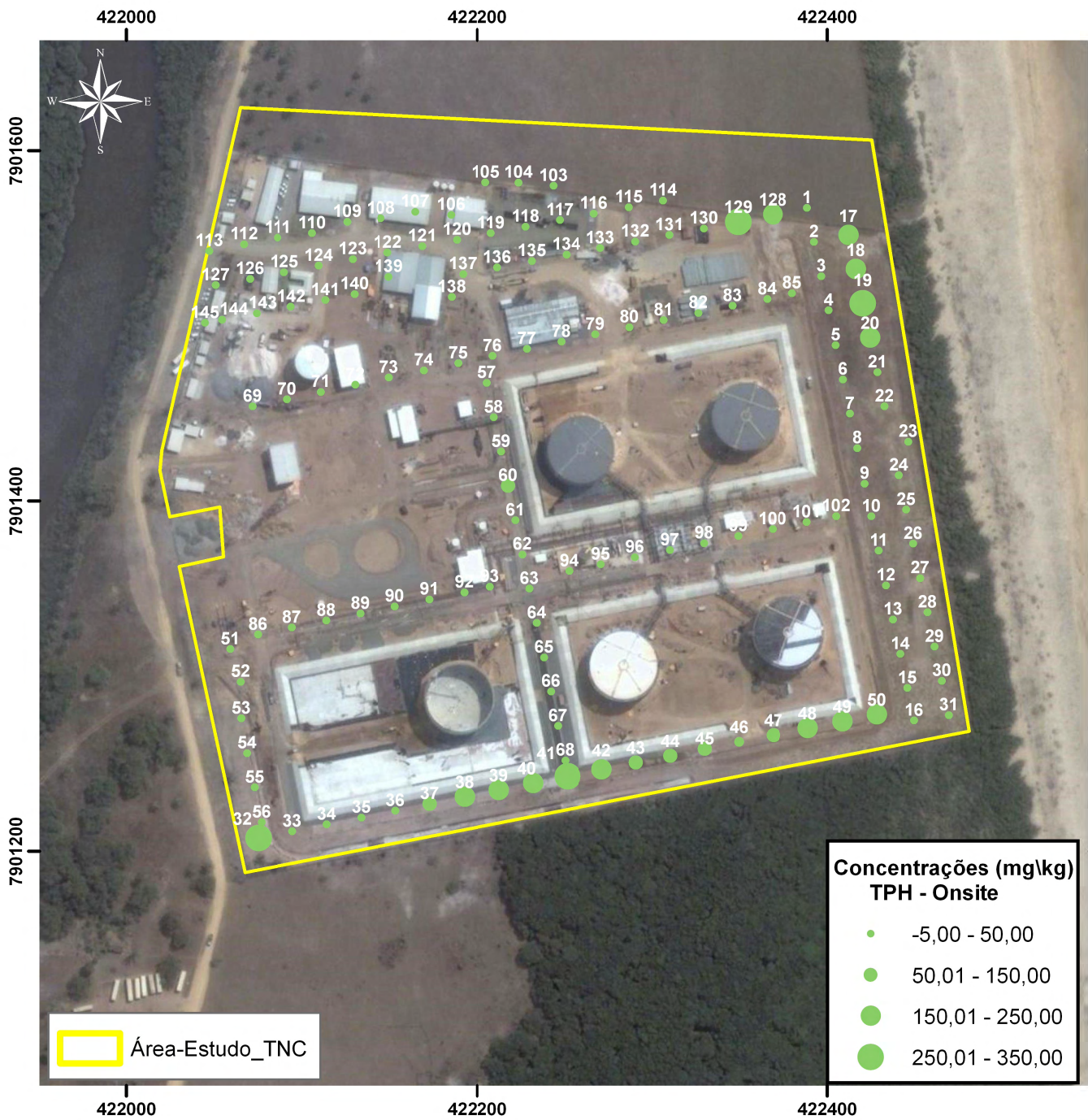


Data: 08/2011
Projeto: TNC
Contrato: 4600306204

Elaborado por: T.Fernandes
Revisto por: J.Matos
Aprovado por: K.Gouvea

Figura 7.2 Mapa de concentrações de VOC (ppm) - TNC
Fonte: Stratageo (2011)

0 100 200 m
Projeção: Universal Transversa de Mercator
Datum: Sirgas 2000
Zona: 24s



Legenda

ID	Sondagem	Concentrações de TPH							
		Profundidades(m)	0,2	1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6
1	SD-TNC-001	14	29	34	30	21			
2	SD-TNC-002	1	3	0	4	3	3		
3	SD-TNC-003	4	2	3	2	2	1		
4	SD-TNC-004	4	3	2	2	0	1		
5	SD-TNC-005	4	2	0	1	4	2	-1	
6	SD-TNC-006	2	0	1	3	1	1	2	
7	SD-TNC-007	4	5	4	4	2	5	4	
8	SD-TNC-008	4	4	5	5	5	3	2	
9	SD-TNC-009	5	4	4	4	4	4	4	
10	SD-TNC-010	3	2	3	3	3	2	2	
11	SD-TNC-011	3	1	2	3	1	2	2	
12	SD-TNC-012	5	-1	1	1	2	3	0	
13	SD-TNC-013	0	0	3	1	2	2	2	
14	SD-TNC-014	4	3	1	1	1	2	1	
15	SD-TNC-015	1	1	1	2	4	2	1	
16	SD-TNC-016	4	1	1	2	2	1	7	
17	SD-TNC-017	161	189	98					
18	SD-TNC-018	182	182	154					
19	SD-TNC-019	252	196	77					
20	SD-TNC-020	140	112	159					
21	SD-TNC-021	2	4	7	1	4	0	2	
22	SD-TNC-022	6	5	3	4	4	3	2	
23	SD-TNC-023	4	3	3	1	3	1	1	
24	SD-TNC-024	3	8	-2	0	0	4	-2	
25	SD-TNC-025	-2	1	2	0	0	1	1	
26	SD-TNC-026	0	0	2	4	-1	0	1	
27	SD-TNC-027	3	3	2	4	3	5	3	
28	SD-TNC-028	5	4	4	4	5	4	3	
29	SD-TNC-029	1	4	4	5	6	3		
30	SD-TNC-030	6	4	5	4	5	5		
31	SD-TNC-031	10	4	4	4	7	4		
32	SD-TNC-032	168	273	35					
33	SD-TNC-033	32	19	31	22				
34	SD-TNC-034	26	25	32	27				
35	SD-TNC-035	21	6	15	4				
36	SD-TNC-036	30	19	18	7				
37	SD-TNC-037	20	86	60	93				
38	SD-TNC-038	99	97	152	0				
39	SD-TNC-039	60	205	136	132				
40	SD-TNC-040	130	113	159	179				
41	SD-TNC-041	325	212	0,7					
42	SD-TNC-042	232	132	192					
43	SD-TNC-043	53	95	66					
44	SD-TNC-044	66	99	79					
45	SD-TNC-045	3	79	99					
46	SD-TNC-046	146	0	0					
47	SD-TNC-047	93	106	33					
48	SD-TNC-048	139	179	99					
49	SD-TNC-049	99	199	139					
50	SD-TNC-050	139	159	91					
51	SD-TNC-051	2	4	3	0				
52	SD-TNC-052	2	3	1	2				
53	SD-TNC-053	4	7	0					
54	SD-TNC-054	3	1	3					
55	SD-TNC-055	7	7	6					
56	SD-TNC-056	2	4	3					
57	SD-TNC-057	0	4	-2					
58	SD-TNC-058	0	3	-1					
59	SD-TNC-059	8	0	3					
60	SD-TNC-060	34	96	76					
61	SD-TNC-061	2	2	1	0				
62	SD-TNC-062	-2	3	6	-5				
63	SD-TNC-063	2	4	0	-1				
64	SD-TNC-064	29	7	2					
65	SD-TNC-065	10	4	5					
66	SD-TNC-066	9	0	24					
67	SD-TNC-067	6	11	0					
68	SD-TNC-068	0	0	2					
69	SD-TNC-069	3	1	4	27				
70	SD-TNC-070	2	2	4					
71	SD-TNC-071	-1	3	0					
72	SD-TNC-072	1	3	2					
73	SD-TNC-073	1	5	-1					

