



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOQUÍMICA E MEIO AMBIENTE**

**CARACTERIZAÇÃO DO IMPACTO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS,
CAUSADO PELA DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO ATERRO
MUNICIPAL DA CIDADE DE FEIRA DE SANTANA – BA**

CRISTOVALDO BISPO DOS SANTOS

SALVADOR - BAHIA
JUNHO - 2004

CRISTOVALDO BISPO DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO DO IMPACTO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS,
CAUSADO PELA DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO ATERRO
MUNICIPAL DA CIDADE DE FEIRA DE SANTANA – BA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Geoquímica e Meio Ambiente da Universidade Federal da
Bahia, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de
Mestre em Geoquímica e Meio Ambiente.

Área de Concentração: Geoquímica dos Processos Exógenos
Orientador: Prof. Dr. Luiz Rogério Bastos Leal

SALVADOR – BAHIA

JUNHO - 2004

Por

CRISTOVALDO BISPO DOS SANTOS
(Geólogo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia,)

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Submetida em satisfação parcial dos requisitos do grau de
Mestre em Geoquímica e Meio Ambiente

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Rogério Bastos Leal /UFBA

Orientador

Prof. Dr. Ronaldo Montenegro Barbosa/UFBA

Examinador Interno

Prof^a.Dra. Miriam Fátima Carvalho /UCSAL

Examinador Externo

SALVADOR - BAHIA
JUNHO - 2004

Dedicatória

A minha mãe Carmelita Bispo, pelas oportunidades, além da educação que me proporcionou durante todos esses anos e a minha esposa Aline Yara pelo incentivo, apoio e compreensão em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

À Deus por mais uma etapa da vida vencida;

Ao professor. Luís Rogério Bastos Leal pelo apoio, incentivo e orientação no desenvolvimento deste trabalho;

Aos professores Telésforo Martinez Marques e Ângela Beatriz Menezes Leal por acreditarem no meu trabalho;

Ao Geólogo José de Castro Mello pela grande ajuda na interpretação dos dados geofísicos;

À Roberto B. Leal pela ajuda durante os trabalhos de campo;

À prefeitura municipal de Feira de Santana. por disponibilizar a área do aterro municipal de Feira de Santana/BA, para estudo e as informações técnicas necessárias;

À Qualix (Empresa responsável pela limpeza urbana da cidade de Feira de Santana), pelo suporte dado durante o desenvolvimento dos trabalhos de campo; construção dos poços de monitoramento e análises físico-químicas;

Às Geólogas Najara S. Sapucaia, Violeta Borges e Sarah Elizabete B. Ladeira pela sugestões e críticas sempre construtivas;

À todos os colegas do NEHMA – Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente em especial aos Geólogos Hailton Mello da Silva e José Valdir Beraldo;

Ao curso de Pós-Graduação em Geoquímica e Meio Ambiente (POSGEMA) do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia;

Ao NEHMA – Núcleo de Estudos Hidrogeologia e do Meio Ambiente por toda a infraestrutura colocada à disposição;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo de mestrado que recebi durante o desenvolvimento do trabalho;

E a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para que este trabalho pudesse ser realizado.

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE FOTOS	xv

SUMARIO

Capítulo 1	01
1. INTRODUÇÃO	
1.1 Caracterização do Tema	01
1.2 Localização da área estudada	04
1.3 Objetivos	08
1.4 Metodologia	08
Capítulo 2	10
2. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	10
2.1 Composição Gravimétrica	11
2.2 Geração dos Resíduos Sólidos no Brasil	12
2.3 Disposição Final dos Resíduos Sólidos no Brasil	13
2.4 Características do chorume e seus aspectos ambientais	15
2.5 Métodos de Tratamento do chorume	21
2.6 Contaminação das águas subterrâneas pelo chorume	24

Capítulo 3	26
3. ATERRO MUNICIPAL DE FEIRA DE SANTANA	26
3.1 Histórico	26
3.2 Atividades de disposição de resíduos na área e seus aspectos operacionais	30
3.2.1 Aspectos operacionais	30
3.2.2 Aspectos sanitários	32
3.2.3 Aspectos ambientais	33
3.3 Considerações sobre o meio sócio-econômico da área do entorno do aterro municipal de Feira de Santana	34
Capítulo 4	36
4. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO DA REGIÃO DE FEIRA DE SANTANA E DA ÁREA DO ATERRO MUNICIPAL	36
4.1 Clima	36
4.2 Geomorfologia	37
4.3 Solos	38
4.4 Geologia Regional	40
4.4.1 Contexto geotectônico regional	40
4.4.2 Aspectos geológicos regionais	41
4.4.3 Caracterização geológica da área do aterro	45
4.5 Recursos Hídricos	51
4.5.1 Recursos hídricos superficiais	51
4.5.2 Recursos hídricos subterrâneos	56
4.5.3 Hidrogeologia local	57
Capítulo 5	58
5. INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA – VLF “VERY LOW FREQUENCY”	58
5.1 Introdução	58
5.2 Metodologia do estudo geofísico	62
5.3 Apresentação dos dados geofísicos	62
5.4 Resultados obtidos e locação dos poços de monitoramento	65

Capítulo 6	76
6. CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO	76
6.1 Introdução	76
6.2 Perfuração	78
6.3 Instalação	79
6.4 Amostragem da água subterrânea e do percolado (chorume)	83
6.4.1 Planejamento	83
6.4.2 Procedimentos de amostragem	85
6.4.3 Bombeamento para amostragem das águas nos poços de monitoramento	85
6.4.4 Amostragem e preservação	86
6.4.5 Análises químicas	88
Capítulo 7	90
7. RESULTADOS ANALÍTICOS E DISCUSSÕES	90
7.1 Introdução	90
7.2 Composição do chorume do aterro municipal de Feira de Santana	90
7.3 Caracterização da composição das águas subterrâneas da região	95
7.4 Distribuição dos principais constituintes e da pluma de contaminação	105
Capítulo 8	116
8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	116
Capítulo 9	119
9. BIBLIOGRAFIA	119
APÊNDICE - 1 Perfis Geofísicos – Método VLF	
APÊNDICE - 2 Seções Litológicas e Construtivas dos Poços de Monitoramento	

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo caracterizar o impacto ambiental na qualidade das águas subterrâneas, causado pela disposição de resíduos sólidos urbanos, na área do aterro municipal da cidade de Feira de Santana – Bahia. Construído numa antiga cava de pedreira (embasamento cristalino) sobre o aquífero fissural do município o aterro foi operado como “Lixão”, sem qualquer técnica de engenharia e/ou cuidado com o meio ambiente. Atualmente, o depósito recebe cerca de 500 toneladas por dia de variados tipos de resíduos. Recentemente, este aterro recebeu algumas obras de engenharia visando mitigar alguns impactos ao meio ambiente e torná-lo um aterro controlado. Para caracterizar o impacto na qualidade das águas subterrâneas fez-se necessário criar um sistema de monitoramento de poços. A locação e perfuração dos poços de monitoramento, seguiu a orientação dos resultados das investigações geofísicas e das informações geológicas. Foram perfurados 08 poços de monitoramento, sendo 04 poços com 60 metros de profundidade, que tem o objetivo de monitorar a zona saturada (aquífero) e 04 poços com profundidade média de 10 metros, com o objetivo de monitorar a “zona não saturada”(rocha alterada). Os valores dos parâmetros analisados no chorume do aterro revelaram concentrações diferente, sugerindo que o aterro encontra-se em diferentes fases de evolução da degradação da matéria orgânica. Foram encontrados valores baixos dos metais pesados no chorume (chumbo, cobre, mercúrio, cromo, cádmio), inferiores a 0,1 mg/l. Com base nas altas concentrações obtidas para a maioria dos elementos analisados nas águas subterrâneas da área do aterro (ex: Ca, Mg, Na, K, Fe e Mn), bem como pelos parâmetros indicadores de contaminação orgânica (ex: DBO, DQO, OD), constatou-se que as águas subterrâneas da área do aterro municipal tiveram sua composição alterada pela lixiviação de compostos provenientes do lixo disposto no local. Tal alteração é marcada também pelos altos valores obtidos para a condutividade elétrica, cloreto e sólidos totais dissolvidos, bicarbonato e sulfato.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the environmental impact on the groundwater quality from the solid waste disposal. The study was carried out in the municipal landfill in Feira de Santana – Bahia, the area is located over a fissural aquifer, characterized by crystalline rocks. The landfill was operated without appropriate technology or worry with the impacts caused on the surrounding environment, recently it has received some engineering work aiming mitigate some of the environmental impacts. A well monitoring system was created to characterize the impacts on the groundwater quality, the location of the monitoring wells were made after a careful geological and geophysical investigation. A total of 8 monitoring wells were built, 4 of them with an average depth of 60m, and the remaining 4 with 10m, the main objective of these two sets of wells were monitoring the saturated zone (aquifer) and unsaturated zone (soil). The results indicate different concentrations for the analyzed parameters, showing that the landfill present different stages of evolution, with respect to organic matter. The results for heavy metals (Lead, Copper, Mercury, Chromium, Cadmium) showed low concentrations less than 0,1 mg/l. By looking at the high concentrations for the majority of the elements analyzed (Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn), as well as the organic contamination indicators, such as DBO, DQO, OD, it can be concluded that the groundwater in the landfill area presented its composition altered by the depletion of the materials from the local waste, what can also be observed by the high values obtained for electric conductivity, chlorides, total dissolved solids, bicarbonate and sulfate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Relação entre diferentes estruturas geológicas e o transporte de contaminantes a partir de um Aterro de Resíduos.	03
Figura 1.2: Mapa de Localização do Município de Feira de Santana (modificado do SRH, 2000).	04
Figura 1.3: Mapa de Localização da área estudada .	06
Figura 1.4: Fotografia aérea da área do aterro Municipal de Feira de Santana (Fonte: CAR- 1998- Escala 1:8.000).	07
Figura 2.1: Composição média do lixo Região metropolitana de salvador. Fonte: VEGA (2004)	12
Figura 2.2: Composição média do Lixo Região metropolitana do Recife. Fonte: Farias (2000).	12
Figura 2.3: Composição média do lixo na grande São Paulo. Fonte: Farias (2000).	12
Figura 2.4: Composição média do Lixo em Belo Horizonte. Fonte: Farias (2000).	12
Figura 2.5: Destinação Final dos Resíduos no Brasil (Fonte: PNSB – IBGE,2000).	14
Figura 3.1: Composição Média do Lixo em Feira de Santana. (Fonte: modificado Leal, 1998).	32
Figura 3.2: Composição Gravimétrica média do Lixo em Feira de Santana (Fonte:modificado Leal, 1998).	32
Figura 4.1 : Balanço Hídrico do Município de Feira de Santana – Estação Feira de Santana (SEI - 1999).	36
Figura 4.2 : Balanço Hídrico do Município de Feira de Santana – Estação Jaguará (SEI - 1999).	37
Figura 4.3: Principais unidades do Cratón do São Francisco no Estado da Bahia. <small>Mapa elaborado da Concessionária (2002)</small>	41

Modificado de Sapucaia (2002).

Figura 4.4: Mapa Geológico da região de Feira de Santana (Fonte: Superintendência de Recursos Hídricos - SRH (Plano Estadual de Recursos Hídrico – Bahia, 2003). 43

Figura 4.5: Mapa Geológico da região de Feira de Santana escala 1:100.000 (Fonte: modificado de Fornari, 1998). 44

Figura 4.6: Mapa Geológico da área do aterro Escala 1:16.000. 47

Figura 4.7: Mapa hidrográfico da região de Feira de Santana (Fonte: SRH (Plano Estadual de Recursos Hídricos – Bahia, 2003). 52

Figura 5.1: Princípio da emissão de uma onda eletromagnética. 59

Figura 5.2: Levantamento geofísico utilizando o VLF. 63

Figura 5.3: Locação do poço de monitoramento PZ1-Norte (Mello, 2002). 66

Figura 5.4: Locação do poço de monitoramento PM-NS 3-Norte (Mello, 2002). 67

Figura 5.5: Locação do poço de monitoramento PM-NS 2-Norte (Mello, 2002). 68

Figura 5.6: Locação do poço de monitoramento PZ2-Sul(Mello, 2002). 70

Figura 5.7: Locação do poço de monitoramento PZ1 – Sul (Mello, 2002). 71

Figura 5.8: Locação do poço de monitoramento PZ1 –Sudoeste (Mello, 2002). 72

Figura 5.9: Locação do poço de monitoramento PZ12- Oeste (Mello, 2002). 73

Figura 5.10: Locação do poço de monitoramento PZ1- Noroeste (Mello, 2002). 74

Figura 5.11: Locação do poço de monitoramento PZ2 – Noroeste (Mello, 2002). 75

Figura 6.1: Mapa de localização dos poços de monitoramento. 77

Figura 6.2: Seção esquemática construtiva dos poços de monitoramento. 81

Figura 7.1: Mapa de localização dos pontos de amostragem do chorume. 91

Figura 7.2: Composição do chorume do aterro municipal de Feira de Santana em diferentes locais de amostragem, comparado com outros aterros consolidados. 93

Figura 7.3: Composição do chorume do aterro municipal de Feira de Santana em diferentes locais de amostragem, comparado com outros aterros consolidados. 93

Figura 7.4: Composição do chorume do aterro municipal de Feira de Santana em diferentes locais de amostragem, comparado com outros aterros consolidados.	94
Figura 7.5: Composição do chorume do aterro municipal de Feira de Santana em diferentes locais de amostragem, comparado com outros aterros consolidados.	94
Figura 7.6: Diagrama de Piper para a época chuvosa.	103
Figura 7.7: Diagrama de Piper para a época seca.	104
Figura 7.8: Mapa de localização dos poços de monitoramento em torno do aterro.	105
Figura 7.9: Mapa de localização dos poços com 60 metros de profundidade.	106
Figura 7.10: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA 20/86.	107
Figura 7.11: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA 20/86.	107
Figura 7.12: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA 20/86.	108
Figura 7.13: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA 20/86.	108
Figura 7.14 Mapa de localização dos poços com 10 metros de profundidade.	110
Figura 7.15: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA.	111
Figura 7.16: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA.	111
Figura 7.17: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA.	112
Figura 7.18: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA.	112
Figura 7.19: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA.	114

Figura 7.20: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA. 114

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Composição gravimétrica dos resíduos urbanos em diversos países (IPT, 2000).	11
Tabela 2. 2: Geração de Resíduos Sólidos no Brasil (IBGE, 2000).	13
Tabela 2. 3: Composição do chorume com diferentes idades (Qasim & Chiang, 1994).	17
Tabela 2. 4: Valores de características do chorume de aterros novos e consolidados (Qasim & Chiang, 1994).	18
Tabela 2. 5: Valores típicos e faixa de variação dos parâmetros do chorume para as fases acetogênica e metanogênica de um aterro sanitário (IPT, 2000)	19
Tabela 2. 6: Processos e tipos de tratamento do Chorume.	22
Tabela 2. 7: Tipo de disposição dos resíduos e tratamento do chorume.	23
Tabela 6.1: Parâmetros analisados em cada campanha programada.	84
Tabela 7.1: Composição do chorume do aterro municipal de Feira de Santana.	92
Tabela 7.2: Valores das análises obtidos nos poços de monitoramento em torno do aterro municipal de Feira de Santana (1 ^a campanha).	99
Tabela 7.3: Valores das análises obtidos nos poços de monitoramento em torno do aterro municipal de Feira de Santana (2 ^a campanha).	100
Tabela 7.4: Balanço iônico dos principais cátions e ânions nos poços de monitoramento (1 ^a Amostragem).	101
Tabela 7.5: Balanço iônico dos principais cátions e ânions nos poços de monitoramento (2 ^a Amostragem).	101

LISTA DE FOTOS

Foto 3.1: Implantação do aterro municipal em 1989.	28
Foto 3.2: Colocação dos drenos de gás durante a implantação do aterro no ano 1989.	28
Foto 3.3: Colocação de drenos de gás e líquidos percolados durante a implantação do aterro no ano 1989.	28
Foto 3.4: Ocorrência de zonas de fraturamentos nas rochas do embasamento cristalino, na cava da pedreira onde foi implantado o aterro.	28
Foto 3.5: Aterro operando como Lixão no ano de 2000.	28
Foto 3.6: Adultos e crianças catando lixo, além da criação de animais.	28
Foto 3.7: Área de separação do lixo para reciclagem.	29
Foto 3.8: Área de disposição do lixo no aterro.	29
Foto 3.9: Situação atual do aterro.	29
Foto 3.10: Situação atual do aterro.	29
Foto 3.11: Desenvolvimento de atividade agrícola nas áreas vizinhas ao aterro (milho e feijão).	35
Foto 3.12: coleta de lixo no aterro e armazenamento em terrenos baldios ao lado de residências.	35
Foto 3.13: Roupa lavada, próximo do lixo e ao lado esgoto a céu aberto (vetor de contaminação).	35
Foto 3.14: Pequenas criações de animais, com esgoto à céu aberto na sua lateral (proliferação de insetos).	35
Foto 3.15: Casa abandonada, servindo de depósito de lixo, favorecendo o aparecimento de ratos, baratas e moscas.	35
Foto 3.16: Prédio Pré-escola existente no Bairro Nova Esperança.	35
Foto 4.1: Solo - Composição arenosa no topo e areno-argilosa na base.	39
Foto 4.2: Solo pouco desenvolvido fruto da decomposição do embasamento.	39

Foto 4.3: Solos arenosos, área norte do aterro.

Foto 4.4: Cobertura arenosa na área noroeste do aterro, usada para cobrir os resíduos depositados no aterro.

Foto 4.5: Rocha do embasamento de composição tonalítica – granodiorítica, mostrando fraturamento ortogonais à foliação.

Foto 4.6: Rocha do embasamento de composição tonalítica – granodiorítica, mostrando fraturamento ortogonais à foliação.

Foto 4.7: Rocha do embasamento de composição tonalítica mostrando foliação com direção N85°/70°NW e enclave de ortognaisse granítico deformado.

Foto 4.8: Afloramento do embasamento mostrando sistema de fraturamento regional de direção N-S.

Foto 4.9: Afloramento do embasamento alterado. Observa-se na base níveis avermelhados ricos em ferro.

Foto 4.10 : Detalhe de níveis ricos em ferro. Observa-se também a presença de quartzo envolvido em uma matriz argilosa e microfraturas preenchidas por caulim.

Foto 4.11: Sistema de fraturamento na área do aterro. Com direção N30°/SV e foliação N 92°/V.

Foto 4.12: Observa-se a presença de fraturas abertas que permitem a percolação de águas superficiais para o aquífero fissural. Fraturas com direção N20°/V e foliação N100°/SV.

Foto 4.13: Afloramento de solo de cobertura do embasamento na porção norte do aterro.

Foto 4.14: Detalhe da estrutura da cobertura arenosa na região do aterro. Solo usado para cobertura final dos resíduos no aterro municipal e com agregado para a construção civil na região.

Foto 4.15: Feição geral da cobertura aluvionar na porção norte do aterro. Unidade geológica com alta porosidade e permeabilidade, possibilitando a contaminação da zona não saturada e saturada.

Foto 4.16: Detalhe da cobertura aluvionar em leito de riacho na porção norte do aterro. Observa-se a presença de chorume e lixo no leito da drenagem.

Foto 4.17: Rocha do embasamento utilizada como agregado para a construção civil. Pedreira artesanal situada na porção nordeste do aterro.

Foto 4.18: Observa-se que a queima de pneus, recolhidos no aterro, é utilizado no processo de extração dos blocos de rochas para a produção de britas.	50
Foto 4.19: Cachoeira situada na porção noroeste do aterro. Usada como opção de lazer pela comunidade do entorno.	53
Foto 4.20: Água de uma das lagoas do entorno do aterro usada para consumo animal e como opção de lazer da comunidade.	53
Foto 4.21: Lagoa do entorno do aterro usada para consumo e dessedentação animal.	53
Foto 4.22: Planície aluvionar utilizada para o cultivo de culturas de subsistência,(feijão e milho).	53
Foto 4.23: Disposição de esgoto sanitário sem tratamento nas proximidades do aterro.	54
Foto 4.24: Disposição de esgoto sanitário sem tratamento as margens do Anel de Contorno.	54
Foto 4.25: Lagoa de tratamento de esgoto do conjunto habitacional Feira IV situado na porção norte do aterro.	54
Foto 4.26: Disposição inadequada de lixo e criação intensiva de porcos nas proximidades do aterro.	54
Foto 4.27: Contaminação das águas superficiais e do solo pelo chorume na região norte do aterro.	55
Foto 4.28: Exudação do chorume.	55
Foto 4.29: Detalhe do chorume na região noroeste do aterro.	55
Foto 4.30: Detalhe da ocorrência de chorume na região norte do aterro.	55
Foto 4.31: Contaminação das águas por chorume no leito do riacho na região sul do aterro.	55
Foto 4.32: Vale na região sul do aterro com presença de chorume nas águas, situado a jusante da lagoa de chorume.	55
Foto 5.1: WADI – Equipamento mais utilizados no método VLF.	60
Foto 5.2: Levantamento geofísico – VLF na área norte do aterro.	62
Foto 5.3: Levantamento geofísico – VLF na área sul do aterro, a jusante da lagoa de Chorume.	62

Foto 6.1: Detalhe da coleta do material para descrição táctil-visual.	78
Foto 6.2: Perfuração do poço PZ1 – oeste – zona saturada.	78
Foto 6.3: Detalhe da perfuração do poço PM-NS 3-norte (zona não saturada).	78
Foto 6.4: Detalhe do equipamento sendo desmontado após o encerramento da perfuração.	78
Foto 6.5: Detalhe dos filtros em azul na horizontal e os centralizadores na vertical.	82
Foto 6.6: Detalhe dos centralizadores nos filtros (que serão colocados nos poços perfurados na zona não saturada).	82
Foto 6.7: Detalhe dos filtros sendo colocados nos poços perfurados na zona não saturada.	82
Foto 6.8: Detalhe dos pré-filtros sendo colocados nos poços perfurados na zona não saturada.	82
Foto 6.9: Detalhe da proteção de cimento feita logo após o término da instalação dos poços.	82
Foto 6.10: Detalhe da distância entre os poços de 60 metros e os de 10 metros de profundidade.	82
Foto 6.11: Detalhe do Bombeamento do poço PZ 1 –nordeste, antes da amostragem.	86
Foto 6.12: Bombeamento do poço PZ 1- norte, observa-se lixo próximo ao poço proveniente do aterro.	86
Foto 6.13: Amostragem de água em cisterna de água doce (Valor de referência – background).	87
Foto 6.14 Amostragem de água em cisterna de água salobra.	87
Foto 6.15: Amostragem de água no poço com 10 metros de profundidade.	87
Foto 6.16: Amostragem de água no poço PM-NS 1 –norte, localizado a 20 metros do aterro.	87
Foto 6.17: Amostragem de água no poço com 60 metros de profundidade.	87
Foto 6.18: Detalhe da amostragem da água no poço PM-NS1 – sul.	87
Foto 6.19: Amostragem na lagoa de acumulação de chorume para sul do aterro.	88

Foto 6.20: Amostragem no dreno de chorume antes da lagoa.

Foto 6.21: Amostragem do chorume em uma pequena lagoa de acumulação na parte norte do aterro.

Foto 6.22: Amostragem do chorume no reservatório do novo aterro.

Capítulo 1

1. INTRODUÇÃO

1.1 Caracterização do Tema

O acelerado processo de urbanização do Brasil, aliado ao consumo crescente de produtos menos duráveis e/ou descartáveis, bem como a estabilidade econômica verificada nos últimos anos, vem provocando sensível aumento do volume e diversificação da composição dos resíduos gerados nos centros urbanos, ampliando a necessidade de novas tecnologias para o tratamento e áreas para a disposição final adequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU).

Atualmente, as administrações municipais e a sociedade em geral têm como um dos desafios a busca de alternativas e soluções para os problemas causados pela geração do lixo municipal. Neste contexto as ações promovidas pelas municipalidades nos sistema de coleta, transporte, tratamento e destinação final, devem levar em conta critérios sanitários, ambientais e econômicos, de forma a promover a sustentabilidade das cidades. Pesquisa publicada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE -2001), revelou que nas cidades brasileiras são geradas diariamente cerca de 125.281 toneladas de resíduos domiciliares. Deste total, aproximadamente 70% são depositados em lixões e áreas alagadas, provocando sérios danos à saúde pública e ao meio ambiente, tais como a contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Dados do Governo do Estado da Bahia, produzidos pelas Companhia de Desenvolvimento e Ação Regional (CAR) e Companhia de Desenvolvimento Urbano da Bahia (CONDER) revelam que cada habitante das cidades de médio e grande porte da Bahia produz cerca de 1,2 quilos de lixo a cada dia (Secretaria de Desenvolvimento Urbano –Salvador, Bahia, 2003). Esse número deve aumentar, pois há dez anos atrás, a população da Região Metropolitana de Salvador (RMS), era formada por cerca de 2,6 milhões de habitantes que produziam 3.156 toneladas de lixo/dia. A previsão é que até o final do ano 2005, essa população chegue a quase quatro milhões de habitantes, triplicando a sua produção de lixo, e, consequentemente, os problemas que advêm da sua destinação final inadequada.

A limpeza urbana é, constitucionalmente, um serviço de responsabilidade dos municípios, mas diante da falta de condições técnicas e econômicas da maioria dos municípios baianos de resolver os problemas relacionados ao lixo nas cidades, o Governo da Bahia vem desenvolvendo desde 1991, através da CONDER, um conjunto de ações visando a melhoria efetiva das condições sociais e ambientais de cidades baianas de médio e grande porte, especialmente nas cidades com populações acima de 20 mil habitantes.

A disposição final inadequada dos RSU, causa, dentre outros problemas, a contaminação do solo, dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, além da degradação de ecossistemas aquáticos e terrestres, com consequente redução da qualidade de vida dos aglomerados urbanos (D'Almeida & Vilhena, 2000). A contaminação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos em áreas de disposição de RSU é causada principalmente pelo líquido percolado dos aterros (chorume), que é uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos, nas suas formas dissolvidas e coloidais, formado pela decomposição anaeróbia da matéria orgânica e por elementos presentes nos RSU.

A produção de chorume em aterros de RSU, resulta na contaminação do solo local e principalmente dos recursos hídricos. O chorume é um dos vários fatores de risco para o meio ambiente uma vez que apresenta altas concentrações de matéria orgânica, bem como consideráveis quantidades de metais pesados, sendo que sua geração pode levar mais de 20 anos após o encerramento das atividades de disposição final, ao passo que os processos de autodepuração de um aquífero contaminado por chorume de aterros de RSU pode levar dezenas de anos (Campbell 1993; Daniel, 1993).

A disposição de resíduos sólidos de origem doméstica e industrial tem sido causadora de vários incidentes de contaminação das águas superficiais e subterrâneas no Brasil. Como exemplos temos: os aterros de Muribeca e Aguazinha na região metropolitana do Recife, (Melo & Jucá, 2002) e o aterro de municipal de Tatuí, São Paulo (Santos Filho, 2001).

Do ponto de vista geológico, os aterros apresentam riscos ao meio ambiente principalmente aos recursos hídricos quando instalados em áreas hidrogeologicamente vulneráveis, isto é, áreas

cujos elementos do meio físico (solos, drenagens, aquíferos, etc), apresentam-se muito próximos dos aterros e com características particulares. No caso dos aquíferos fissurais, cársticos (áreas calcárias) e sedimentares, os aterros devem ser instalados em regiões com nível estático profundo.

Na Figura 1.1 é apresentado a relação entre diferentes unidades estruturas geológicas e o possível transporte de contaminantes do aterro para o aquífero. A situação geológica do aterro municipal de Feira de Santana é representada pelo exemplo ilustrado em C, ou seja, o aterro está instalado em uma área de rochas cristalinas pré-cambrianas fraturadas com nível freático profundo.

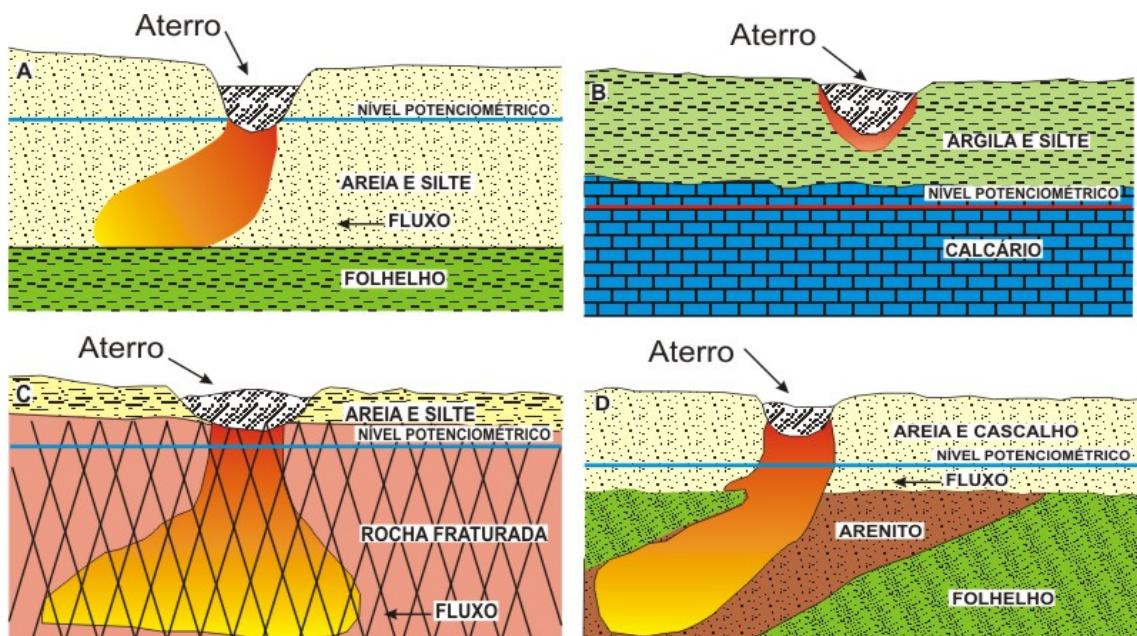


FIGURA 1.1: Relação entre diferentes estruturas geológicas e o transporte de contaminantes a partir de um Aterro de Resíduos. **A** – Aterro instalado sobre areia e silte; **B** – Aterro sobre pacote argilo-arenoso; **C** – Aterro sobre rochas fraturadas (Esta é a situação geológica do Aterro de Feira de Santana); **D** – Aterro instalado sobre substrato arenoso com camadas inclinadas.

1.2 Localização da área estudada

O município de Feira de Santana localizado no nordeste brasileiro, situa-se a cerca de 100 km, da cidade de Salvador (BA), praticamente incluso no Polígono das Secas cobrindo uma área de aproximadamente 1.332,95 km² (Rocha et al,1994). Quanto a sua localização geográfica o município se encontra entre as coordenadas 12°00' e 12°30' de latitude sul e 38°48' e 39°07' de latitude oeste (Figura 1.2).

Como segunda cidade do Estado da Bahia em importância sócio-econômica e política, Feira de Santana, apresenta posição de destaque devido suas características geográficas, pois localiza-se próximo a capital do Estado, apresenta ampla malha rodoviária que interliga Salvador com a região centro-sul do Brasil, bem como com o interior do Estado.



FIGURA 1.2: Mapa de Localização do Município de Feira de Santana (modificado da Superintendência de Recursos Hídrico – SRH, 2003)

O aterro municipal está posicionado na porção oeste do município, às margens da avenida Anel de Contorno, no bairro Nova Esperança (Figura 1.3). Este aterro foi construído a partir de uma antiga cava de pedreira de brita e repousa atualmente sobre o aquífero fissural que ocorre no município (Figura 1.4). Nesta figura também é mostrado a área que está sendo atualmente utilizada para construção e operação do novo aterro sanitário municipal da cidade de Feira de Santana, bem como a área destinada à cooperativa de catadores de lixo (badameiros) e para implantação das unidades de compostagem e reciclagem de entulho do município.

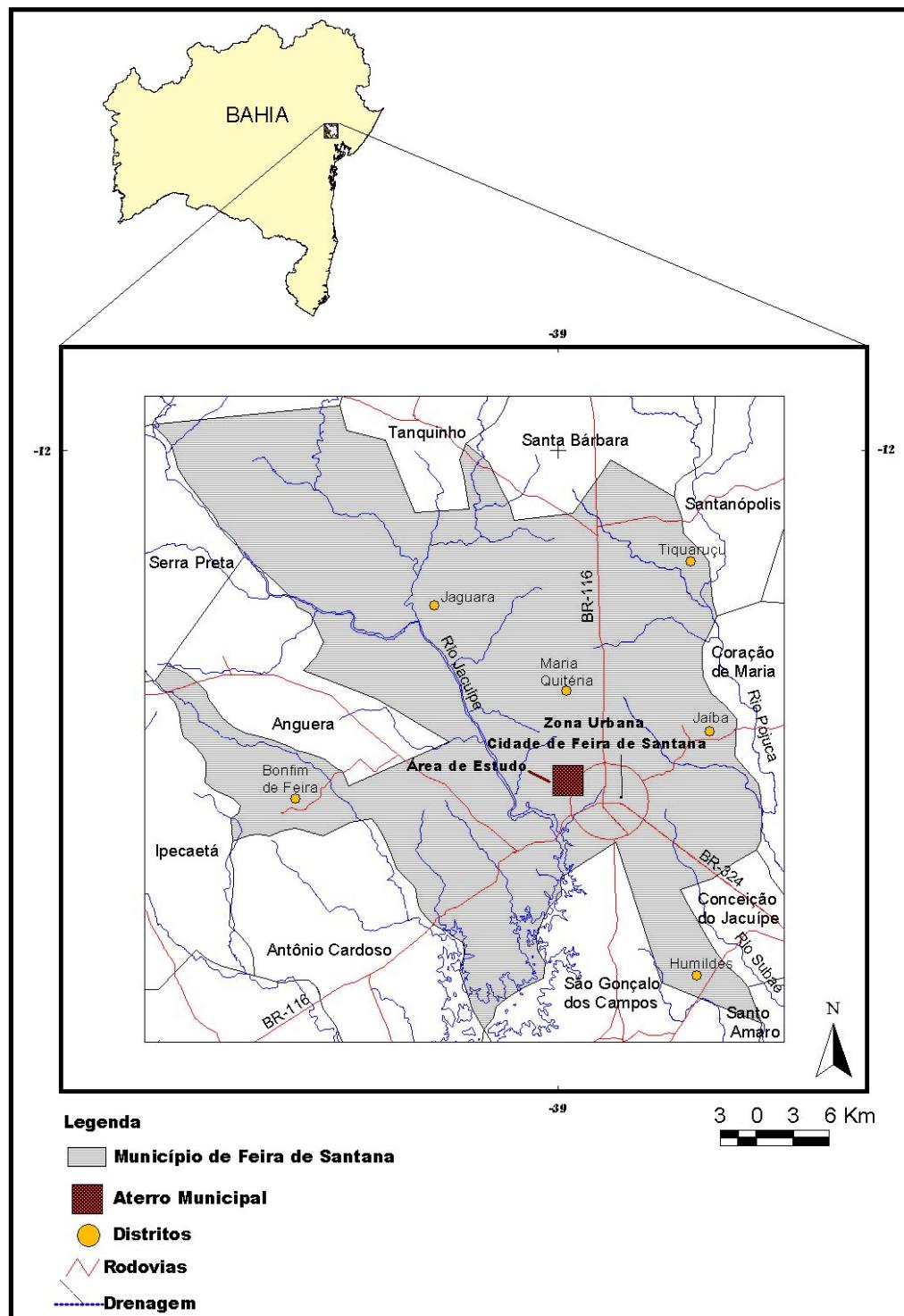


FIGURA 1.3: Mapa de Localização da área estudada (Fonte: Superintendência de Recursos Hídrico – SRH, (Plano Estadual de Recursos Hídrico –Bahia, 2003)

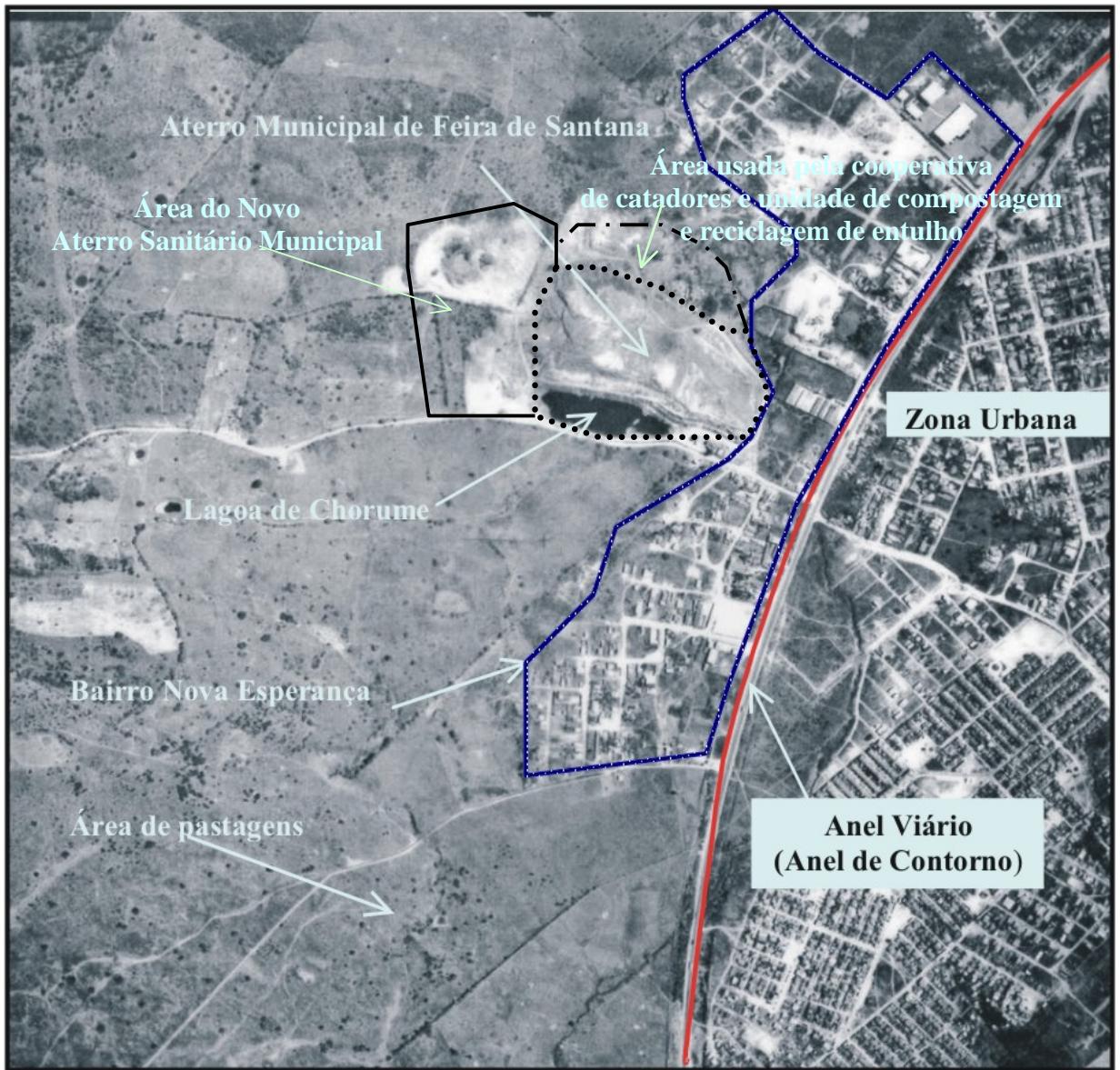


FIGURA 1.4: Fotografia aérea da área do aterro municipal de Feira de Santana (Fonte: CAR-1998- Escala 1:8.000).

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo caracterizar o impacto ambiental na qualidade das águas subterrâneas, gerado pela disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos, na área do aterro municipal do município de Feira de Santana – Bahia.

Entre os objetivos mais específicos pretende-se:

- i. Promover a integração de dados geológicos, geofísicos, hidrogeológicos e hidroquímicos, com vistas à caracterização dos impactos ambientais causados aos recursos hídricos subterrâneos pela disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos;
- ii. Realizar estudos geológicos e geofísicos, mapeando as possíveis zonas de percolação do chorume proveniente do aterro, definindo locais para instalação de poços de monitoramento das águas subterrâneas;
- iii. Mapear a massa de lixo disposta na área e delinear possíveis plumas de contaminação;
- iv. Construir poços de monitoramento e realizar análises físico-químicas e bacteriológicas, necessárias para caracterização da possível contaminação do aquífero por disposição de resíduos sólidos urbanos;
- v. Contribuir para definição de programas de monitoramento contínuo de recursos hídricos em aterros de resíduos sólidos urbanos.

1.4 Metodologia

Para a realização deste trabalho foram cumpridas as seguintes fases:

1^a Fase - Estudos Preliminares.

- Compilação bibliográfica sobre o tema, com vista ao estabelecimento de comparação com situações similares em outros aterros no Brasil;
- Levantamento e revisão da cartografia geológica e da rede hidrográfica local e regional, (fotoínterpretação, aquisição e revisão de mapas, etc);

- Compilação de dados históricos da disposição do lixo em feira de Santana, além de informações sócio-econômica sobre o município.

2^a Fase - Trabalhos de Campo

Foram realizadas 14 (quatorze) visitas à área do aterro e seu entorno, totalizando quarenta e nove dias de trabalho. Estes trabalhos de campo objetivaram:

- Mapeamento geológico de detalhe da área do aterro
- Estudos geofísicos através de sondagens de VLF (Very Low Frequency);
- Locação e construção de poços de monitoramento;
- Mapeamento das principais fontes de poluição no entorno do depósito de RSU;
- Coleta de amostras de águas subterrâneas e de líquidos percolados do aterro para análises em laboratório.

3^a Fase - Trabalhos de Laboratório

- Análise físico-química e bacteriológicas das águas subterrâneas;
- Análise físico-química do líquido percolado (chorume) gerado pelo aterro.

4^a Fase - Trabalho de Escritório

- Tratamento e interpretação dos dados;
- Discussão dos resultados com pesquisadores participantes do projeto;
- Elaboração de relatório semestral das atividades desenvolvidas para a pós-graduação;
- Confecção da dissertação;
- Preparação de publicações e divulgação dos resultados parciais da pesquisa.