Concentrações (mg/kg) TPH - Onsite

- -5,00 - 50,00
- 50,01 - 150,00
- 150,01 - 250,00
- 250,01 - 350,00

Área-Estudo_TNC

0 100 200 m



Data: 08/2011
 Projeto: TNC
 Contrato: 4600306204

Elaborado por: T.Fernandes
 Revisto por: J.Matos
 Aprovado por: K.Gouvea

Figura 7.3: Mapa de concentrações de TPH - Onsite - TNC
 Fonte: Stratageo (2011)

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Sirgas 2000
 Zona: 24s

7.4. Medição dos Parâmetros Físico-Químicos *in situ*

O **Quadro 7.1** apresenta os valores de potencial hidrogeniônico (pH), temperatura (T), condutividade elétrica (CE), potencial redox (Eh), sólidos totais dissolvidos (STD) e oxigênio dissolvido (OD) nos 22 MPs.

Quadro 7.1 - Resultados das análises físico-químicas dos parâmetros *in situ*.

PM	T (°C)	pH	Eh (mV)	OD (ppm)	CE (µS/cm)	STD (mg/L)	Salinidade
PM-TNC-0001	26,32	6,52	3,7	8,13	255	127	0,12
PM-TNC-0002	29,17	7,33	-43,2	5,45	384	192	0,18
PM-TNC-0003	26,99	6,16	24,5	1,27	571	285	0,27
PM-TNC-0004	28,01	6,76	-9,8	0,41	520	260	0,25
PM-TNC-0005	28,92	7,22	-36,6	1,84	330	165	0,16
PM-TNC-0006	28,51	6,58	0,1	0,41	589	294	0,28
PM-TNC-0007	29,13	7,07	-28,0	2,78	554	277	0,26
PM-TNC-0008	28,66	6,48	6,0	0,21	543	271	0,26
PM-TNC-0010	29,09	6,22	20,9	0,84	576	288	0,28
PM-TNC-0011	28,36	7,02	-24,8	5,79	672	336	0,32
PM-TNC-0013	27,93	5,72	49,6	0,57	723	362	0,35
PM-TNC-0014	29,65	6,37	12,3	0,14	456	228	0,22
PM-TNC-0015	27,97	6,15	25,0	1,31	583	292	0,28
PM-TNC-0016	28,11	6,79	-12,0	0,14	440	220	0,21
PM-TNC-0017	29,07	7,00	-23,8	1,56	355	177	0,17
PM-TNC-0018	28,86	6,93	-19,9	-10,2	423	211	0,20
PM-TNC-0019	26,46	6,87	-16,1	0,23	998	499	0,49
PM-TNC-0020	27,93	6,69	-6,1	0,03	600	300	0,29
PM-TNC-0021	29,84	5,96	36,3	0,48	572	286	0,27
PM-TNC-0022	28,49	6,31	15,6	0,19	666	333	0,32
PM-TNC-0023	28,86	6,48	6,0	0,08	440	220	0,21
PM-TNC-0024	28,16	6,91	-18,4	0,47	468	234	0,22

a. Temperatura

O conceito físico de temperatura está associado ao conceito de equilíbrio térmico. Um sistema mecânico tem muitas configurações possíveis, dependendo da distribuição de energia de seus subsistemas. Dentre estas configurações, existe

aquela mais provável, em que todos os subsistemas estão em equilíbrio térmico e, que pode ser calculada com as técnicas da mecânica estatística de equilíbrio.

Durante a operação de amostragem de água subterrânea a temperatura foi determinada continuamente procurando minimizar o efeito térmico do ambiente protegendo a tubulação e os equipamentos da incidência direta dos raios solares, de modo que, estes valores de temperatura medidos no campo são realmente representativos das condições locais.

No **Quadro 7.1**, verifica-se que na área em estudo a temperatura apresentou valores entre 26,32°C (PM-TNC-0001) e 29,84°C (PM-TNC-0021).

b. Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico $\text{pH} = -\log \text{H}^+$ é uma forma de avaliar a concentração do íon H^+ dissolvido nas águas subterrâneas. Segundo Langmuir (1997), o pH das águas subterrâneas naturais está entre 4 e 9. Isto reflete a dinâmica natural entre os ácidos e as bases, sendo que os valores extremos ocorrem quando um dos dois é dominante.

Abaixo são exibidas as faixas dos valores de pH:

- Faixa 1 - pH < 4,50 - Caráter muito ácido
- Faixa 2 - pH de 4,51 a 5,50 - Caráter ácido
- Faixa 3 - pH de 5,51 a 6,50 - Caráter levemente ácido
- Faixa 4 - pH de 6,51 a 7,50 - neutro
- Faixa 5 - pH de 7,51 a 8,50 - Caráter levemente alcalino
- Faixa 6 - pH > 8,50 - Caráter muito básico

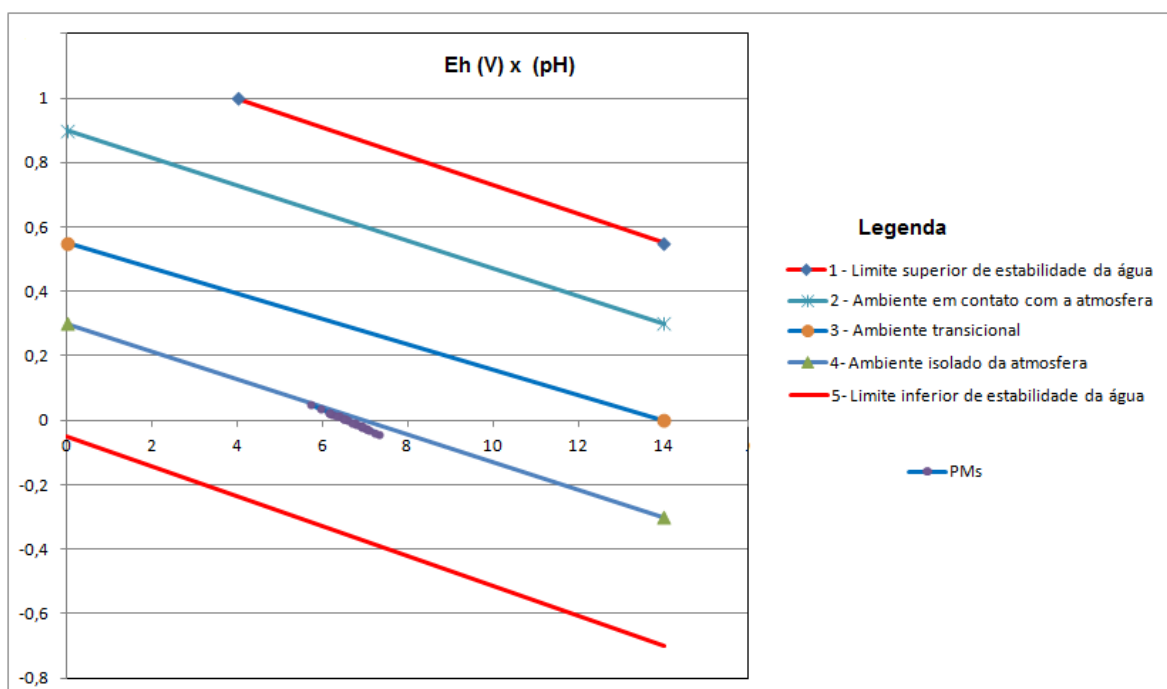
No **Quadro 7.1** verifica-se que na área em investigação o pH apresentou-se com um caráter levemente ácido a neutro tendo o seu menor valor no PM-TNC-0013 (5,72) e o seu maior valor no PM-TNC-0002 (7,33).

c. Potencial de Oxi-redução (Eh) e pH

O potencial redox é uma medida do estado de oxidação das águas subterrâneas. Em geral, águas subterrâneas naturais que apresentam baixos valores de Eh são águas reduzidas que percolam por aquíferos com certa quantidade de matéria orgânica. As águas subterrâneas oxidadas, em geral, são águas mais superficiais, de rápida circulação, com certo grau de oxigenação.

No **Quadro 7.1**, verifica-se que na área em estudo o potencial redox apresentou valores negativos em praticamente 50% dos poços amostrados com exceção dos poços de monitoramento PM-TNC-0001, PM-TNC-0003, PM-TNC-0006, PM-TNC-0008, PM-TNC-0010, PM-TNC-0013, PM-TNC-0014, PM-TNC-0015, PM-TNC-0021, PM-TNC-0022 e PM-TNC-0023. O menor valor foi observado no PM-TNC-0002 (- 43,2mV) e o maior valor no PM-TNC-0013 (49,6mV).

De acordo com o diagrama Eh x pH (Garrels & Christ, 1965) a seguir as amostras da área de estudo estão no campo do ambiente isolado da atmosfera (4) próximo ao limite com o ambiente transicional (3) indicando que as amostras representam, efetivamente, águas subterrâneas com pouca profundidade.



Elaborado por: Stratageo, 2011.

d. Condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

A condutividade de uma solução eletrolítica é a expressão numérica quantitativa da sua capacidade de transportar a corrente elétrica. Os sais dissolvidos e ionizados presentes na água transformam-na num eletrólito capaz de conduzir a corrente elétrica. Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica é possível estimar o teor de sais pela medida de condutividade de uma água.

Como a condutividade aumenta com a temperatura usa-se 25°C como temperatura padrão, o condutivímetro efetua automaticamente a correção da medida em função da temperatura. Para as águas subterrâneas as medidas de condutividade são dadas em microsiemens por centímetro ($\mu\text{S/cm}$).

No **Quadro 7.1** verifica-se que as amostras de água tiveram uma variação da condutividade elétrica de 255,00 $\mu\text{S/cm}$ (PM-TNC-0001) a 998,00 $\mu\text{S/cm}$ (PM-TNC-0019).

A quantidade de TDS nas amostras apresentaram uma variação numérica com o valor menor observado no PM-TNC-0001 de 127,00 mg/L e, maior no PM-TNC-0019 com 499 mg/L.

Neste contexto, a concentração média de sólidos dissolvidos da ordem de 266 mg/L indica há tempo de residência destas águas e, conseqüentemente tendência à salinização, o que é corroborado pelos valores médios de condutividade elétrica (532 $\mu\text{S/cm}$).

e. Oxigênio Dissolvido – OD

De um modo geral a água subterrânea não contém oxigênio dissolvido. No entanto, pode-se encontrar a presença de dióxido de carbono (CO_2), ferro,

manganês amônia ou ácidos húmicos que favorecem a solubilidade do oxigênio na água.

Em condições normais de temperatura e pressão a água consegue reter de 9 a 10 ppm de oxigênio livre. Esta solubilidade decresce à medida que a temperatura aumenta anulando-se na fase de ebulição.

No Quadro 7.1 verifica-se que na área em estudo o OD apresentou em geral valores abaixo de 3,0 ppm com exceção dos valores nos poços PM-TNC-0001, PM-TNC-0002 e PM-TNC-0011. Ressalta-se que o PM-TNC-0018 apresentou valor de -10,2 ppm, o que representa um erro de leitura do parâmetro durante a amostragem.

Os valores elevados compreendidos entre 3 e 8 ppm provavelmente refletem características locais do aquífero no que tange à concentração de compostos que favorecem a solubilidade do O₂.

O valor médio de 1,53 ppm associado à natureza levemente ácida (pH) e aos maiores valores de condutividades elétricas indicam uma condição oxidante com potencial corrosivo destas águas.

7.4. Caracterização Geoquímica e Hidroquímica

As amostras coletadas foram submetidas à análises geoquímicas e hidroquímicas das classes de hidrocarbonetos ligadas aos TPHs ou HTP (Hidrocarbonetos Totais de Petróleo), HPAs (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos), BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos Totais) e, os Metais Poluentes Prioritários (MPPs).

A avaliação da qualidade do solo e água subterrânea foi feita com base nos teores dos compostos químicos analisados e, respectiva comparação de suas

concentrações com os valores orientadores estabelecidos por diretrizes técnicas nacionais e internacionais, conforme descrito no capítulo 4, item 4.5.

A Resolução CONAMA 420/09 foi preferencialmente usada como referência de parâmetro de qualidade do solo e água subterrânea da área de estudo. Na eventual ausência de valores orientadores nessa lista de referência, a comparação do parâmetro geoquímico/hidroquímico foi feita com as listas Holandesa e EPA, nesta ordem de prioridade.

A seguir são apresentados e discutidos os resultados das análises geoquímicas e hidroquímicas. Nos gráficos, no eixo x, as amostras foram ordenadas conforme sua concentração, da menor para maior concentração (ordenação simples) de forma a permitir uma fácil visualização do número de amostras acima de determinado valor. No eixo y, são apresentadas as concentrações medidas. Para concentrações abaixo do limite de detecção do método, o valor desse limite foi considerado como valor medido. Os laudos analíticos elaborados pelo laboratório *Analytical Technology* estão apresentados no **Anexo 10**.

No **Anexo 11** são apresentados os gráficos das concentrações dos parâmetros de interesse em relação à lista de referência de valores orientadores adotada para o respectivo parâmetro.

O banco de dados geoquímicos e hidroquímicos é apresentado no **Anexo 12** e, o **Anexo 13** apresenta a metodologia e fluxo laboratorial.

- **Hidrocarbonetos**
 - **TPH FRACIONADO E TOTAL**

As amostras de água subterrânea foram analisadas pela técnica de TPH Total que mede a concentração de todos os hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos presentes na amostras. As Análises de TPH Total foram efetuadas apenas nas amostras de água subterrânea e todas elas apresentaram esse composto em concentrações abaixo do limite de quantificação do método.