Capítulo 2

2. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Neste capítulo serão apresentadas informações a cerca das características gerais dos resíduos sólidos urbanos, a situação atual da destinação final destes resíduos no Brasil, os procedimentos adotados para o tratamento do chorume produzido nos aterros, bem como os programas de monitoramento da contaminação causada aos recursos hídricos.

Segundo a NBR 10.004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1987), resíduos sólidos são: "resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem: urbana, agrícola, radioativa e outros (perigosos e/ou tóxicos). Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível".

De acordo com a norma NBR 10.004 da ABNT (1987), resíduos sólidos podem ser classificado em três classes da seguinte forma:

Classe I ou perigosos – aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública por meio do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

Classe II ou não-inertes – resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações dos outros resíduos.

Classe III ou inertes – aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, e que, quando amostrados de forma representativa, segundo a norma

NBR 10.007, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme teste de solubilização segundo a norma NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água estabelecidos pela Portaria 1469 do Ministério da Saúde.

Segundo Gomes (1989), os resíduos sólidos urbanos são, também, classificados de acordo com seus diferentes graus de biodegradabilidade, em: Facilmente degradáveis: materiais de origem biogênica; Moderadamente degradáveis: papel, papelão e outros produtos celulósicos; Dificilmente degradáveis: trapos, couro (tratado), borracha e madeira; Não-degradáveis: vidros, metal, plástico.

Gomes (1989) e Jardim et al.(1995) classificam os resíduos sólidos urbanos, em função de sua origem, como:Residencial ou doméstico; Comercial; Industrial; Serviços de saúde ou hospitalar e resíduos Especiais (Feiras, varrição e outros).

2.1 Composição Gravimétrica

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos expressa a presença de cada componente, dada em porcentagem, em relação ao peso total do lixo. É obtida através da análise de seus componentes mais comuns, tais como: vidro, plástico, metais, papel, matéria orgânica e outros.

Na Tabela 2.1 é mostra a comparação das composições gravimétricas dos resíduos urbanos em alguns países, enquanto que nas figuras 2.1 a 2.4, a comparação é feita entre algumas cidade brasileiras.

TABELA 2.1 Composição gravimétrica dos resíduos urbanos em diversos países.

Países	Matéria Orgânica (%)	Papel/Papelão (%)	Plástico (%)	Metal (%)	Vidro (%)	Outros (%)
Brasil	52,5	24,5	2,9	2,3	1,6	16,2
Estados Unidos	35,6	41	6,5	7	5	4,9
Europa	28,1	36	7,2	9,2	9,8	9,7
Suécia	33	30	6	5	7	19
México	54,4	20	3,8	3,2	8,2	10,4
Peru	51,4	10	3,2	2,1	1,3	32

Fonte: IPT (2000).

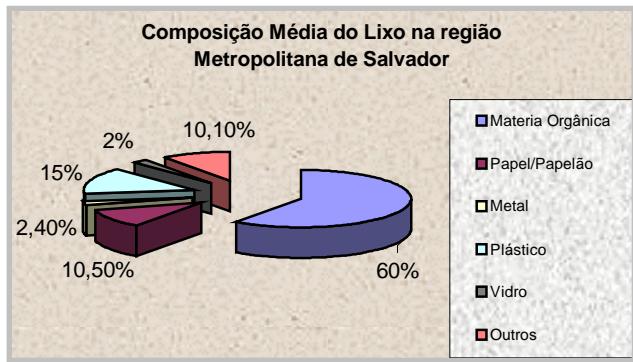


FIGURA 2.1: Composição média do lixo Região metropolitana de Salvador. Fonte: VEGA (2004).

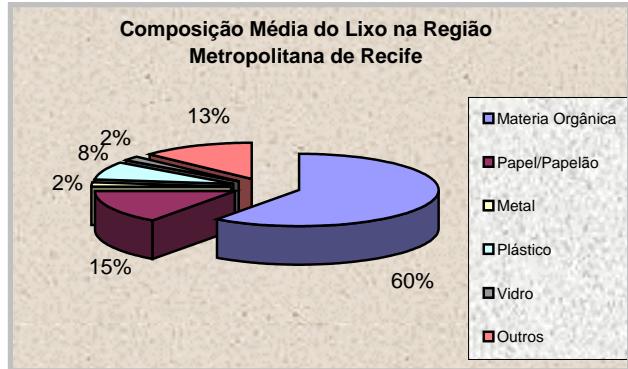


FIGURA 2.2: Composição média do Lixo Região metropolitana do Recife. Fonte: Farias (2000).

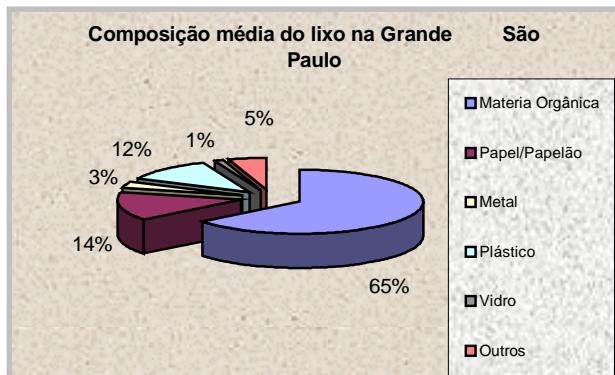


Figura 2.3: Composição média do lixo na Grande São Paulo. Fonte: Farias (2000).

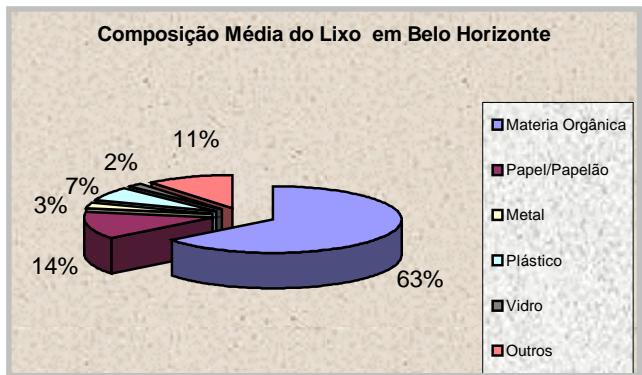


Figura 2.4: Composição média do Lixo em Belo Horizonte. Fonte: Farias (2000).

2.2 Geração dos Resíduos Sólidos no Brasil

No Brasil, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (IBGE, 2000), são coletados cerca de 228.413 toneladas de resíduos sólidos diariamente, sendo 125.258 toneladas referentes aos resíduos domiciliares. A Tabela 2.2 apresenta a distribuição regional da população brasileira, bem como a quantidade de resíduos sólidos gerados diariamente e a geração per capita.

TABELA 2. 2: Geração de Resíduos Sólidos no Brasil

País	População Total		Geração de Resíduos (tonelada/dia)		Geração percapita (kg/hab/dia)
	Valor	Percentual (%)	Valor	Percentual (%)	
Brasil	169.799.170	100	228.414	100	1,15
Regiões	Regiões	Regiões	Regiões	Regiões	Regiões
Sudeste	72.412.411	42,6	141.617	62	1,96
Nordeste	47.741.711	28,1	41.558	18,2	0,87
Sul	25.107.616	14,8	19.875	8,7	0,79
Norte	12.900.704	7,6	11.067	4,8	0,86
Centro-Oeste	11.636.728	6,9	14.297	6,3	1,23

Fonte: PNSB (IBGE, 2000)

2.3 Disposição Final dos Resíduos Sólidos no Brasil

Muitos dos problemas associados a disposição final dos resíduos sólidos no Brasil, estão vinculados ao crescimento demográfico nos centros urbanos, fato que vem limitando as áreas disponíveis para a implementação de novos aterros sanitários. Grandes cidades precisam, muitas vezes, exportar seu lixo para áreas de municípios vizinhos. Em diversas outras situações, áreas não adequadas são usadas como depósitos provisórios que, com o tempo, muitas vezes acabam se tornando permanentes.

Embora não haja soluções para o problema da disposição dos resíduos sólidos que sejam isentas de riscos e inconvenientes, aquelas que passam pelo simples abandono em qualquer lugar sem maiores cuidados apresentam perigos especialmente relevantes. Entre eles, referem-se os seguintes:

- Poluição dos solos, dos rios e aquíferos por lixiviação de substâncias tóxicas presentes nos resíduos, especialmente aquelas que não sofrem degradação biológica e que têm tendência a acumular-se nas cadeias alimentares (ex: metais pesados);
- Dispersão do lixo devido a condições metereológicas propícias (Clima, temperatura, chuvas, etc..);
- Dissipação de metano que, escapando-se para a atmosfera, contribui para o efeito estufa e, ficando retido na massa de lixo, pode dar origem a explosões e incêndios;

- A liberação de gases como CO₂ e CH₄ para a atmosfera devido a incineração nas lixeiras, o qual pode ser aproveitado para a produção de biogás.
- Degradação da paisagem.

A Figura 2.5, mostra a destinação dos resíduos sólidos no Brasil, considerando o percentual por quantidade em peso dos resíduos.

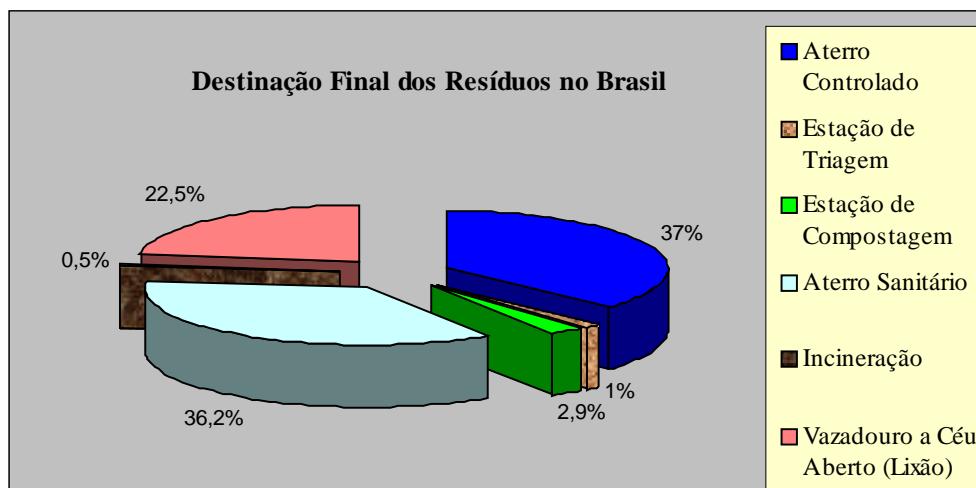


Figura 25: Destinação Final dos Resíduos no Brasil (Fonte: PNSB – IBGE,2000).

Como pode ser observado na figura 2.5, os três principais sistema de disposição final dos resíduos são: aterro controlado, sanitário e a céu aberto.

No Aterro Controlado, os resíduos sólidos são cobertos com solo, de forma arbitrária, onde reduz os problemas de poluição visual, mas não reduz a poluição do solo, da água e atmosférica, não levando em consideração a formação de líquidos e gases;

Aterro Sanitário, segundo a norma NBR 8.419 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1985), "aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos consiste na técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permitível, cobrindo-os com uma camada de solo na conclusão de cada jornada de trabalho e em intervalos menores se necessário";

O Lixão representa a forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos urbanos, onde os resíduos são dispostos diretamente sobre o solo, sem qualquer medida de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública.

O aterro municipal de Feira de Santana foi instalado numa antiga cava de pedreira sem qualquer impermeabilização de base e operou durante cerca de 15 anos como “Lixão”, sem quaisquer técnica de engenharia e/ou cuidado com o meio ambiente, tendo recebido inclusive os resíduos industriais e das unidades de serviços de saúde do município.

Recentemente, o aterro recebeu algumas obras de engenharia visando mitigar alguns impactos ao meio ambiente, principalmente aos recursos hídricos da região de Feira de Santana e torná-lo um aterro controlado.

O aterro recebe cerca de 500 toneladas de resíduos diariamente, dos quais aproximadamente 290 toneladas de lixo domiciliar (produzido em domicílios e estabelecimentos comerciais), 206 toneladas de lixo público (varrição de ruas, praças, feiras, etc) e 4 toneladas de resíduos de serviço de saúde (RSS).

Atualmente, os resíduos sólidos urbanos são dispostos na área do novo aterro sanitário municipal, o qual foi construído segundo as normas de engenharia e obedecendo a legislação ambiental do município relacionada com o tema (visto na figura 1.4)

2.4 Características do chorume e seus aspectos ambientais

Um dos principais problemas ambientais dos aterros é a liberação de percolado (chorume) no local, resultando na contaminação do solo e principalmente das águas superficiais e subterrâneas.

O chorume é um líquido escuro, turvo e malcheiroso fruto da decomposição bioquímica da matéria orgânica contida no lixo, durante os processos de armazenamento, tratamento e disposição final em aterros. A geração do chorume e seu escoamento, sem que receba o tratamento e disposição adequados, é um dos principais causadores de impactos ambientais, principalmente aos recursos hídricos e à saúde pública.

Durante a vida ativa de um aterro sanitário, a geração do chorume é influenciada por uma série de fatores (Qasim & Chiang, 1994), dos quais pode-se ressaltar:

- **Fatores climatológicos e correlatos:** Regime de chuvas e precipitação pluviométrica anual; escoamento superficial; infiltração; evapotranspiração e temperatura.
- **Fatores relativos ao resíduo sólido:** Composição; densidade e teor de umidade inicial.
- **Fatores relativos ao tipo de disposição:** Características de permeabilidade do aterro; idade e profundidade do aterro;

A composição química e o volume do chorume é muito variável e depende do tempo de operação do aterro, das características construtivas de cada aterro, dos aspectos climatológicos regionais, composição do lixo depositado no aterro, etc. Por exemplo, se o chorume é coletado durante a fase ácida, o pH será baixo, porém parâmetros como DBO₅, DQO, nutrientes e metais pesados deverão ser altos.

Contudo, durante a fase metanogênica o pH varia entre 6,5 e 7,5 e os valores de DBO, DQO e nutrientes serão significativamente menores. Sendo fortemente influenciada pela composição dos resíduos depositados, constituindo a fonte principal da carga de elementos orgânicos e inorgânicos encontrada no percolado.

Outros fatores que influenciam são idade do lixo depositado, condições climáticas, e o processo de degradação em que o lixo se encontra.

A seguir são apresentados valores de parâmetros da composição do chorume em diferentes idades do aterro e fases do processo de decomposição do lixo aterrado.

TABELA 2.3: Composição do chorume com diferentes idades

Parâmetros (mg/L)	Idade do Aterro		
	1 ano	5 anos	16 anos
Alcalinidade (HCO_3^-)	800 - 4.000	5,81	2,25
Cádmio		< 0,05	< 0,05
Cálcio	900 - 1.700	308	109
Chumbo		0,5	1
Cloro	600 - 800	1.330	70
Cobre	10 - 030	< 0,5	< 0,5
Condutividade	600 - 9.000		
DBO	7.500 - 28.000	4.000	80
DQO	10.000 - 40.000	8.000	400
Dureza(CACO_3)	3.500 - 4.000	2.200	540
Ferro	210 - 325	6,3	0,6
Fósforo total	25 - 35	12	8
Magnésio	160 - 250	450	90
Manganês	75 - 125	0,06	0,06
Nitrato	0,2 - 0,8	0,5	1,6
Nitrogênio amoniacal	56 - 482		
Ortofosfato	23 - 33		
pH	5,2 - 6,4	6,3	
Potássio	295 - 310	610	39
SDT	10.000 - 14.000	6.794	1.200
Sódio	450 - 500	810	34
SST	100 - 700		
Sulfato	400 - 650	2	2
Zinco	210 - 325	0,4	0,1

Fonte: Chian & Dewalle (1976, 1977) citado por Qasim & Chiang (1994).

Todos os valores em mg/L, exceto condutividade que é expressa em microohms por centímetros e pH que não tem unidade.

TABELA 2.4: Valores de características do chorume de aterros novos e consolidados

Parâmetros (mg/L)	Aterro Novo (menos de 2 anos)		aterro Consolidado (mais de 10 anos)
	Variação	Valor Típico	Variação
Alcalinidade	1000 - 10000	3000	200 - 1000
Amônia	10 - 800	200	20 - 40
Cádmio	< 0,5	< 0,5	<0,5
Chumbo	0,5	0,5	1
Cloreto	200 - 3000	500	100 - 400
Cobre	< 0,5	<0,5	<0,5
Condutividade	600 - 9000		
Cromo Total	0,02 - 1,5		0,02 - 1,5
DBO	2000 - 30000	10000	100 - 200
DQO	3000 - 60000	18000	100 - 500
Ferro Total	50 - 1200	60	20 - 200
Manganês	75 - 125		0,06
Mercúrio	0,00005 - 0,16	0,00005 - 0,16	0,00005 - 0,16
Nitrato	5,0 - 40	25	5,0 - 10
pH	4,5 - 7,5	6	6,6 - 7,5
Potássio	200 - 1000	3000	50 - 400
Sódio	200 - 2500	500	100 - 200
Sólidos Totais	10000 - 14000	6794	1200
Sulfato	50 - 1000	300	20 - 50

Fonte: Adaptado de Tchibanolous et al. (1993) citado por Qasim & Chiang (1994).

Todos os valores em mg/L, exceto condutividade que é expressa em microohms por centímetros e o pH que não tem unidade.

TABELA 2.5: Valores típicos e faixa de variação dos parâmetros do chorume para as fases acetogênica e metanogênica de um aterro sanitário

Parâmetros(mg/L)	Fase Acetogênica		Parâmetros(mg/L)	Fase Metanogênica	
	Variação	Valor Típico		Variação	Valor Típico
Cálcio	10 - 2.500	1200	Cálcio	20 - 600	60
DBO	4000 - 40000	13000	DBO	20 - 550	180
DBO/DQO		0,58	DBO/DQO		0,06
DQO	6000 - 60000	22000	DQO	500 - 4500	3000
Estrôncio	0.5 - 15	7	Estrôncio	0.3 - 7	1
Ferro	20 - 2100	780	Ferro	3 - 280	15
Magnésio	50 - 1150	470	Magnésio	40 - 350	180
Manganês	0.3 - 65	25	Manganês	0.03 - 45	0,7
pH	4.5 - 7.5	6,1	pH	7.5 - 9	8
Sulfato	70 - 1750	500	Sulfato	10 - 420	80
Zinco	0.1 - 120	5	Zinco	0.03 - 4	0,6

Fonte: CHRISTENSEN et al. (1989).

Todos os valores em mg/L, exceto o pH e DBO/DQO que não tem unidade.

O potencial de impacto do chorume está relacionado com a alta concentração de matéria orgânica, reduzida biodegradabilidade e presença de metais pesados.

O impacto produzido pelo chorume sobre o meio ambiente está diretamente relacionado com a fase de decomposição do lixo. O chorume de aterro novo, quando recebe boa quantidade de águas pluviais é caracterizado por pH ácido, alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), alto valor de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e diversos compostos potencialmente tóxicos. Com o passar dos anos há uma redução significativa da biodegradabilidade por parte dos componentes biodegradáveis, devido a conversão da matéria orgânica , em gás metano e CO₂.

A decomposição dos resíduos sólidos, depositados em aterros sanitários, é um processo dinâmico comandado por organismos decompositores de matéria orgânica, sendo em sua maioria bactérias heterotróficas, aeróbias e facultativas. A decomposição biológica do lixo governa a produção de gás e a composição do chorume, que dependerão, fundamentalmente, da fase em que o processo de decomposição se encontra.

O processo de decomposição do lixo em aterros dá-se em três fase (Lo, 1996):

- ❖ Fase aeróbia;
- ❖ Fase acetogênica;
- ❖ Fase metanogênica.

Durante essas fases, a suscetibilidade ao carreamento ou arraste de substâncias químicas pelo líquido que escoa se modifica drasticamente. Este processo de carreamento denomina-se de lixiviação. Por meio desse processo, os compostos arrastados do interior da massa de resíduos dão origem ao chorume com composição diversa.

A fase aeróbia ocorre durante o primeiro mês de deposição e recobrimento do lixo, a ação de decomposição é realizada pelas bactérias aeróbias que utilizam o oxigênio presente no interior do aterro.

A presença de águas pluviais exerce grande influência sobre esta fase (aeróbia), pois facilita a redistribuição de nutrientes e microorganismos ao longo do aterro. No decorre da fase aeróbia, ocorre uma grande liberação de calor. Com o aumento significativo da temperatura da massa de lixo, o chorume produzido nesta fase apresentará elevadas concentrações de sais de alta solubilidade (Qasim & Chiang, 1994). Nesta fase dá-se também, grande formação de gás carbônico (CO_2), água, nitrato, nitrito e metano (Lo, 1996).

Quando todo o oxigênio é consumido, inicia-se a fase anaeróbia, onde a decomposição ocorre através dos organismos anaeróbios e/ou facultativos (bactérias acetogênicas) que hidrolisam e fermentam celulose e outros materiais presentes no resíduo.

Esta fase (acetogênica) é caracterizada pela redução da concentração de carbono orgânico, altos níveis de amônia e largo espectro de metais, representando considerável potencial de risco para o meio ambiente. São produzidas quantidades consideráveis de compostos orgânicos simples e de alta solubilidade, principalmente ácido graxos voláteis, como o ácido acético, e também grandes quantidades de nitrogênio amoniacial.

Os valores baixos de pH nessa fase favorecem, também, o aparecimento de maus odores, com liberação de gás sulfídrico (H_2S), amônia (NH_3) e outros gases causadores de maus odores (Lima, 1995).

Na terceira e última fase, os compostos orgânicos simples formados na fase acetogênica começam a ser consumidos por bactérias estritamente anaeróbias, denominadas bactérias metanogênicas, que dão origem ao metano (CH_4) e ao gás carbônico (CO_2).

Estudos realizados, com amostras de chorume provenientes de diferentes aterros sanitários, demonstraram diferenças significativas em suas composições como visto na tabela 2.4.

O aterro de Feira de Santana, encontra-se predominantemente na fase metanogênica, teve sua atividade de disposição de resíduos sólidos, concluída em novembro de 2003. No entanto a nova célula construída ao lado do instinto aterro, está em operação desde novembro de 2003, sendo a fase aeróbia predominante.

2.5 Métodos de Tratamento do Chorume

No Brasil, quando se define por tratamento do chorume “in situ”, utiliza-se com muita freqüência as lagoas biológicas (lagoas de estabilização) que possuem a dificuldade de necessitar de uma área muito grande em regiões com elevados índices pluviométricos e da umidade. Neste sentido, muitos projetos utilizam a técnica de recirculação de chorume para diminuir a quantidade de líquidos a serem tratados, porém em épocas chuvosas o sistema pode chegar ao limite da sua capacidade. A recirculação de chorume deve ser aplicada quando se monitora a umidade ou grau de saturação do lixo, pois além de elevar seu peso específico, pode provocar inibição do processo de biodegradação e redução de resistência do maciço. Por outra parte, o sistema de tratamento por lagoas biológicas não reduz a quantidade de nitritos, nitratos e amônia presente no meio, o que pode acarretar em uma contaminação dos cursos d’água (Jucá et al, 2002).

Neste sentido, alguns estudos estão sendo desenvolvidos, com objetivo de se definir novas tecnologias para o tratamento mais eficiente e eficaz, e com custos compatíveis com os métodos de tratamento de chorume já existentes. Este tratamento está baseado em um sistema bioquímico,

que combina os efeitos da fitoremediação (EPA, 1993; Brix, 1994; Garcia et al, 1997) com os das barreiras reativas de solos para contenção de contaminantes (Jucá et al, 2002). É mostrado na tabela 2. 6, processos e tipos de tratamento do chorume.

TABELA 2. 6: Processos e tipos de tratamento do chorume

Processos	Tipo de Tratamento
Processos Biológicos	Tratamento conjunto com água resíduais; Tratamento aeróbio e Tratamento anaeróbio
Canalização do Chorume	Recirculação de lixiviado
Processos Físico-Químicos	Precipitação química; Oxidação química; Adsorção com carbono ativado; Filtração; Osmose inversa e Charcos artificiais
Tratamento Natural	Aplicação no terreno e Jardinagem com aplicação no terreno
Tratamento Misto	Diferentes combinações de vários

Fonte: Juca, (2002)

No Brasil alguns aterros sanitários como o Aterro Bandeirantes (São Paulo) e o Aterro Metropolitano Centro (Salvador) não fazem o tratamento do chorume “in situ”, e sim, destina a estações de tratamento de esgoto ou de resíduos industriais mais próximas.

Como consequência, os custos se elevam devido ao transporte destes líquidos, bem como, transferem a responsabilidade para outros, pois, em geral, as estações de tratamento de esgoto (ETE) não estão preparadas para receber um líquido com uma diversidade e altas concentrações de componentes orgânicos e inorgânicos (inclusive metais pesados). Na tabela 2. 7 é mostrado o tipo de tratamento do chorume realizado nos vários aterros do Brasil.

TABELA 2.7: Tipo de disposição dos resíduos e tratamento do chorume

Cidades	Tipo de Destinação Final	Quantidade (ton/dia)	Tratamento do Chorume
Araguaína-TO	Aterro Sanitário	160	Fossas sépticas e valas de infiltração
Belém-PA	Aterro Sanitário de Belém	1024	Recirculação do chorume e biorremediação
Belo Horizonte-MG	Aterro Sanitário de BH	4139	Recirculação do chorume. Excedente tratado na ETE municipal
Biguaçu-SC	Aterro Sanitário da Formaco	11500 a 14500	Poço coletor anaeróbio com circulação forçada, depois um reator UASB que inicia o tratamento físico-químico e posteriormente para um decantador e depois para um sistema de lagoas composta por lagoa anaeróbia, lagoa facultativa e lagoa de maturação e por fim adição de hipoclorito de sódio para desinfetar o líquido tratado
Caruaru-PE	Aterro Sanitário de Caruaru	200	Digestor anaeróbio, seguido por um charco artificial
Contagem-MG	Aterro Sanitário de Perobas	214	Tanque Inhoff seguido de filtro biológico
Extrema-MG	Aterro Sanitário de Extrema	8	Lagoas anaeróbias em série, seguidas por uma facultativa e uma de maturação
Feira de Santana-BA	Aterro Controlado	500	Atualmente recirculação do chorume
Fortaleza-CE	Aterro Sanitário de Caucaia	3500	Lagoas anaeróbia e facultativas
Fortaleza-CE	Aterro Sanitário de Aquiraz	21	Lagoas anaeróbia e facultativas
Goiânia-GO	Aterro Controlado de Goiania		Não informado
Guarai-TO	Aterro Sanitário	40	2 lagoas anaeróbias
Ipatinga-MG	Aterro Sanitário de Ipatinga	150	Reator anaeróbio, lagoa de estabilização, aerador de cascata e lagooa de maturação
Itaquaquecetuba-SP	Aterro Sanitário Itaquaquecetuba	650	Não tem tratamento, o chorume é levado para ETE municipal. Está previsto tratamento químico
João Pessoa-PB	Aterro Controlado	870	Digestor anaeróbio seguido de fitorremediação
Manaus-AM	Aterro Sanitário de Manaus	1125	Recirculação do chorume e biorremediação
Mauá-SP	Aterro Sanitário de Mauá	1500 a 2000	3 reatores e 2 lagoas com agitador (aerador)
Palmas-TO	Aterro Sanitário	120	Sistema de lagoas de estabilização em série com uma lagoa anaeróbia, uma facultativa e uma de maturação
Paracatu-MG	Aterro Sanitário de Paracatu	26	Uma lagoa anaeróbia seguida por uma facultativa
Porto Alegre-RS	Aterro Sanitário de Extrema	200	Filtro anaeróbio em leito de brita construído sob o aterro; lagoa de aeração forçada; transporte com caminhão tanque para cotratamento final em ETE juntamente com esgoto doméstico
Porto Alegre-RS	Aterro Sanitário Metropolitano Santa Tecla	1300	Filtro anaeróbio construído sob o aterro , lagoa anaeróbia, 2 lagoas facultativas, leito de filtro de areia
Recife-PE	Aterro Controlado de Muribeca	2800	Recirculação do Chorume, lagoa anaeróbia, lagoas facultativas, sistema bioquímico
Rio de Janeiro-RJ	Aterro Controlado de Gramacho	7026	Tanques de polimento e sistema de mano-filtração
Rio de Janeiro-RJ	Aterro Controlado Zona Oeste		Não informado
Salvador-BA	Aterro Sanitário Metropolitano	2600	Tratamento na CETREL
Santo André-SP	Aterro Sanitário	700 a 750	Uma lagoa anaeróbia e uma facultativa com aerador
São Paulo-SP	Aterro Sanitário São João		Tratamento na SABESP (esgoto)
Três Corações-MG	Aterro Sanitário de Três Corações	30	Uma lagoa anaeróbia seguida por um filtro anaeróbio e uma lagoa facultativa
Uberlândia-MG	Aterro Sanitário de Uberlândia	120	Tratamento primário (grades e retentor de óleo, seguido por reator anaeróbio de fluxo ascendente e filtro biológico)
União da Vitória-PR	Aterro Sanitário		Não informado

Fonte: Modificado de Jucá, 2002

2.6 Contaminação das águas subterrâneas pelo Chorume

O chorume possui um alto potencial poluente, com composição química extremamente complexa e variável, principalmente em função das condições ambientais, características físicas-químicas dos resíduos e idade dos aterros como visto anteriormente.

Desta forma torna-se imprescindível o tratamento do chorume em qualquer aterro, evitando assim uma possível contaminação dos solos e principalmente dos recursos hídricos, destacando as águas subterrâneas. Quando o chorume atinge a água subterrânea tenderá a estabelecer um estado de equilíbrio neste sistema através de reações químicas. Este equilíbrio será alcançado como resultado de vários processos químicos, tais como: precipitação, dissolução, oxi-redução, hidrólise, troca iônica, etc. As reações são influenciadas pelos minerais que compõe o meio poroso; pelo grau de mistura que ocorre entre a solução contaminante e o ambiente da água subterrânea; pelas mudanças de temperatura e pressão, e em alguns casos pela atividade microbiológica.

As composições químicas das águas naturais são representadas primeiramente pelos íons maiores: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^- , e pelos menores: K^+ , Fe^{2+} , H_2S e NO_3^- , também, pelos constituintes traços. Qualquer alteração na composição química destas águas caracteriza um impacto na sua qualidade, que são estabelecidas pelas regulamentações e guias de qualidade das águas subterrâneas dos vários órgãos competentes.

Os processos físicos nos contaminantes também se fazem presente, o chorume ao atingir o sistema de água subterrânea estará sujeito aos processos físicos, tanto como aos processos químicos enquanto são transportados ao longo do fluxo subterrâneo (Cherry, 1984).

Os principais processos físicos atuantes são a advecção e a dispersão hidrodinâmica. A advecção é um processo hidráulico pelo qual o soluto é carreado pelo fluxo das águas de subsuperfície, sob o efeito apenas deste processo, a circulação de contaminantes se igualaria a velocidade linear média das águas subterrâneas. Já a dispersão hidrodinâmica é um fenômeno em que o contaminante durante seu movimento em subsuperfície, mistura-se com as águas não contaminadas, causando a diminuição na concentração original, e que pode ser decomposta em

longitudinal quando acompanha as linhas de fluxo, e transversal quando perpendicular, causando o espalhamento da pluma (Appelo & Postma, 1993).

No caso do ambiente de rochas cristalina, a dissolução de feldspatos, micas e outros minerais silicatos, são fortemente influenciados pela natureza agressiva quimicamente da água rica em CO₂ dissolvido. Assim, os cátions normalmente liberados para a água são Na⁺, K⁺, Mg²⁺ e Ca²⁺ e há um aumento do pH e do HCO₃⁻ (Freeze & Cherry, 1979).

Para definição de um programa de monitoramento de um aquífero em área de disposição de resíduos sólidos urbanos, devem ser monitorados os constituintes principais do chorume produzido no aterro, bem como os constituintes do aquífero que podem ser mobilizados por processos de interação entre o chorume e próprio aquífero. Igualmente importante é conhecer os conteúdos dos cátions maiores (ex: Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺), bem como Fe²⁺ e NH₄⁺.

Também importante para o programa de monitoramento de aterro sanitário é a avaliação das concentrações de bicarbonato, nitrato, nitrito, pH, cloreto, sulfato, manganês, além dos metais pesados que estão presentes em concentrações elevadas nos resíduos sólidos.

Capítulo 3

3. Aterro Municipal de Feira de Santana

3.1 Histórico

Ao longo do tempo o aterro de resíduos sólidos da cidade de Feira de Santana, foi operado como “Lixão”, sem qualquer técnica de engenharia e/ou cuidado com o meio ambiente, tendo recebido inclusive os resíduos industriais e das unidades de serviços de saúde gerados na cidade. Atualmente, o depósito recebe cerca de 500 toneladas por dia de variados tipos de resíduos. Recentemente, este aterro recebeu algumas obras de engenharia visando mitigar alguns impactos ao meio ambiente e torná-lo um aterro controlado.

O aterro de resíduos sólidos municipal, teve suas atividades iniciadas no ano de 1989, onde problemas ambientais advindos da implantação deficitária e operação inadequada, vem se acumulando ao longo dos anos. Este empreendimento foi implantado em uma antiga cava de pedreira sobre o aquífero fissural, tendo recebido até março de 2004 aproximadamente 2.000.000 (dois milhões) de toneladas de resíduos (Departamento de Limpeza Pública da prefeitura municipal de Feira de Santana).

Durante a implantação do aterro, alguns elementos básicos necessários para o funcionamento adequado deste tipo de empreendimento foram implementados (ex: drenos de líquidos percolados na base e drenos de gases). Entretanto, o aterro não contou originalmente com a impermeabilização de base que é importante e indispensável devido seu posicionamento geológico, sotoposto ao substrato de rochas fraturadas (Fotos 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4).

Além de não atender aos critérios técnicos de implantação, durante a maior parte do tempo de operação, o aterro não recebeu os investimentos necessários para a condução correta de suas atividade, sendo operado como lixão a céu aberto, possibilitando a coleta de materiais do lixo por adultos e crianças como, fonte de alimento e renda, além da criação e engorda de animais (Fotos 3.5 e 3.6).

O aterro antigo encontra-se em fase de reestruturação e recuperação ambiental deste início de 2001, onde o governo municipal tem realizado mudanças de ordem física, social e ambiental . Para isso, diversos projetos estão sendo executados, visando revitalizar o aterro bem como oferecer melhorias na infra-estrutura urbana à comunidade circunvizinha.

Observa-se também que o aterro não possui sistema de tratamento de líquidos percolados, tendo apenas uma lagoa de acumulação de chorume, que não possui a necessária impermeabilização de base para evitar as possíveis contaminações das águas subterrâneas e do solo.

Neste particular, como o empreendimento não apresenta o sistema de impermeabilização de base, toda a área está sujeita a contaminação das águas superficiais e subterrâneas.



FOTO 1.1: Implantação do Aterro (1989)

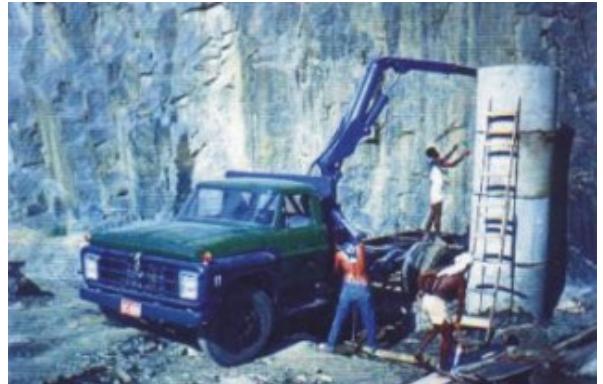


FOTO 2.2: Colocação dos drenos de gás durante a implantação do aterro no ano 1989



FOTO 3.3: Colocação de drenos de gás e líquidos percolados durante a implantação do aterro no ano 1989

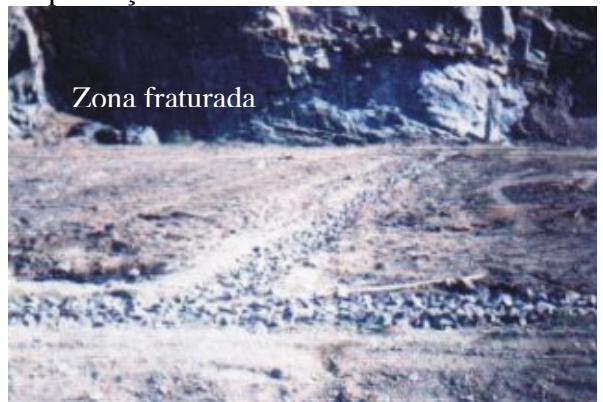


FOTO 3.4: Ocorrência de zonas de fraturamentos nas rochas do embasamento cristalino, na cava da pedreira onde foi implantado o aterro



FOTO 3.5: Aterro operando como Lixão no ano 2000



FOTO 3.6: Adultos e crianças catando lixo, além da criação de animais no ano 2000

As melhorias são evidenciadas por obras de drenagem de águas pluviais, retaludamento e conformação do maciço, construção e recomposição de drenos de chorume e gases, recobrimento diário do lixo, construção da central de recepção de produtos perigosos e setor de triagem de produtos perigosos, ponto de visitação, medidor de vazão e, sobretudo, pela implantação de projeto paisagístico e de recomposição ambiental através da construção da praça dos badameiros e plantio de aproximadamente 1.600 (hum mil e seiscentas) espécies de árvores, sendo que essa última ação foi prejudicada pelas intempéries local.

Também, recentemente foram retiradas as crianças e os animais das áreas de descarga dos resíduos no aterro e disciplinada através de um cooperativa, a atividade dos catadores adultos. As fotos 3.7, 3.8, 3.9 e 3.10 ilustram bem essas mudanças.



FOTO 3.7: Área de separação do lixo para reciclagem no ano 2003



FOTO 3.8: Área de disposição do lixo no aterro no ano 2003

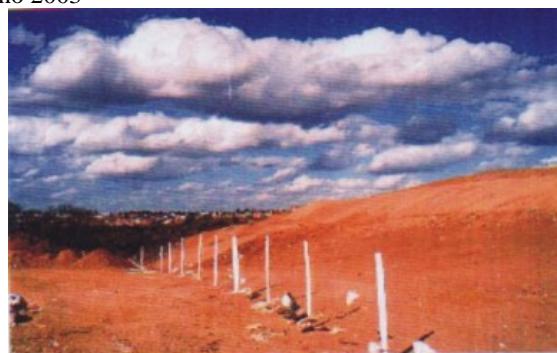


FOTO 3.9: Situação do aterro no ano 2003



FOTO 3.10: Situação do aterro no ano 2003

Para minimizar os problemas ambientais e sociais relacionados à disposição do lixo em Feira de Santana, a prefeitura municipal implantou no ano de 2004 um novo aterro em área ao lado da antiga cava de pedreira, o qual foi construído segundo as normas de engenharia e obedecendo a legislação ambiental .

3.2 Atividade de disposição de resíduos na área e seus aspectos operacionais

Neste item são descritas as atividades de disposição de resíduos na área do aterro municipal, quanto aos aspectos ou problemas operacionais, sanitários e sócio-ambientais. Os aspectos operacionais são aqueles considerados como atividades inadequadas de operação na disposição do lixo, que podem afetar os aspectos sanitários e ambientais ao longo do tempo, os quais, por sua vez, são aqueles que afetam diretamente e indiretamente a saúde pública das comunidades vizinhas do aterro e da cidade de Feira de Santana.

3.2.1 Aspectos operacionais

Os acessos para as áreas de disposição final do aterro municipal são caracterizados por estradas de terra que margeia o aterro por aproximadamente 1000 metros em seu sentido longitudinal maior até sua entrada. A partir daí o acesso interno às áreas de disposição se faz por vias cascalhadas que seguem até as áreas de disposição. Estes acessos internos tornam-se, por vezes, intransitáveis em períodos de chuvas intensas. Nos períodos secos muitas das vias não - pavimentadas causam muita poeira , devidos ao transito dos caminhões na área.

Atualmente, o aterro municipal conta com equipamento, para a realização da disposição dos resíduos de forma adequada (ex: tratores e esteira, retro-escavadeiras, caçambas, etc). Encontra-se totalmente cercado, incluindo uma portaria e seguranças para evitar a presença de catadores no local. Verifica-se a existência apenas de catadores na área pertencente a cooperativa dos bademeiros, que fica ao lado do aterro.

O aterro recebe todos os resíduos sólidos da cidade. Estes resíduos são pesados, contudo não há controle ou informações precisas sobre suas composições gravimétricas, qualitativas e

aspectos físico-químicos. Segundo informações da Secretaria de Serviços Públicos, o aterro recebe em média 50 viagens de caminhões compactadores de 8 m³ cada, estes pertencente a Qualix (empresa responsável pela limpeza pública do município). A coleta dos resíduos nos bairros é feita na sua maioria durante o dia, sendo que nos bairros mais centrais dispõe de coleta diária, enquanto que nos mais afastados a coleta é feita alternada.

O aterro recebe também resíduos trazidos por particulares. De acordo com o Departamento de Limpeza Pública da prefeitura municipal de Feira de Santana, tem-se aproximadamente 500 ton/dia de lixo produzido e disposto no local.

Durante os trabalhos de campo verificou-se o grande predomínio de resíduos de origem domiciliar, ocorrendo também, resíduos de origem comercial e público verificados pela presença de papeis, plásticos, embalagens diversas e resíduos de varrição de vias públicas.

Os resíduos dos serviços de saúde/hospitalar estão presentes, contudo as quantidades dispostas são desconhecidas. Estima-se por informações dos operadores locais, que estas quantidades situam-se entre 2500 e 4000 Kg/dia.

A Prefeitura não possui um cadastro ou controle das industrias locais e suas atividades, muito menos dos resíduos gerados por elas. Porém ocorre a disposição de resíduos industriais na área do aterro. Nas figuras 3.1 e 3.2 são mostrados a composição do lixo coletado em Feira de Santana e sua composição gravimétrica (Leal, 1998).