Análises de TPH fracionado foram realizadas em 42 amostras de solo.

Não existem valores orientadores estabelecidos para os índices de TPH fracionado em amostras ambientais. Em geral, essa análise é usada em avaliações de áreas com histórico de altas concentrações de hidrocarbonetos, medidas por análises convencionais de TPH (análises do total de hidrocarbonetos de petróleo) ou até mesmo por método visual. No presente estudo convencionou-se efetuar esta amostragem tendo em vista as atividades desenvolvidas no local.

Os valores de TPH fracionado (separado em diferentes classes divididas por números de átomos de carbono) permite, caso necessário efetuar uma Avaliação de Risco à Saúde Humana mais precisa, com base nas concentrações das frações de hidrocarbonetos, visto que, a da faixa de hidrocarbonetos apresenta um fator de risco distinto, como consequência das diferenças entre suas propriedades físico-químicas em cada fração.

Mais detalhadamente, no TPH Fracionado as concentrações das diferentes frações são medidas segundo o seguinte critério:

1-Hidrocarbonetos Alifáticos

Compostos com número de carbonos entre C6 e C8

Compostos com número de carbonos entre C8 e C10

Compostos com número de carbonos entre C10 e C12

Compostos com número de carbonos entre C12 e C16

Compostos com número de carbonos entre C16 e C21

Compostos com número de carbonos entre C21 e C32

2-Hidrocarbonetos Aromáticos

Compostos com número de carbonos entre C8 e C10

Compostos com número de carbonos entre C10 e C12

Compostos com número de carbonos entre C12 e C16

Compostos com número de carbonos entre C16 e C21

Compostos com número de carbonos entre C21 e C32

Todas as amostras de solo contêm frações de hidrocarbonetos abaixo do limite de quantificação do método analítico, indicando baixa concentração desses compostos na composição do solo da área. Os resultados analíticos completos são apresentados nos laudos no **Anexo 10**, deste relatório.

O **Anexo 11** apresenta o gráfico de distribuição da concentração de TPH Total em amostras de água subterrânea e Fracionado em solos.

- **HPAs (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos)**

Os hidrocarbonetos aromáticos de petróleo representam cerca de 17% do óleo cru (Fetter, 1991), dividindo-se em hidrocarbonetos monoaromáticos (ou simplesmente aromáticos) de petróleo, em cuja estrutura há apenas um anel benzênico e hidrocarbonetos poliaromáticos ou policíclicos, que possuem dois ou mais anéis benzênicos em sua estrutura.

Os compostos policíclicos aromáticos individuais analisados foram: naftaleno, acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno, benzo(k)fluoranteno, criseno, dibenzo(a,h)antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, indeno(1,2,3-cd)pireno e indeno; e, todos esses compostos estão presentes nas amostras em concentrações abaixo do limite de quantificação do método analítico e bem abaixo dos valores considerados de investigação estabelecidos pela CONAMA 420/09, Lista Holandesa (1999) e EPA-R9.

Nenhuma amostra de solo apresentou teores acima do limite considerado como investigação para solos e demais listas (**Anexo 11**).

- **BTEX**

Os hidrocarbonetos monoaromáticos são representados pelos compostos Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e isômeros dos Xilenos (BTEX) e estão entre os compostos orgânicos mais voláteis presentes nos derivados de petróleo como a gasolina. Na área em estudo estes compostos foram analisados considerando a existência pretérita de canteiros de obras com intenso fluxo de veículos durante a fase de instalação do empreendimento, visando garantir a inexistência de anomalias decorrentes de vazamento de combustível.

Na área de estudo esses compostos voláteis estão abaixo do limite de quantificação do método em todas as amostras de solo e água analisadas (**Anexo 11**).

- **Metais Poluentes Prioritários (MPPs)**

Dezenove metais (Al, Sb, As, Ba, B, Cu, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Mo, Ni, Pt, Ag, Se, V) foram analisados no solo e água da área estudada, sendo que nesta matriz foram analisadas, também, as concentrações dissolvidas.

Todos os metais estão presentes em concentrações abaixo dos limites de investigação estabelecidos pela CONAMA 420/09 para solos agrícolas e dos limites estabelecidos pelas listas Holandesa e EPA.

Em amostras de água subterrânea cinco metais (em concentração total) foram detectados acima dos valores orientadores estabelecidos do CONAMA 420/09. O Alumínio foi detectado acima do valor de investigação em uma amostra (PM-TNC-0004), o Chumbo em 19 amostras, o cromo em uma amostra (PM-TNC-0004), o Ferro em 13 amostras, o Manganês em duas amostras (PM-TNC-0022 e PM-TNC-0019) e Níquel em cinco amostras (PM-TNC-0003, PM-TNC-0015, PM-TNC-0004, PM-TNC-0005 e PM-TNC-0014). Já em concentração dissolvida detectou-se Ferro em 9 amostras (PM-TNC-0001, PM-TNC-0003, PM-TNC-0004, PM-TNC-0006, PM-TNC-0010, PM-TNC-0014, PM-TNC-0015, PM-TNC-0021 e PM-TNC-0022), Chumbo em 14 amostras (PM-TNC-0002, PM-TNC-0003, PM-TNC-0004, PM-TNC-0005, PM-TNC-0006, PM-TNC-0008, PM-TNC-0013, PM-TNC-0015, PM-TNC-0016, PM-TNC-0017, PM-TNC-0020, PM-TNC-0022, PM-TNC-0023 e PM-TNC-0024) e, por fim Alumínio em 1 amostra (PM-TNC-0004).

Deste metais Chumbo apareceu em 19 poços de monitoramento (total e/ou dissolvido), Ferro próximo aos limites Norte e Sul e Alumínio no limite Norte.