FIGURA 3.1: Composição Média do Lixo em Feira de Santana. (Fonte: Modificado de Leal, 1998)

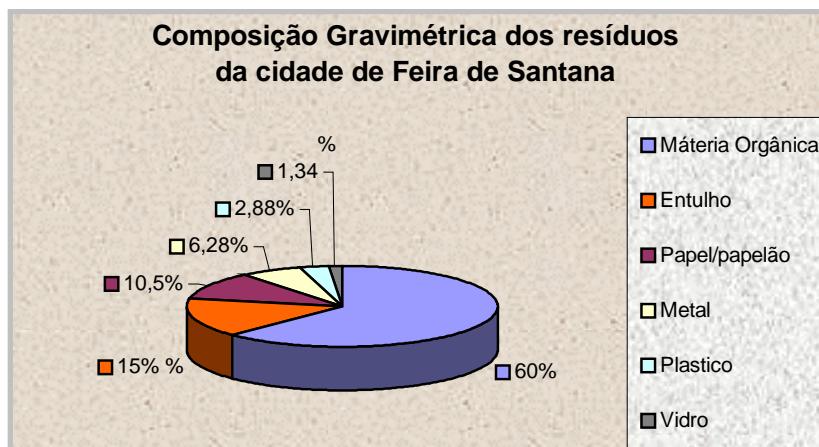


FIGURA 3.2: Composição Gravimétrica média do Lixo em Feira de Santana (Fonte: Modificado Leal, 1998)

3.2.2 Aspectos sanitários

Por vezes, observa-se em aterros ou lixões pequenos focos de fogo provocados principalmente por combustão espontânea, pois tem-se o acumulo de gases (combustível), oxigênio (comburente e calor agente iniciador da queima). Estes focos podem originar incêndios maiores no próprio aterro e nas adjacências, com perdas de culturas, pastagens, matas ciliares e mortandade de animais domésticos e silvestres. A fumaça originada pode prejudicar a visibilidade no local e circunvizinhanças, provocando acidentes com envolvimento de catadores, funcionários e máquinas. Além de irritabilidade nos olhos e problemas respiratórios.

Este problema não ocorre no aterro municipal de Feira de Santana, verificou-se que no aterro onde a disposição dos resíduos foi encerrada não há mais focos de incêndio e no novo aterro existe controle total em relação ao acúmulo de gás que poderia causar este tipo de incêndio.

O mau cheiro presente é o resultado da emanação dos produtos gasosos gerados pela decomposição do lixo e pelo chorume produzido, que podem provocar problemas ambientais, respiratórios, irritabilidades diversas, etc. Devido a cobertura feita no aterro o odor não é muito forte.

O aterro encerra uma grande comunidade de espécies, pois, segundo Lima (1991), contém alto teor energético e oferece disponibilidade simultânea de água, alimento e abrigo. Tais espécies são classificadas como macrovetores (ratos, baratas, moscas, cães e o próprio homem) e microvetores (fungos, bactérias e vírus). No que se refere aos macrovetores, tem-se uma situação de controle dos mesmos, tanto no antigo quanto no novo aterro municipal de Feira de Santana.

3.2.3 Aspectos ambientais

Poluição do ar

Todos os aterros sanitários, aterros controlados e vazadouros situados em território brasileiro geram emissões de gás bioquímico no ambiente, em intensidades variáveis e dispersões também variáveis de material particulado e, nos casos em que não há controle, ocorre também, dispersão dos componentes mais leves do lixo, tais como papéis e plásticos.

No aterro em questão onde a disposição dos resíduos foi encerrada, existem poucos drenos para exaustão dos gases gerados. Estes gases percolam pelos interstícios do lixo de maneira desordenada até sua fuga para o ambiente resultando no mau cheiro característico dos aterros, este porém não muito forte.

Poluição das águas

A poluição das águas superficiais e subterrâneas é devida à variação das características físico-químicas e/ou pela presença de microorganismos. As águas pluviais que precipitam na área escoam superficialmente e infiltram-se no lixo e solo, percolando-os com destino aos córregos existentes próximos ao aterro, que por sua vez são afluentes do Rio Jacuípe. No caso do aquífero da região, por tratar-se de um aquífero fissural de natureza livre e devido a baixa espessura do solo na região, a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas é alta.

3.3 Considerações sobre o meio socio-econômico da área do entorno do Aterro Municipal de Feira de Santana

Ao longo dos anos, o aterro sofreu um forte processo de degradação, que culminou num grande “lixão” a céu aberto, comprometendo os meios físicos, bióticos e antrópicos. Aliado a outros fatores sócio-econômicos, houve um significativo crescimento populacional na área do entorno do aterro, compondo o bairro Nova Esperança.

Diversos foram os fatores que contribuíram para o processo de crescimento populacional na área do entorno do aterro. Dentre eles, está a falta de uma política pública que orientasse o fluxo de crescimento populacional para áreas adequadas à moradia, a situação em que se encontrava o aterro, permitindo cada vez mais que grupos de badameiros vindo de outras cidades, inclusive de outros Estados e outras regiões da Bahia, fugindo do flagelo da seca, se instalasse nas áreas próximas do aterro, como foi possível detectar na pesquisa aplicada no local.

O bairro Nova Esperança conta, segundo dados do IBGE para o ano de 2002, com 442 domicílios, e com uma população estimada em aproximadamente de 1.416 habitantes. Este contingente populacional que reside na circunvizinhança do aterro vem crescendo, paulatinamente, principalmente por ser um bairro que se encontra próximo do centro da cidade. Logo, se torna uma área de atração por se localizar mais próximo dos serviços oferecidos na esfera pública e particular. As Fotos 3.11 a 3.16 ilustram os principais aspectos sócio-econômicos da área do aterro.



FOTO 3.11: Desenvolvimento de atividade agrícola nas áreas vizinhas ao aterro (milho e feijão)



FOTO 3.12: Coleta de lixo no aterro e armazenamento em terrenos baldios ao lado de residências



FOTO 3.13: Roupa lavada, próximo do lixo e ao lado do esgoto a céu aberto (vetos de contaminação)



FOTO 3.14: Pequenas criações de animais, com esgoto a céu aberto na sua lateral (proliferação de insetos)



FOTO 3.15: Casa abandonada, servindo de depósito de lixo, favorecendo o aparecimento de ratos, baratas e moscas



FOTO 3.16: Prédio Pré-escola existente no Bairro Nova Esperança

Capítulo 4

4. Caracterização do Meio Físico da Região de Feira de Santana e da Área do Aterro municipal

4.1 Clima

Na região da cidade de Feira de Santana predomina o clima tropical semi-árido (Anjos & Bastos, 1968) com chuvas de verão, predominantemente marcado por períodos secos, típicos de regiões semi-áridas, intercalados por períodos sub-úmidos ou mesmo úmidos, que ocorrem de maio a junho, quando a precipitação aumenta e a evaporação é menos significativa. A área apresenta uma pluviometria média de 800 mm/ano, com os maiores índices distribuídos nos meses de março, abril e maio, com a média máxima de 106 mm registrada no mês de maio. Os menores índices pluviométricos são registrados nos meses de agosto, setembro, outubro, com média mínima de 39 mm no mês de outubro(Figura 4.1). Foram utilizadas duas estações para estabelecer o balanço hídrico da região, uma localizada na zona urbana e outra no distrito de Jaguará a noroeste da cidade de Feira de Santana.

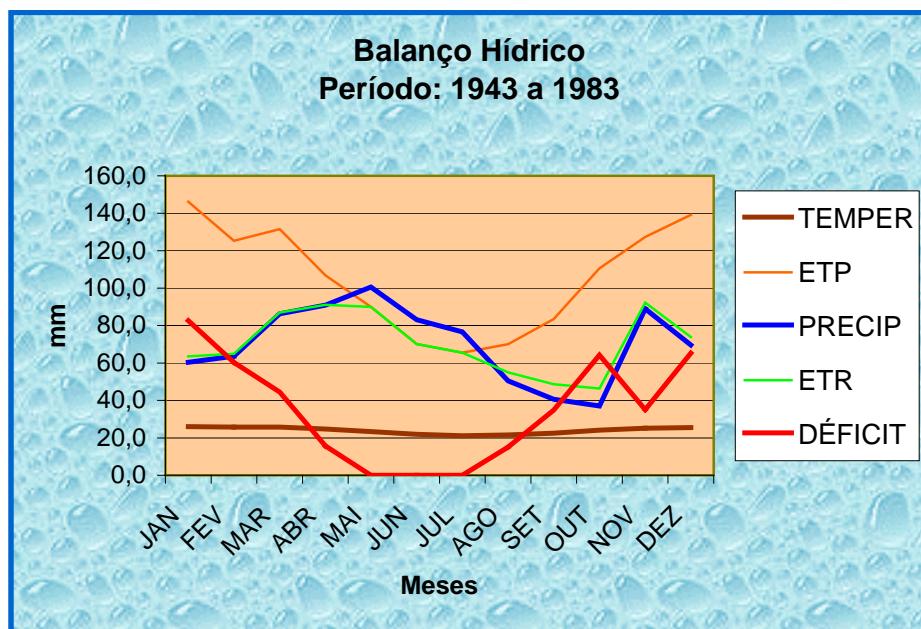


FIGURA 4.1 : Balanço Hídrico do Município de Feira de Santana – Estação Feira de Santana (SEI, 1999).

Em relação a distribuição das temperaturas durante os meses do ano a região é caracterizada por dois períodos distintos: (i) entre os meses de outubro e janeiro, período mais quente do ano, com o registro de temperaturas médias superiores a 30 °C (SEI, 1999), (ii) e entre os meses de junho e agosto, um período marcado por temperaturas mais amenas, com registros variando entre 20°C e 23 °C, com a temperatura média anual em torno de 27 °C (Figura 4.2).

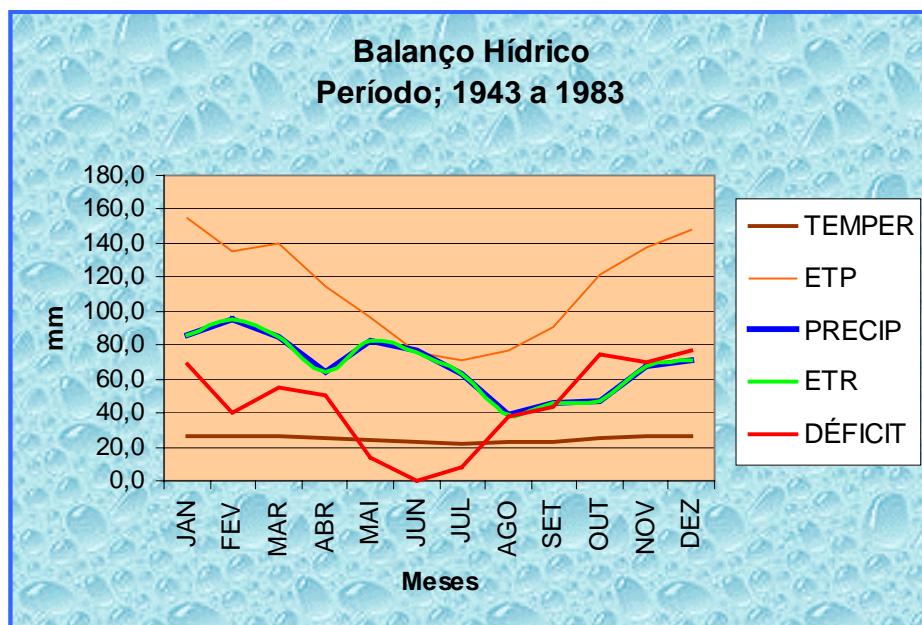


FIGURA 4.2 : Balanço Hídrico do Município de Feira de Santana – Estação Jaguará (SEI - 1999).

Temperatura

Evapotranspiração Potencial (ETP)

Déficit



Precipitação

ETR

Evapotranspiração Real (ETR)

4.2 Geomorfologia

Geomorfologicamente, a região é composta por pediplanos e tabuleiros. Como formas tabulares têm-se as unidades tabuleiros interioranos inumados e dissecados, planalto dos geraizinhos, tabuleiros do recôncavo e tabuleiros pré-litorâneos. O tabuleiro interiorano e o planalto dos geraizinhos são modelados de aplainamento enquanto os demais são modelados de dissecação.

O pediplano sertanejo é um modelado de aplainamento e pertence ao domínio das planícies interplanálticas na região da Depressão Sertaneja, caracterizado por um relevo plano onde ocorrem “inselbergs”, picos e colinas remanescentes (Almeida, 1992)

Os tabuleiros constituem as feições geomorfológicas desenvolvidas sobre sedimentos do Grupo Barreiras, formando um planalto ligeiramente ondulado, cercado por morros testemunhos de rochas do embasamento cristalino, constituído de sedimentos arenoso-argilosos, servindo como divisor de águas de três sub-bacias hidrográficas existente na região: sub-bacia do Rio Jacuípe, sub-bacia do Rio Pojuca e sub-bacia do Rio Subaé. A área em estudo situa-se próxima ao contato do embasamento cristalino com o grupo Barreiras, posicionada em alto topográfico, compondo um divisor de águas, com drenagens que se deslocam para norte e sul e em seguida para o Rio Jacuípe.

4.3 Solos

O município de Feira de Santana, tem um quadro bastante diversificado do ponto de vista pedológico. Ocorrem na área solos provenientes da cobertura sedimentar Tercio-Quaternária, denominados tabuleiros interioranos e aqueles relacionados ao embasamento cristalino.

Rego (1998) descreveu os solos do município de Feira de Santana, compartimentando-os em dois grandes conjuntos: os solos relacionados com o embasamento cristalino e os solos relacionados com a cobertura sedimentar Tercio-Quaternária. Ao primeiro conjunto, embasamento cristalino, estão relacionados os solos mais recentes, são formados a partir da alteração das rochas do embasamento cristalino e apresentam variação nos seus graus de desenvolvimento, caracterizados pelo predomínio de argilas tipo esmectitas. Costumam apresentar textura média, pedregosidade na superfície, ocupando as partes mais altas do relevo e os declives fortes. Já os solos relacionados as coberturas sedimentares, são formados a partir dos sedimentos arenoso-argilosos da cobertura sedimentar, profundos e geralmente bem desenvolvidos.

Ocorrem também areias quartzosas, sendo que esses últimos são caracterizados pelas texturas arenosas, de formação mais recente.

A área do aterro de Feira de Santana quanto a classificação dos solos faz parte do conjunto de solos do embasamento cristalino. Próximo às linhas de drenagens, ocorre solos

aluviais, desenvolvidos a partir de camadas depositadas pela ação dos rios. Que apresentam texturas e propriedades químicas diversificadas. Podem ocorrer nas margens das lagoas que pontilham na área dos tabuleiros. Através de observações em campo, constatou-se uma reduzida espessura de solo na área, sendo que a norte do aterro o recobrimento é maior em relação à área sul onde o capeamento de solo torna-se bem mais reduzido. Nesta área, nos solos derivados do embasamento, ocorre muita troca de cátions, devido a reduzida espessura dos solos provocando a fixação de contaminantes no solo. A espessura reduzida desses solo, aliada a composição arenosa no topo e areno-argilosa na base, facilita a infiltração, escoamento e recarga dos aquíferos da região (Fotos 4.1 a 4.4).

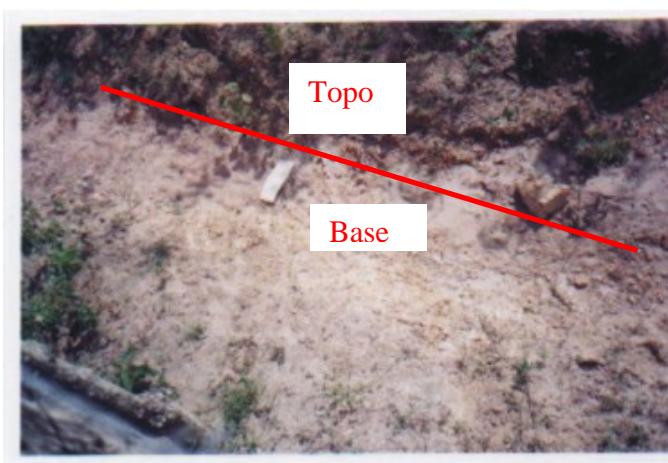


FOTO 4.1 Solo com composição arenosa no topo e argilosa na base



FOTO 4.2: Solo pouco desenvolvido fruto da decomposição do Embasamento



FOTO 4.3 Solos arenosos, área norte do aterro



FOTO 4.4: Cobertura arenosa na área noroeste do aterro, usada para cobrir os resíduos depositados no aterro

4.4 GEOLOGIA REGIONAL

4.4.1 Contexto Geológico Regional

O Estado da Bahia é quase que totalmente representado por rochas do Cratón do São Francisco, onde a área de enfoque deste trabalho se encontra em sua porção Nordeste. Para melhor entendimento, o Cratón do São Francisco no Estado da Bahia está dividido em: *i*) dois compartimentos estruturais, oeste e leste, divididos pelo Lineamento Contendas-Mirante, se encontram subdivididos em unidades, com idades do Arqueano e Proterozóico Inferior; *ii*) grandes conjuntos deposicionais do Proterozóico Médio e Superior; e *iii*) depósitos de coberturas Fanerozóicas (Figura 4.3). O Cinturão Salvador-Curaçá, Bloco Serrinha e o Bloco Jequié formam os principais compartimentos geotectônicos da área de trabalho (regional). Sendo que a área do aterro está totalmente inserida no contexto do Cinturão Móvel Salvador-Curaçá.

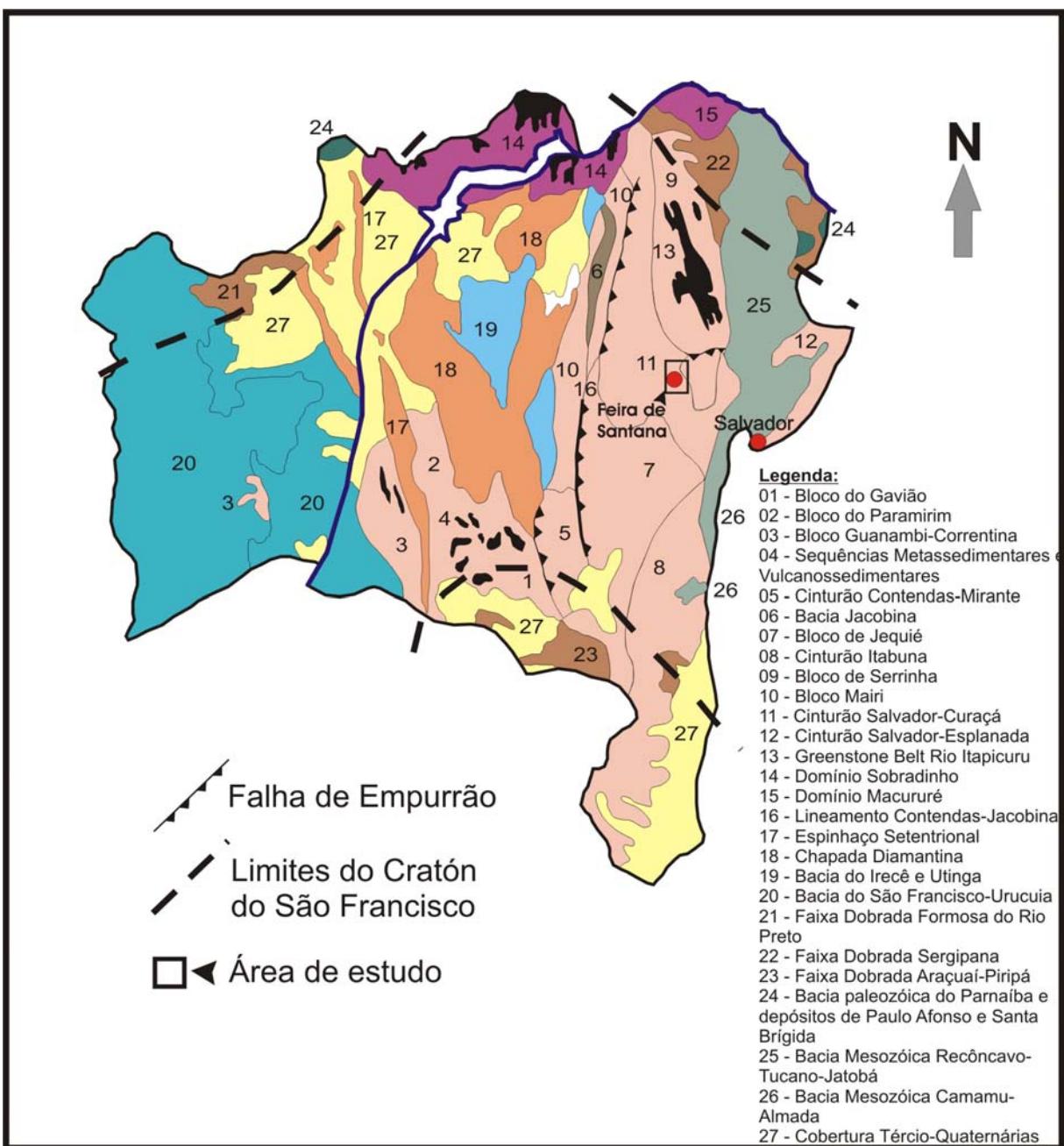


Figura 4.3: Principais unidades do Cratón do São Francisco no Estado da Bahia. (Modificado de Sapucaia, 2002)

4.4.2 Aspectos geológicos regionais

O substrato geológico da região de Feira de Santana, é caracterizado por apresentar dois grandes conjuntos litológicos principais: o embasamento cristalino de idade pré-cambriana, variando entre 2,0 – 3,0 Ga e as coberturas sedimentares terciário-quaternárias (Barbosa & Dominguez 1996). As rochas que compõem o embasamento cristalino são representadas por

unidades litoestratigráficas do Bloco Jequié e Cinturão Móvel Salvador-Curaçá, composto predominantemente por granitóides, gnáisses e migmatitos metamorfizados no fácies granulitos.

Na região, Bloco Jequié, a oeste do município de Feira de Santana, é constituído por gnáisses enderbíticos, charno-enderbíticos e chanockitos calcialcalinos de alto potássio e ortognáisses granulitzados com raras supracrustais e migmatitos granulíticos, além de migmatitos com supracrustais de idade Arqueana. (Figura 4.4 Mapa Geológico na Escala 1:1.000.000).

As rochas do Cinturão Móvel Salvador-Curaçá (complexo caraíba), a leste do município, são caracterizadas por gnáisses de composição tonalítica-trondjemítica-granodiorítica (TTG) da fácies granulito, com idades variando do Arqueano ao Paleoproterozóico. Ocorrem também ortognáisses da fácies anfibolito, por vezes migmatizados e sienitos a anfibólito e biotita e raro sienito a oligoclásio de Santanópolis de idade Paleoproterozóica.

As feições estruturais observadas no embasamento cristalino são representadas por falhamentos e fraturamentos regionais e com direção predominantemente N-S, E-W e N60E, (Figura 4.5 Mapa Geológico na Escala 1:100000). Em contato discordante com as rochas do embasamento afloram as Cobertura Sedimentar de idade Tercio-Quaternária (Grupo Barreiras). Esses sedimentos depositados no final do Fanerozóico, são formados por material clástico, compostos por argilas e areias avermelhadas apresentando níveis conglomeráticos basais, de origem continental, pouco consolidado, com matriz arenosa e algumas vezes ferruginosa.

O Grupo Barreiras, representado por arenitos finos a grossos com níveis argilosos e conglomeráticos, preenchem paleovales (canais de antigos vales) e depressões servindo como um divisor de águas das bacias do Jacuípe e Subaé. O material é bastante poroso e permeável sendo responsável pelo acúmulo e transmissão de águas subterrâneas, originando fontes e lagoas que geram as três micro bacias hidrográficas no município.

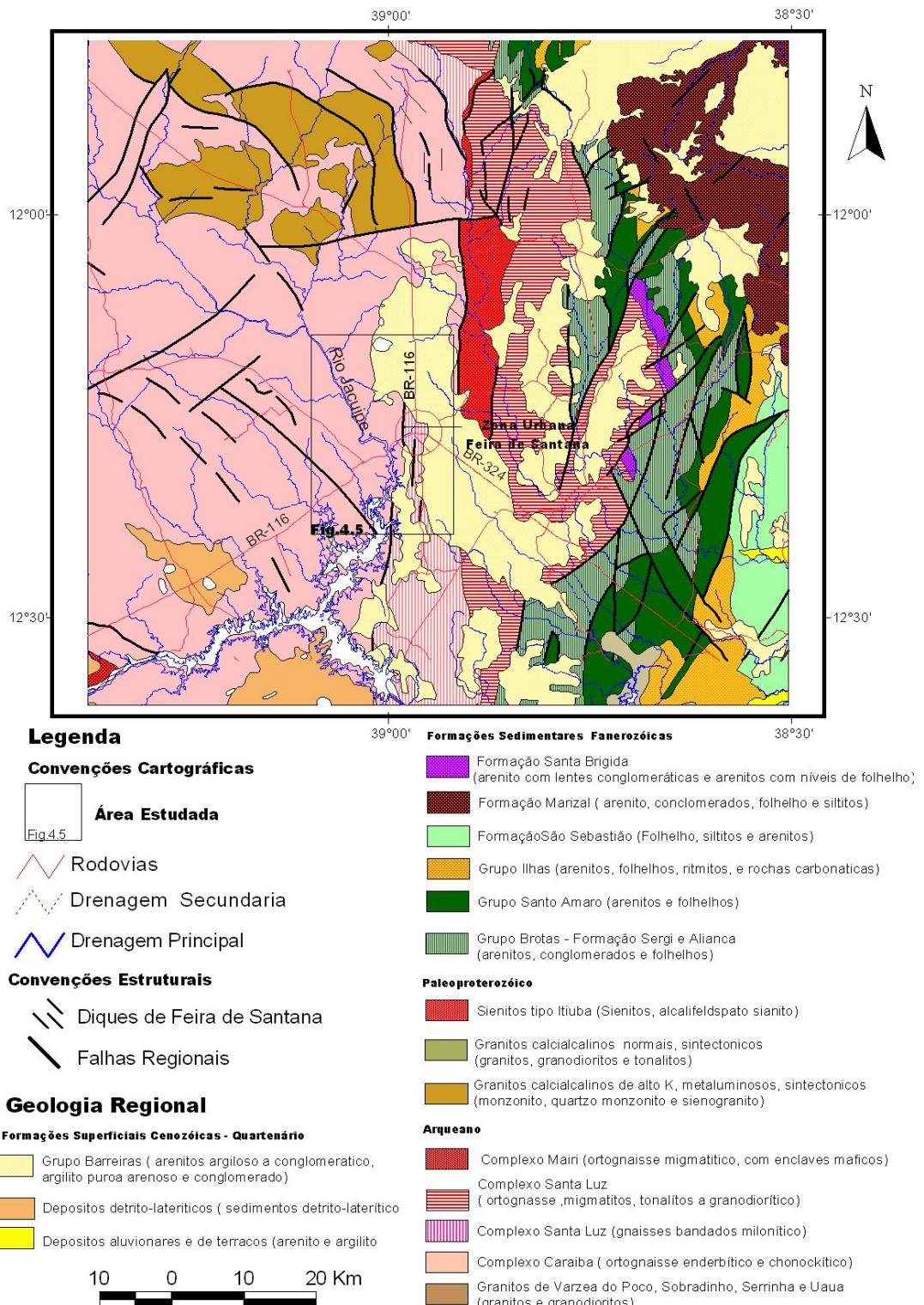


Figura 4.4: Mapa geológico da região de Feira de Santana (Fonte: Superintendência de Recursos Hídricos - SRH (Plano Estadual de Recursos Hídricos – Bahia, 2003)

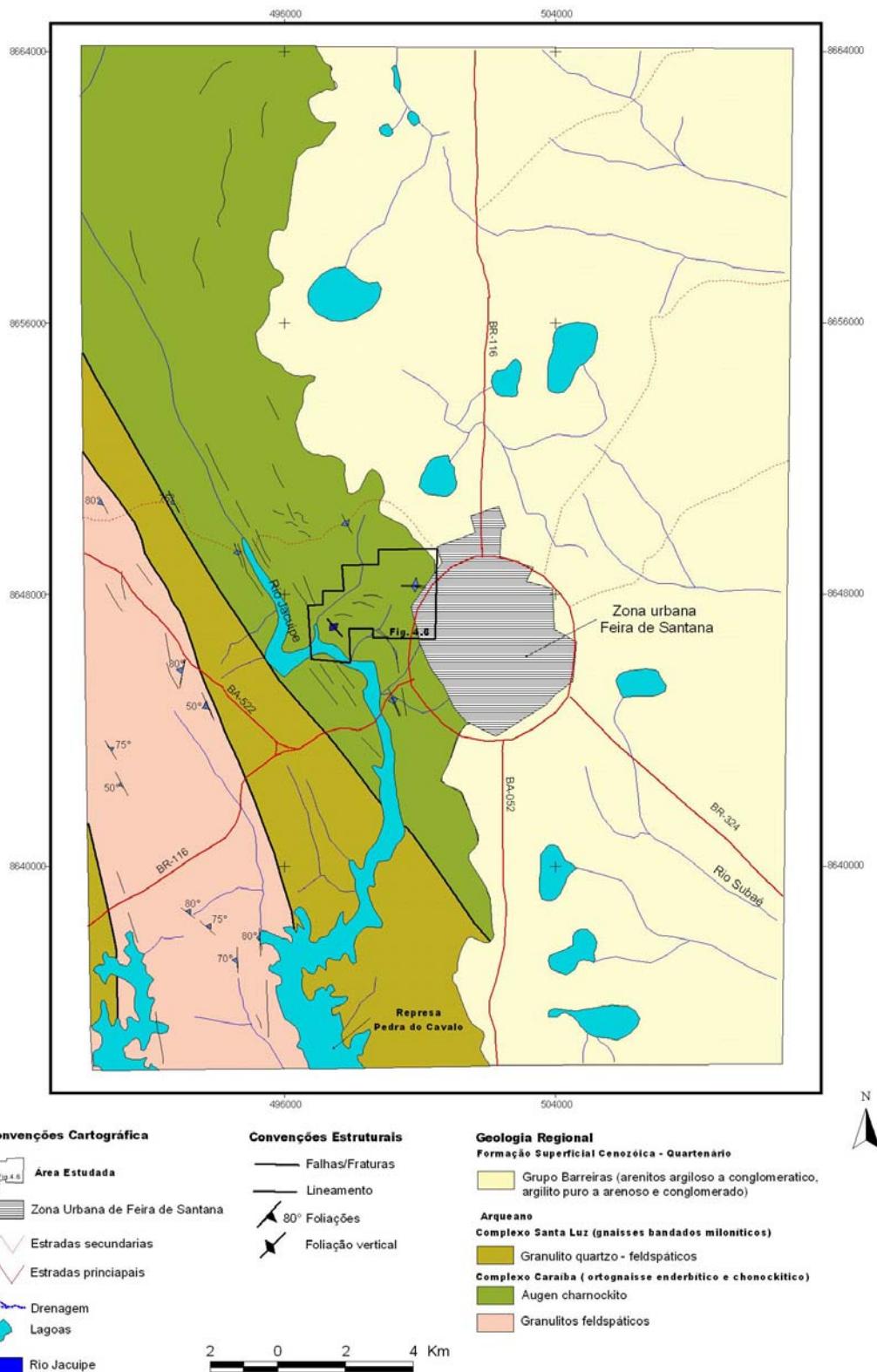


FIGURA 4.5: Mapa geológico da região de Feira de Santana (modificado de Fornari, 1998)

4.4.3 Caracterização geológicas da área do aterro.

Na área do aterro predomina as rochas do Embasamento Cristalino, conforme apresentado no mapa geológico na escala 1:16.000 (Figura 4.6). O mapeamento geológico de detalhe da região do aterro foi realizado com base em fotografias aéreas na escala 1:8.000 e trabalhos de campo. Através da fotografia aérea foi possível a definição dos principais padrões de fraturamento das rochas da área do aterro, os quais foram confirmados em seguida através do mapeamento geofísico e dos trabalhos de campo.

A geologia da área onde está posicionado o aterro municipal, é representado por duas unidades principais:

- Embasamento Cristalino (Complexo Caraíba)
- Cobertura Térreo-Quaternárias (Grupo Barreiras)

As rochas do Embasamento Cristalino estão representadas por tipos litológicos formados por charnockitos, enderbitos, ortognaisses granulitizados e ortognaisses do fácies anfibolito. Estas rochas compõem o substrato rochoso no qual o depósito de lixo foi implantado no ano de 1989 (Fotos 4.5 a 4.8).

Na porção leste do aterro as rochas de embasamento apresenta-se alteradas pelo intemperismo químico, revelando aspectos arenosos, com grãos de quartzo de diferentes granulometrias e predominantemente angulosos. São observadas também microfraturas preenchidas por caulim, resultante da dissolução do feldspato (Fotos 4.9 e 4.10).

Os lineamentos na área do aterro apresentam direção principal E-W e moderada densidade de fraturamentos. Observa-se a existência e três sistemas de fraturamentos predominantes: o primeiro, transversal aos lineamentos, com direção variando de N-S, N30E e N20W, com mergulho sub-vertical ora para Leste ora para Oeste; um secundário longitudinal aos lineamentos, com direção variando de E-W a N60W, com mergulho sub-vertical para Oeste.

Ocorre uma terceira direção de fraturamento diagonal aos lineamentos com direção N70E, com mergulho sub-vertical para SE. Estes fraturamentos favorecem a circulação da água subterrânea permitindo o possível fluxo da contaminação para o aquífero (Fotos 4.11 e 4.12).

As coberturas Tercio-Quaternária presentes na região do aterro apresenta-se na forma de manchas disformes. São depósitos essencialmente arenosos inconsolidados, mal selecionados, de granulação fina a média e subarredondados, podendo ser localmente areno-argilosos. Possuem coloração cinza a branca, com aproximadamente 1,5 m de espessura, constituído no topo por níveis arenosos e na base por sedimentos arenosos – conglomeráticos (Fotos 4.13 e 4.14).

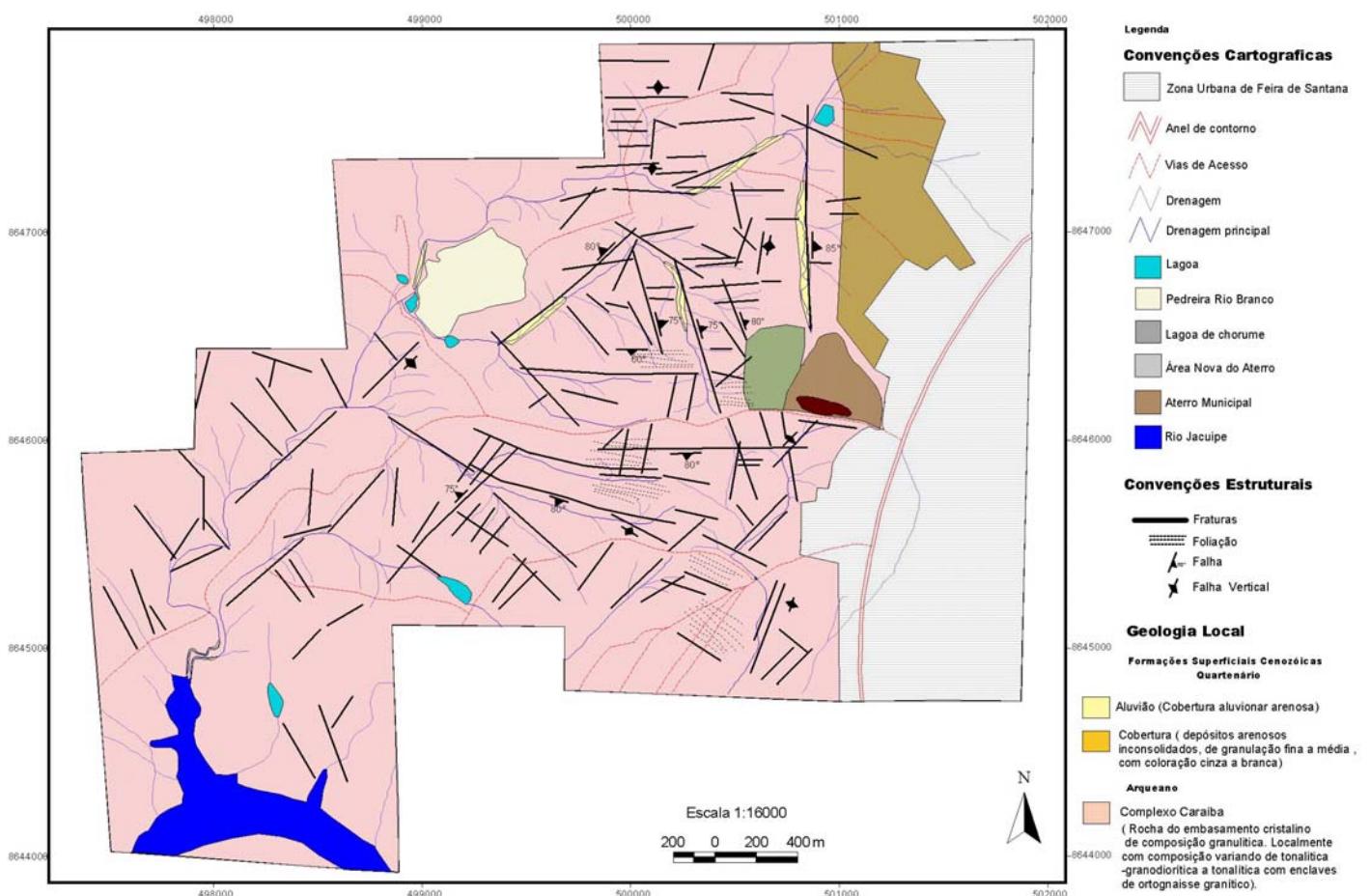


FIGURA 4.6: Mapa geológico da região do aterro municipal de Feira de Santana



FOTO 4.5: Rocha do embasamento de composição tonalítica – granodiorítica, mostrando fraturamento ortogonais à foliação



FOTO 4.6: Rocha do embasamento de composição tonalítica – granodiorítica, mostrando fraturamento ortogonais à foliação

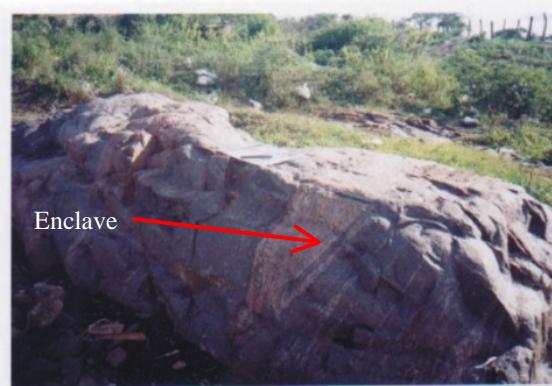


FOTO 4.7: Rocha do embasamento de composição tonalítica mostrando foliação com direção N265/70NW e enclave de ortognaisse granítico deformado



FOTO 4.8: Afloramento do embasamento mostrando sistema de fraturamento regional de direção N-S

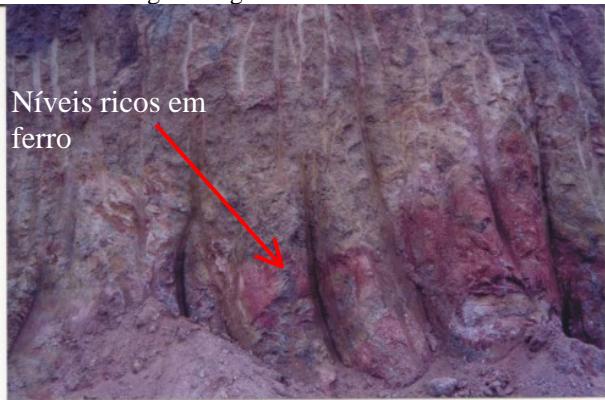


FOTO 4.9: Afloramento do embasamento alterado. Observa-se na base níveis avermelhados ricos em ferro



FOTO 4.10 : Detalhe de níveis ricos em ferro. São observadas também a presença de quartzo envolvido em uma matriz argilosa e microfraturas preenchidas por caulim



FOTO 4.11: Sistema de fraturamento na área do aterro.
Fraturas com direção N30/SV e foliação N 90/V



FOTO 4.12: Observa-se a presença de fraturas abertas que permitem a percolação de águas superficiais para o aquífero fissural. Fraturas com direção N20/V e foliação N100/SV



FOTO 4.13: Afloramento de solo de cobertura do embasamento na porção norte do Aterro



FOTO 4.14: Detalhe da estrutura da cobertura arenosa na região do aterro. Solo usado para cobertura final dos resíduos no Aterro municipal e como agregado para a construção civil na região

Nas principais drenagens a noroeste do aterro ocorrem coberturas aluvionares. Estes depósitos apresentam alta porosidade e permeabilidade destes sedimentos, possibilitando a percolação rápida de fluidos. Destaca-se que nestes locais, foram observados exudações de chorume no leito das drenagens dos riachos.

A possível infiltração do contaminante é favorecida pelas características de boa permeabilidade da zona não saturada e da zona alterada das rochas gnáissicas, caracterizando-se como uma zona de transferência da água de chuva para o aquífero fissural das rochas gnáissicas. As rochas do embasamento cristalino da região são usadas como agregados minerais para a construção civil na cidade de Feira de Santana e municípios vizinhos, com aplicações especiais

como brita e paralelepípedos para calçamentos de ruas. A exploração deste material se dá sob a forma de pedreiras mecanizadas (ex: Pedreira Rio Branco) e pequenas exploração rudimentares nas vizinhanças do aterro (Figuras 4.15 e 4.18).

As areias do Grupo Barreiras são usadas para produção da argamassa na indústria da construção civil, enquanto as argilas são usadas na confecção de blocos, tijolos e telhas. Os depósitos de cobertura da referida área, constitui o principal material usado para o recobrimento dos resíduos após a disposição no aterro.



FOTO 4.15: Feição geral da cobertura aluvionar na porção norte do Aterro. Unidade geológica com alta porosidade e permeabilidade, possibilitando a contaminação da zona não saturada e saturada.



FOTO 4.16: Detalhe da cobertura aluvionar em leito de riacho na porção norte do Aterro. Observa-se a presença de chorume e lixo no leito da drenagem.



FOTO 4.17: Rocha do embasamento utilizada como agregado para a construção civil. Pedreira artesanal situada na porção nordeste do Aterro



FOTO 4.18: Observa-se que a queima de pneus, recolhidos no Aterro, é utilizado no processo de extração dos blocos de rochas para a produção de britas

4.5 Recursos Hídricos

Com relação à distribuição hídrica, o município de Feira de Santana situa-se entre a bacia do Rio Paraguaçu e as bacias do Recôncavo Norte, assentado num planalto que é divisor de águas de três sub-bacias: a do Rio Jacuípe, que pertence a bacia do Paraguaçu a oeste da cidade; a do Rio Pojuca, a leste, e do Rio Subaé ao sul que pertencem ao conjunto das bacias do Recôncavo Norte. Além disso possui por volta de 50 lagoas e dezenas de nascentes.

O crescimento das atividades industriais, agropecuárias e comerciais em qualquer região, leva a modificações nas condições hidrogeológicas, refletindo no ciclo hidrológico e consequentemente na bacia hidrográfica.

A hidrologia da área caracteriza-se pela existência de dois setores diferentes, segundo Almeida (1992). O primeiro localizado sobre o tabuleiro, formado pelas lagoas e algumas nascentes e o segundo situado sobre o embasamento cristalino, onde a configuração da rede hidrográfica é controlada pelas condições geológicas (depressões, vales bem formados etc.) .

4.5.1 Recursos Hídricos Superficiais.

Nas zonas rebaixadas dos planaltos, sobre a cobertura sedimentar, encontra-se alojada a rede hidrográfica consistindo das nascentes, lagoas riachos e rios. As nascentes contribuem para os riachos e lagoas, que se incorporam aos rios da cidade de Feira de Santana, compondo as micro-bacias hidrográficas, estas pertencente as bacias hidrográficas do Paraguaçu e Recôncavo Norte, separadas por um divisor de águas (Rocha *et al.*, 1994) (Figura 4.7).

O rio Jacuipe, afluente do Paraguaçu, é o mais importante da região, a oeste da cidade escoa por entre as rochas cristalinas, apresentando ao longo do leito depósitos aluvionares e águas com elevada salinidade. Sua nascente encontra-se no município de Morro do Chapéu desaguando no rio Paraguaçu próximo a Conceição de Feira. Trata-se de um curso d'água raso, com leito largo, cujas maiores vazões ocorre entre novembro e abril (Rocha *et al.*, 1994).

A área do aterro é formada por riachos intermitentes pouco encaixados e com pequenos terraços fluviais. Entre estes os principais ocorrem nas vertentes norte e sul do aterro, encaixados em zonas de fraturamentos de direção N-S e onde foram observados durante os trabalhos de campo, exudações de chorume do aterro, mesmo nos períodos de baixa precipitação. As águas destes riachos são drenados para o rio Jacuípe, que está situado a cerca de 5 Km a noroeste do aterro.

No entorno do aterro ocorrem varias lagoas, as quais são utilizadas por pequenos agricultores para irrigação de culturas de subsistência e dessedentação de animais (Fotos 4.19 a 4.22). Também ocorre próximo a Pedreira Rio Branco uma cachoeira que é utilizada como ambiente de lazer por moradores das comunidades vizinhas ao aterro.

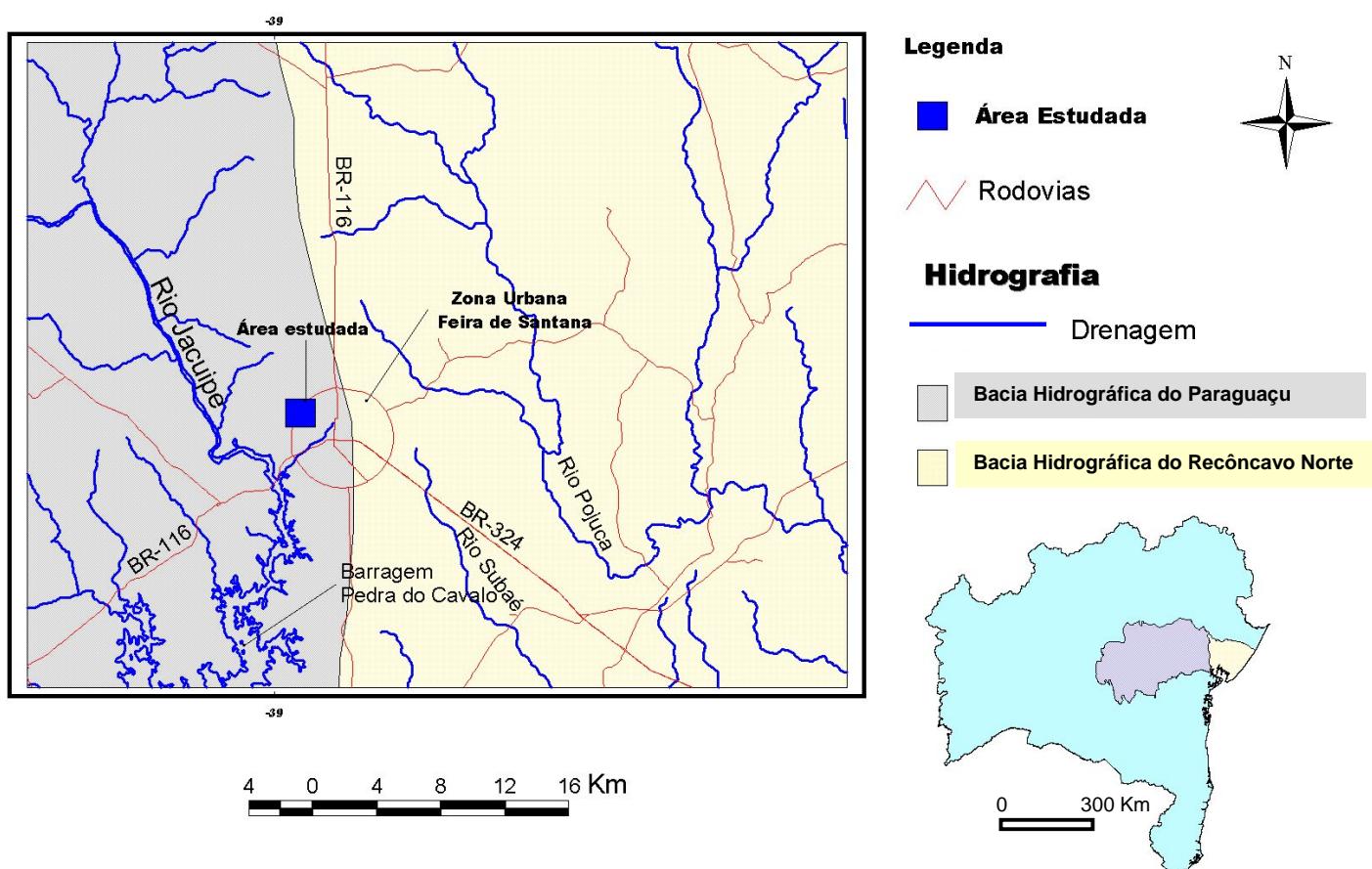


Figura 4.7: Mapa hidrográfico da região de Feira de Santana (Fonte: SRH (Plano Estadual de Recursos Hídricos – Bahia, 2003).



FOTO 4.19: Pequena cachoeira situada na porção noroeste do Aterro. Usada como opção de lazer pela comunidade do entorno



FOTO 4.20: Água de uma das lagoas do entorno do aterro usado para consumo animal e como opção de lazer da comunidade.



FOTO 4.21: Lagoa do entorno do aterro usada para consumo e dessedentação animal



FOTO 4.22: Planície aluvionar utilizada para o cultivo de culturas de subsistência, (feijão e milho)

O nível da água das lagoas na área varia a depender do substrato em que estão assentadas e da pluviometria, algumas delas contribuem para a água subterrânea durante o período de estiagem. Há também contribuição da rede de esgotamento sanitário de conjuntos habitacionais próximo do aterro para as drenagens da área. Destaca-se também que na porção norte do aterro encontra-se a estação de tratamento de esgoto do bairro Feira IV.

Outro aspecto que contribui para o comprometimento da qualidade das águas superficiais do entorno do aterro é o descarte de lixo nas drenagens e a exudações do chorume do aterro, nas zonas fraturadas e no leito dos riachos existente na área (Fotos 4.23 a 4.32).



FOTO 4.23: Disposição de esgoto sanitário sem tratamento nas proximidades do aterro.



FOTO 4.24: Disposição de esgoto sanitário sem tratamento as margens do Anel de Contorno próximo ao aterro.



FOTO 4.25: Lagoa de tratamento de esgoto do conjunto habitacional Feira IV situado na porção norte do aterro



FOTO 4.26: Disposição inadequada de lixo e criação intensiva de suínos nas proximidades do aterro.



FOTO 4.27: Presença de chorume nas águas superficiais e no solo na porção norte do aterro.



FOTO 4.28: Exudação do Chorume.



FOTO 4.29: Detalhe do Chorume na região noroeste do aterro.



FOTO 4.30: Detalhe da ocorrência de chorume na porção norte do aterro



FOTO 4.31: Presença do Chorume no leito do riacho na região sul do aterro.



FOTO 4.32: Vale na região sul do aterro com presença de Chorume nas águas. Situado a jusante da lagoa de Chorume.

4.5.2 Recursos Hídricos Subterrâneos.

Algumas lagoas que ocorrem na área do município funcionam como alimentadoras do aquífero, estando secas nos períodos de estiagens; enquanto outras assentadas diretamente sobre o embasamento cristalino ou mesmo sobre a Grupo Barreiras, estão sempre com uma coluna de água.

A água subterrânea assume importância relevante pelas condições climáticas da região, sendo utilizada como alternativa de abastecimento de água para estabelecimentos comerciais, empresas de prestação de serviços, indústrias e/ou uso residencial.

Na região de Feira de Santana, as águas de sub-superfície estão distribuídas em três unidades:

- (i) Sistema aquífero fissural (Embasamento Cristalino), caracterizando-se por acúmulo de água em porosidade secundária relacionada e zonas de falhas e fraturas presentes no embasamento cristalino (vazão em torno de 3,40 m³/h e salinidade entre 1500 e 3300 mg/l);
- (ii) Sistema aquífero granular profundo, ocorrendo em paleovales da unidade sedimentar Do grupo Barreiras, sendo confinado por lentes argilosas (vazão média de 10, 20 m³ /h e índices de salinidade em torno de 250 mg/l);
- (iii) Sistema aquífero granular livre, encontrado a profundidade menores da unidade sedimentar (com vazão de 5,97 m³ /h e índices de salinidade em torno de 300 mg/l).

Na área do aterro as águas subterrâneas estão hospedadas no aquífero fissural do embasamento cristalino. Os lineamentos que compõem estes sistemas aquíferos apresentam moderada densidade de fraturamento como visto na parte da geologia. Esses fraturamentos favorecem a circulação da água subterrânea permitindo o fluxo de possíveis contaminantes provenientes do aterro e também da rede de esgotos existentes no seu entorno.

4.5.3 Hidrogeologia Local.

A infiltração de possíveis contaminantes é favorecida pelas características de boa permeabilidade da zona não saturada e da zona alterada das rochas gnáissicas, caracterizando-se como uma zona de transferência da água de chuva para o aquífero fissural das rochas gnáissicas da área do aterro. Nestes sistemas de fraturamentos, foram locados e perfurados os poços de monitoramento do aterro, através do uso da investigação fotogeológica, geológica e geofísica. Estes trabalhos visaram a caracterização das principais zonas saturadas e a definição da geometria dos fraturamentos, objetivando a caracterização das zonas de percolação do chorume, e o mapeamento das possíveis plumas de contaminação do aterro municipal.

Após a execução das sondagens na área do aterro, observou-se que localmente, o solo em torno do aterro tem profundidade média de 3 metros sendo areno-argiloso com coloração cinza escura. Já a rocha alterada tem uma profundidade média de 10 metros, sendo esta bastante friável e de coloração amarelada.

Do ponto de vista hidrogeológico observou-se que, a concentração das principais fraturas com entrada de água, estão presente na rocha alterada (zona não saturada) entre as profundidades de 5 a 9 metros. A zona não alterada também, exibe micro-fraturas com profundidades variáveis, mas concentrando-se as entradas de águas em torno de 20 metros. Após limpeza e teste de desenvolvimento nos poços a vazão média encontrada foi de 1000 l/h.

Observou-se também que o aquífero é rapidamente realimentado logo após um período de chuvas, essa realimentação rápida é devido a grande quantidade de fraturas existente, e reduzida espessura do solo local que faz com que a área de realimentação seja extensa.

Capítulo 5

5. INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA - VLF “VERY LOW FREQUENCY”

5. 1 Introdução

Tendo como objetivo uma melhor visualização do comportamento geológico-estrutural e consequentemente hidrogeológico de uma área, se faz necessário também, a realização de estudos geofísicos que complementarão a definição do modelo hidrogeológico da área. Das metodologias geofísicas para o reconhecimento geológico, atualmente utilizadas em áreas de rochas do embasamento cristalino, observa-se que a sísmica de refração e reflexão não fornece respostas satisfatórias e é de elevado custo. Geralmente nessas áreas utiliza-se o método de eletroresistividade e os métodos eletromagnéticos (Mello,1997a).

Dos métodos eletromagnéticos, um dos mais utilizados para a detecção, definição e caracterização de zonas de fraturamentos é o método VLF (Very Low Frequency), que se utiliza a emissão de ondas eletromagnéticas por antenas internacionais fixas ou por fonte transportáveis. Dos métodos eletromagnéticos de campos variáveis atualmente utilizados, o método VLF, vem se destacando nas pesquisas de água subterrânea em zonas fraturadas e cársticas (Mello,1997a).

A principal característica do VLF é a utilização de ondas eletromagnéticas de rádio como campo primário. O método VLF moderno iniciou-se com a utilização das ondas geradas por antenas militares de grande potência distribuídas por toda a Terra, e que operam na faixa de freqüência de 15 a 30 KHz. Estas freqüências permitem que as ondas penetrem nos solos e nas rochas, sendo utilizado na prospecção hidrogeológica.

O princípio baseia-se na emissão de uma onda eletromagnética que se propaga horizontalmente gerando um campo primário. Assim, numa pequena área, distante da fonte indutora, um corpo condutor ou uma zona de baixa resistividade dentro de um corpo de elevada resistividade, será submetido a um campo magnético horizontal e homogêneo. Estes corpos condutores verticais ou inclinados, como uma fratura preenchida por água, cuja direção da fratura, for paralela à direção de propagação das ondas de rádio, será atravessada por um fluxo magnético, sendo induzido a circulação de uma corrente elétrica, a qual, promoverá a criação de

um novo campo magnético, secundário, de comportamento ortogonal ao campo primário. Este campo magnético secundário será somado, vetorialmente, ao campo magnético primário, resultando a um novo campo resultante. Assim, somente as fraturas posicionadas paralelamente a propagação da onda eletromagnética podem ser detectadas pelos equipamentos de VLF (Figura 5.1). Entretanto, devido ao grande numero de estações de emissão desse tipo de ondas de baixa freqüência e a sua distribuição nos mais diversos países do planeta, é geralmente possível selecionar uma fonte emissora paralela as fraturas a serem detectadas Mello, 1997b.

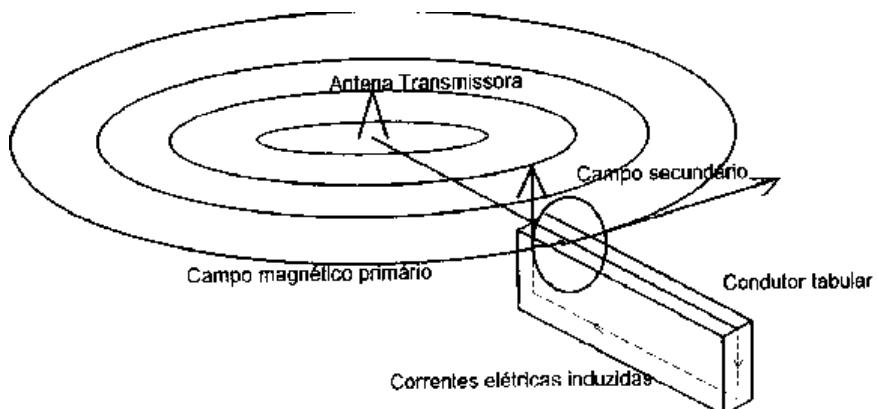


FIGURA 5.1: Princípio da emissão de uma onda eletromagnética

Ao realizar-se um caminhamento com equipamento VLF, obtêm-se os valores referentes ao campo magnético secundário e do campo magnético resultante, obtendo-se o percentual do campo magnético resultante que foi induzido no campo magnético secundário. Do campo magnético secundário obtêm-se a componente em fase com o campo primário, denominada componente vertical ou real, e a componente em diferença de fase ou quadratura com o campo primário, denominada componente horizontal ou imaginária.

Os dados de campo obtidos pelos equipamentos de VLF podem ser representados em forma de perfis construídos com as duas curvas, uma com a variação da componente real e a outra com a variação da componente imaginária, sendo que, para estas apresentações seleciona-se uma profundidade a ser representada (Mello, 1997 a).

Um dos equipamentos mais utilizados atualmente é um de fabricação sueca denominado “WADI” (Foto 5.1). Este equipamento, embora de aparência simples, incorpora avançadas tecnologias e uma nova filosofia que está surgindo neste campo, dando ao método VLF, agilidade nos levantamentos de campo e precisão na interpretação dos dados.

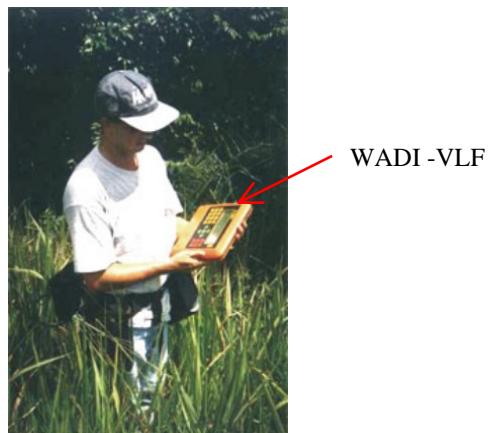


FOTO 5.1: WADI – Equipamento mais utilizados no método VLF.

O equipamento “WADI” consegue detectar as fraturas preferencialmente posicionadas transversalmente ao caminhamento, podendo ainda mostrar estruturas posicionadas diagonalmente em até 30° graus, em relação ao eixo do levantamento, indicando o mergulho, comportamento em profundidade de fraturas, falhas, contatos geológicos, lineamentos e representativas variações de composição das rochas. Este método não detecta fraturas horizontais, assim como, quaisquer estruturas ou com ângulos de inclinação menores que 30° graus, assim como, quaisquer estruturas geológicas de posicionamento subhorizontal..É de suma importância, citar que este método não define a presença de água, qual o volume presente na fratura, assim como, a qualidade físico-química desta água subterrânea (Mello, 1997 b).

A principal desvantagem deste método está na necessidade de realizar-se estudos geomorfológicos, fotogeológicos, geológicos e estruturais anteriores ao levantamento geofísico, pois o reconhecimento anterior dos tipos de fraturamentos presentes é de vital importância para a definição do posicionamento dos caminhamentos geofísicos, para que apresentem resultados significativos, deverão ser realizados perpendiculares as estruturas de fraturamentos a serem reconhecidas em profundidade. Os caminhamentos devem ser realizados em uma direção de caminhamento posicionada preferencialmente na transversal, ou com um desvio menor que 30°

graus em relação ao caminhamento. Caminhamentos realizados com ângulos maiores geralmente não detectam as estruturas presentes, ou mostram estruturas erôneas, devido ao mergulho aparente da fratura em que foi realizado o caminhamento.

Desta desvantagem resulta que, antes de realizar-se um estudo geofísico com o método VLF será necessário a realização de estudos geológicos que demandariam tempo e custo elevado, sendo necessário a utilização de hidrogeólogos experientes em aquíferos fissurais e cársticos, pois somente o uso conjunto destas ferramentas serão capazes de minorar os riscos inerentes da difícil tarefa de avaliar o arcabouço dos aquíferos fissurais e cársticos (Mello, 1998).

O método geofísico VLF, vêm sendo aplicado com muita freqüência em terrenos cristalinos em todo Brasil, principalmente no nordeste nos Estados do Ceará e Pernambuco. (Assis, 1996), fez a aplicação de uma nova técnica para locação e perfuração de poços na região de Alagoinha -PE. Ele utilizou o levantamento geofísico VLF para estudos de detalhamento de prospecção de águas subterrâneas em rochas cristalinas demonstrou que pode alcançar bons resultados e elevar o número de perfurações com sucessos. A aplicabilidade do método para a locação de poços mostrou-se eficiente, visto que se conseguiu uma vazão expressiva (5.800 l/h), numa região cristalina, de baixa média pluviométrica anual (640 mm) e considerada como de má vocação hidrogeológica.

A aplicação do método geofísico VLF (Very Low Frequency), tem-se mostrado eficiente nas pesquisas de água subterrânea em regiões cristalinas também do Estado do Ceará . Segundo (Leite, 1994), dos 60 poços locados e perfurados com o método supra-citado, 87% foram considerados produtivos, de acordo com os critérios estabelecidos pelos órgãos oficiais de financiamento, para perfuração de poços, ou seja, vazão mínima de 200 l/h.

O método VLF apresenta versatilidade e rapidez nos caminhamentos, respostas precisas na indicação das anomalias e viabilizou-se, como bom segmento econômico, na locação de poços tubulares profundos em função da quantidade de poços não produtivos em terrenos cristalinos. A geofísica constitui-se, então, numa importante ferramenta auxiliar na locação de poços, conhecendo-se, todavia, as limitações dos métodos.

5.2 Metodologia do estudo geofísico

Os trabalhos foram realizados em três etapas:

Na primeira etapa, foram realizados estudos geomorfológicos, fotogeológicos, geológicos-estruturais, tendo como objetivo a determinação e caracterização dos fraturamentos presentes na área, e assim, para cada estrutura de fraturamento detectada foi selecionada uma direção específica, para o caminhamento de perfis geofísicos a serem realizados. Para realização destes estudos, utilizu-se fotos aéreas na escala 1:8.000.

Na segunda etapa, foram realizados perfis geofísicos eletromagnéticos de VLF (Very Low Frequency) (Fotos 5.2 e 5.3). Estes trabalhos objetivaram a determinação das direções dos fraturamentos, sendo estes perfis apresentados no Apêndice-1.



FOTO 5.2: Levantamento geofísico – VLF na área norte do aterro.



FOTO 5.3: Levantamento geofísico – VLF na área sul do aterro, a jusante da lagoa de chorume.

Na terceira e última etapa foi realizada a interpretação geofísica e hidrogeológica dos perfis geofísicos realizados e finalmente a determinação do posicionamento mais favorável para perfuração dos poços de monitoramento.

5.3 Apresentação dos dados geofísicos

A partir da metodologia elaborada por (Mello, 1997a) para execução de estudos geofísicos eletromagnéticos de VLF, foram realizados 8.100 metros de caminhamento geofísicos (Figura 5.2), distribuídos nas áreas a seguir descremadas:

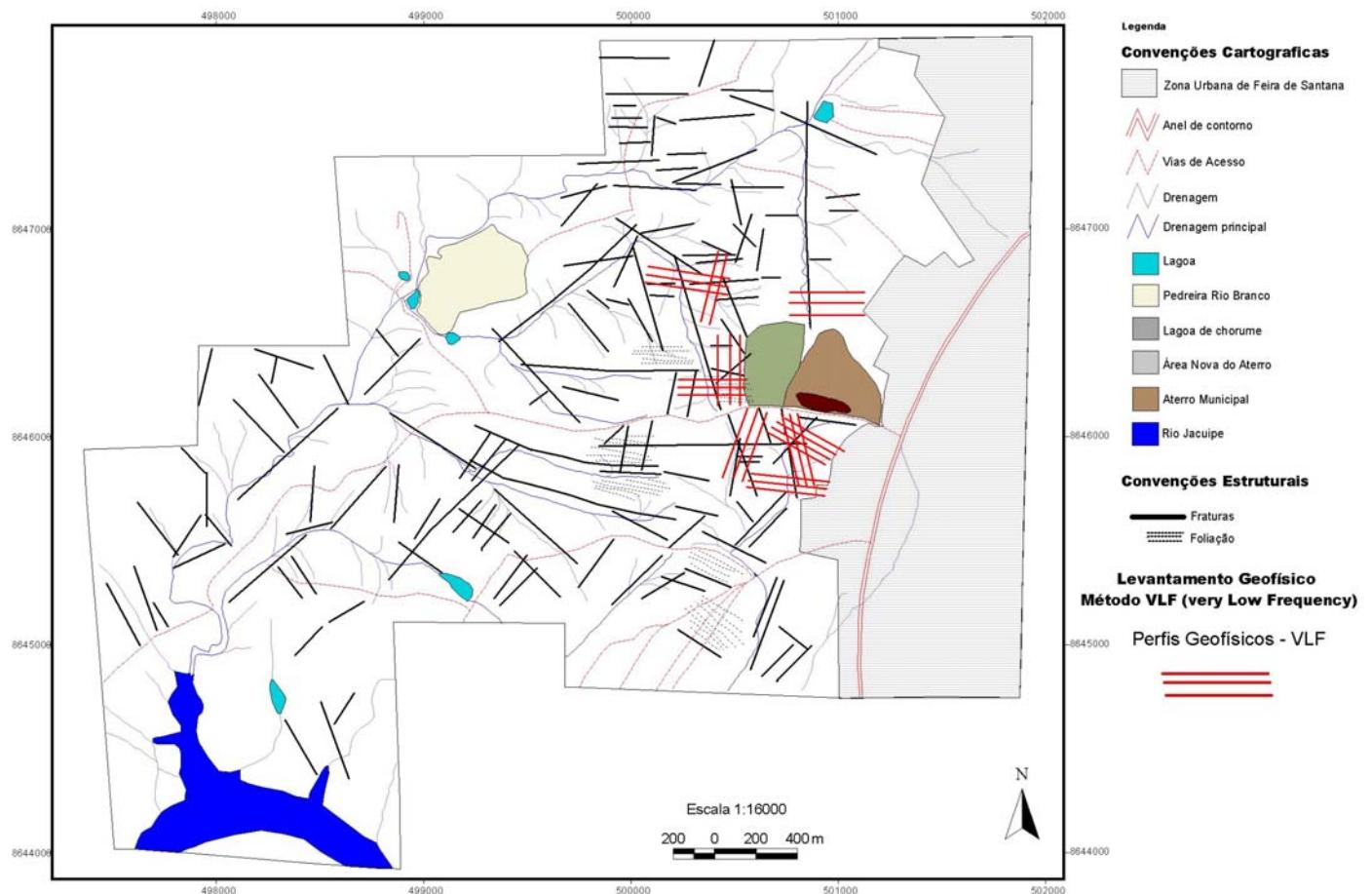


FIGURA 5.2: Levantamento Geofísico na área do aterro municipal de Feira de Santana

Área Norte do Aterro Sanitário

O estudo hidrogeológico mostrou a ocorrência de uma zona de fraturas, transversais aos lineamentos das rochas gnáissicas, com direção N-S, associada a drenagem na mesma direção. Tendo como objetivo a definição estrutural desta zona de fraturamento foram realizados 3 (três) perfis de direção E-W, sendo percorrido de E-W.

Área Sul do Aterro Sanitário

O estudo hidrogeológico mostrou a ocorrência de três zonas de fratura, duas transversais aos lineamentos das rochas gnáissicas, uma com direção N10E e outra com direção N30E, e uma outra com direção diagonal aos lineamentos, com direção N70E. Os fraturamentos de direção N70E estão associados a uma drenagem de mesma direção. Os fraturamentos de direção N10E e N30E não estão associados a drenagens. Tendo como objetivo a definição estrutural destas zonas de fraturamentos foram realizados 3 (três) perfis de direção N80W, 4 (quatro) perfis na direção N60W e 3 (três) perfis na direção N20W.

Área Sudoeste do Aterro Sanitário

O estudo hidrogeológico mostrou a ocorrência de uma zona de fraturas, longitudinal aos lineamentos das rochas gnáissicas, com direção N80W, associada a drenagem na mesma direção. Tendo como objetivo a definição estrutural desta zona de fraturamento foram realizados 3 (três) perfis de direção N10E.

Área Oeste do Aterro Sanitário

O estudo hidrogeológico mostrou a ocorrência de duas zonas de fraturas, uma transversal aos lineamentos das rochas gnáissicas, com direção N-S, e outra, longitudinal aos lineamentos, com direção E-W. Os fraturamentos de direção N-S estão associados a uma drenagem de mesma direção. Os fraturamentos de direção E-W também estão associados a uma drenagem. Tendo como objetivo a definição estrutural destas zonas de fraturamento foram realizados 3 (três) perfis de direção E-W e 3 (três) perfis na direção N-S.

Área Noroeste do Aterro Sanitário

O estudo hidrogeológico mostrou a ocorrência de duas zonas de fraturas, uma transversal aos lineamentos das rochas gnáissicas, com direção N10E, e outra, longitudinal aos lineamentos, com direção N80W. Os fraturamentos de direção N10E estão associados a uma drenagem de mesma direção. Os fraturamentos de direção N80W também estão associados a uma drenagem. Tendo como objetivo a definição estrutural destas zonas de fraturamento foram realizados 2 (dois) perfis de direção N10E e 3 (três) perfis na direção N80W

5.4 Resultado obtido e locação dos poços de monitoramento

Área Norte do Aterro Sanitário

No perfil **P5996E**, no **Ponto 218**, foi efetuada locação de um poço de monitoramento para o aquífero fissural, denominada de **PZ 1 - NORTE**. Esta locação está situada a Oeste da drenagem, distante 2,0 metros do centro desta drenagem (Figura 5.3).

No perfil **P5995E**, no **Ponto 200**, foi efetuada locação de um poço de monitoramento para zona não saturada e para rocha alterada denominada de **PM NS 3 - NORTE**. Esta locação está situada a Leste da drenagem, distante 1,0 metro do centro desta drenagem (Figura 5.4).

No perfil **P5994E**, no **Ponto 200**, foi efetuada locação de um poço de monitoramento para zona não saturada e para rocha alterada denominada de **PM NS 2 – NORTE**. Esta locação está situada a Leste da drenagem, distante 2,0 metros do centro desta drenagem (Figura 5.5).

Entre o perfil **P5994E** e a base do aterro sanitário junto a base deste aterro sanitário foi efetuada uma outra locação de poço de monitoramento para zona não saturada e para rocha alterada denominada de **PM NS 1 – NORTE**. Esta locação está situada a Leste da drenagem, distante 2,0 metro do centro desta drenagem.

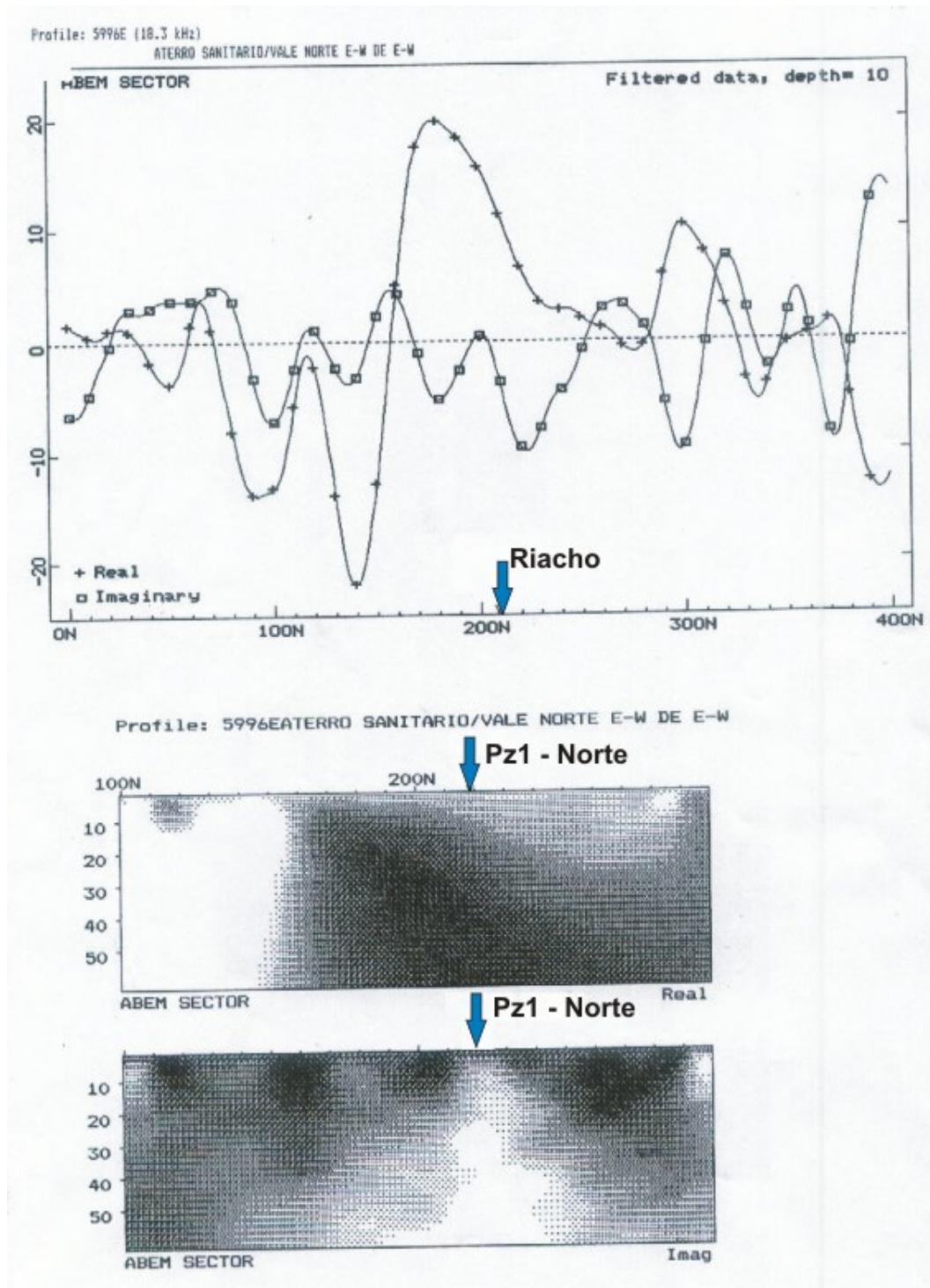


Figura 5.3: Locação do poço de monitoramento PZ1-Norte (Mello, 2002)

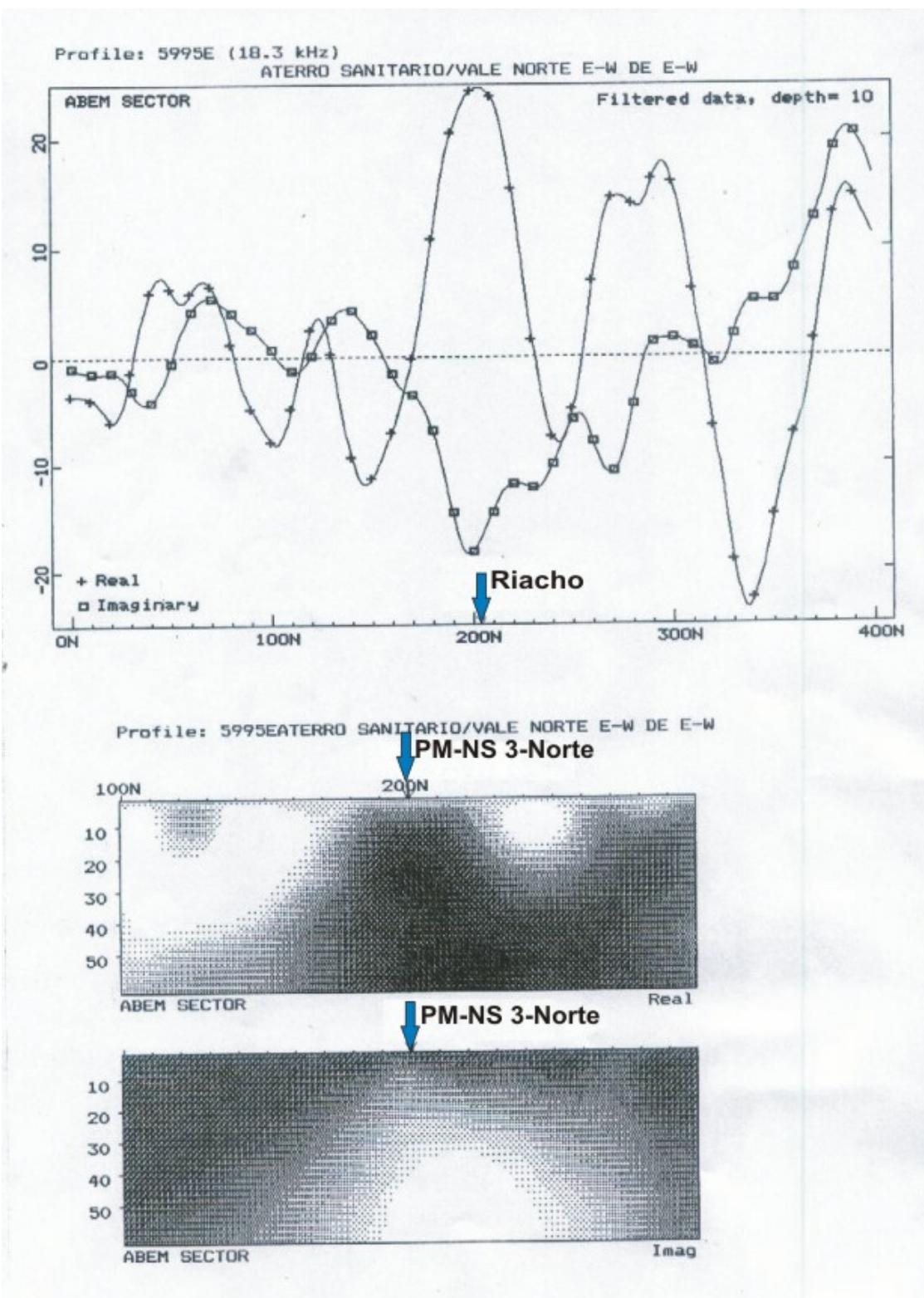


Foto 5.4: Locação do poço de monitoramento PM-NS 3-Norte (Mello, 2002)

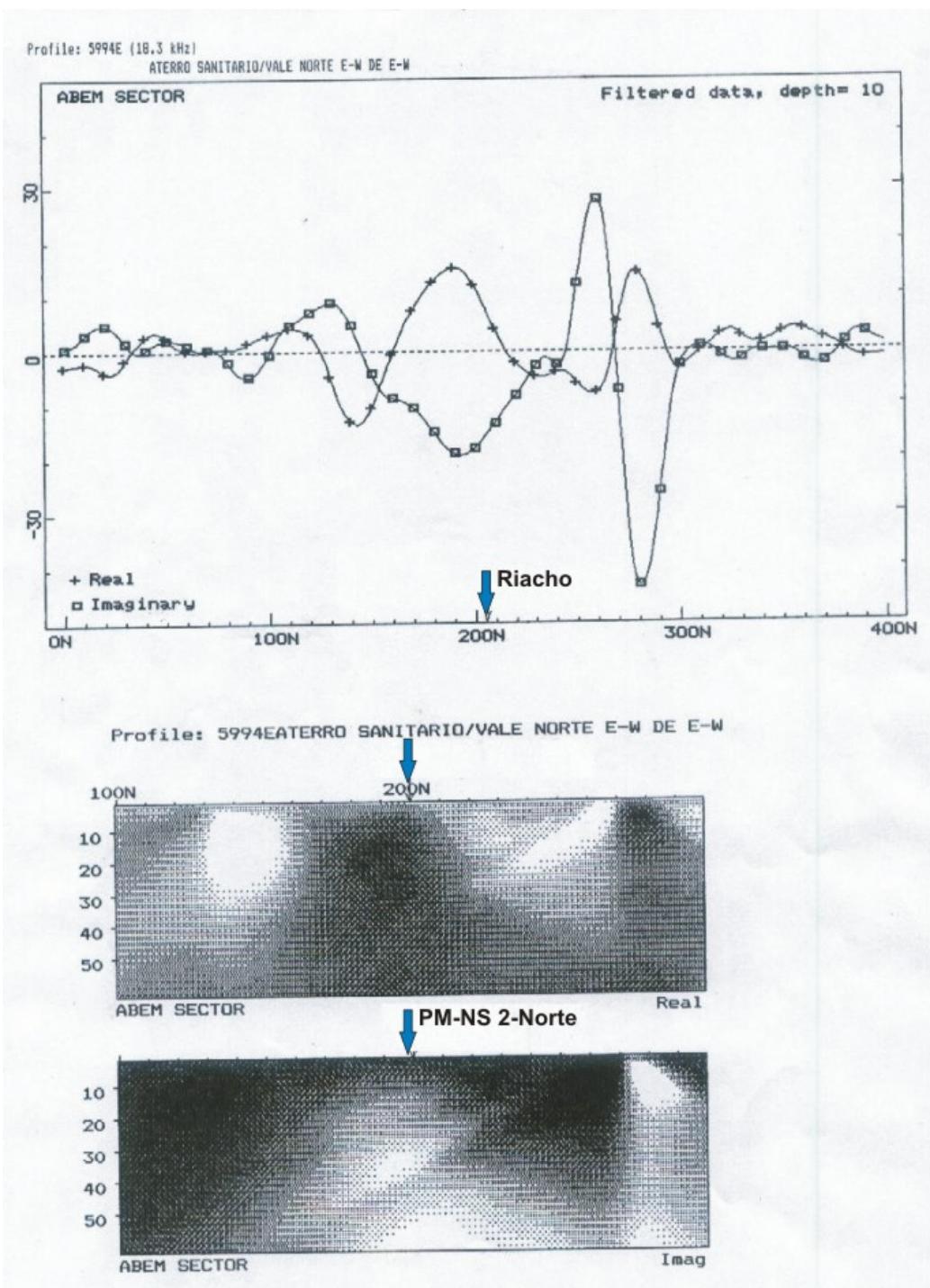


Figura 5.5: Locação do poço de monitoramento PM-NS 2-Norte (Mello, 2002)

Área Sul do Aterro Sanitário

No perfil **P9775E**, no **Ponto 160**, foi efetuada locação de um poço de monitoramento para aquífero fissural, denominada de **PZ 2 – SUL**. Esta locação está situada a Oeste da drenagem, distante 2,0 metros do centro desta drenagem (Figura 5.6).