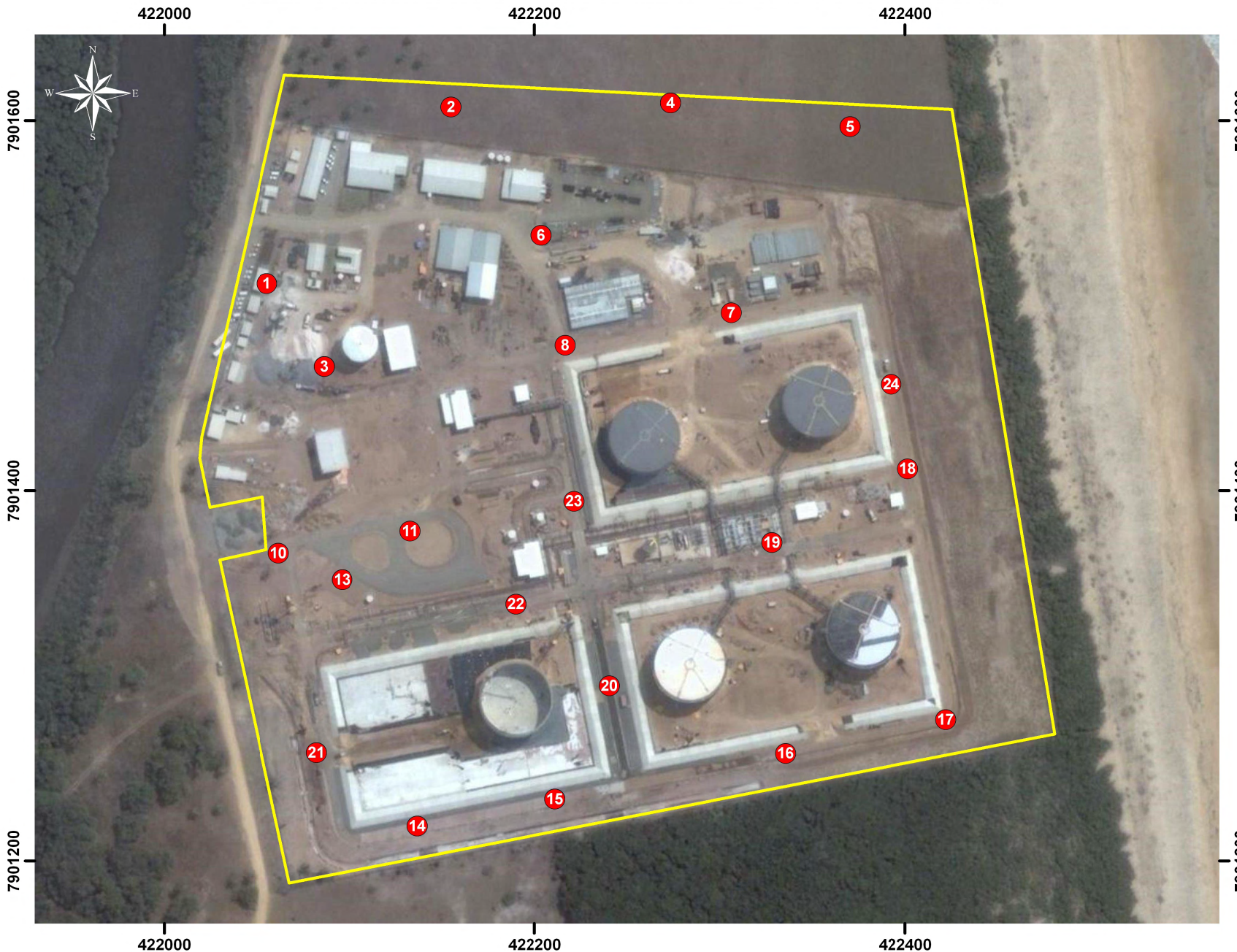
A **Figura 7.4** apresenta o mapa de anomalias hidroquímicas com as concentrações dos metais acima dos valores orientadores estabelecidos pela CONAMA 420/09.

O **Quadro 7.2** apresenta os resultados das análises de metais em amostras de água com valor acima dos limites de investigação estabelecidos na CONAMA 420/09.

Quadro 7.2 - . Resultados das análises de metais em amostras de água com valor acima dos limites de investigação

Sondagem	ID	Alumínio	Chumbo	Cromo	Ferro	Manganês	Níquel
		µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
CONAMA 420/09		3.500	10	50	2450	400	20
PM-TNC-0003	AA-TNC-0002				15400		21
PM-TNC-0015	AA-TNC-0012		125		3310		23
PM-TNC-0016	AA-TNC-0013		36				
PM-TNC-0017	AA-TNC-0014		77				
PM-TNC-0018	AA-TNC-0015		26				
PM-TNC-0024	AA-TNC-0016		75				
PM-TNC-0007	AA-TNC-0017		28				
PM-TNC-0008	AA-TNC-0018		33				
PM-TNC-0023	AA-TNC-0019		87				
PM-TNC-0020	AA-TNC-0020		118				
PM-TNC-0022	AA-TNC-0022		117		7880	419	
PM-TNC-0019	AA-TNC-0023		63		8850	416	
PM-TNC-0001 R	AA-TNC-0024		26		9420		
PM-TNC-0001	AA-TNC-0001				8640		
PM-TNC-0003	AA-TNC-0002		17				
PM-TNC-0004	AA-TNC-0003	5640	53	54	4080		41
PM-TNC-0005	AA-TNC-0004		58				33
PM-TNC-0002	AA-TNC-0005		74				
PM-TNC-0006	AA-TNC-0006		30		6150		
PM-TNC-0011	AA-TNC-0007				2560		
PM-TNC-0013	AA-TNC-0008		25		2680		
PM-TNC-0010	AA-TNC-0009				6370		
PM-TNC-0021	AA-TNC-0010		21		20700		
PM-TNC-0014	AA-TNC-0011				11200		190

Hidroquímica: Concentração de Metais ($\mu\text{g/L}$)