No perfil **P8444E**, no **Ponto 190**, foi efetuada a locação de um poço de monitoramento para o aquífero fissural, denominada de **PZ 1 – SUL**. Esta locação está situada a Leste da drenagem, distante 4,0 metros do centro desta drenagem (Figura 5.7).

No perfil **P8444E**, no **Ponto 195**, foi efetuada locação de um poço de monitoramento para zona não saturada e para rocha alterada denominada de **PM NS 1 – SUL**. Esta locação está situada a Leste da drenagem, distante 1,0 metro do centro desta drenagem.

Área Sudoeste do Aterro Sanitário

No perfil **P9445E**, no **Ponto 160**, foi efetuada locação de um poço de monitoramento para o aquífero fissural, denominada de **PZ 1 – SUDOESTE**. Esta locação está situada no meio da drenagem (Figura 5.8).

Área Oeste do Aterro Sanitário

No perfil **P7646E**, no **Ponto 230**, foi efetuada locação de um poço de monitoramento para o aquífero fissural, denominada de **PZ 1 – OESTE**. Esta locação está situada a Sul da drenagem, distante 20,0 metros do centro desta drenagem (Figura 5.9).

Área Noroeste do Aterro Sanitário

No perfil **P8894E**, no **Ponto 280**, foi efetuada locação de um poço de monitoramento para o aquífero fissural, denominada de **PZ 1 – NOROESTE**. Esta locação está situada no meio da drenagem (Figura 5.10).

No perfil **P8844E**, no **Ponto 210**, foi efetuada locação de um poço de monitoramento para o aquífero fissural, denominada de **PZ 02 – NOROESTE**. Esta locação está situada no meio da drenagem (Figura 5.11).

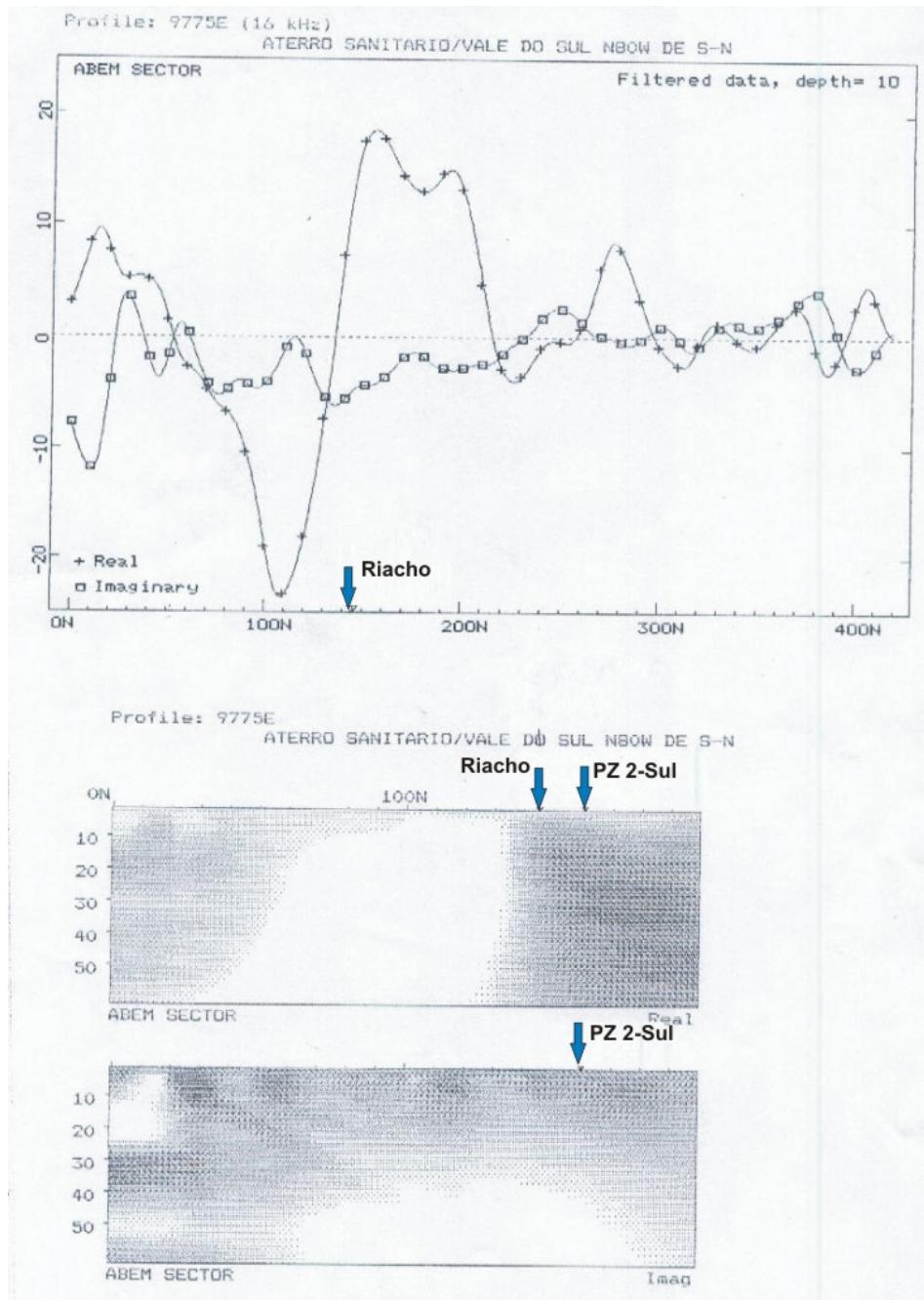


Figura 5.6: Locação do poço de monitoramento PZ2-Sul (Mello, 2002).

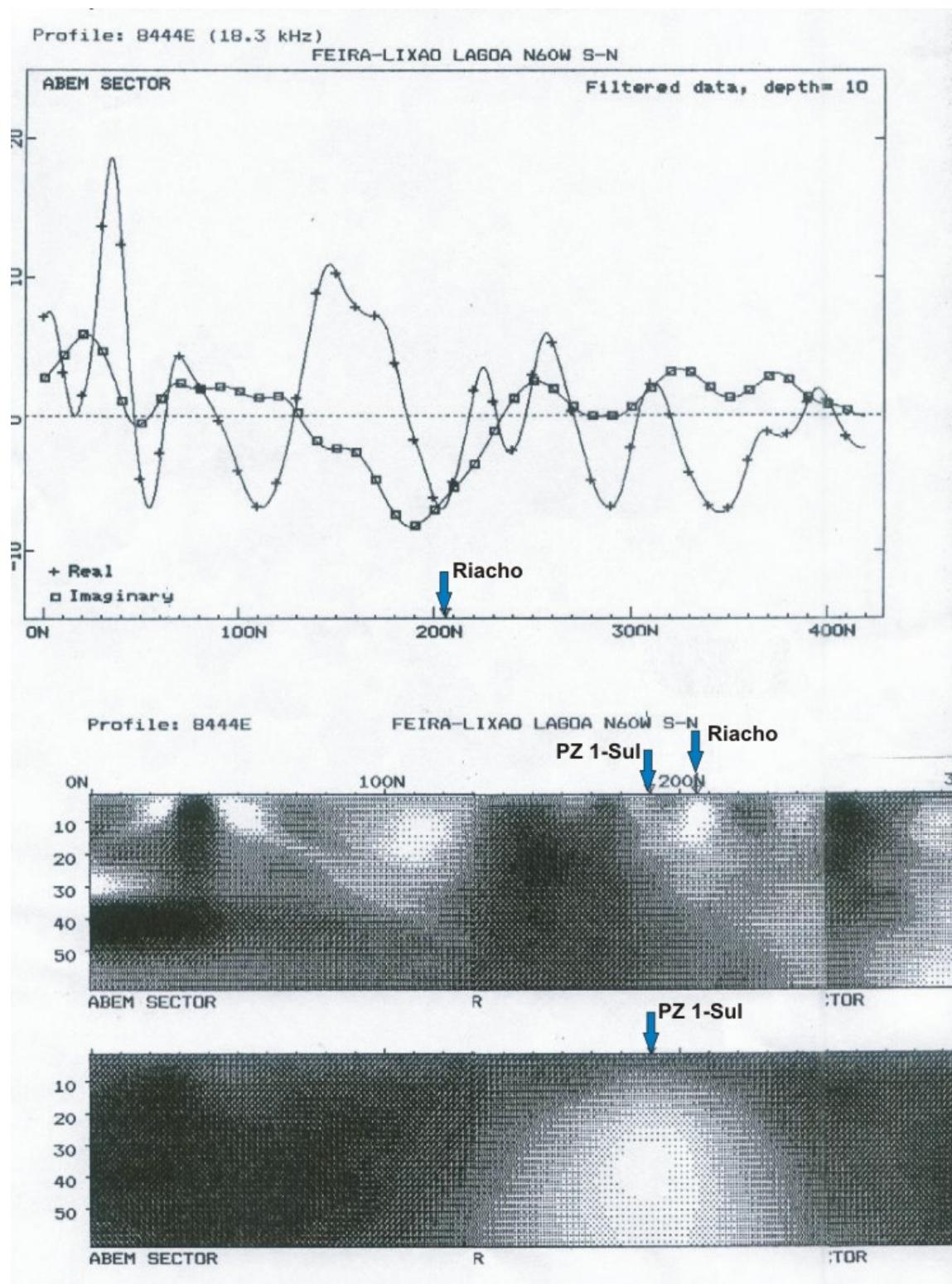


Figura 5.7: Locação do poço de monitoramento PZ1 – Sul (Mello, 2002).

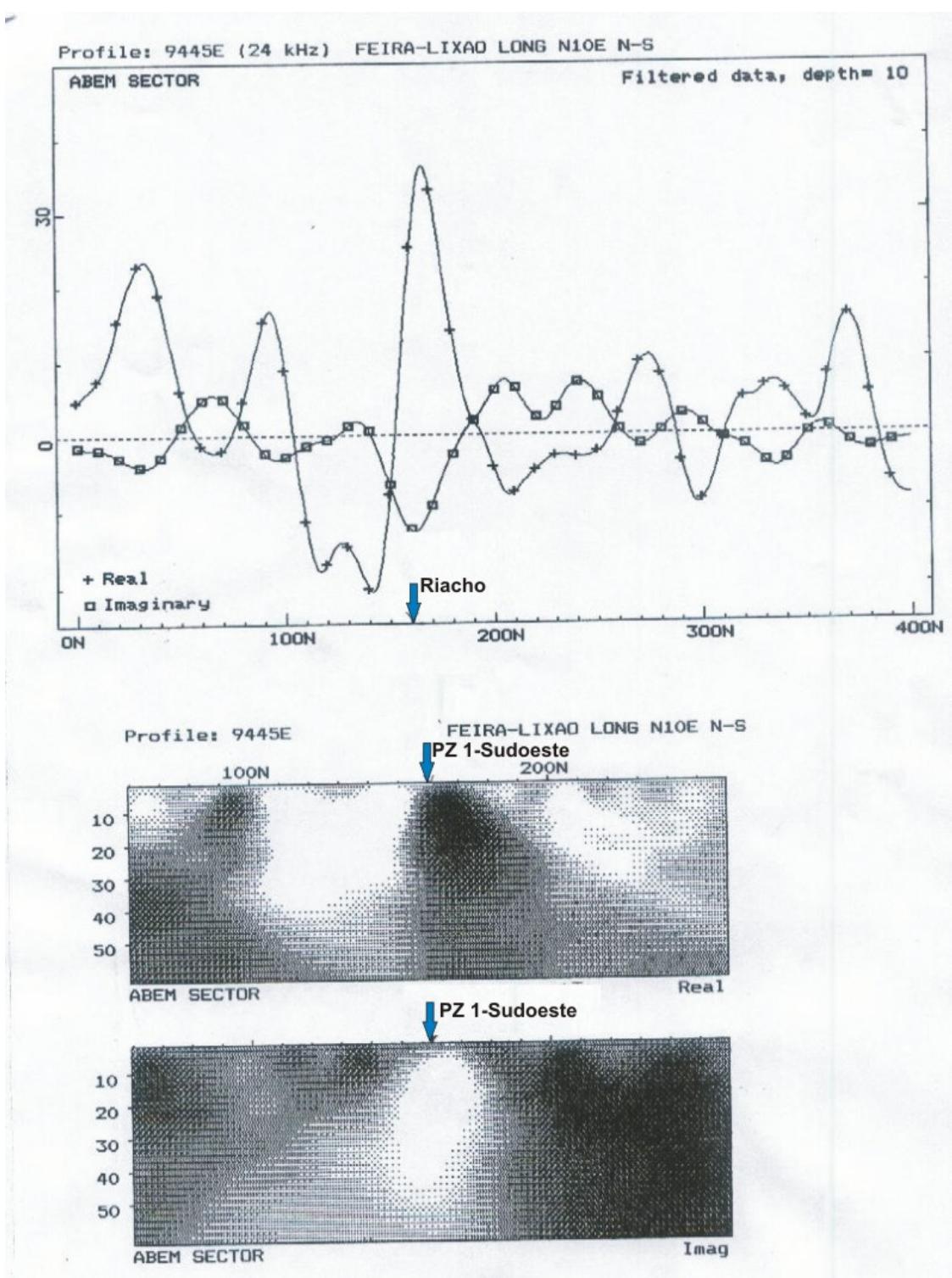


Figura 5.8: Locação do poço de monitoramento PZ1 –Sudoeste (Mello, 2002).

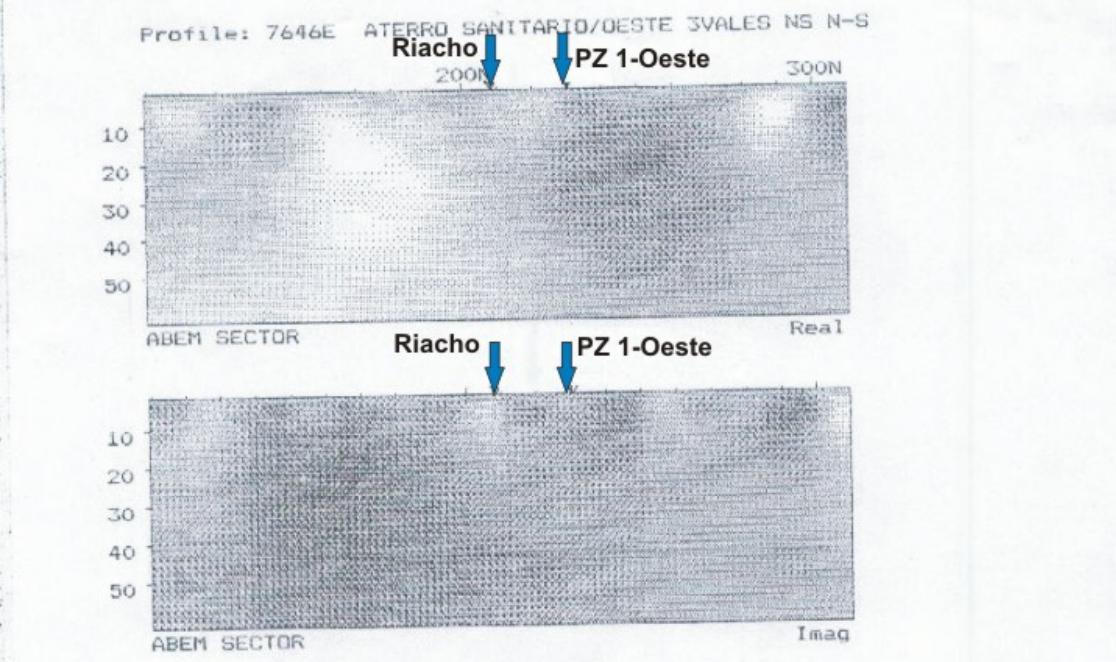
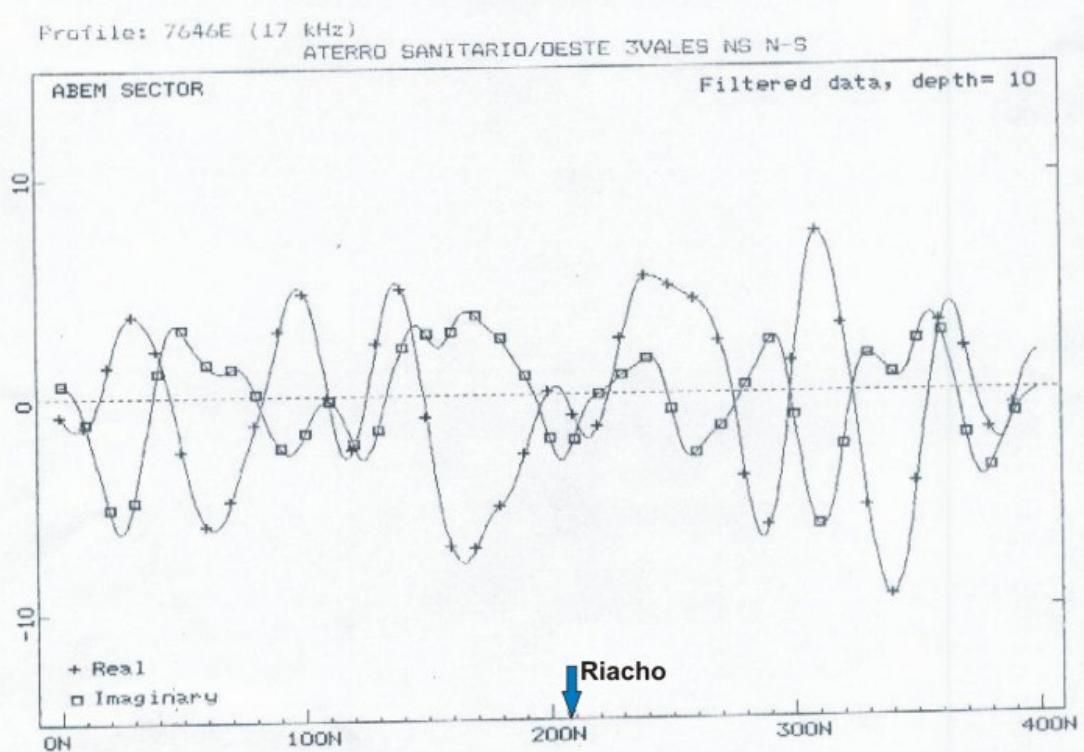


Figura 5.9: Locação do poço de monitoramento PZ12- Oeste (Mello, 2002).

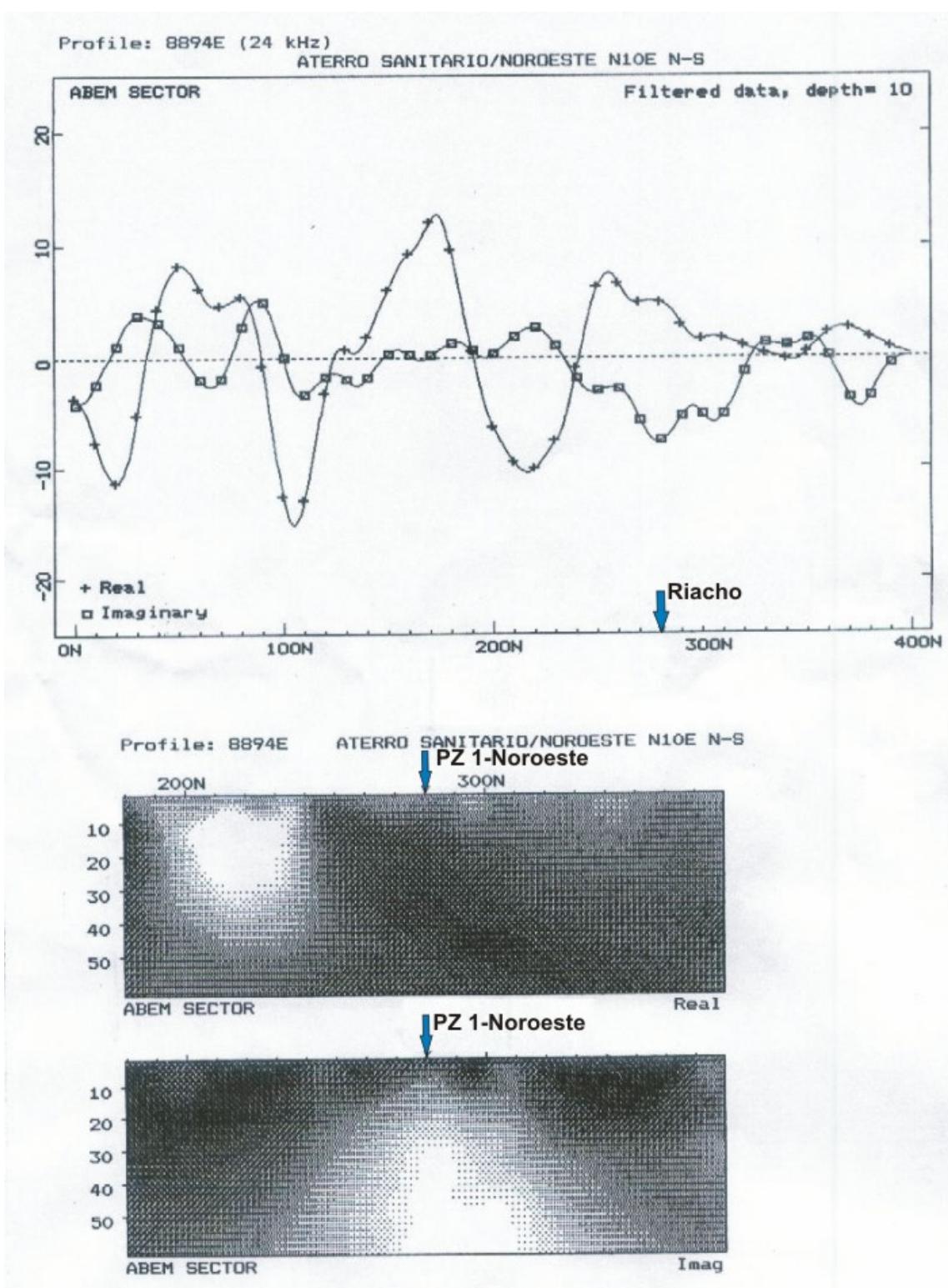


Figura 5.10: locação do poço de monitoramento PZ1- Noroeste (Mello, 2002).

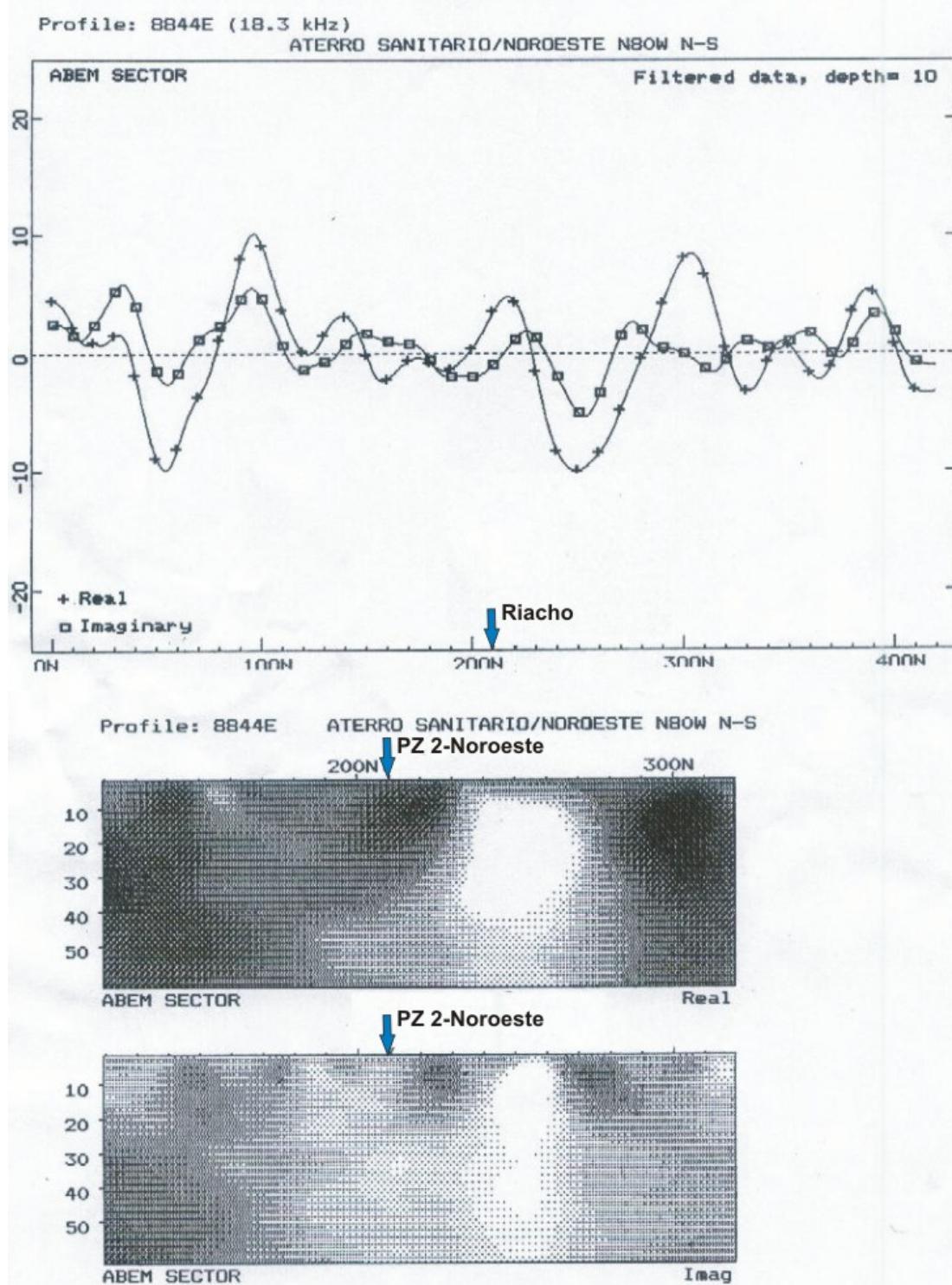


Figura 5.11: Locação do poço de monitoramento PZ2 – Noroeste (Mello, 2002).

Capítulo 6

6. CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO.

6.1 Introdução

Para caracterizar o impacto na qualidade das águas subterrâneas em torno do aterro municipal de Feira de Santana, fez-se necessário a construção e instalação de poços de monitoramento, que tem como objetivos verificar a influência das atividades do aterro na qualidade da água subterrânea. Estes poços foram estrategicamente locados no entorno do aterro, de forma a possibilitar a obtenção de resultados que permitisse a obtenção de dados precisos sobre a influência do aterro, na qualidade da água subterrânea da região.

A instalação de poços de monitoramento compreende uma técnica de investigação direta, que fornece desde o início da sua construção através da perfuração, informações sobre a geologia e a hidrogeologia local. Após a instalação dos poços de monitoramento, obtém-se não só informações sobre a hidráulica subterrânea, mas também, das características hidroquímicas através de amostragem para análises de diversos parâmetros físico-químicos e biológicos envolvidos no estudo em questão. Assim, através desta técnica, obtém-se uma caracterização do aquífero local, e um acompanhamento de sua dinâmica e qualidade de suas águas ao longo do tempo, levando-se em conta o ciclo hidrogeológico e a evolução e distribuição dos resíduos na área estudada.

A locação e perfuração dos poços de monitoramento na área do aterro municipal de Feira de Santana, seguiu a orientação dos resultados dos levantamentos das fotografias aéreas, seções geofísicas e trabalhos de campo. Foram locados 11 poços de monitoramento (Figura 6.1) dos quais 08 foram perfurados e instalados. Dos 08 poços perfurados 04 tem o objetivo de monitorar o aquífero fissural (zona saturada), estes poços com 60 metros de profundidade (PIEZÔMETROS - PZs) e 04 para monitorar a zona não saturada (zona alterada), estes poços com profundidade média de 10 metros (PM-NS).

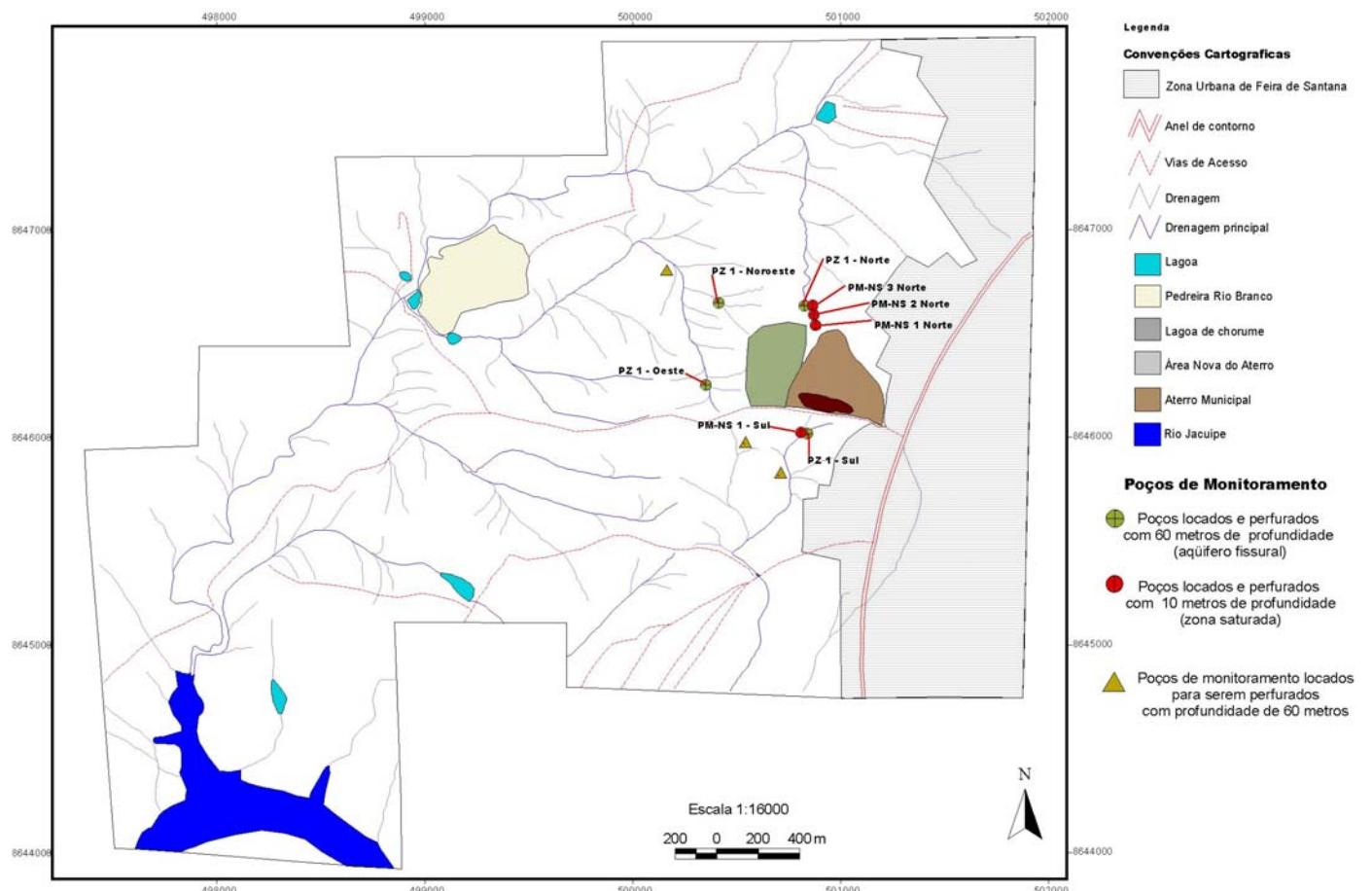


FIGURA 6.1: Mapa de localização dos poços de monitoramento

6.2 Perfuração

Devido as características litológicas (embasamento cristalino) da área estudada foi utilizado para a perfuração dos poços de monitoramento uma perfuradora Roto-percursiva P-350 com capacidade de perfuração de até 130 metros de profundidade, usando um compressor de 150 psi de 10 kg

Durante a perfuração foi realizada descrição táctil-visual do material perfurado em todos os poços de monitoramento (Apêndice 2). Esse procedimento foi importante, especialmente face à necessidade de conhecer a espessura do solo local, rochas alteradas e as entradas de água (fraturas). Com essas informações, define-se como proceder na instalação dos poços de monitoramento, ou seja, onde deverão ser colocadas as seções filtrantes, revestimentos geomecânicos entre outros. As fotos 6.1 A 6.4 ilustra a perfuração dos poços de monitoramento no aterro de Feira de Santana.



FOTO 6.1: Detalhe da coleta do material para descrição táctil-visual.



FOTO 6.2: Perfuração do poço PZ1 – Oeste – zona saturada.



FOTO 6.3: Detalhe da perfuração do poço PM-NS 3 – Norte – zona não saturada.



FOTO 6.4: Detalhe do equipamento sendo desmontado após o encerramento da perfuração.

6.3 Instalação

A instalação dos poços de monitoramento foi iniciada logo após o encerramento de cada perfuração foi instalado o revestimento constituído de PVC em cada poço de monitoramento da maneira seguinte: Todos os poços com profundidade de 60 metros (PZs) foram perfurados inicialmente com diâmetro de 8" (oito polegadas), até atingir a rocha sã (não alterada), feito isto a perfuração seguiu com diâmetro de 6" (seis polegadas). Destaca-se que antes do início da perfuração em 6" foi instalado o revestimento geomecânico de PVC com diâmetro de 6" e prosseguiu com a perfuração até atingir os 60 metros de profundidade.

Já os poços com profundidade média de 10 metros (PM-NS) foram perfurados com diâmetro de 6" (seis polegadas) até atingir a rocha sã. Em seguida foi instalado o revestimento geomecânico de PVC com diâmetro de 4" (quatro polegadas), sendo os filtros ranhurados instalados sob a camada de solo para garantir a operacionalidade sobre os efeitos das variações sazonais do nível d'água e de possíveis contaminantes menos densos que a água.

Foi utilizado como pré-filtro “pré-filtro perola” com granulometria superior as ranhuras do filtro e preenchido até 0,80 metros da superfície, foi colocado centralizadores nos filtros com o objetivo de fixar para que estes não fique em contato com as paredes do poço. O preenchimento final foi feito com o próprio solo natural areno-argiloso até o topo do espaço anelar.

A instalação foi concluída com a construção de uma proteção de cimento e um tampão ao redor da boca do poço. O tampão faz-se necessário para evitar que o poço de monitoramento seja violado e/ou depredado, já a cimentação tem a função sanitária de evitar desmoronamento da boca do poço ou a entrada de água superficial que pode contaminar o poço, através da infiltração pelo espaço anelar, o que pode comprometer os resultados das análises.

Na figura 6.2, é mostrado a seção esquemática construtiva dos poços de monitoramento na área do aterro municipal de Feira de Santana e as fotos 6.5 a 6.10 ilustram a instalação dos poços de monitoramento.

Após a instalação de cada poço de monitoramento, foi realizada a limpeza dos mesmos pois em geral, todo método de perfuração cria uma maior ou menor compactação ou obstrução nas paredes dos furos e nos materiais da formação (rocha ou sedimentos inconsolidados) adjacente as paredes dos furos, podendo resultar em redução da condutividade hidráulica local da formação.

A limpeza ou desenvolvimento dos poços tem como objetivo remover os materiais finos, tais como, argila, siltes e areias finas, contidos nos pré-filtros e na formação natural.

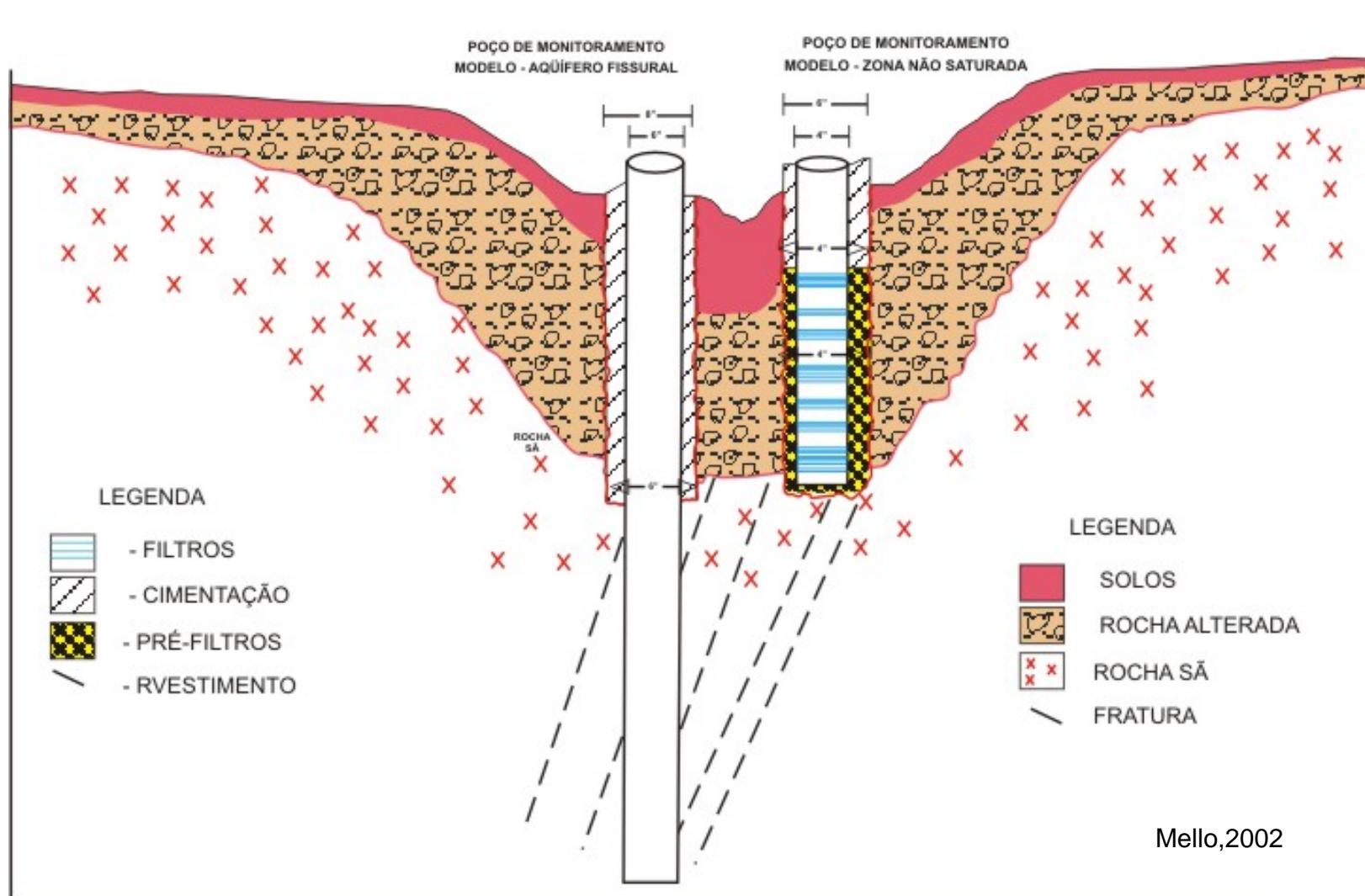


FIGURA 6.2: Seção esquemática construtiva dos poços de monitoramento do aterro municipal de Feira de Santana).



FOTO 6.5: Detalhe dos filtros em azul na horizontal e centralizadores na vertical.



FOTO 6.6: Detalhe dos centralizadores nos filtros (que serão colocados nos poços perfurados na zona não saturada).

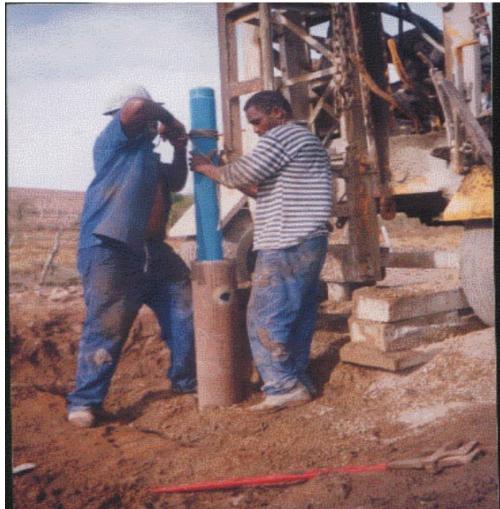


Foto 6.7: Detalhe dos filtros sendo colocados nos poços perfurados na zona não saturada.



Foto 6.8: Detalhe dos pré-filtros sendo colocados nos poços perfurados na zona não saturada.



Foto 6.9: Detalhe da proteção de cimento feita logo após o término da instalação dos poços.

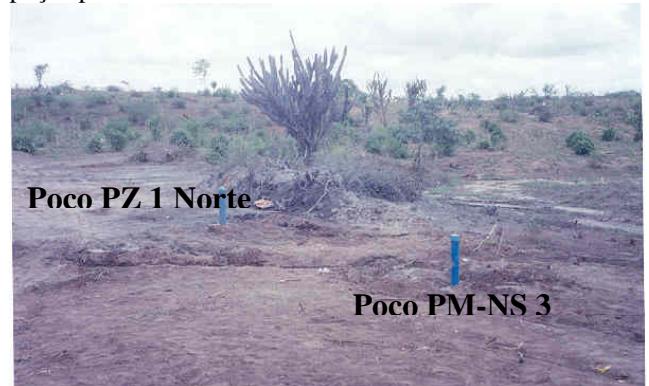


Foto 6.10: Detalhe da distância entre os poços de 60 metros e os de 10 metros de profundidade.

O desenvolvimento dos poços de monitoramento foi realizado tão logo estes foram instalados e o material do selo anelar consolidado.

Esta atividade resulta numa máxima eficiência dos poços de monitoramento através da comunicação entre o poço e a formação natural adjacente, maximizando os valores dos dados dos futuros ensaios hidráulicos e a representatividade das amostras das águas subterrâneas coletadas. Por outro lado, a remoção do material fino durante o desenvolvimento impede o entupimento (obstrução) e danificação dos equipamentos durante os ensaios de bombeamento e/ou esgotamento anteriores às amostragem.