Legenda

Área-Estudo_TNC

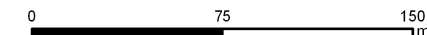
ID	Pm's	Amostra	Grupo	Parâmetros	Concentração $\mu\text{g/L}$
1	PM-TNC-0001	AA-TNC-0001	Metais Dissolvidos	Ferro Dissolvido	7530
	PM-TNC-0001	AA-TNC-0001	Metais Totais	Ferro Total	8640
	PM-TNC-0001 R	AA-TNC-0024	Metais Totais	Chumbo Total	26
	PM-TNC-0001 R	AA-TNC-0024	Metais Totais	Ferro Total	9420
2	PM-TNC-0002	AA-TNC-0005	Metais Dissolvidos	Chumbo Dissolvido	27
	PM-TNC-0002	AA-TNC-0005	Metais Totais	Chumbo Total	74
	PM-TNC-0003	AA-TNC-0002	Metais Dissolvidos	Chumbo Dissolvido	17
	PM-TNC-0003	AA-TNC-0002	Metais Totais	Chumbo Total	17
3	PM-TNC-0003	AA-TNC-0002	Metais Totais	Niquel Total	21
	PM-TNC-0003	AA-TNC-0002	Metais Dissolvidos	Ferro Dissolvido	14500
	PM-TNC-0003	AA-TNC-0002	Metais Totais	Ferro Total	15400
	PM-TNC-0004	AA-TNC-0003	Metais Totais	Cromo Total	54
4	PM-TNC-0004	AA-TNC-0003	Metais Dissolvidos	Chumbo Dissolvido	43
	PM-TNC-0004	AA-TNC-0003	Metais Totais	Chumbo Total	53
	PM-TNC-0004	AA-TNC-0003	Metais Totais	Niquel Total	41
	PM-TNC-0004	AA-TNC-0003	Metais Dissolvidos	Ferro Dissolvido	2640
5	PM-TNC-0004	AA-TNC-0003	Metais Totais	Ferro Total	4080
	PM-TNC-0004	AA-TNC-0003	Metais Dissolvidos	Alumínio Dissolvido	4880
	PM-TNC-0004	AA-TNC-0003	Metais Totais	Alumínio Total	5640
	PM-TNC-0005	AA-TNC-0004	Metais Dissolvidos	Chumbo Dissolvido	22
6	PM-TNC-0005	AA-TNC-0004	Metais Totais	Chumbo Total	58
	PM-TNC-0005	AA-TNC-0004	Metais Totais	Niquel Total	33
	PM-TNC-0006	AA-TNC-0006	Metais Dissolvidos	Chumbo Dissolvido	14
	PM-TNC-0006	AA-TNC-0006	Metais Totais	Chumbo Total	30
7	PM-TNC-0006	AA-TNC-0006	Metais Dissolvidos	Ferro Dissolvido	4970
	PM-TNC-0006	AA-TNC-0006	Metais Totais	Ferro Total	6150
	PM-TNC-0007	AA-TNC-0017	Metais Totais	Chumbo Total	28
	PM-TNC-0008	AA-TNC-0018	Metais Dissolvidos	Chumbo Dissolvido	27
8	PM-TNC-0008	AA-TNC-0018	Metais Totais	Chumbo Total	33
	PM-TNC-0010	AA-TNC-0009	Metais Dissolvidos	Ferro Dissolvido	6020
	PM-TNC-0010	AA-TNC-0009	Metais Totais	Ferro Total	6370
	PM-TNC-0011	AA-TNC-0007	Metais Totais	Ferro Total	2560
10	PM-TNC-0013	AA-TNC-0008	Metais Dissolvidos	Chumbo Dissolvido	21
	PM-TNC-0013	AA-TNC-0008	Metais Totais	Chumbo Total	25
	PM-TNC-0013	AA-TNC-0008	Metais Totais	Ferro Total	2680
	PM-TNC-0014	AA-TNC-0011	Metais Totais	Niquel Total	190
13	PM-TNC-0014	AA-TNC-0011	Metais Dissolvidos	Ferro Dissolvido	8860
	PM-TNC-0014	AA-TNC-0011	Metais Totais	Ferro Total	11200
	PM-TNC-0015	AA-TNC-0012	Metais Dissolvidos	Chumbo Dissolvido	63
	PM-TNC-0015	AA-TNC-0012	Metais Totais	Chumbo Total	125
14	PM-TNC-0015	AA-TNC-0012	Metais Totais	Niquel Total	23
	PM-TNC-0015	AA-TNC-0012	Metais Dissolvidos	Ferro Dissolvido	2630
	PM-TNC-0015	AA-TNC-0012	Metais Totais	Ferro Total	3310
	PM-TNC-0016	AA-TNC-0013	Metais Dissolvidos	Chumbo Dissolvido	31
15	PM-TNC-0016	AA-TNC-0013	Metais Totais	Chumbo Total	36
	PM-TNC-0017	AA-TNC-0014	Metais Dissolvidos	Chumbo Dissolvido	48
	PM-TNC-0017	AA-TNC-0014	Metais Totais	Chumbo Total	77
	PM-TNC-0018	AA-TNC-0015	Metais Totais	Chumbo Total	26
16	PM-TNC-0019	AA-TNC-0023	Metais Totais	Manganês Total	416
	PM-TNC-0019	AA-TNC-0023	Metais Totais	Chumbo Total	63
	PM-TNC-0019	AA-TNC-0023	Metais Totais	Ferro Total	8850
	PM-TNC-0020	AA-TNC-0020	Metais Dissolvidos	Chumbo Dissolvido	91
17	PM-TNC-0020	AA-TNC-0020	Metais Totais	Chumbo Total	118
	PM-TNC-0021	AA-TNC-0010	Metais Totais	Chumbo Total	21
	PM-TNC-0021	AA-TNC-0010	Metais Dissolvidos	Ferro Dissolvido	19500
	PM-TNC-0021	AA-TNC-0010	Metais Totais	Ferro Total	20700
18	PM-TNC-0022	AA-TNC-0022	Metais Totais	Manganês Total	419
	PM-TNC-0022	AA-TNC-0022	Metais Dissolvidos	Chumbo Dissolvido	32
	PM-TNC-0022	AA-TNC-0022	Metais Totais	Chumbo Total	117
	PM-TNC-0022	AA-TNC-0022	Metais Dissolvidos	Ferro Dissolvido	6230
19	PM-TNC-0022	AA-TNC-0022	Metais Totais	Ferro Total	7880
	PM-TNC-0023	AA-TNC-0019	Metais Dissolvidos	Chumbo Dissolvido	34
	PM-TNC-0023	AA-TNC-0019	Metais Totais	Chumbo Total	87
	PM-TNC-0024	AA-TNC-0016	Metais Dissolvidos	Chumbo Dissolvido	48
24	PM-TNC-0024	AA-TNC-0016	Metais Totais	Chumbo Total	48
	PM-TNC-0024	AA-TNC-0016	Metais Totais	Chumbo Total	75



Data: 08/2011
 Projeto: TNC
 Contrato: 4600306204

Elaborado por : T.Fernandes
 Revisto por: J.Matos
 Aprovado por: K.Gouvea

Figura 7.4: Mapa de Anomalia Hidroquímica - Metais
 Fonte: Stratageo (2011)



Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Sirgas 2000
 Zona: 24s

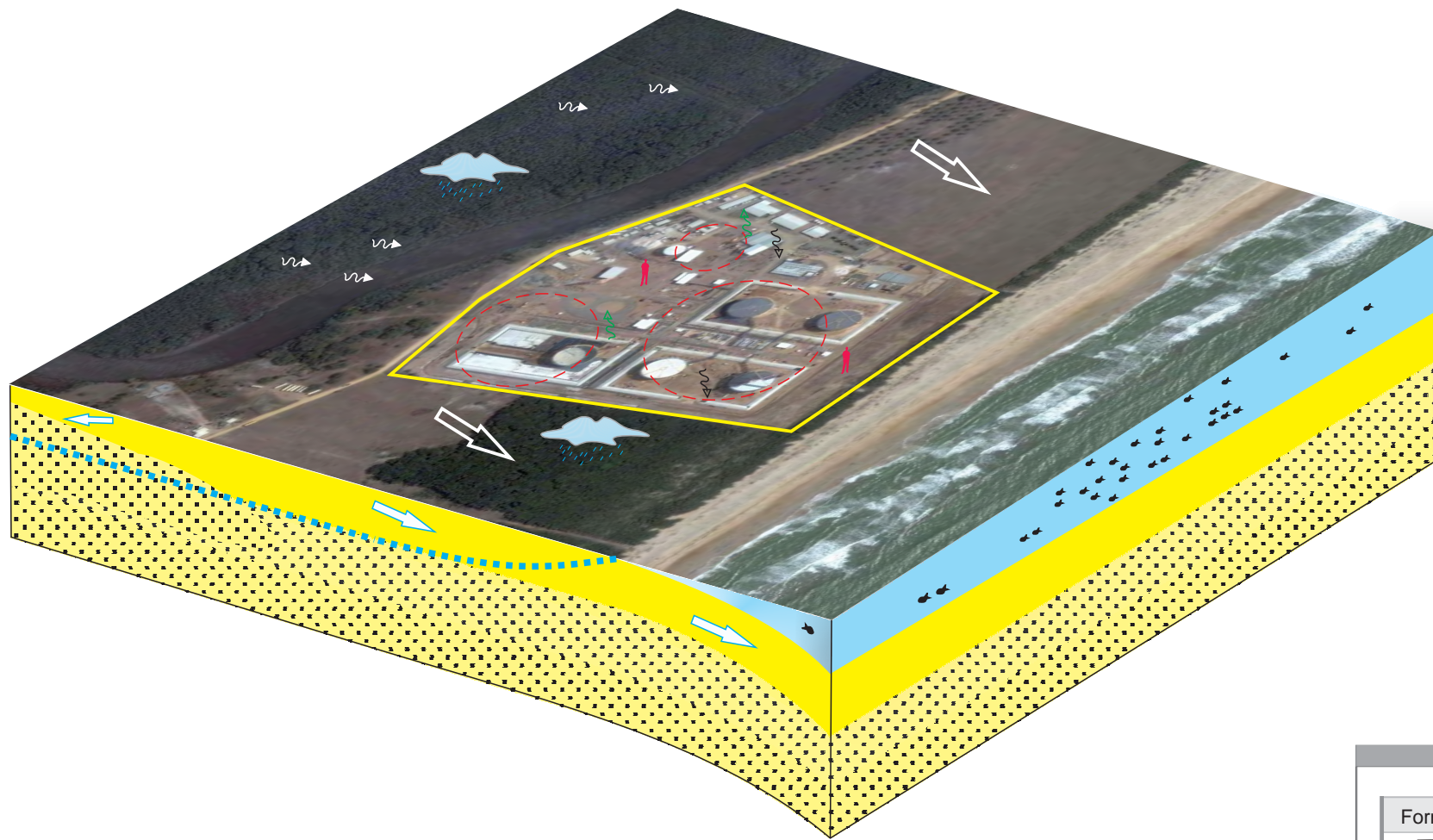
7.5 Modelo conceitual

A interpretação conjunta dos dados topográficos, geofísicos que incluíram as seções de SEVME e GPR, sondagens e PMs permitiu o reconhecimento do arcabouço geológico local da área em apreço. Além disso, a caracterização hidrodinâmica e os resultados das análises geoquímicas e hidroquímicas possibilitaram a geração de um modelo conceitual que incluiu fontes de exposição e potenciais receptores (**Figura 7.5.**)

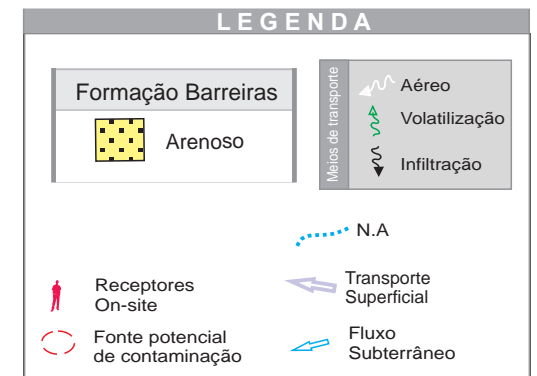
A descrição do modelo considerou o que se segue:

- Predomina um relevo plano em planície costeira cortada por vegetação de restinga.
- Substrato natural representado pelos sedimentos inconsolidados pertencentes à Formação Barreiras, constituído por intercalações de sedimentos arenosos, coloração marrom a cinza, com granulometria variando de fina a grossa e possível presença de grânulos com espessuras variadas e ocorrência de solo orgânico.
- A classificação textural demonstra que as amostras analisadas pertencem ao grupo de litofácies arenosas, sendo representada pelas classes areia e areia grossa. Além destas classes foi identificada uma amostra com maior concentração de argila.
- Os dados de eletrorresistividade apresentaram uma variação no valor de resistividade, conforme descrito a seguir:
 - Sedimentos arenosos com baixa umidade por vezes representando geometria lenticular e valor de resistividade na ordem de $10^3 \Omega.m$,
 - Sedimentos arenosos saturados com valores de resistividades na ordem de $10^1 \Omega.m$.
- Os dados de GPR indicam a existência de interferências subterrâneas provavelmente associadas a redes de tubulações (dutos).

- Há ocorrência de um aquífero livre com nível d'água (NA) variando de 2,00 a 2,57 m de profundidade. As linhas equipotenciais indicaram direção de fluxo preferencial de Nordeste para Sudoeste (NE-SW), com inflexão no sentido Leste-Oeste, seguindo o deslocamento do Rio Barra Nova, que desemboca no Oceano Atlântico ao norte do TNC.
- As análises *in-situ* indicam a existência de concentrações de valores medianos de VOCs nos solos (< 500 ppm) dispersos por toda a área.
- As análises hidroquímicas indicaram presença de anomalias para alguns metais (totais e dissolvidos) configurando a água subterrânea como via de exposição à potenciais receptores (trabalhadores) da área industrial, tendo em vista a utilização de água de poço para fins industriais.



0 250 500 m



8. ORIGEM DA CONTAMINAÇÃO

Na área do Terminal Norte Capixaba não há registros pretéritos que indiquem a existência de passivos ambientais decorrentes quer da fase de instalação quer das operações no empreendimento. Entretanto, há registros históricos que apontam que região de inserção do TNC, no município de São Mateus, tinha uma intensa atividade agrícola representada por lavouras de mandioca e café que dominaram todo o município até meados do século XIX.

A presença de VOC no solo disperso em toda a área é esperada e revela a natureza do empreendimento, ou seja, existência de tubulações para transporte pressurizado de óleo cru para tanques de estocagem de hidrocarbonetos.

As águas subterrâneas estão contaminadas com Ferro, Manganês, Alumínio, Níquel e Chumbo (concentrações totais). Assumindo a hipótese de que o Ferro e o Manganês sejam de ocorrência natural, acumulado devido aos processos exógenos, permanecem os metais Níquel, Alumínio e Chumbo acima dos valores de investigação que podem estar associados ao uso pretérito de fertilizantes químicos e/ou agrotóxicos transportados diretamente do solo e/ou carregados pelo rio Barra Nova localizado a Oeste, a cerca de 30 m do empreendimento.

A solubilização dos metais provavelmente está associada às características físico-químicas das águas subterrâneas.

9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A interpretação conjunta dos dados de geofísica e dos obtidos diretamente das sondagens e poços de monitoramento permitiu o reconhecimento do arcabouço geológico local.

O substrato da área, de uma maneira geral, é caracterizado por sedimentos arenosos pertencentes à Formação Barreiras no qual estão assentadas tubulações relativas às operações efetuadas no TNC. Estes sedimentos arenosos apresentam valores medianos com concentrações inferiores a 500 ppm de VOCs (compostos orgânicos voláteis) distribuídos por toda a área associadas à volatilização de óleo cru presente nas tubulações pressurizadas enterradas que atravessam toda a área investigada.

Os resultados geoquímicos não evidenciaram a existência de anomalias de hidrocarbonetos em solo na área de investigação que compreendeu os tanques de armazenamento e todas as demais áreas que contém infra-estruturas de apoio à operação indicando a inexistência de vazamentos nas tubulações e/ou derrames dos tanques.

As águas subterrâneas tem nível d'água raso variando de 2,00 a 2,57 m com direção de fluxo preferencial de Nordeste para Sudoeste (NE-SW) com inflexões para Leste-Oeste, evidenciando um caráter levemente ácido com tendência à salinidade e leve potencial corrosivo, condição desfavorável à preservação de tubulações metálicas enterradas, indicadas no tratamento dos dados geofísicos.

Os resultados hidroquímicos indicaram a presença de metais pesados representados pelo Ferro, Alumínio e Chumbo dissolvidos nas águas subterrâneas rasas (poços com profundidade máxima de 5 m) mas também foram detectados Ferro, Manganês, Níquel, Alumínio, Chumbo, em concentrações totais.

Assumindo a hipótese que a existência do Ferro e do Manganês seja de ocorrência natural acumulados devido à processos exógenos, permanecem os metais Níquel, Alumínio e Chumbo acima dos valores de investigação sendo que Chumbo está presente em todos os poços de monitoramento da área. Estes metais provavelmente estão imobilizados na água em função de suas propriedades físico-químicas e poderiam ser decorrentes de condições pretéritas de uso de fertilizantes químicos ou agrotóxicos nas lavouras de mandioca e café que dominaram todo o município de São Mateus até meados do século XIX e/ou mobilização e transporte para o rio Barra Nova a 30 m a Oeste do limite da área.