Para a realização do desenvolvimento e limpeza dos poços de monitoramento utilizou-se de um compressor de 20 pés, acoplado a um gerador e uma bomba submersa de 4" (quatro polegadas).

6.4 Amostragem da água subterrânea e do líquido percolado (chorume)

6.4.1 Planejamento

Para a realização das análises foram planejadas duas campanhas de amostragens das águas subterrâneas dos poços de monitoramento e do chorume, sendo as campanhas realizadas em uma época mais seca e a outra em uma época chuvosa. A tabela 6.1 apresenta os parâmetros analisados para cada campanha.

TABELA 6.1 – Parâmetros analisados em cada campanha programada.

ÁGUA SUBTERRÂNEA		
CAMPANHAS	PARÂMETROS	PERÍODOS
1 ^a Campanha	Alcalinidade, Coliformes Fecais e Totais	Chuvoso Junho/2003
	Condutividade, D.B.O, D.Q.O, O.D	
	pH, S.T.D e Temperatura.	
	Cd ⁺⁺⁺ , Cu ⁺⁺ , Pb ⁺⁺ , Fe ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Mn ⁺⁺ , Hg, Ca ⁺⁺ , Na ⁺ , K ⁺ .	
	HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , Cromo total, NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , e NH ₃	
CAMPANHAS	PARÂMETROS	PERÍODOS
2 ^a Campanha	Alcalinidade, Coliformes Fecais e Totais	Seco Fevereiro/2004
	Condutividade, D.B.O, D.Q.O, O.D	
	pH, S.T.D e Temperatura.	
	Cd ⁺⁺⁺ , Cu ⁺⁺ , Pb ⁺⁺ , Fe ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Mn ⁺⁺ , Hg, Ca ⁺⁺ , Na ⁺ , K ⁺ .	
	HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , Cr ⁺ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , e NH ₃	
CHORUME		
CAMPANHAS	PARÂMETROS	PERÍODOS
1 ^a Campanha	Alcalinidade	Seco Novembro/2002
	Condutividade, DBO, DQO	
	pH e S.T.D	
	Cd ⁺⁺⁺ , Cu ⁺⁺ , Pb ⁺⁺ , Fe ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Mn ⁺⁺ , Hg, Ca ⁺⁺ , Na ⁺ , K ⁺ .	
	HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , Cromo total, NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , e NH ₃	
CAMPANHAS	PARÂMETROS	PERÍODOS
2 ^a Campanha	Alcalinidade	Seco Fevereiro/2004
	DQO	
	S.T.D e Temperatura.	
	Cd ⁺⁺⁺ , Cu ⁺⁺ , Pb ⁺⁺ , Fe ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Mn ⁺⁺ , Hg, Ca ⁺⁺ , Na ⁺ , K ⁺ .	
	HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , Cr ⁺ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , e NH ₃	

DBO* (Demanda Bioquímica de Oxigênio)
OD (Oxigênio Dissolvido)

DQO* (Demanda Química de Oxigênio)
STD (Sólidos Totais Dissolvidos)

DBO* – a Demanda Bioquímica de Oxigênio é definida como a quantidade de oxigênio requerida pelas bactérias para estabilizar a matéria orgânica em condições aeróbias. Representa a quantidade de matéria orgânica presente no lixo, podendo chegar a valores altos como 57.700mg O₂/l, entretanto esses valores tendem a diminuir com o avanço da idade do aterro. Geralmente na água subterrânea os valores de DBO são menores que 10 mg/l (Frenze, 1986).

DQO* - a Demanda Química de Oxigênio (DQO) é a capacidade da água em consumir oxigênio durante processos químicos. Esta é por consequência um indicador para medir o teor de matéria orgânica oxidável e de substâncias capazes de consumir oxigênio(ex: Fe²⁺, Mg²⁺, NH₄²⁺). À medida que a idade do aterro aumenta e os resíduos são degradados, as concentrações de DBO5 e DQO decrescem. Entretanto, a DBO5 decresce mais rápido enquanto que a DQO ainda permanece no chorume devido à matéria orgânica dificilmente degradável. Através da relação DBO5/DQO, pode-se determinar o estágio de decomposição em que o aterro se encontra. Geralmente as águas subterrâneas possuem valores de DQO entre 1-5 mg/l (Frenze, 1986).

6.4.2 Procedimentos de amostragem

Antes da realização da coleta de qualquer amostra de água, faz-se necessário alguns procedimentos, para evitar e/ou reduzir ao máximo o risco de contaminação externa da amostra, de forma que esta seja representativa do ambiente investigado. Dentre esses procedimentos, o bombeamento ou esgotamento dos poços de monitoramento é um dos mais importantes.

6.4.3 Bombeamento para amostragem das águas nos poços de monitoramento

O bombeamento ou esgotamento se faz necessário antes da amostragem devido aos seguintes fatores: A água do poço acima da seção filtrante não está livre para interagir com a água da formação; Está em contato direto com a atmosfera, estando sujeito a diferentes equilíbrios químicos; Estagnada, freqüentemente possui temperatura, pH, Eh e diferentes características químicas, comparativamente à água de formação.

O objetivo do bombeamento ou esgotamento é criar uma situação que permita ao poço fornecer uma amostra que seja representativa da água da formação, enquanto cria um mínimo de distúrbio no regime do fluxo subterrâneo.

Os poços foram esgotados utilizando bomba submersa de 4" (quatro polegadas). Foi retirada toda a água dos poços, assegurando que toda a água estagnada foi substituída por água que percola pelos fraturamentos existentes no aquífero. Deve-se recorrer a esse procedimento todas as vezes em que se faça necessário a amostragem de água para ser analisada. As fotos 6.11 e 6.12 ilustram o bombeamento dos poços antes da amostragem.



FOTO 6.11: Detalhe do Bombeamento do poço PZ 1 – Noroeste, antes da amostragem.

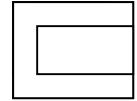


FOTO 6.12: Bombeamento do poço PZ 1- Norte, observa-se lixo próximo ao poço proveniente do aterro.

6.4.4 Amostragem e preservação

Para garantir que a amostra de água seja representativa da formação, deve-se reduzir ao máximo as alterações químicas e físicas durante o processo de retirada das amostras, assim utiliza-se da preservação como forma predominante de pré-tratamento das amostras feitas no campo no momento da amostragem. As amostras foram coletadas com uso do “bayller” e luvas descartáveis para cada poço, e a seguir acondicionadas em frascos de polietileno e de vidro com tampas de polipropileno.

Como as amostras não podem ser analisadas imediatamente após a amostragem, estas são preservadas em recipiente, tipo isopor, com gelo. A preservação tem o objetivo de retardar o máximo possível os processos químicos e biológicos que ocorrem na amostra. As técnicas utilizadas são limitadas pelo controle de pH, adição química, controle de temperatura e



proteção contra a luz e foram realizadas segundo as orientações da norma NBR 10007. As fotos 6.13 a 6.22 mostram a amostragem das águas e do chorume para serem analisados.

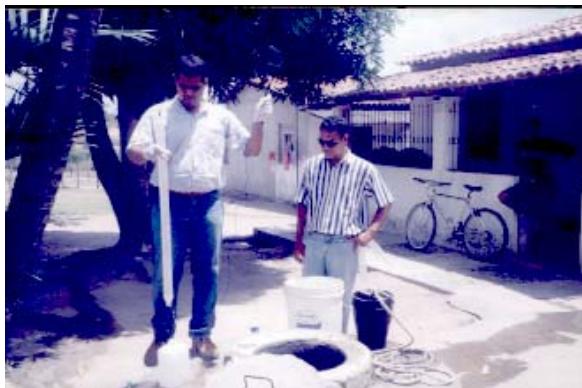


FOTO 6.13: Amostragem de água em cisterna de água doce (Valor de referência –background).



FOTO 6.14 Amostragem de água em cisterna de água salobra.



FOTO 6.15: Amostragem de água no poço com 10 metros de profundidade.



FOTO 6.16: Amostragem de águas no poço PM-NS 1 – Norte, localizado a 50 metros do aterro.



FOTO 6.17: Amostragem de água no poço com 60 metros de profundidade.



FOTO 6.18: Detalhe da amostragem da água no poço PM-NS 1 – Sul.



FOTO 6.19: Amostragem na lagoa de acumulação de chorume para sul do aterro.



FOTO 6.20: Amostragem no dreno de chorume antes da lagoa.



FOTO 6.21: Amostragem do chorume em uma pequena lagoa de acumulação na parte norte do aterro.



FOTO 6.22: Amostragem do chorume no reservatório do novo aterro.

6.4.5 Análises químicas

Após as amostragens, as amostras foram encaminhadas a laboratórios comerciais, para a realização das análises químicas, que seguiram as técnicas apresentadas no Standart Methods of the Examínation of Water and Wastewater (APHA, 1999). Os resultados das análises químicas das duas campanhas, foram submetidos a um balanço iônico, para se avaliar a representatividade (confiabilidade) destes resultados, segundo a expressão:

Em uma análise hidroquímica completa, a concentração total de íons positivos (cátions) deve ser aproximadamente igual à concentração de íons negativos (ânions). O desvio percentual desta igualdade é determinado pelo coeficiente de erro da análise.

$$\text{Balanço Iônico (ERRO)} = \left| \frac{\sum \text{cátions} - \sum \text{ânions}}{\sum \text{cátions} + \sum \text{anions}} \right| \times 100$$

O erro foi determinado a partir dos valores em miliequivalentes dos ânions e cátions. Esta expressão (Custódio & Lhamas, 1981) indica que se o erro obtido for menor que 10% haverá menores chances de erros analíticos. Os resultados mostram que os valores obtidos após o balanço iônico estão dentro da faixa dos 10% de erro portanto os valores das análises são confiáveis.

Capítulo 7

7. RESULTADOS ANALÍTICOS E DISCUSSÕES

7.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados os resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas do chorume e das águas subterrâneas da área do aterro municipal de Feira de Santana. A partir dos dados obtidos serão realizadas comparações da composição do chorume do aterro estudado com aterros consolidados. Para as águas subterrâneas as concentrações obtidas dos elementos nos poços da área do aterro, serão comparadas com as concentrações obtidas para os poços no bairro de Caraibinha, situado a montante da área do aterro, o poço da Concessionária Volvo e os limites estabelecidos para a classificação de rios classe-2 pela Resolução 20/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA e portaria número 1469 do Ministério da Saúde, que define os padrões de potabilidade da água para consumo humano. Finalmente, serão discutidas a correlações entre as concentrações dos diversos elementos na água subterrânea da região e suas implicações para a recuperação ambiental da área.

7.2 Composição do chorume do aterro municipal de Feira de Santana

Na primeira campanha da amostragem o chorume foi coletado em dreno de líquido percolado, na lagoa de chorume e em reservatório de chorume situado na porção norte do aterro (Figura 7.1). Nesta etapa de amostragem, observou-se que a frente operacional do aterro estava concentrada na porção norte, tendo as drenagens de líquidos percolados, direcionadas para o reservatório de chorume. Ainda durante este período, as demais áreas do aterro estavam em processo de recomposição dos drenos de líquidos percolados, sendo os mesmos drenados para a lagoa de chorume na porção sul do aterro.

A segunda campanha de amostragem realizada no reservatório de chorume da célula do novo aterro, localizado na porção noroeste da área (Figura 7.1). Ao contrário da lagoa de chorume, este reservatório foi construído utilizando-se materiais impermeabilizantes (manta e

concreto) de forma a evitar o vazamento do chorume para o meio ambiente e vem recebendo exclusivamente os líquidos percolados do novo aterro.

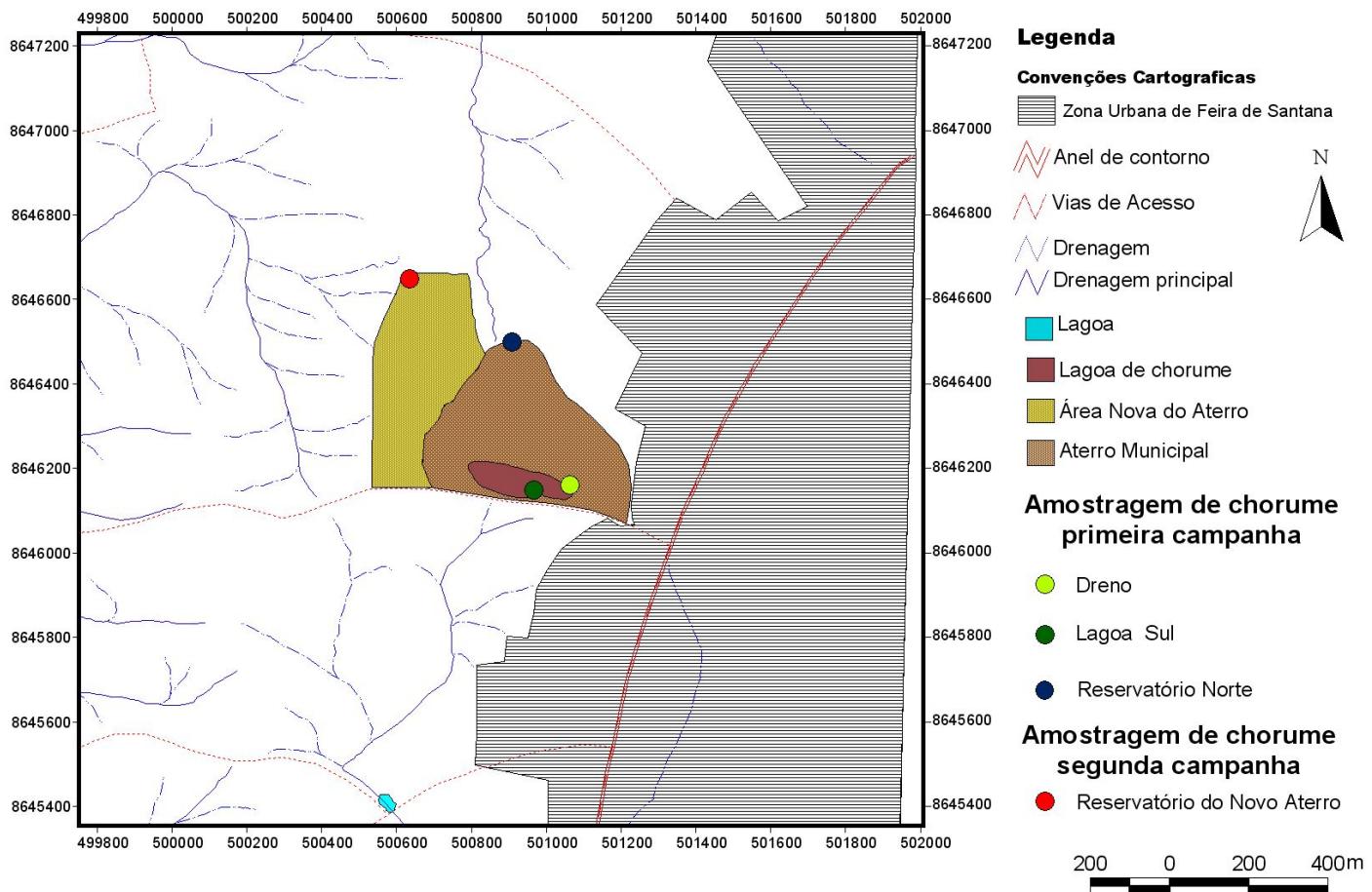


FIGURA 7.1: Mapa de localização dos pontos de amostragem do chorume

O estudo da composição qualitativa do chorume é de grande importância para o conhecimento do nível de contaminação que o aterro pode provocar no meio ambiente, permitindo avaliar também o processo de biodegradação que ocorre no interior do aterro, além de fornecer subsídios para escolha da melhor forma de tratamento. Para caracterizar o chorume do aterro municipal de Feira de Santana, foram analisados vários parâmetros físicos, químicos e microbiológicos.

Na tabela 7.1 são apresentados os resultados das análises do chorume do aterro municipal de Feira de Santana, Aterro Metropolitano Centro em Salvador (AMC) (relatório parcial do convênio VEGA/UFBA, 2004) e de aterros consolidados (IPT, 2000).

Observa-se nesta tabela, que as concentrações de alguns parâmetros, são menores que aqueles encontrados em aterros consolidados com aproximadamente 12 anos de operação (ex: sulfato, nitrato, mercúrio, ferro e chumbo). Por outro lado, quando comparado com estes mesmos aterros, observa-se concentrações maiores de cloretos, sódio, DBO, DQO, potássio e amônia. Já a amostra do reservatório de chorume do novo aterro apresenta valores menores apenas para chumbo e nitrato, quando comparado com os aterros consolidados.

TABELA 7.1: Composição do Chorume do aterro municipal de Feira de Santana

Parâmetros	PRIMEIRA AMOSTRAGEM			SEGUNDA AMOSTRAGEM		Aterro Metropolitano Centro
	Chorume Dreno	Chorume Lagoa Sul	Chorume Reservatório Norte	Chorume Reservatório do Novo Aterro	Aterros consolidados valores médios	
Alcalinidade	7327	2096	2711	7470	200 - 1000	
Condutividade	20000	13370	11150	_____		31100
DBO	1121	296,8	441	_____	100 - 200	45250
DQO	3350	1100	1270	52000	100 - 500	35872
pH	8,1	8,4	7,8	_____	6,6 - 7,5	7,63
Sólidos Totais	10402	8098	5904	37900	1200	16462
Temperatura	_____	_____	_____	29,6		35
Cádmio	0,02	0,03	0,03	< 0,003	< 0,05	0,02
Chumbo	0,1	0,03	0,03	0,072	1	0,1
Cobre	0,05	0,05	0,05	0,24	< 0,5	0,033
Cromo Total	0,06	0,05	0,05	0,3	0,02 - 1,5	0,45
Ferro Total	11,94	2,06	17,06	216	20 - 200	116
Mercúrio	0,001	0,001	0,001	< 0,001	0,00005 - 0,16	0,0002
Cálcio	_____	_____	_____	2070		
Sódio	2401	2010	1708	2050	100 - 200	2622
Potássio	1353	755	468	2540	50 - 400	3390
Magnésio	_____	_____	_____	663		
Manganês	0,08	0,09	2,46	16	0,06	29
Amônia	1540	117,6	288,3	42	20 - 40	513
Cloretos	4817	4420	2930	3390	100 - 400	3828
Nitrato	0,04	0	0,38	3,5	5,0 - 10	0,15
Nitrito	0,01	1,3	0,01	_____		0,04
Sulfato	9,9	5,4	20,8	29,6	20 - 50	844

Observações: Todos os valores em mg/l. exceto condutividade que é expressa em microohms por centímetros, pH que não tem unidade e temperatura em graus Celcius (°C);

_____ Não foi analisado

Os dados do aterro consolidado são referenciados em (Fonte: IPT, 2000)

Dados do Aterro Metropolitano Centro, representa o chorume das células com lixo de até 1 ano de deposição do lixo. (Relatório técnico do Convênio VEGA/UFBA, 2004).

Nas figuras 7.2 a 7.5 são apresentados comparações entre as concentrações obtidas para o chorume do aterro municipal de Feira de Santana e os aterros consolidados. Nestes diagramas observa-se que os altos valores de DBO, DQO, sólidos totais, amônia, ferros e manganês, fato que indica o atual estagio metanogênico de evolução do aterro, sugerindo a ocorrência de alta atividade biológica.

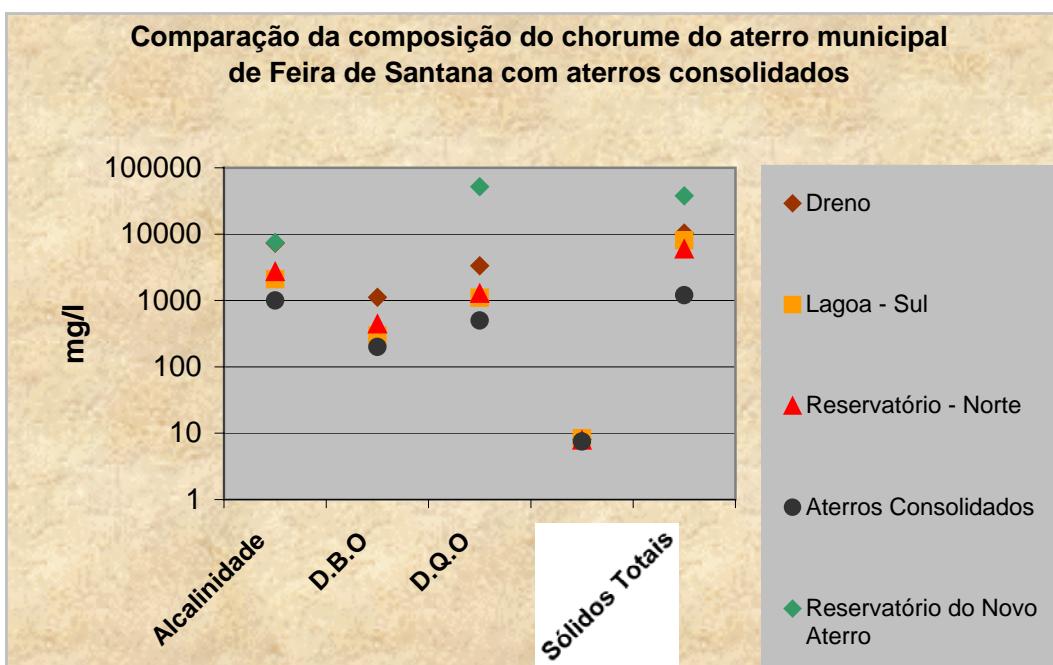


FIGURA 7.2: Composição do chorume do aterro municipal de Feira de Santana em diferentes locais de amostragem, comparado com outros aterros consolidados.

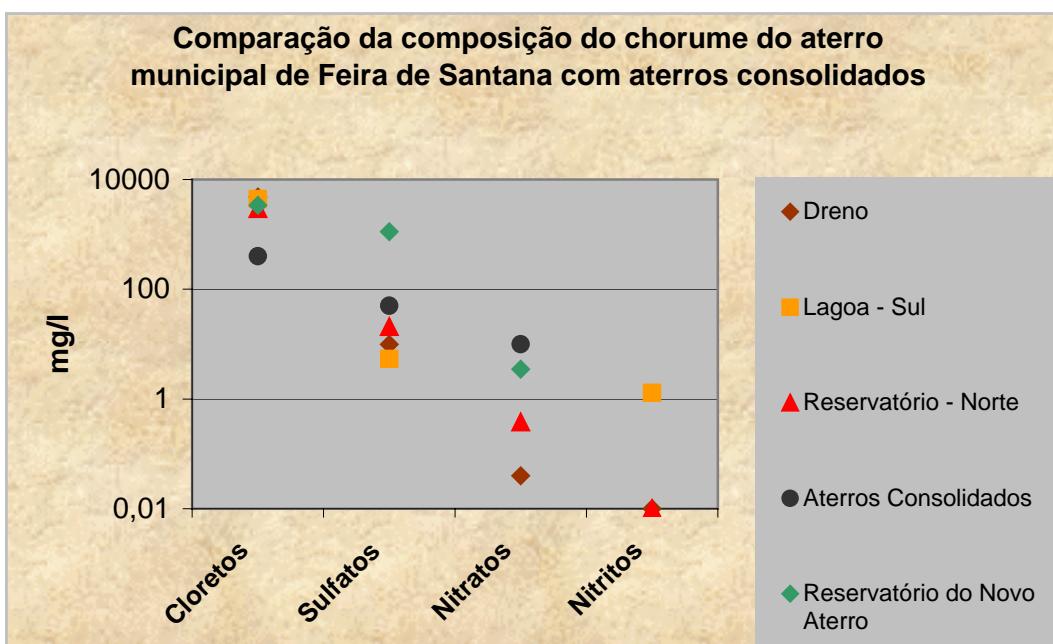


FIGURA 7.3: Composição do chorume do aterro municipal de Feira de Santana em diferentes locais de amostragem, comparado com outros aterros consolidados.

Por outro lado, as baixas concentrações de metais pesados, como cádmio, chumbo, cobre, cromo e mercúrio, sugerem que não há quantidades significativas destes elementos nos

resíduos sólidos do aterro municipal de Feira de Santana, em que pese a disposição integrada dos vários tipos de resíduos sólidos da cidade no local.

Já as altas concentrações de sódio, potássio, cloreto e alcalinidade, sugerem a presença de significativas concentrações de sais presente no lixo do município.

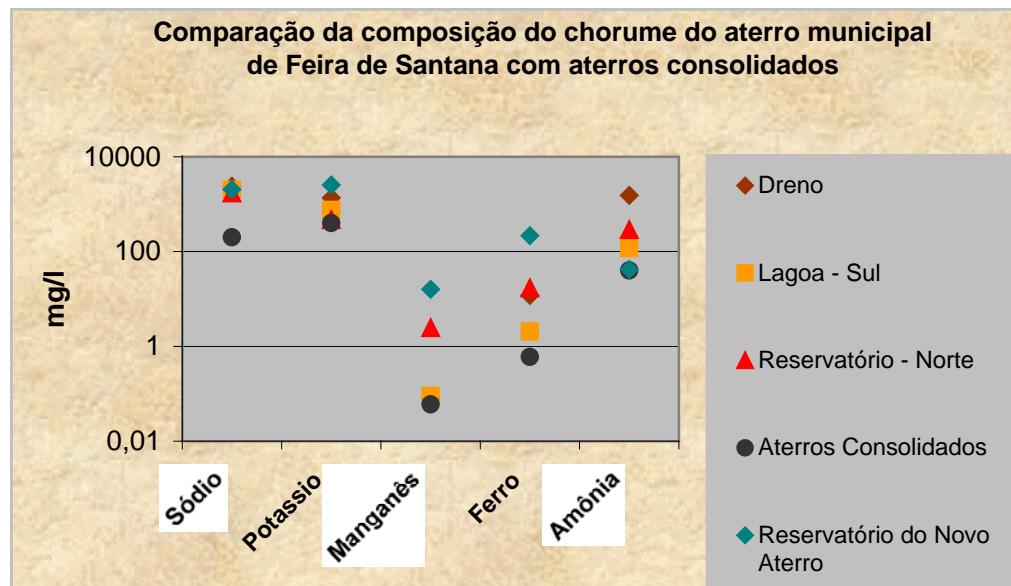


FIGURA 7.4: Composição do chorume do aterro municipal de Feira de Santana em diferentes locais de amostragem, comparado com outros aterros consolidados.

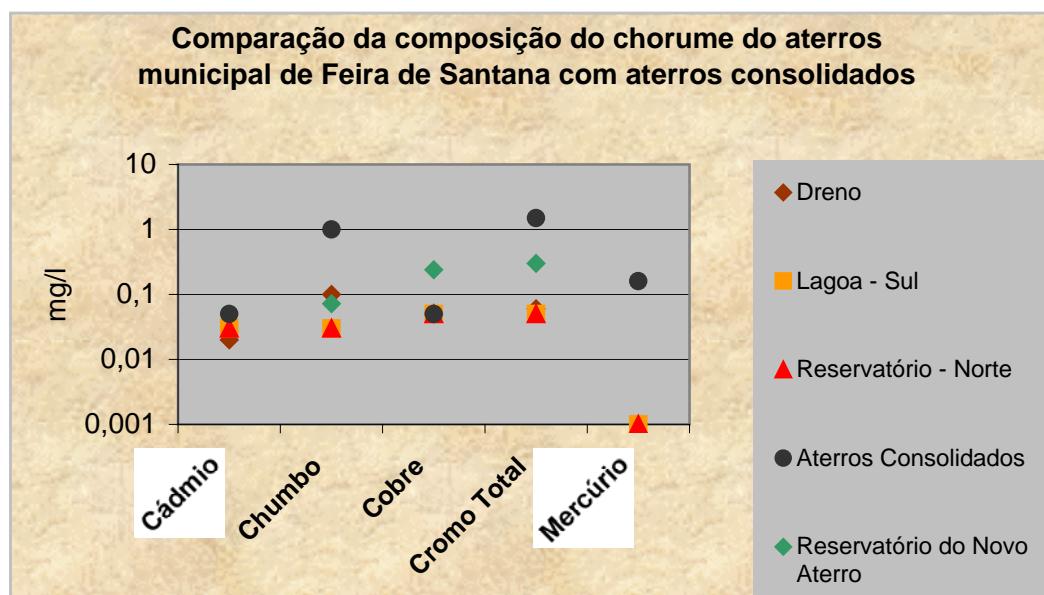


FIGURA 7.5: Composição do chorume do aterro municipal de Feira de Santana em diferentes locais de amostragem, comparado com outros aterros consolidados.

7.3 Caracterização da composição química das águas subterrâneas da região

Foram realizadas duas campanhas de amostragem para análise das águas subterrâneas nos poços de monitoramento, estas amostragem ocorreram em 26 junho de 2003 e 10 de fevereiro de 2004, sendo representativa de épocas chuvosa e seca, respectivamente. Nestas análises foram determinadas as concentrações de 27 parâmetros. Os resultados das análises das águas são apresentados nas tabela 7.2 e 7.3.

A partir dos resultados obtidos, as concentrações dos elementos foram comparados com os valores estabelecidos para rios classe-2, segundo resolução do CONAMA 20/86. Também para possibilitar comparações, são apresentados as concentrações dos elementos que definem os padrões de potabilidade da água para consumo humano, segundo a Portaria 1469/2000 do Ministério da Saúde.

As características geoquímicas das águas subterrâneas naturais refletem os meios por onde percolam, guardando uma estreita relação com os tipos de rochas e com os produtos das atividades humanas (ex: efluentes líquidos industriais e domésticos, vazamentos de depósitos de combustíveis, chorume provenientes de depósitos de lixo doméstico, etc) adquiridos ao longo de seu trajeto. Nas proximidades dos centros urbanos encontra-se uma forte marca dessas atividades na qualidade química das águas. Esta relação é em particular marcante onde predominam os aquíferos do tipo fissural, passíveis de serem facilmente influenciados por atividades humanas.

As águas subterrâneas tendem a ser mais ricas em sais dissolvidos do que as águas superficiais. As quantidades presentes refletem não somente os substratos rochosos percolados mas variam também em função do comportamento geoquímico dos compostos químicos envolvidos. Como há sensíveis variações nas composições químicas das rochas, é de se esperar uma certa relação entre a composição da água e das rochas preponderantes na área estudada. É necessário, contudo, frisar que o comportamento geoquímico dos compostos e elementos é o fator preponderante na sua distribuição nas águas (Deutstch, 1997; Zimbres, 2003). Tal característica pode ser ilustrada pelo comportamento do sódio e o potássio, pois são dois elementos que ocorrem com concentrações muito próximas na crosta continental e participam em quantidades sensivelmente diferentes nas águas subterrâneas.

O potássio é um elemento químico que ocorre em pequena quantidade nas águas subterrâneas, pois é facilmente fixado pelas argilas e intensivamente consumido pelos vegetais. Dentre os seus principais minerais fontes destacam-se o feldspato potássico, moscovita e biotita, que são menos resistentes aos intemperismo físico e químico. Nas águas subterrâneas seu teor médio geralmente é inferior a 10mg/l, sendo mais freqüente valores entre 1 e 5 mg/l.

O sódio é um elemento químico quase sempre presente nas águas subterrâneas. Seus principais minerais fonte (feldspatos plagioclásios) são pouco resistentes aos processos intempéricos, principalmente os químicos. Os sais formados nestes processos são muito solúveis. Nas águas subterrâneas o teor médio de sódio varia entre 0,1 e 100mg/l, sendo que há um enriquecimento gradativo deste metal a partir das zonas de recarga.

O teor de cálcio nas águas subterrâneas varia, de uma forma geral, de 10 a 100mg/l. As principais fontes de cálcio são os plagioclásios cársticos, calcita, dolomita, apatita, entre outros. As águas subterrâneas de aquíferos cársticos apresentam valores mais elevados de cálcio que os aquíferos fissurais de rochas cristalinas, devido a presença de minerais mais facilmente solúveis em água, como a calcita e dolomita.

O cloreto está freqüentemente presente em teores inferiores a 100 mg/l, formando compostos muito solúveis e tende a se enriquecer, junto com o sódio, a partir das zonas de recarga das águas subterrâneas. Segundo (Filho, 2001), o cloreto é um íon que possui características que lhe confere grande utilidade na interpretação das análises das águas subterrâneas, pois estão presentes em vários tipos de rochas em baixas concentrações, não participa de forma significativa em reações de oxiredução, não forma nenhum complexo com outros íons, a menos que a concentração seja extremamente alta, não forma sais de baixa solubilidade e não são adsorvidos de forma significativa nas superfícies minerais. Estas características o tornam um íon muito pouco reativo e sua pluma de contaminação geralmente representa o alcance máximo da água impactada por uma fonte pontual. Teores anômalos podem ser indicadores de contaminação por água do mar, poços de injeção, desalinizadores e também aterros sanitários.

O cobre é um elemento que ocorre, em geral, em baixas concentrações na água subterrânea, devido sua pequena solubilidade. Nas águas superficiais são, normalmente, bem menores que 0,020 mg/l e nas águas subterrâneas é inferior a 1 μ g/l.

O ferro é um elemento persistentemente presente em quase todas as águas subterrâneas em teores abaixo de 0,1mg/l. Suas fontes naturais são os minerais escuros (máficos) portadores de ferro, tais como: magnetita, biotita, pirita, piroxênios e anfibólios. Em virtude de afinidades geoquímicas, o ferro quase sempre é acompanhado pelo manganês que ocorre nas águas naturais com teores geralmente abaixo de 0,1 mg/l (Deutsch, 1997).

O magnésio é um elemento cujo comportamento geoquímico é muito parecido com o do cálcio e, em linhas gerais, acompanha este elemento nas águas subterrâneas. Diferentemente do cálcio, contudo, forma sais mais solúveis. Os minerais mais comuns fornecedores de magnésio para as águas subterrâneas são: biotita, anfibólios e piroxênios. Estes minerais são mais estáveis diante do intemperismo químico, do que os minerais fornecedores de cálcio, por isso seu teor nas águas subterrâneas é significativamente menor. Nas águas subterrâneas ocorre com teores entre 1,0 e 40,0 mg/l. O magnésio, depois do cálcio, é o principal responsável pela dureza das águas.

Nas águas subterrâneas os nitratos ocorrem em teores em geral abaixo de 5,0 mg/l. Nitritos e amônia são ausentes, pois são rapidamente convertidos a nitrato pelas bactérias. Assim, pequenos teores de nitrito e amônia é sinal de poluição orgânica recente.

Finalmente, destaca-se que o ferro e o manganês tem comportamento particular nas águas contaminadas por chorume de aterros sanitários, pois os óxidos e hidróxidos de ferro e manganês liberam estes íons para a água subterrânea em condições redutoras. Condição similar também é observada para o NH_4^+ , que é fruto das reações de oxi-redução do nitrogênio. Também outros compostos inorgânicos podem apresentar altas concentrações em águas subterrâneas (ex: Ca, Mg, Na, K, HCO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-}), como resultado da contaminação pelo chorume ou mobilizados pela presença de aterros sanitários (Deutsch 1997).

TABELA 7.2: Concentração dos diversos elementos nas águas subterrâneas obtidas em poços de monitoramento em torno do aterro municipal de Feira de Santana e em cisternas no bairro da Caraibinha e poço da concessionária da Volvo
Período com chuvas (inverno)

Parâmetros	Z1 Sul	PZ1 Norte	PZ1 Noroeste	PZ1 Oeste	CONAMA 20/86	Portaria 1469 /2000	PM-NS 1 Sul	PM-NS 1 Norte	PM-NS 2 Norte	PM-NS 3 Norte
Alcalinidade	1905	1383	419	455,1	200	500	1948	1905	1303	300,7
Coliformes Fecais	0	0	0	0	1000	0	0	400	0	0
Coliformes Totais	0	0	0	0	5000	0	0	900	100	0
Condutividade	11640	11450	9570	12710	200	500	12560	8570	8950	2810
D.B.O	212,4	125,8	15,5	49,3	5	1,5	191,5	76,9	103,7	22,7
D.Q.O	*	*	*	*			*	*	*	87
O. D	6,8	6,55	6,6	6,8	5	5	6,7	6,7	6,6	6,4
pH	7,4	7	7,3	7	9	8	7,2	7,6	7,5	7,5
Sólidos Totais	7318	6364	6904	8020	500	1000	8624	5150	5294	1604
Temperatura	24,1	24,4	24,5	24,5			23,9	24,5	24,3	24,4
Cádmio	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,001	0,005	<0,005	< 0,005	< 0,005	<0,005
Chumbo	0,14	0,05	0,04	0,05	0,03	0,01	0,15	0,08	0,09	0,066
Cobre	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	2	0,01	0,01	0,01	0,01
Cromo Total	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,55	0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Ferro Total	0,17	0,34	0,02	0,07	0,03	0,3	0,7	0,15	0,32	0,05
Manganês	1,14	1,12	0,07	0,08	0,1	0,1	2,08	4,23	1,09	0,07
Mercúrio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,002	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cálcio	196	330	3,2	176	100	100	208	128	216	120
Magnésio	573,4	356,2	1,71	1088	30		554	378,2	253,8	46,4
Potássio	12,3	9,8	2,56	3,25	10		11,8	6,55	56,7	2,3
Sódio	1564	1425	1212	1287	200	200	1664	1492	1289	354
Bicarbonatos	1905	1383	419	455,1	200	500	1948	1905	1303	300,7
Cloreto	3401	2894	2995	4163	250	250	3807	1929	2652	609,2
Amônia	2	2,5	2,9	4,5	0,02	1,5	1	2,4	12,1	0,27
Nitrato	0,02	1,9	7,8	9,9	10	10	0,06	91,8	6,49	22,1
Nitrito	0,01	0,05	0,06	0,06	1	1	0,01	0,37	0,01	0,01
Sulfato	22,3	210,4	130,9	71,3	250	250	21,9	338,9	240,3	64,9

Observações: Todos os valores em mg/l, exceto condutividade que é expresso em microhos por centímetros, pH que não tem unidade e temperatura que é medida em graus Celcius (°C);

Os valores apresentados em vermelho, estão acima do valor máximo estabelecido pelo CONAMA 20/86 para rios classe 2 e dos padrões de potabilidade da água da portaria 1469/2000 do Ministério da Saúde, exceto para o OD, cuja o valor mínimo estabelecido é de 5mg/l

(*) Houve interferência na análise desses parâmetros

TABELA 7.3: Concentração dos diversos elementos nas águas subterrâneas obtidas em poços de monitoramento em torno do aterro municipal de Feira de Santana e em cisternas no bairro da Caraibinha e poço da concessionária da Volvo
Período sem chuvas (verão)

Parâmetros	Z1 Sul	PZ1 Norte	PZ1 Noroeste	PZ1 Oeste	CONAMA 20/86	Portaria 1469/2000	PM-NS 1 Sul	PM-NS 1 Norte	PM-NS 2 Norte	PM-NS 3 Norte	Água Cisterna Salobra	Água Cisterna Doce	Período Seco - Novembro de 2002	Fevereiro de 2004
											Poço Volvo	Poço Volvo		
Alcalinidade	1660	1360	461	490	200	500	1520	1290	846	870	63,5	1,9	17,3	21,7
Coliformes Fecais	< 1	< 1	<1	<1	1000	0	<1	160	<1	5	2300	1300	0	8
Coliformes Totais	4	10	7	5	5000	0	<1	2400	14	1400	2800	1700	300	120
Condutividade	12350	10390	10380	9150	200	500	11440	6900	9700	7950	3720	697	1715	734
D.B.O	24,9	8,6	5,5	7,7	5	1,5	14,1	30	6,2	23	5,1	6,7	6,4	7,5
D.Q.O	62	24	13	23			32	94	21	80	107	86	96	17
O. D	3,12	3,72	5,13	1,51	5	5	0,4	1,41	1,36	1,56	6,3	6,5	8	8,25
pH	*	*	*	*	9	8	*	*	*	*	6,8	4,6	5,5	*
Sólidos Totais	8880	6730	8500	6620	500	1000	8246	4750	7200	5140	2522	566	1394	750
Temperatura	29,6	29,6	28,8	28,9			30,2	28,6	28,8	29				28,3
Cádmio	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	0,005	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,00
Chumbo	0,005	0,006	0,017	ND	0,03	0,01	0,017	0,009	0,014	0,014	0,24	0,03	0,04	0,007
Cobre	0,02	0,03	0,04	0,01	0,02	2	0,06	0,11	0,07	0,09	0,05	0,05	0,08	0,01
Cromo Total	0,01	0,02	0,02	0,02	0,55	0,05	0,02	0,01	0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	0,03	< 0,01
Ferro Total	0,39	0,14	0,4	0,49	0,03	0,3	0,12	0,37	0,29	0,81	0,05	0,15	5,6	0,2
Manganês	1,1	1,3	0,6	0,06	0,1	0,1	1,3	2,6	1,5	1,1	0,05	0,05	0,21	0,06
Mercúrio	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,002	0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,001	0,005	0,005	< 0,005
Cálcio	173	218	308	227	100	100	343	72	195	97	58,4	14	17,3	5,2
Magnésio	270	366	726	434	30		536	183	341	191	56,6	20,4	27,6	0,21
Potássio	6,5	17	23	3	10		13	1,1	17	6,7	10	3,26	6,72	5,5
Sódio	829	1704	804	1210	200	200	1580	1452	1561	1283	694	79,9	320	127
Bicarbonatos	1660	1210	385	418	200	500	1480	1220	670	787	63,5	1,9	17,3	21,7
Cloretos	3660	3150	3520	3190	250	250	3416	1400	3100	2363	1341	161,9	596	397
Amônia	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,02	1,5	< 0,02	< 0,02	0,1	< 0,02	0,35	0,17	0,3	< 0,02
Nitrito	0,8	0,6	0,9	21	10	10	0,6	140	1,4	4,3	73,2	19,2	6,2	1,2
Nitrito	< 0,01	0,03	0,04	0,02	1	1	< 0,01	0,08	0,1	0,22	0,01	0,01	0,01	< 0,01
Sulfato	< 7	315	294	102	250	250	< 7	< 7	178	178	5,3	25,5	10,8	11,5

observações: Todos os valores em mg/l, exceto condutividade que é expresso em microhos por centímetros, pH que não tem unidade e temperatura que é medida em graus Celcius (°C);

Os valores apresentados em vermelho, estão acima do valor máximo estabelecido pelo CONAMA 20/86 para rios classe 2 e dos padrões de potabilidade da água da portaria 1469/2000 do Ministério da Saúde, exceto para o OD, cuja o valor mínimo estabelecido é de 5mg/l

(*) Não houve análise;

(< abaixo do limite de detecção do método)

O balanço iônico dos principais cátions e ânions executado para as águas subterrâneas da região do aterro municipal de Feira de Santana apresentou valores dentro da faixa de erro recomendado, que é de até 10% tabelas 7.4. e 7.5. Quando este valor excede essa faixa, é porque pode haver falta de informações ou erros de amostragem e no acondicionamento das amostras.

TABELA 7.4: Balanço iônico dos principais cátions e ânions nos poços de monitoramento (1^a Amostragem)

Parâmetros mg/l	PZ1 Sul	PZ1 Norte	PZ1 Noroeste	PZ1 Oeste	PM-NS 1 Sul	PM-NS 1 Norte	PM-NS 2 Norte	PM-NS 3 Norte	Poço Volvo
Bicarbonatos	1905	1383	419	455,1	1948	1905	1303	300,7	17,3
Cálcio	196	330	3,2	176	208	128	216	120	17,3
Cloreto	3401	2894	2995	4163	3807	1929	2652	609,2	596
Magnésio	573,4	356,2	1,71	1088	554	378,2	253,8	46,4	27,6
Nitrato	0,02	1,9	7,8	9,9	0,06	91,8	6,49	22,1	6,2
Potássio	12,3	9,8	2,56	3,25	11,8	6,55	56,7	2,3	6,72
Sódio	1564	1425	1212	1287	1664	1492	1289	354	320
Sulfato	22,3	210,4	130,9	71,3	21,9	338,9	240,3	64,9	10,8

Parâmetros	PZ1 Sul	PZ1 Norte	PZ1 Noroeste	PZ1 Oeste	PM-NS 1 Sul	PM-NS 1 Norte	PM-NS 2 Norte	PM-NS 3 Norte	Poço Volvo	Valor Total
Parâmetros meq/l										
Calcio	9,78	16,47	0,16	8,78	10,38	6,39	10,78	5,99	0,86	
Magnésio	47,17	29,30	0,14	89,51	45,58	31,11	20,88	3,82	2,27	
Sódio	68,00	61,96	52,70	55,96	72,35	64,87	56,04	15,39	13,91	
Potássio	0,31	0,25	0,07	0,08	0,30	0,17	1,45	0,06	0,17	
Soma dos Cations	125,27	107,98	53,06	154,33	128,61	102,54	89,15	25,26	17,22	803,41
Bicarbonatos	31,23	22,67	6,87	7,46	31,93	31,23	21,36	4,93	0,28	
Sulfato	0,46	4,38	2,73	1,49	0,46	7,06	5,01	1,35	0,23	
Cloreto	95,80	81,52	84,37	117,27	107,24	54,34	74,70	17,16	16,79	
Nitrato	0,00	0,03	0,13	0,16	0,00	1,48	0,10	0,36	0,10	
Soma dos Anions	127,50	108,61	94,09	126,37	139,63	94,11	101,18	23,80	17,40	832,68

ERRO = 1,79%

TABELA 7.5: Balanço iônico dos principais cátions e ânions nos poços de monitoramento (2^aAmostragem)

Parâmetros mg/l	PZ1 Sul	PZ1 Norte	PZ1 Noroeste	PZ1 Oeste	PM-NS 1 Sul	PM-NS 1 Norte	PM-NS 2 Norte	PM-NS 3 Norte	Poço Volvo
Bicarbonatos	1660	1210	385	418	1480	1220	670	787	21,7
Cálcio	173	218	308	227	343	72	195	97	5,2
Cloreto	3660	3150	3520	3190	3416	1400	3100	2363	397
Magnésio	270	366	726	434	536	183	341	191	0,21
Nitrato	0,8	0,6	0,9	21	0,6	140	1,4	4,3	1,2
Potássio	6,5	17	23	3	13	1,1	17	6,7	5,5
Sódio	829	1704	804	1210	1580	1452	1561	1283	127
Sulfato	0	315	294	102	0	0	178	178	11,5

Parâmetros	PZ1 Sul	PZ1 Norte	PZ1 Noroeste	PZ1 Oeste	PM-NS 1 Sul	PM-NS 1 Norte	PM-NS 2 Norte	PM-NS 3 Norte	Poço Volvo	Valor Total
Parâmetros meq/l										
Calcio	8,63	10,88	15,37	11,33	17,12	3,59	9,73	4,84	0,26	
Magnésio	22,21	30,11	59,73	35,71	44,10	15,06	28,05	15,71	0,02	
Sódio	36,04	74,09	34,96	52,61	68,70	63,13	67,87	55,78	5,52	
Potássio	0,17	0,43	0,59	0,08	0,33	0,03	0,43	0,17	0,14	
Soma dos Cations	67,06	115,51	110,64	99,72	130,24	81,81	106,09	76,51	5,94	793,51
Bicarbonatos	27,21	19,84	6,31	6,85	24,26	20,00	10,98	12,90	0,36	
Sulfato	0,00	6,56	6,13	2,13	0,00	0,00	3,71	3,71	0,24	
Cloreto	103,10	88,73	99,15	89,86	96,23	39,44	87,32	66,56	11,18	
Nitrato	0,01	0,01	0,01	0,34	0,01	2,26	0,02	0,07	0,02	
Soma dos Anions	130,32	115,14	111,61	99,18	120,50	61,69	102,04	83,24	11,80	835,52

ERRO = 2,58%

De posse das concentrações dos íons maiores (Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , HCO_3^- , NO_3^- e SO_4^{--}), que caracterizam a composição química das águas naturais e normalmente compreendem mais de 90% dos sólidos totais dissolvidos (Freeze & Cherry, 1979), representou-se estes dados no diagrama de Piper (figura 7.6 e 7.7), afim de estabelecer a classificação e comparação de grupos distintos de águas quanto aos íons dominantes.

Neste caso o mesmo foi utilizado para se obter a classificação das águas amostradas os poços de monitoramento construídos em torno do aterro municipal de Feira de Santana e também das águas de cisternas usadas pela população do bairro da Caraibinha além do poço da concessionária da Volvo.

Através dos diagramas pode-se evidenciar que as águas subterrâneas menos mineralizadas, amostradas em áreas próximas do aterro e sem a interferência do mesmo, (cisternas do bairro Caraibinha e poço da Volvo), foram classificadas como cloretada-sódicas com baixo teor de magnésio. Já as amostras de água dos poços de monitoramento do aterro também são classificadas como cloretadas sódicas. Entretanto, observa-se nos diagramas um aumento nas concentrações de bicarbonato e magnésio nestas águas, além de uma amostra que situou-se no campo das águas cloretadas magnesiana (PZ1-oeste), outra no campo das águas bicarbonatadas sódicas (PM-NS-1 sul), para a amostragem no período das chuvas, e uma amostra situada no campo das águas cloretadas magnesianas (poço PZ1-noroeste) para a amostragem realizada no período do verão. Tais comportamento revelam a influência do chorume

De modo geral, observa-se que as águas subterrâneas da região do aterro municipal de Feira de Santana apresentam altas concentrações de Na , Ca , Mg , Fe , Mn , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{--} e NH_4^+ e menores valores de K e NO_3^- , quando comparados com as águas coletadas nas cisternas do Bairro de Caraibinha e no poço da Concessionária Volvo. É notável também a ocorrência de valores mais elevados de DBO, DQO e sólidos totais nas amostras dos poços de monitoramento do aterro.

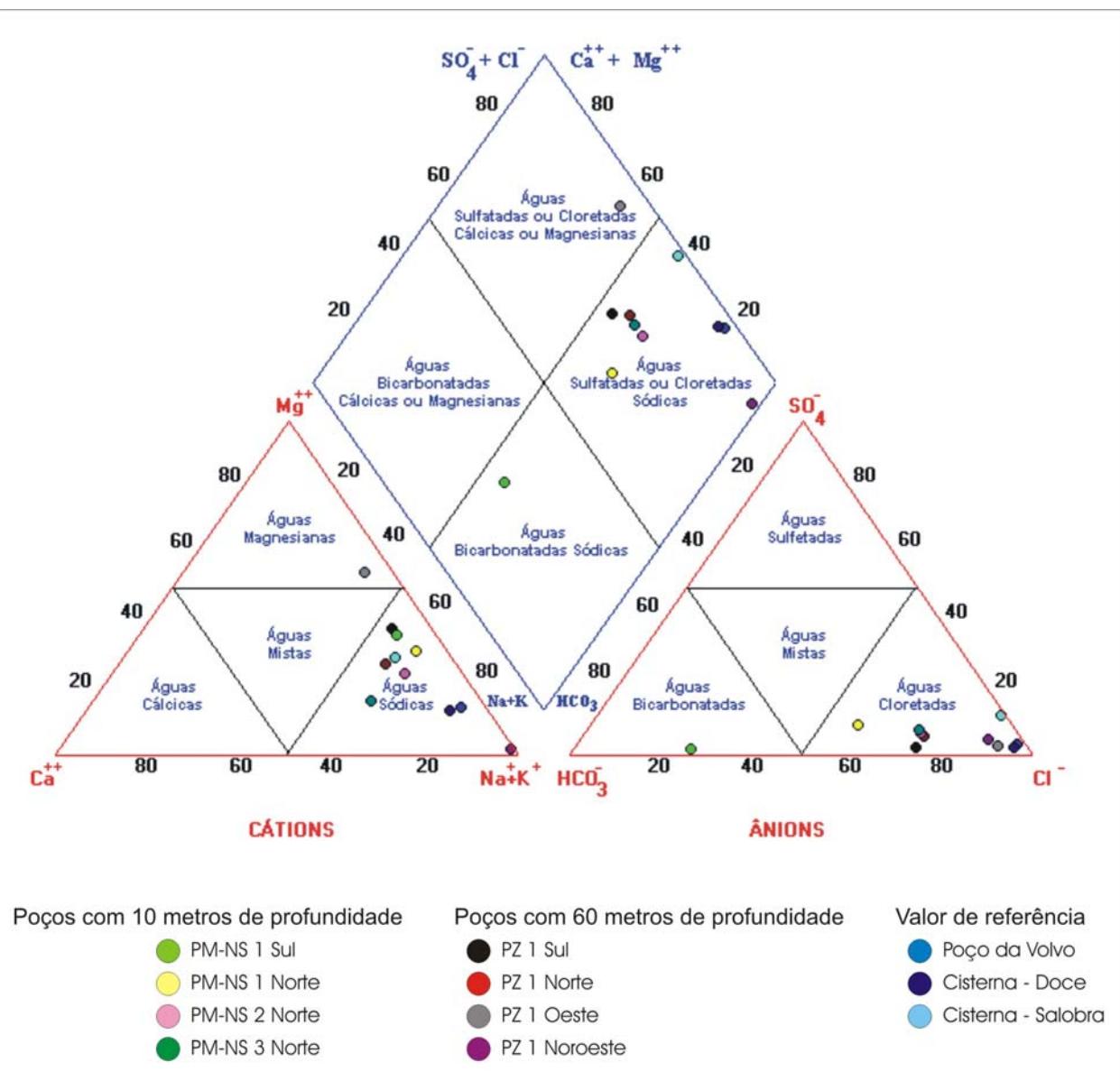


FIGURA 7.6: Diagrama de Piper para a época chuvosa

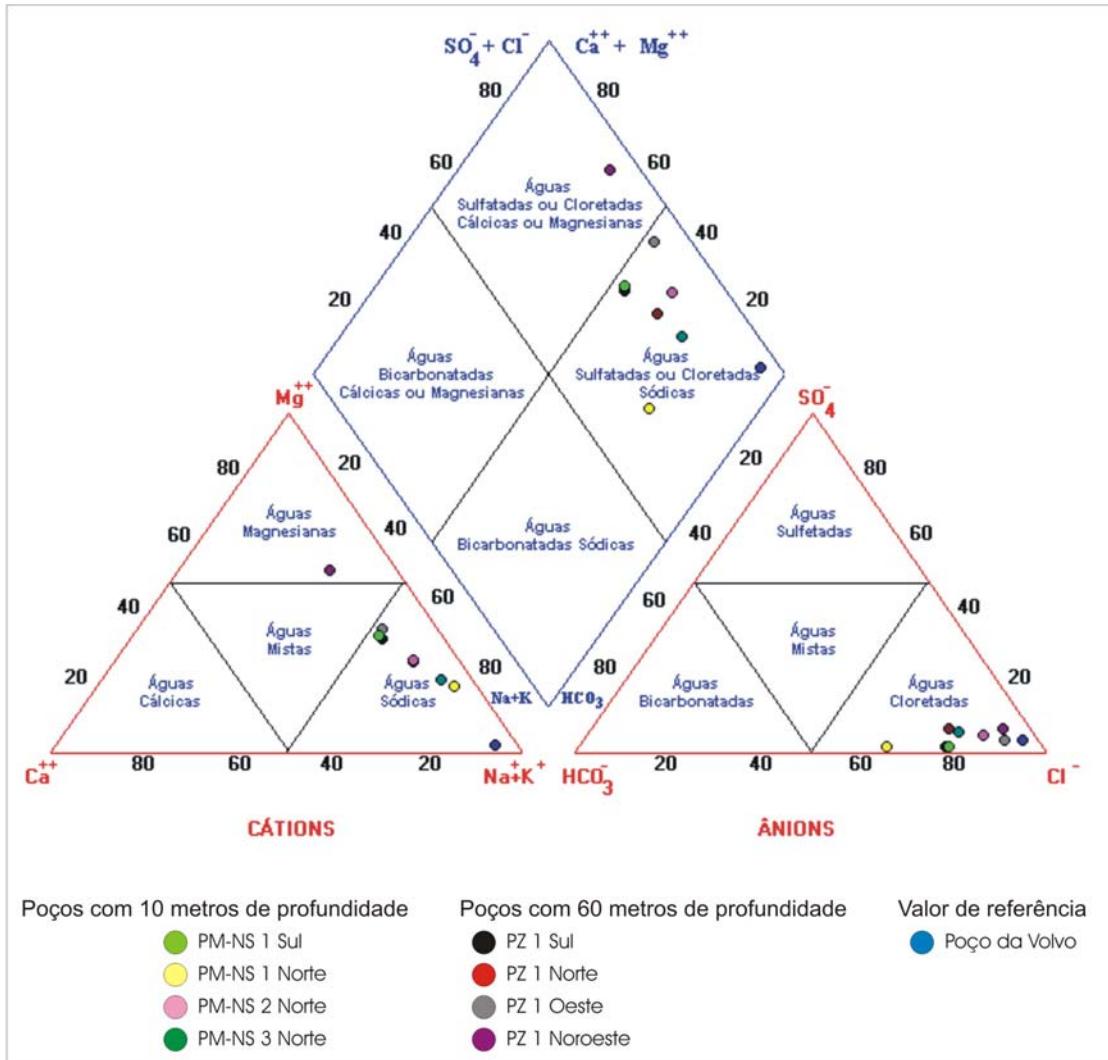


FIGURA 7.7 Diagrama de Piper para a época seca

7.4 Distribuição dos principais constituintes e da pluma de contaminação

Para efeito de interpretação e entendimento da distribuição das concentrações dos elementos na água, a área foi dividida em quatro porções (Norte, Sul, Oeste e Noroeste), figura 7.8.

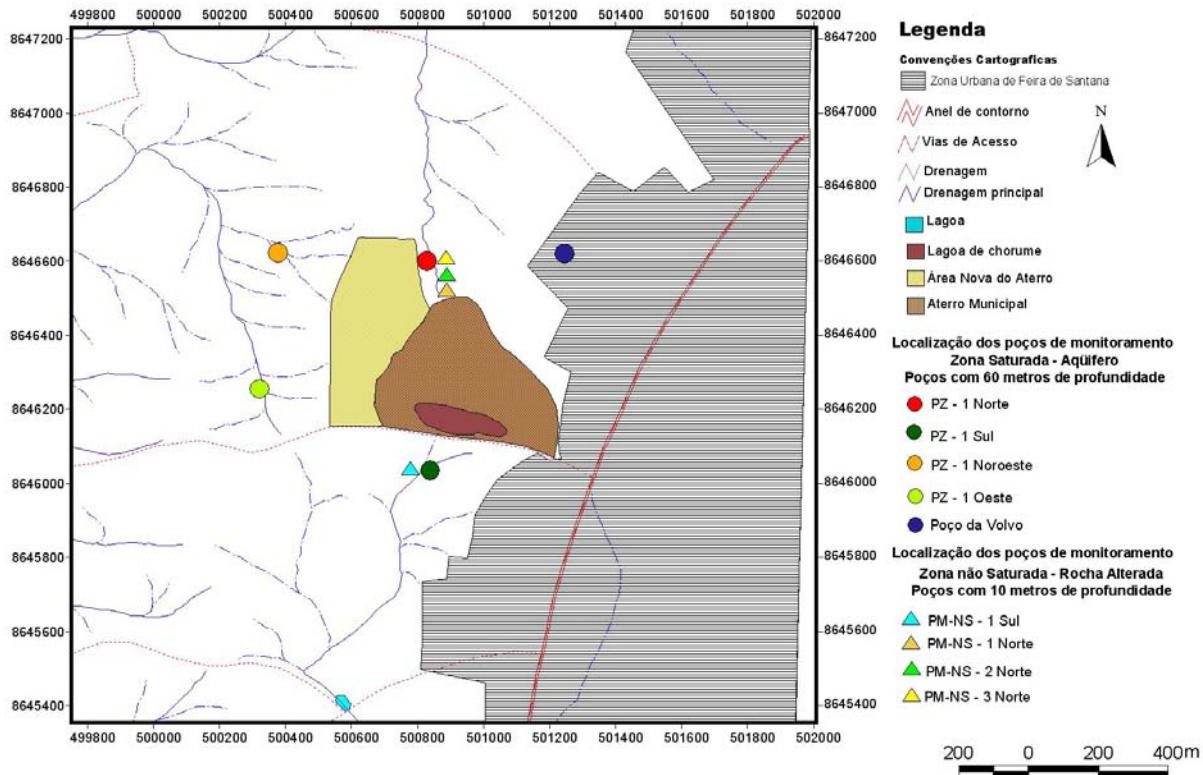


FIGURA 7.8: Mapa de localização dos poços de monitoramento em torno do aterro

Dos 27 parâmetros analisados nos poços de monitoramento, apenas o nitrito, cromo total e mercúrio apresentam concentrações abaixo dos valores máximo permitidos (VMPs) estabelecidos pelo padrão de potabilidade da Portaria 1469/2000 do Ministério da Saúde e pela resolução do CONAMA 20/86 para rios classe-2. Destaca-se neste contexto, os altos valores obtidos para condutividade, cloreto, sódio, magnésio, sólidos totais, bicarbonatos e DBO. Por outro lado, no caso do grupo dos metais pesados, apenas o chumbo e ferro apresentam valores significativamente elevados.

Na figura 7.9 é apresentada a distribuição espacial dos poços perfurados com 60 metros de profundidade (PZs) e o poço da Volvo que também tem 60 metros de profundidade, enquanto nos diagramas das figuras 7.10 a 7.13 são apresentadas as variações e concentrações dos principais elementos e parâmetros avaliados no aquífero.

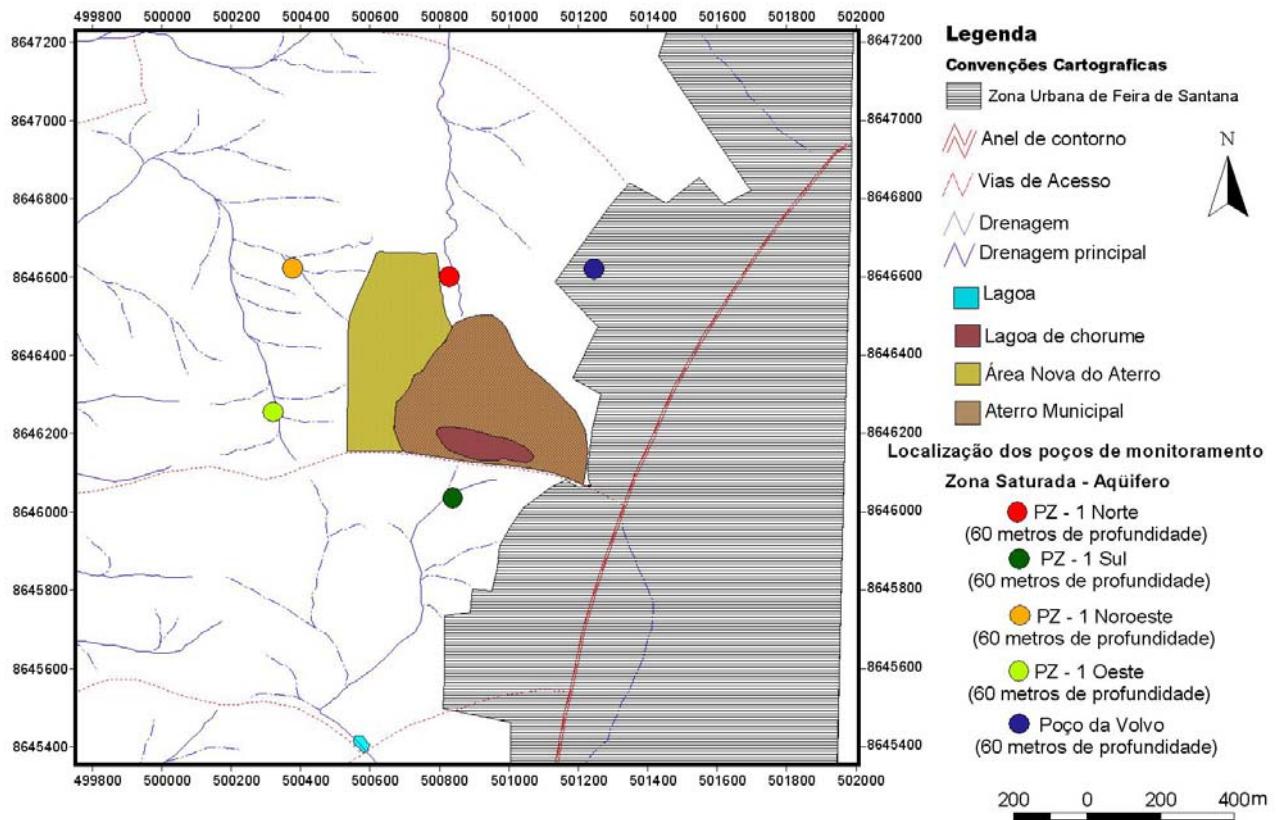


FIGURA 7.9 Mapa de localização dos poços com 60 metros de profundidade

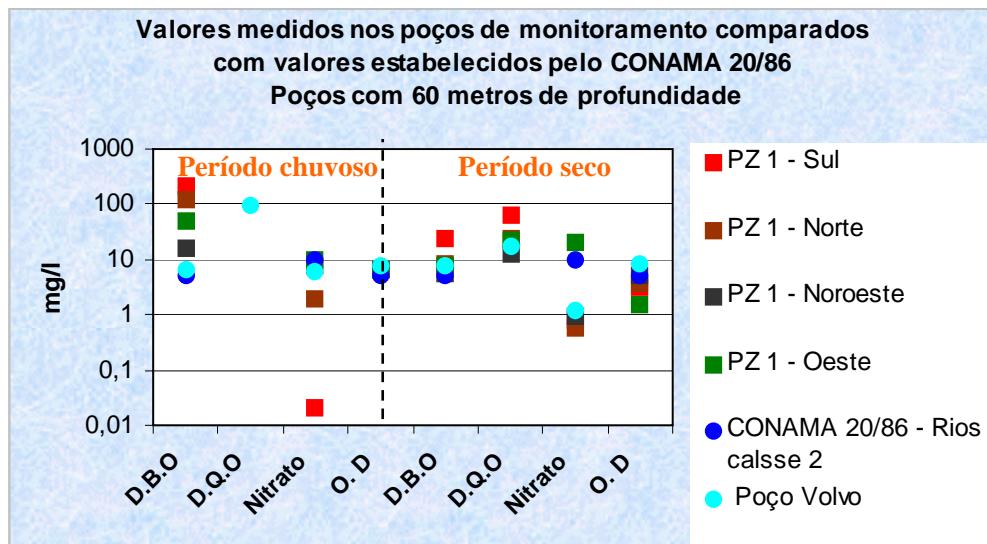


FIGURA 7.10: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados com os valores estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA 20/86

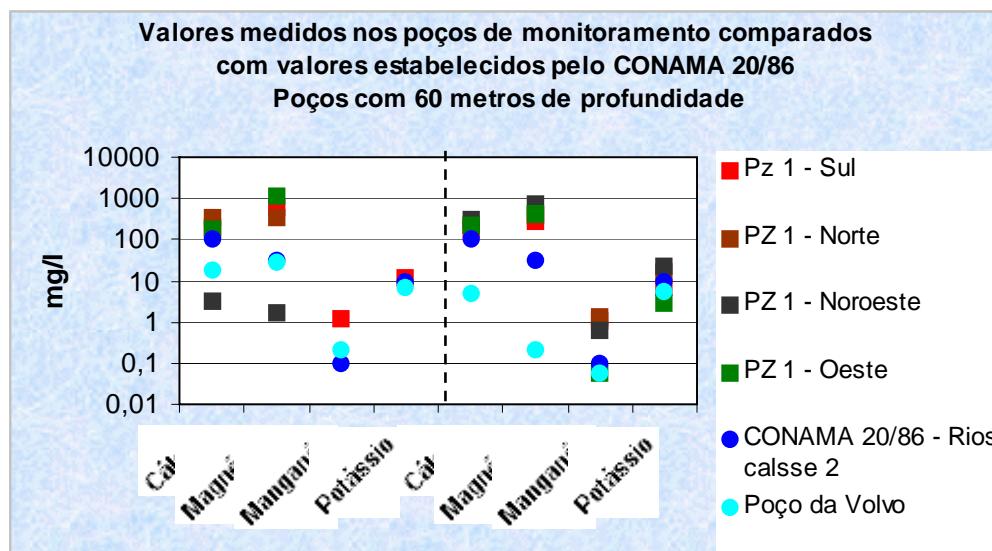


FIGURA 7.11: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados com os valores estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA 20/86

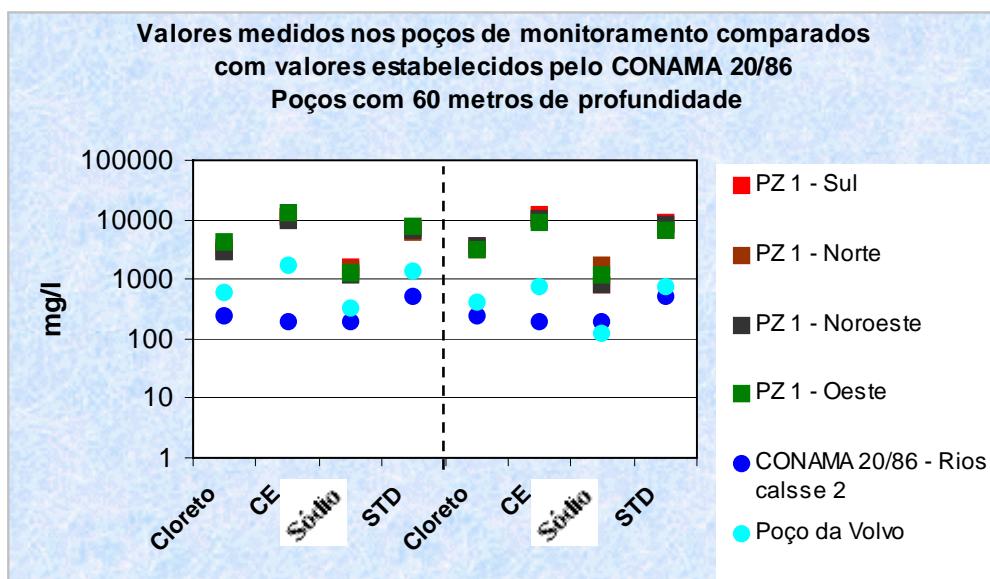


FIGURA 7.12: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados com os valores estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA 20/86

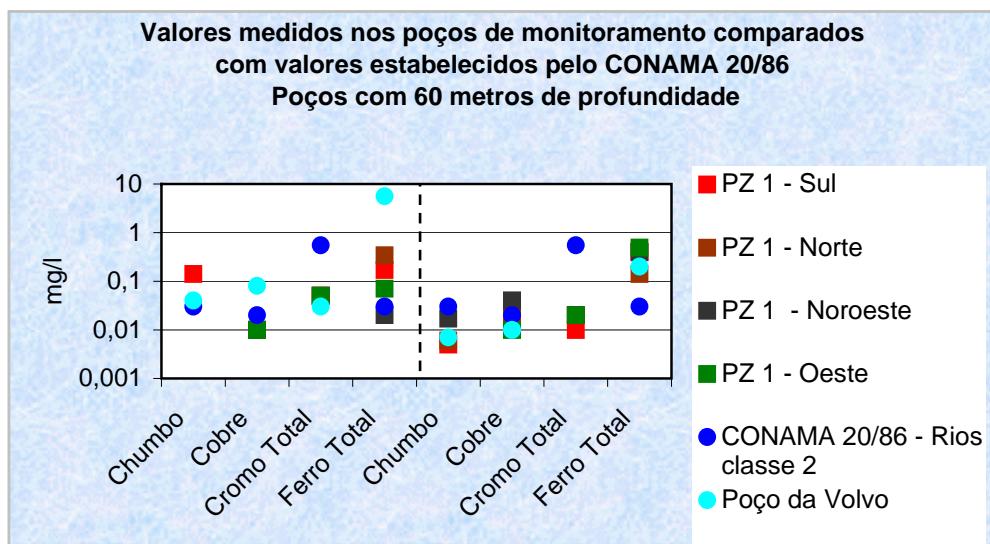


FIGURA 7.13: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados com os valores estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA 20/86

A comparação dos resultados da amostragem, realizadas no inverno e no verão, revelam em geral não haver variações significativas no padrão geral de concentrações dos parâmetros analisados.

Nota-se porém, que as concentrações de DBO na primeira amostragem são maiores em todos os poços e que as concentrações do nitrato se alteram principalmente nos poços PZ 1 sul e PZ 1 oeste, enquanto os valores de oxigênio dissolvido são menores no período de baixa precipitação (Figura 7.10).

As altas concentrações de oxigênio dissolvido obtido na amostragem do período chuvoso se deve possivelmente ao ingresso no aquífero de águas mais oxigenadas na época de maior precipitação, bem como ao fato dos poços terem sido limpos na véspera da amostragem com compressor de ar comprimido. Já as análises das amostras coletadas no período de baixa precipitação, revelou valores de OD inferiores àqueles obtidos para o poço da Volvo, sugerindo a interferência do aterro na qualidade das águas subterrâneas na área a jusante do aterro municipal.

Observa-se também, que os valores de DBO em todos os poços amostrados apresentam valores acima daqueles obtidos para o poço da Volvo e dos limites para rios classe 2 estabelecidos pela resolução 20/86 do CONAMA. Também têm-se concentrações elevadas de NH_4^+ no poço PZ1 oeste.

Na figura 7.11 e 7.12 observa-se um comportamento muito regular da distribuição dos elementos (Ca, Mg, Na, K e Mn) para a amostragem no período de altas e baixas precipitações na região, bem como valores mais elevados de suas concentrações, quando comparados com aqueles obtidos para o poço da Volvo, com exceção do Ca e Mg do poço PZ1-Noroeste que apresentou menores concentrações no período chuvoso. Estes dados sugerem que, a exemplo dos parâmetros indicadores de contaminação orgânica (DBO, DQO, OD), que as águas subterrâneas da área do aterro municipal tiveram sua composição alterada pela lixiviação de compostos provenientes do aterro. Tal alteração é marcada também pelos altos valores obtidos para a condutividade elétrica, cloreto e sólidos totais dissolvidos, bicarbonato e sulfato.

Em relação aos metais pesados nota-se que houve variação das concentrações do chumbo e do ferro principalmente os poços PZ 1 sul e norte. Entre a primeira e segunda amostragem, praticamente não houve mudanças nas concentrações do cloreto, condutividade elétrica sódio e sólidos totais dissolvidos.

Na figura 7.14 são apresentados os poços perfurados com 10 metros de profundidade (PM-NS). Já nas figuras VII.15 a VII.18, são apresentados os diagramas de comparação dos resultados obtidos a partir das análises das amostras de águas destes poços, e os valores obtidos nas cisternas do Bairro Caraibinha e os valores estabelecidos para rios classe 2 pela resolução 20/86 do CONAMA.

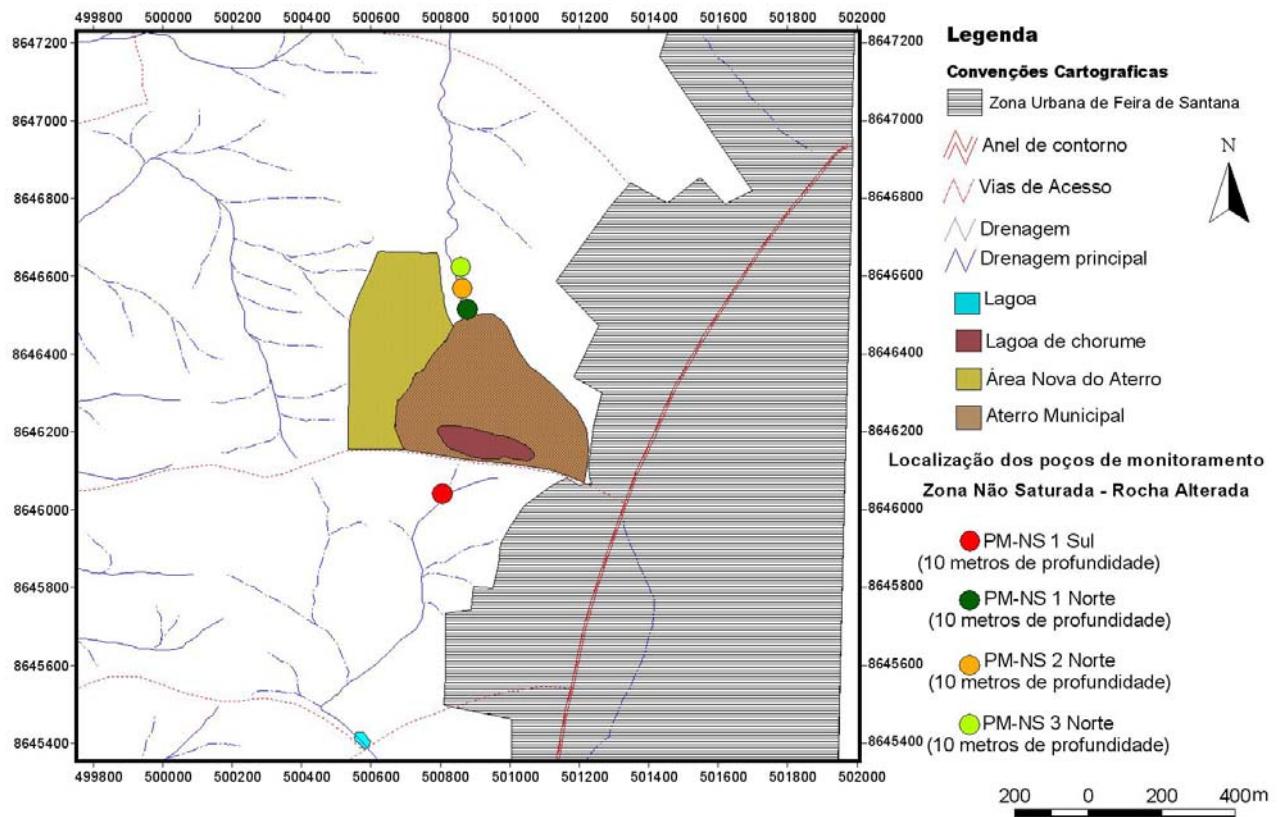


FIGURA 7.14: Mapa de localização dos poços com 10 metros de profundidade

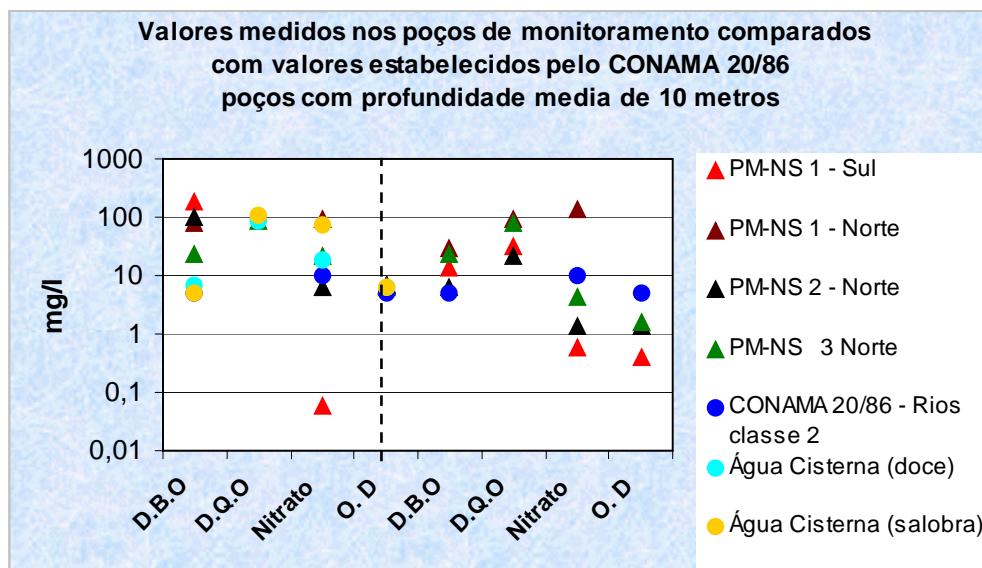


FIGURA 7.15: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados com os valores estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA 20/86

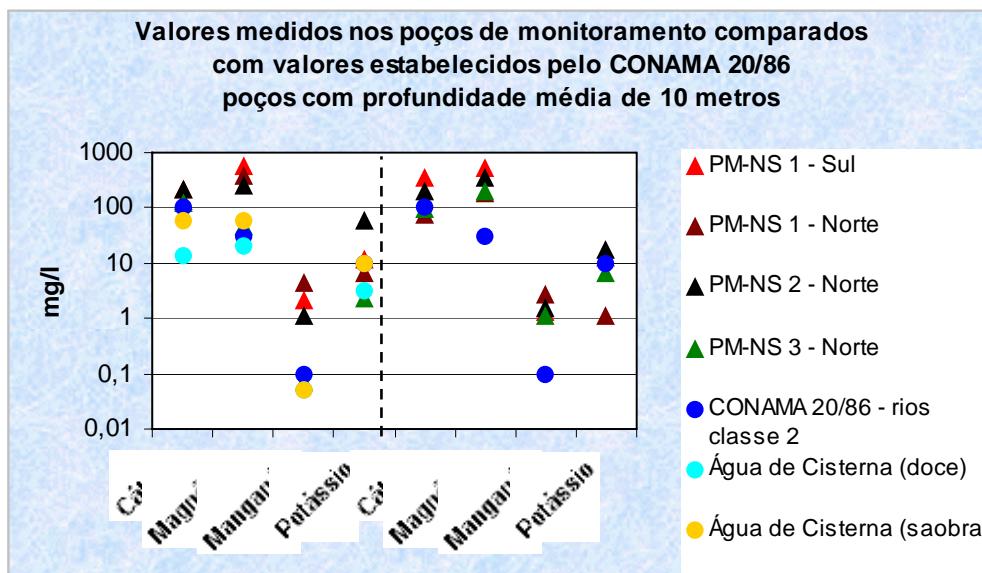


FIGURA 7.16: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados com os valores estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA 20/86

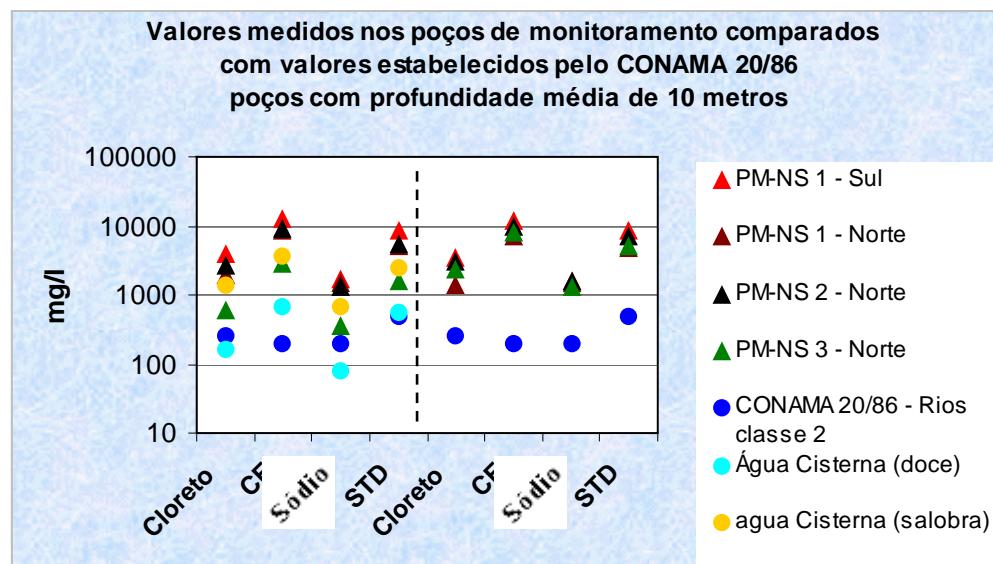


FIGURA 7.17: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados com os valores estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA 20/86

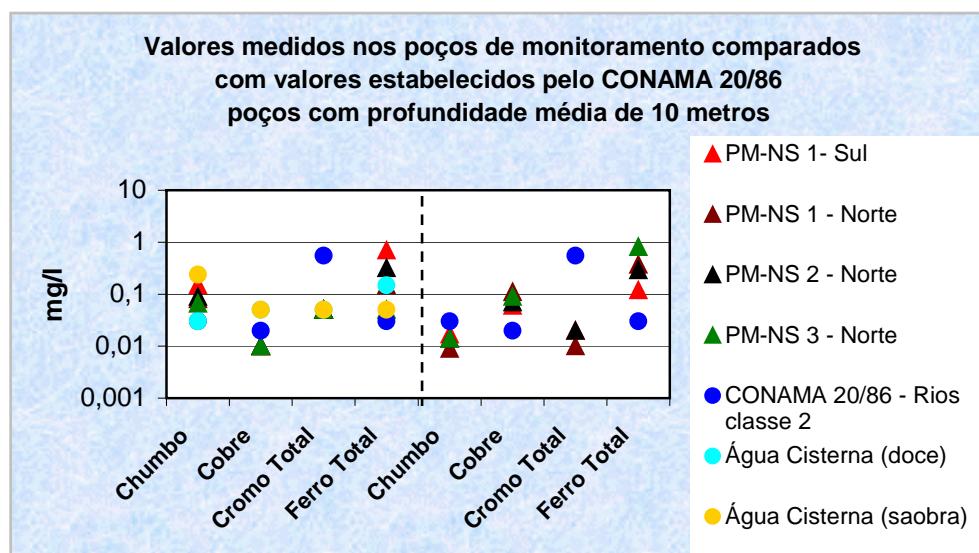


FIGURA 7.18: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados com os valores estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA 20/86

O padrão observado para os parâmetros indicadores de contaminação orgânica, revela maiores concentrações de DBO, tanto na estação seca como chuvosa, e menores de oxigênio dissolvido na estação seca, quando comparados com os dados da cisterna e estabelecidos pela resolução CONAMA citada. Já as concentrações de nitrato e DQO apresentaram maior espectro de variação entre os poços e valores menores que os padrões de comparação, com exceção do poço PM NS-1 norte, que está posicionado mais próximo do aterro. Têm-se também valores elevados de NH_4^+ para PM NS 1 Norte e PM NS 3 Norte, além das águas das cisternas do Bairro de Caraibinha.