Baseado nas informações acima descritas propõe-se as seguintes ações futuras:

- Elaboração de um Plano de Monitoramento das Águas Subterrâneas contemplando os períodos seco e chuvoso (ano hidrológico) efetuando-se a realização de nova campanha de monitoramento hidroquímico visando à comprovação dos Compostos Químicos de Interesse (CQIs).
- Efetuar uma investigação complementar na porção externa da área contemplando um semi-raio de levantamento de 200 m à montante para identificar se há ocorrência dos metais nas matrizes de solo e água, de forma a atualizar o modelo conceitual e, verificar se a existência dos metais é um padrão regional.
- Evitar a exposição de trabalhadores locais ou visitantes com as águas dos poços de captação de uso industrial e garantir que as mesmas sejam utilizadas somente em processo industrial.
- Utilização de Equipamentos de Proteção Individual durante a execução de trabalhos de escavação do solo o qual configura via de exposição por inalação de vapores orgânicos.
- Utilização de Equipamentos de Proteção Individual durante a execução de quaisquer trabalhos que envolvam o possível contato com as águas subterrâneas que configurem vias de exposição de ingestão (acidental ou não) e contato dermal.

- Elaboração de uma Avaliação de Risco à Saúde Humana Tíer 1 contemplando os compostos químicos de interesse apontados neste relatório.

O modelo conceitual da área foi concebido com base no uso atual do terreno e seu entorno e deverá ser atualizado sempre que forem obtidas novas informações relevantes e/ou mais detalhadas sobre a área ou quando ocorrerem outras modificações não previstas e relacionadas ao uso e ocupação das áreas do entorno, requerendo nova investigação para identificar as mudanças nas condições observadas para este momento.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. 2005. NBR 17025. Requisitos Gerais Para Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração. NBR ISO/IEC. 21p.

ABNT. 2007. NBR 15492 – Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento. 31p.

ABNT. 2007. Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: Projeto e construção. NBR15495:1. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 21p.

ABNT. 2007. Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 2: Desenvolvimento NBR15495:2. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 21p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15515-1/08. Passivo ambiental em solo e água subterrânea _ Procedimentos. 47p. Rio de Janeiro. 2008.

BOUWER, H., R. C. Rice. 1976. *A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells. Water Resources. Research. Washington (DC), n. 12, p. 423-28.*

CETESB 1999. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas. CETESB-GTZ 2.ed. São Paulo. 389p.

CETESB. 2000. Ações Corretivas Baseadas em Risco (ACBR) Aplicadas a Áreas Contaminadas com Hidrocarbonetos Derivados de Petróleo e Outros Combustíveis Líquidos – Procedimentos. Versão Preliminar. 80 p.

CETESB 2005. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas. CETESB-GTZ2.ed. São Paulo. 389p.

CETESB. 2005. Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas São Paulo/SP

CETESB, 2005. Decisão de Diretoria, nº 195-2005-E.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE_CONAMA 420/09. Critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividade antrópicas. 16p. Brasília. 2009.

DRISCOLL, G.. Groudwater and wells. 02.ed. St. Paul, Johnson Division, 1987. 1088p.

EPA SW-846.2002. Test Methods for Evaluating Solid Waste Physical/Chemical Methods. Third Edition. Proposed Update IIIB. Environmental Protection Agency, Washington, DC. Office of Solid Waste.

Fetter, C. W. 1994 - Applied Hydrogeology, 3a. ed, New Jersey, Prentice Hall. 691 p.

Fetter C.W., 1988 - Applied Hidrogeology. Prentice Hall, 2ed. New York: Macmillian Publishing Company.

Hvorslev, M. J. 1951. Time lag and soil permeability in ground water observations. Buletin Army Corps of Engineers Waterway Experimentation Station, U. S. n. 36.

Puls, R.W. and M.J. Barcelona, 1996. "Low-Flow (Minimal Drawdown) Groundwater Sampling Procedures."U.S. EPA, Ground Water Issue, Publication Number EPA/540/S-95/504, April 1996.

GROOT-HEDLIN, C. AND CONSTABLE, S., 1990, Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models form magnetotelluric data. *Geophysics*, 55, 1613-1624.

LENC (Laboratório de Engenharia e Consultoria). Relatório Técnico RT-5465/08. 2008. 172p.

SASAKI, Y., 1992, Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation. *Geophysical Prospecting*, 40, 453-464.

SUGUIO, K. & MARTIN, L. Quaternary marine formations of the state of São Paulo and southern Rio de Janeiro. In: *International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary*. São Paulo: Special Publication 1, 1978. p. 232-253.

11. EQUIPE TÉCNICA

- Gerente do Projeto – Kátia Gouvêa - Geóloga
- Coordenador de Campo do Projeto – Alexandre Miguel
- Coordenador de Operações – Renato Moraes - Engenheiro Civil
- Coordenador de Geodésia – Márcio Junqueira - Engenheiro Cartógrafo
- Coordenador de SMS – Vanderson Corrêa - Engenheiro de Segurança
- Interpretação Geofísica – Juliano Matos – Geofísico (Consultor NEOGEO)
- Interpretação Hidrogeológica – Ana Carolina Barboza Lisbôa - Hidrogeóloga – MSc
- ArcGIS – Tamara Fernandes - Técnica de Geoprocessamento
- Arte final – Roberto Pinto – Estagiário de arquitetura
- Técnicos de Campo – Neusa Leite e Lindomar Costa - Técnicos multidisciplinares (geofísica e sondagem)
- Técnico de Topografia – Rogério Assis - Técnico Agrimensor
- Técnico de Segurança – Carlos Rocha

Stratageo Soluções Tecnológicas S.A

Topografia, sondagem, amostragem de solo, medição de parâmetros físico-químicos e amostragem de água subterrânea.

Analytical Technology - ANATECH

Análises químicas de solo e água e interpretação hidrogeoquímica.

SMES/GGSMS/MA/RAI - PETROBRAS

Revisão e Fiscalização dos Trabalhos

12. RESPONSABILIDADE TÉCNICA

As informações acima apresentadas foram obtidas com base na boa técnica plenamente adotadas pela **Stratageo** Soluções Tecnológicas S.A.

O processo de obtenção e tratamento dos dados geológicos, geoquímicos e hidroquímicos obedeceram rigorosamente às normas e aos procedimentos técnicos adotados nacional e internacionalmente e, àqueles estabelecidos no contrato em vigor.

Os resultados apresentados refletem as condições da área até o momento dos trabalhos de obtenção dos dados campo. A **Stratageo** não se responsabiliza por quaisquer alterações nos resultados decorrentes de alterações ocorridas posteriormente aos trabalhos localmente executados.

Qualquer utilização deste trabalho de forma estranha às suas finalidades originais, ainda que de forma parcial, isentará a **Stratageo** de qualquer responsabilidade sobre o mesmo.

Rio de Janeiro, 12 de setembro de 2011.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Kátia Gouvêa".

Kátia Gouvêa

Geóloga - CREA RJ147999-D

Gerente de Projetos de DGA