No caso dos elementos Ca, Mg, Mn e Na, observa-se que possuem teores superiores àqueles obtidos para as amostras das cisternas e os estabelecidos para rios classe-2. Este comportamento também é observado para os parâmetros cloreto, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, além de bicarbonatos. Tais características sugerem que as águas subterrâneas presentes na zona de rochas alterada da área do aterro municipal sofreu modificações em sua composição química, devido a lixiviação de compostos dos resíduos sólidos dispostos no local.

É notável também que a água salobra da cisterna do bairro de Caraibinha, apresenta valores de Ca, Na, K, Mg, condutividade elétrica, cloreto e sólidos totais dissolvidos ligeiramente superiores àqueles obtidos para a outra amostra de cisterna e o padrão do CONAMA em questão. Assim, há indícios de que a cisterna de água salobra do bairro de Caraibinha esteja sujeita a contaminação da água por atividades humanas. Esta afirmativa é reforçada também pelos altos valores de coliformes fecais e totais, além do nitrato obtido para esta cisterna (como visto na tabela 7.3).

No caso dos metais pesados, destaca-se que a ocorrência de valores elevados principalmente para o cobre e ferro em todos os poços, enquanto os teores de chumbo, cromo e mercúrio revelaram concentrações normais para a região (Figura 7.18). As altas concentrações de ferro obtidas nestes poços possivelmente estão associadas a dissolução desse ion a partir dos minerais ou compostos de ferro presentes no aquífero.

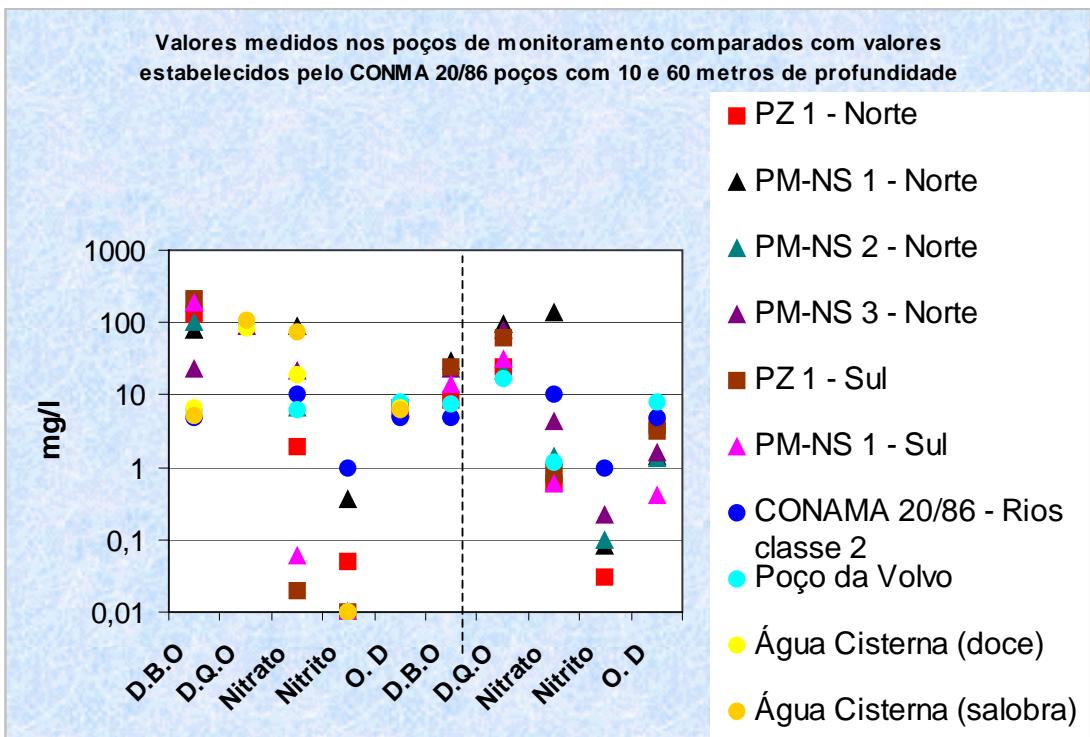


FIGURA 7.19: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados com os valores estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA 20/86

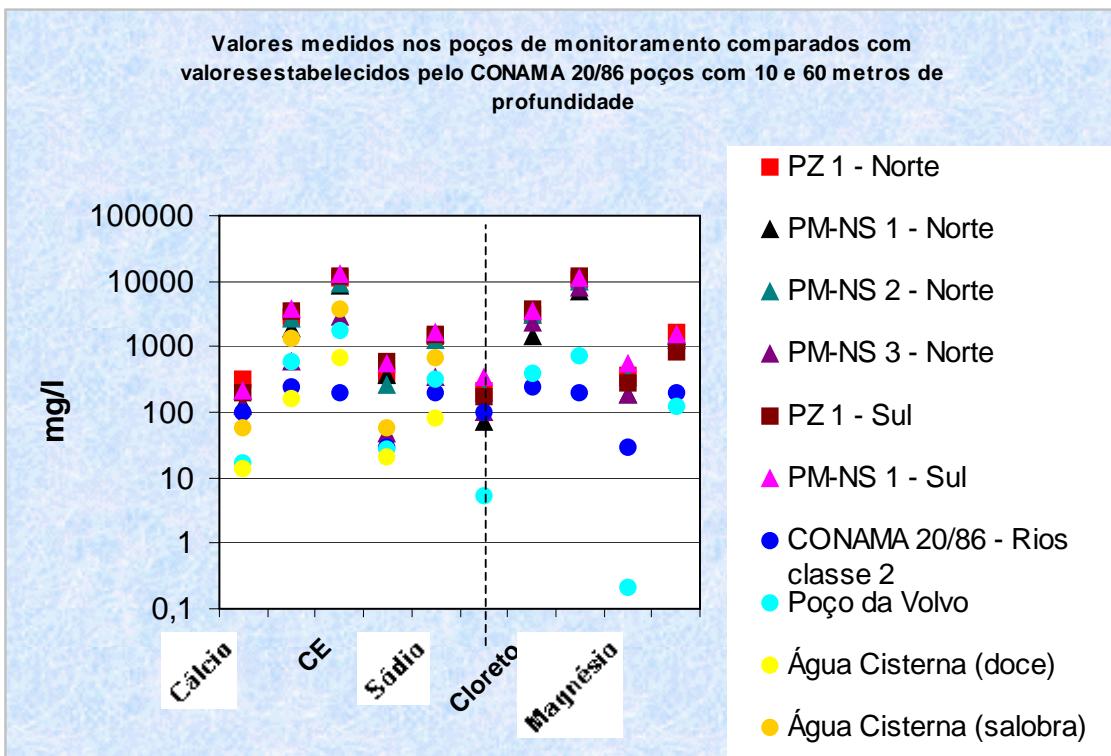


FIGURA 7.20: Concentrações obtidas dos elementos nos poços de monitoramento comparados com os valores estabelecidos para rios classe 2 segundo resolução CONAMA 20/86

Nas figuras 7.19 e 7.20 são estabelecidas comparações entre as concentrações obtidas nos poços de monitoramento com 60 e 10 metros de profundidade, localizados nas porções Norte e Sul do aterro. Nestes poços são observados as maiores concentrações dos elementos e parâmetros indicadores da contaminação das águas subterrâneas pelo aterro municipal.

A comparação dos resultados da primeira e segunda amostragem, revela que, em geral, não há variações significativas nas concentrações dos elementos analisados nas amostras dos poços de 60 e 10 metros de profundidade.

Verifica-se que as concentrações do nitrato nos poços localizados na porção sul são menores que nos poços instalados na porção norte do aterro, enquanto as concentrações de DBO são maiores nos poços instalados na porção sul.

A série nitrogenada (amônia, nitrato e nitrito), esta presente principalmente na porção norte, em especial nos poços com 10 metros de profundidade (rocha alterada) que apresentaram concentrações elevadas nas duas amostragem.

Observa-se que há predominância de maiores valores elevados de OD e DBO nos poços de 60 metros quando comparados com os de 10 metros, enquanto o nitrato apresenta comportamento inverso. No caso do Ca, Mg, Na e Cl⁻, as concentrações são ligeiramente superiores nos poços de 60 metros. Tais características estão associadas a maior circulação da água na zona saturada do aquífero em comparação com a zona de rocha alterada e a maior interação entre estes elementos e o solo na zona não-saturada.

Capítulo 8

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O impacto na qualidade das águas subterrâneas causado pela disposição dos resíduos sólidos urbanos no aterro municipal da Feira de Santana foi caracterizado. Desta forma o estudo conclui:

O aterro municipal foi implantado muito próximo a zona urbana, em área de rochas fraturadas do embasamento cristalino, sobre o aquífero fissural e não contou com a indispensável impermeabilização de base, usada para reter os líquidos percolados e consequentemente impedir a contaminação das águas subterrâneas da região.

A reduzida profundidade do solo da área do aterro entre 2,0 a 3,0 metros, provoca uma elevada taxa de infiltração promovendo o transporte dos contaminantes para o aquífero. Já a rocha alterada tem espessura média de 8,0 metros, apresentando-se muito fraturada e hospedando as principais entradas de água para o aquífero fissural.

A partir dos estudos fotogeológicos, geológicos e geofísicos foi possível a definição das principais direções dos fraturamentos das rochas na área do aterro. Os resultados obtidos permitiram definir com precisão as locações dos poços de monitoramento, revelando que a utilização desse método geofísico (VLF) para a locação de poços, seja para monitoramento ou para a capacitação de águas em terrenos cristalino é confiável.

Ficou demonstrado que há diferenças significativas nas características do chorume gerado em diferentes pontos do aterro. O conhecimento dessas diferenças se reflete na escolha da melhor forma de tratamento para esses líquidos, assim como a obtenção de novas informações sobre o comportamento dos processos de biodegradação do lixo presente na área. Os valores dos parâmetros analisados no chorume das diferentes porções do aterro revelaram concentrações diferente, sugerindo que o aterro encontra-se em diferentes fases de evolução da degradação da matéria orgânica. Estas análises revelaram em todos os pontos analisados maiores teores de DBO, DQO, cloreto, NH_4^+ , HCO_3^- , Ca, Mg, Na, Fe, Mn e sólidos totais. Os valores dos metais pesados

no chorume (chumbo, cobre, mercúrio, cromo, cádmio) são baixos, com valores inferiores a 0,1 mg/l.

Com base nas altas concentrações obtidas para a maioria dos elementos analisados nas águas subterrâneas da área do aterro (ex: Ca, Mg, Na, K, Fe e Mn), bem como pelos parâmetros indicadores de contaminação orgânica (ex: DBO, DQO, OD), pode-se concluir que as águas subterrâneas da área do aterro municipal tiveram sua composição alterada pela lixiviação de compostos provenientes do lixo disposto no local. Tal alteração é marcada também pelos altos valores obtidos para a condutividade elétrica, cloreto e sólidos totais dissolvidos, bicarbonato e sulfato.

Os dados obtidos neste trabalho revelaram que as águas subterrâneas na área do aterro não foram contaminadas por metais pesados (ex: cádmio, chumbo e mercúrio). Este fato deve estar refletindo a baixa quantidade de resíduos industriais e / ou perigosos nos resíduos sólidos gerados no município e dispostos no aterro municipal.

Nota-se que nas porções noroeste e oeste do aterro, o impacto na qualidade das águas subterrâneas é menor, devido a estes poços terem sido instalados em posição mais afastada do aterro, além de posicionar-se em sistemas de fraturamentos secundários mais a jusante da zona impactada pelo aterro.

Não há variação significativa nas concentrações dos elementos analisados na água para a zona rocha alterada e a zona do aquífero fissural, confirmando que toda a zona saturada foi impactada pela lixiviação de compostos do aterro. Também não há variação entre os valores obtidos na época do inverno e verão, fato que reflete a baixa circulação da água subterrânea no aquífero da região.

Como recomendações para trabalhos futuros sugere-se:

- a- Realizar estudos geofísicos com métodos elétricos e eletromagnéticos para definir com precisão a geometria da pluma de contaminação;

- b- Instalar poços de monitoramento com maiores distâncias em relação ao aterro, para ampliar o conhecimento e controle da contaminação na área;
- c- Realizar o tratamento e monitoramento do chorume produzido em todo o aterro, afim de reduzir gradativamente as concentrações dos elementos contaminantes nas águas subterrâneas e superficiais;

Capítulo 9

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

A bibliografia está em conformidade com a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24 f.

ALMEIDA, J. A .P. **Estudo morfodinâmico do sítio urbano de Feira de Santana-BA**. 1992. Xf. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1992.

ALVES, W. Tratamento de efluentes líquidos de aterros sanitários. In: D'Almeida, M. L. O.; VILHENA, A. (Eds.). **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT, 2000. p. 295-313.

ANJOS, N. F. R.; BASTOS, C. A. M. **Estudo das possibilidades hidrogeológicas de Feira de Santana-Bahia**. Recife: SUDENE, 1968. 250 p.

APHA, A. W. W. A. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 14 th ed. Washington: American Public Health Association, 1999.

APPELO, D.; POSTMA, C. A. J. **Geochemistry, groundwater and pollution**. 4 th ed. Rotterdam: A.A. Balkema, 1993. 536 p.

ASSIS FERREIRA, J. de. **Hidrogeologia e hidroquímica da região de Alagoinha PE**: aplicação de novos critérios técnicos para a locação de poços no aquífero fissural. 1996. 220 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-8419**: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos urbanos: procedimento. Rio de Janeiro, 1985. 13 p.

_____. **NBR-10.004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 1987. 63 p.

_____. **NBR-10006**: solubilização de resíduos: procedimento. Rio de Janeiro, 1987. 6 p.

_____. **NBR-10007**: amostragem de resíduos: procedimento. Rio de Janeiro, 1987. 25 p.

BARBOSA, J. S. F.; DOMINGUEZ, J. M. L. (Coords.). **Geologia da Bahia**: texto explicativo para o mapa geológico ao milionésimo. Salvador: superintendência de Geologia e Recursos Minerais, 1996. 400 p.

BARROS, Z. X.; TORNERO, M. T. **Condições de preservação da vegetação original na costa de Botucatu**. 1992. 10 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Unifac, Botucatu, 1992.

CALICHMAN, E. Gás de aterro sanitário. **Limpeza Pública**, n.14, p. 6-11. 1979.

CAMPBELL, D. J. V. Environmental management of landfill sites. **Journal IWEM**, v. 7, p. 170-174. 1993.

CAMPOS, H. K. T. **Estudos preliminares para seleção de alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos**. In: Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos, 1, 1992, Belo Horizonte. Curso... Belo Horizonte: ABES, 1992. p.1-12.

_____. Resíduos sólidos: diagnóstico da situação atual. **BIO-Revista da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 3, p. 23-24. 1991.

CAR (Bahia). **Projeto: Base cartográfica para 31 sedes de municípios baianos**. Salvador, 1998.

CHERRY, J. A. **Groundwater contamination**. In: Macshort Couse Handbook, university of Waterloo. Waterloo, Ontario, n° 10, p.269-306. 1984.

CHRISTENSEN, T. H.; COSSU, R.; STEGMANN, R. **Sanitary landfilling**: process, technology and environmental impact. London: Academic Press. 1989.

CONAMA. Resoluções CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 jul. 1986.

CONDER (Bahia). **Cuide bem do lixo**. Salvador, 2003. disponível em <<http://www.conder.ba.gov.br>>. Acesso em 20 de setembro de 2003.

CONTI, L & LAMERA, C. **O mundo da tecnologia das origens ao ano 2000**. [S. l.: s. n.], 1985.

CUSTODIO, E & RAMON LHAMAS, M. (Eds.). **Hidrologia subterrânea**. Barcelona: Omega, 1981. 2v.

D'ALMEIDA, M. L. O & VILHENA, A. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 370 p.

DANIEL, D. E. (Ed.). **Geotechnical practice for waste disposal**. London: Chapman & Hall, 1993. 683 p.

DEUTSCH, W.J. **Groundwater Geochemistry**: fundamentals and applications to contamination, 1997. 220p.

FARIAS, A. B. **Parâmetros de compressibilidade de resíduos urbanos**. 2000. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Coords). **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM, 1997. 412 p.

FERREIRA, A. (Coord.) **A questão dos resíduos sólidos urbanos**: um projeto institucional da UNESP. São Paulo: FUNDUNESP, 1994. 74 p.

FREEZE, R. ALLAN & CHERRY JOHN A. **Groundwater**, Editora: Prentice Holl, Inc, 1979. 604p

FUZARO, J. A. Aterro sanitário. In: Resíduos Sólidos Domésticos: Tratamento e Disposição Final, 1, 1990, São Paulo. Curso São Paulo: CETESB, 1990. p.121-82.

GOMES, L. P. **Estudo da caracterização física e da biodegradabilidade dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários**. 1989. 166 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

HINRICH, R. A. **Energy**. New York: Phototake, 1991. 560 p.

IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2000**. [Rio de Janeiro], [2001]. Xp.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT/CEMPRE, 1996.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo, 2000. Xp.

JARDIM, N. S. et al. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT/CEMPRE, 1995. 278 p.

JUCÁ, J. F.T. Destinação final dos resíduos sólidos no Brasil: situação atual e perspectivas. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 10., 2002, Braga. **Anais...** 2002. [Rio de Janeiro]: ABES, 2002.

_____. et al. Sistema de tratamento de chorume do Aterro da Muribeca, Pernambuco – Brasil. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 10., 2002, Braga. **Anais...** 2002. [Rio de Janeiro]: [ABES], 2002.

LEAL, R. B. **A problemática do lixo em Feira de Santana:** soluções alternativas e os impactos sobre o meio ambiente. UEFS: monografia, 1998. 77p.

LEITE, C. E. S. Locação de poços tubulares profundos com VLF no Estado do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 8., 1994, Recife. **Anais...** Rio de Janeiro: ABAS, 1994. p. 329-335.

LEITE, J. C.; ZUQUETTE, L. V. Prevenção da contaminação e poluição de aquíferos: a utilização de liners. **Geociências**, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 167-178. 1995.

LIMA, L. M. Q. **Tratamento de lixo.** 2. ed. São Paulo: Hemus, 1991. 240 p.

LIMA, M. A. de; CAVALHEIRO, F. Análise da degradação ambiental do Município de Rio Claro com o apoio do sistema de informações geográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1995, Curitiba. **Anais...** São Paulo: Inpe, 1995. p. 83-91.

LO, I. M. C. Characteristics and treatment of leachates from domestic landfills. **Environment International**, New York, v. 22, n. 4, p. 433-442. 1996.

MARTINS, D. **Classificação climática de Botucatu e São Manuel.** Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, 1996. 2p.

MELLO, J. C. **Análise e interpretação de perfis de VLF, modelo “WADI”, utilizado para locações de poços tubulares em rochas cristalinas e cársticas.** Salvador: CERB, 1997a. Xp.

_____. **Manual de operação e utilização do equipamento geofísico de VLF, modelo “WADI”, para locações de poços tubulares.** Salvador: CERB, 1997b. Xp.

_____. **VLF**: uma ferramenta geofísica para locação de poços tubulares em rochas cristalinas e cársticas. Salvador: CERB, 1998. Xp.

NOLASCO, M. C.; ROCHA, C. C.; FRANCA ROCHA, W. J. S. **Impactos e vetores de riscos ambientais em Feira de Santana**: resultados preliminares. Feira de Santana: UEFS, 1994. 4 p.

QASIM, S. R. & CHIANG, W. **Sanitary landfill leachate**: generation, control and treatment. Lancaster: Technomic, 1994. 339 p.

RÊGO, M. J. M. Os solos do município de Feira de Santana. In: FRANCA ROCHA, W. J. S.; NOLASCO, M. C. **Projeto Nascentes**: “um olhar sobre Feira de Santana”. Feira de Santana: UEFS, 1998. 1 CD-ROM.

ROCCA, A. C. C. et al. **Resíduos sólidos industriais**. 2. ed. São Paulo: CETESB, 1993. 234 p.

ROCHA, C. C.; NOLASCO, M. C.; ROCHA, W. J. S. F. 1994. Impactos e vetores de risco ambiental em Feira de Santana: resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ANÁLISE AMBIENTAL, 1., 1994, Rio Claro. **Anais...** Rio Claro: UNESP, 1994. p. X-X.

SANT'ANA FILHO, R. Aterro sanitário. In: Técnicas de tratamento de lixo domiciliar urbano, 1, 1992, Belo Horizonte. Curso... Belo Horizonte: ABES, 1992. p.13-43.

SANTOS FILHO, M. G. **O impacto na qualidade das águas subterrâneas gerado pela disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos no município de Tatuí-SP.** 2001. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

SAPUCAIA, N. S. **Integração Geológica entre a Bacia do Recôncavo e seu Embasamento: Estudo de algumas Áreas – Alvo**. 2002. 32p. Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Instituto de Geociências, UFBA, Salvador, 2002.

STECH, P. J. Resíduos sólidos: caracterização. In: Resíduos Sólidos Domésticos: tratamento e disposição final, 1990, são Paulo. curso. são Paulo: CETESB, 1990. p.1-12.

SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS (Bahia), (SRH). **Plano estadual de recursos hídricos**. Salvador, 2003. 1 CD-ROM.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA (SEI). **Balanço hídrico do Estado da Bahia**. Salvador, 1999. 250 p.

TATSi, A. A.& ZOUBOULIS, A. I. A field investigation of the quantity and quality of leachate from a municipal solid waste landfill in a mediterranean climate (thessaloniki, Greece). **Advances in Environmental Research**. Elsevier. V.6, 2002. p 207-219.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **The solid waste dilemma: an agenda for action**. Washington: U.S. Government Print Office, 1989. 70 p.

VEGA. **Relatório final de atividades**. [Salvador], 2004

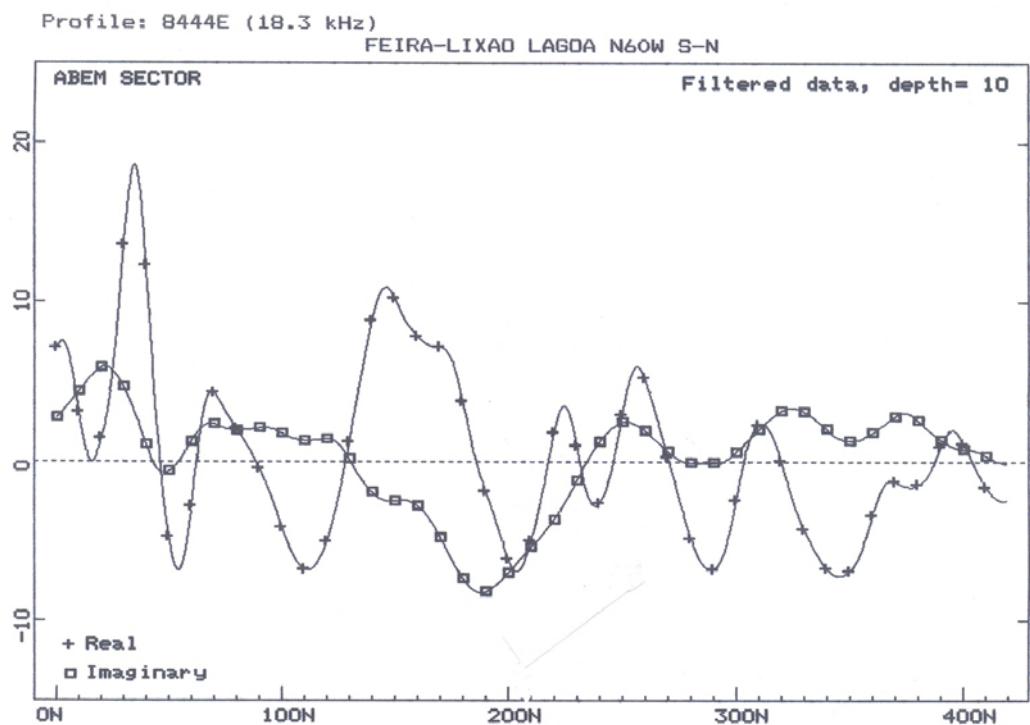
VIEIRA, L. S.; VIEIRA, M. N. F. **Manual de morfologia e classificação de solos**. 2. ed. São Paulo: Ceres, 1983. 317 p.

ZIMBRES, E. **Meio Ambiente pro Br.** Rio de Janeiro: UERJ, 2000. Disponível em <<http://WWW.meioambiente.pro.br/agua/aguasubteranea.htm>>. Acesso em: 10 de novembro de 2003.

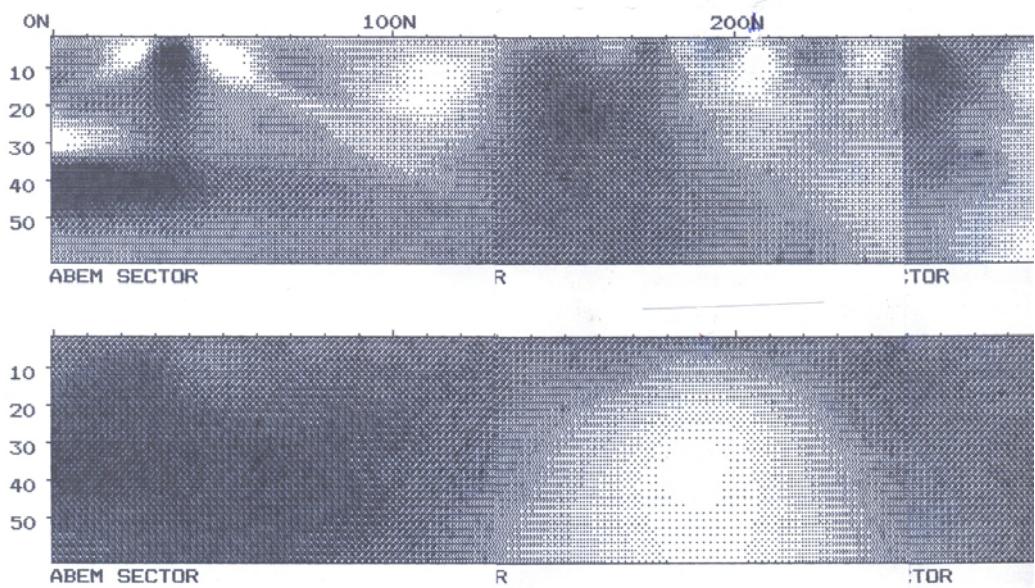
Apêndice I

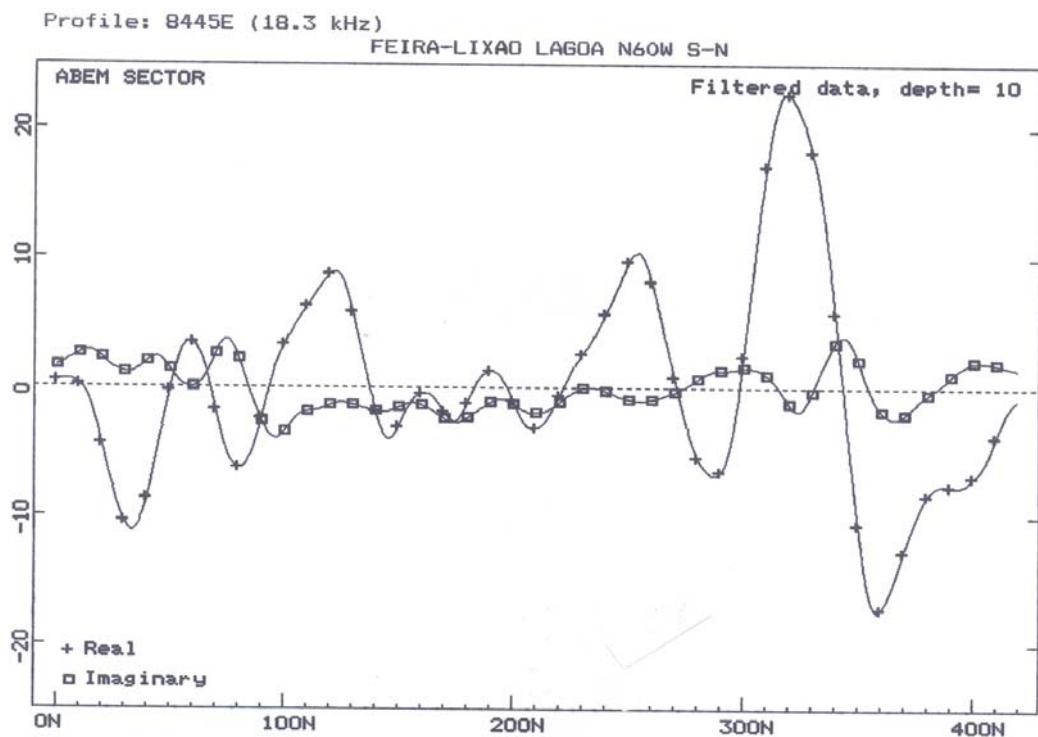
Perfis Geofísicos

Método VLF

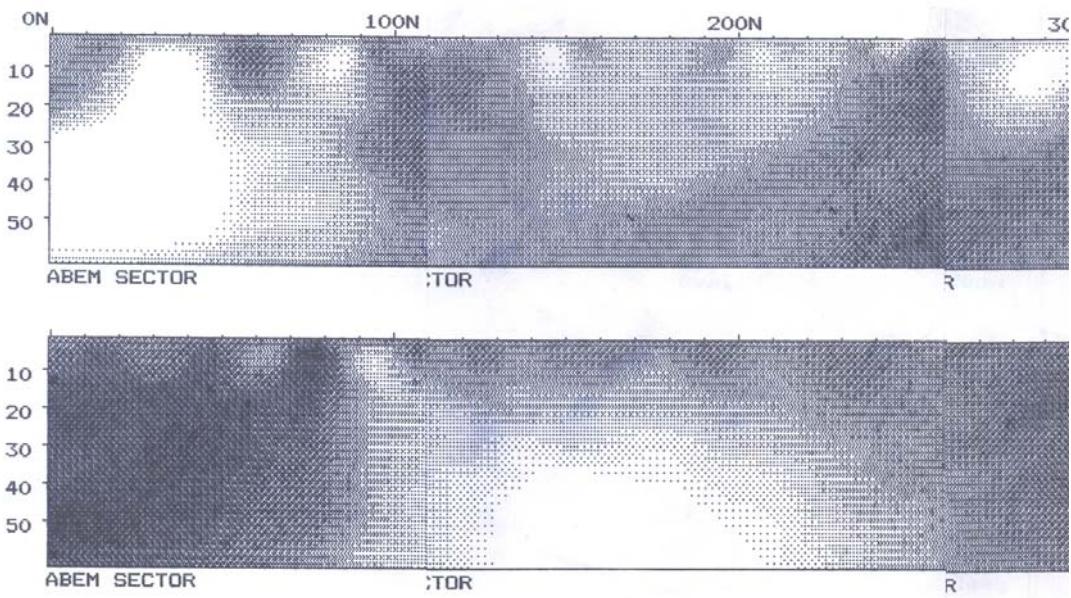


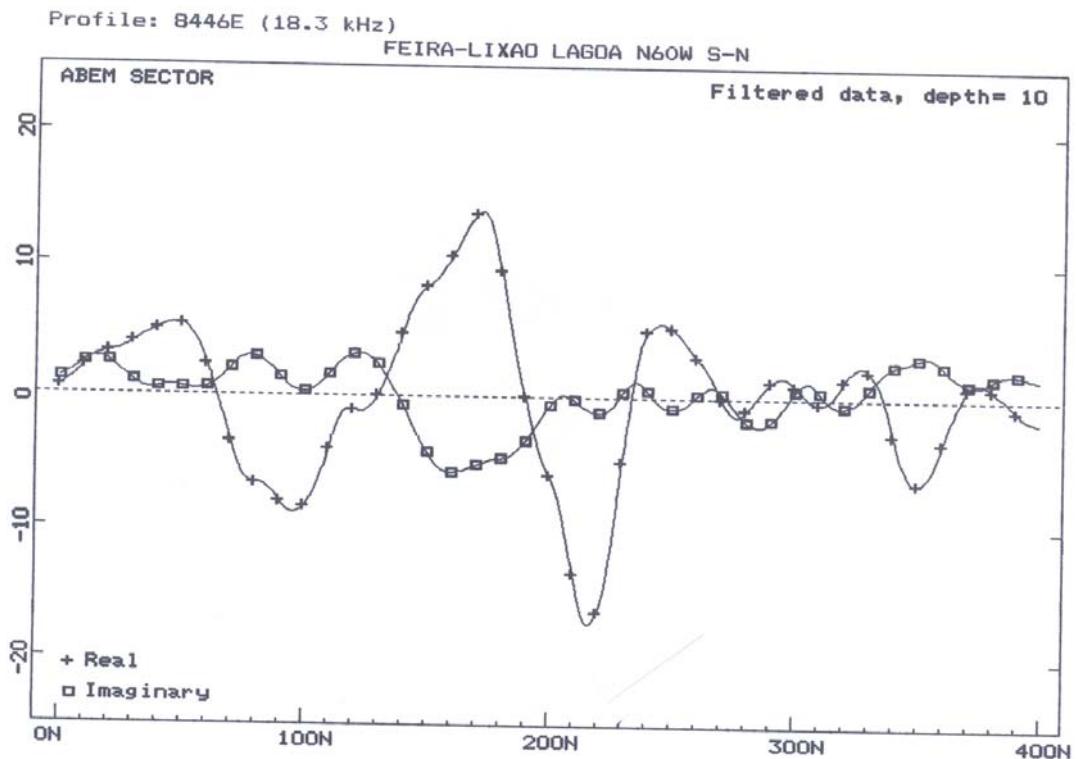
Profile: 8444E FEIRA-LIXAO LAGOA N60W S-N



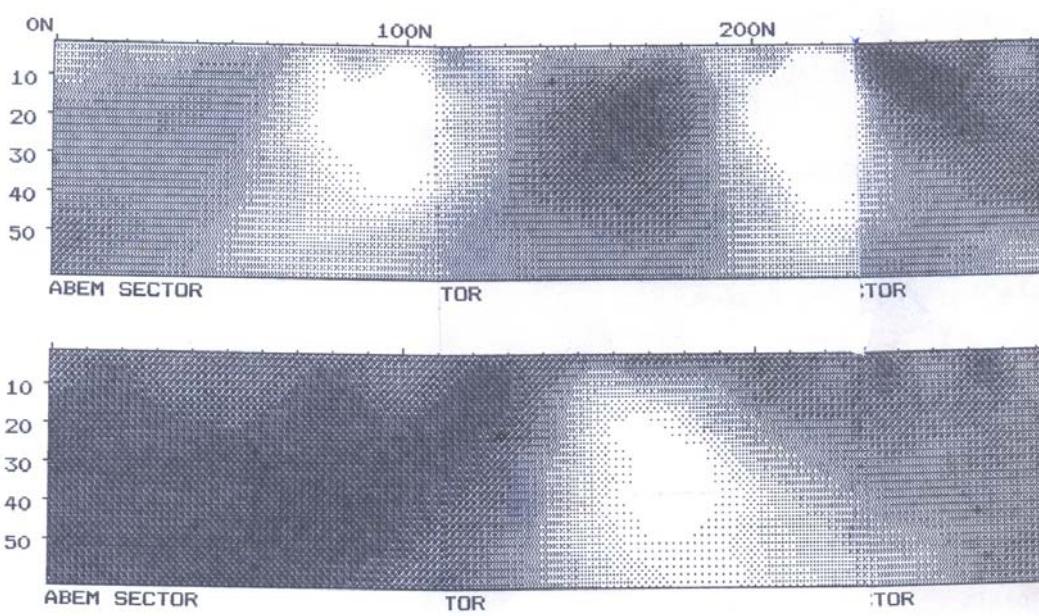


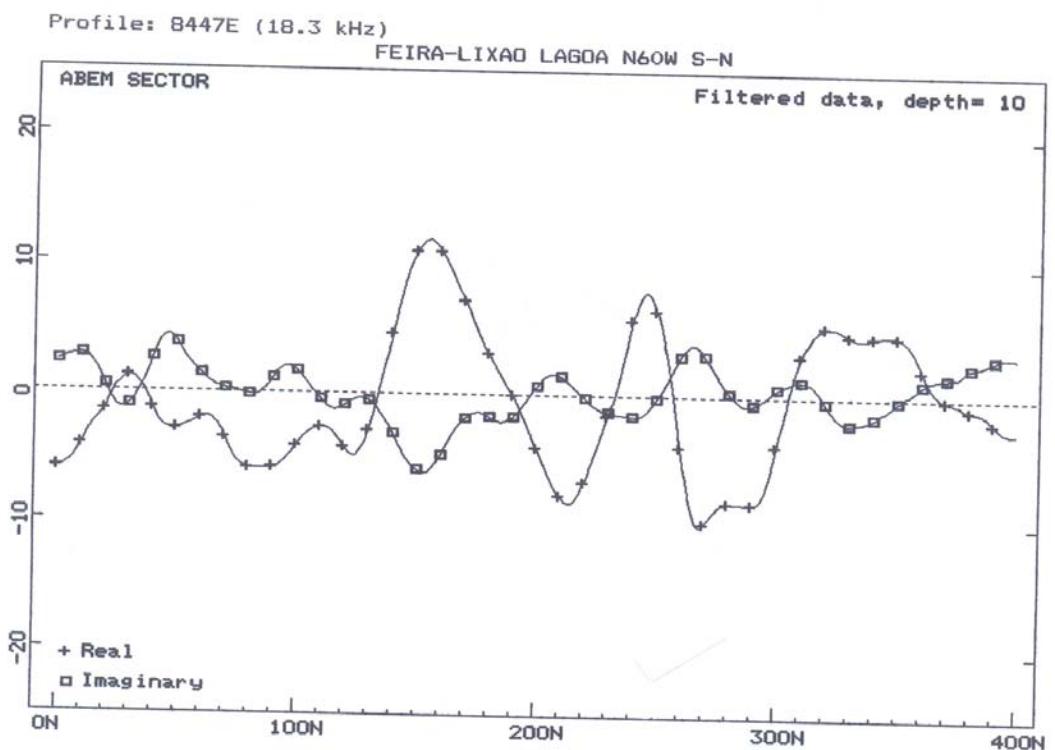
Profile: 8445E FEIRA-LIXAO LAGOA N60W S-N



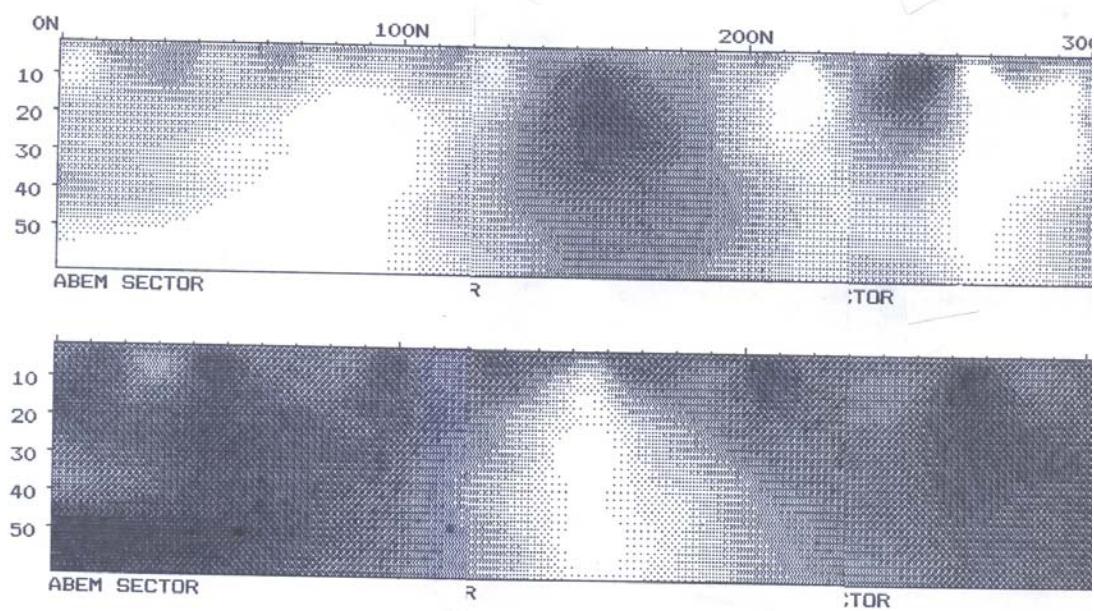


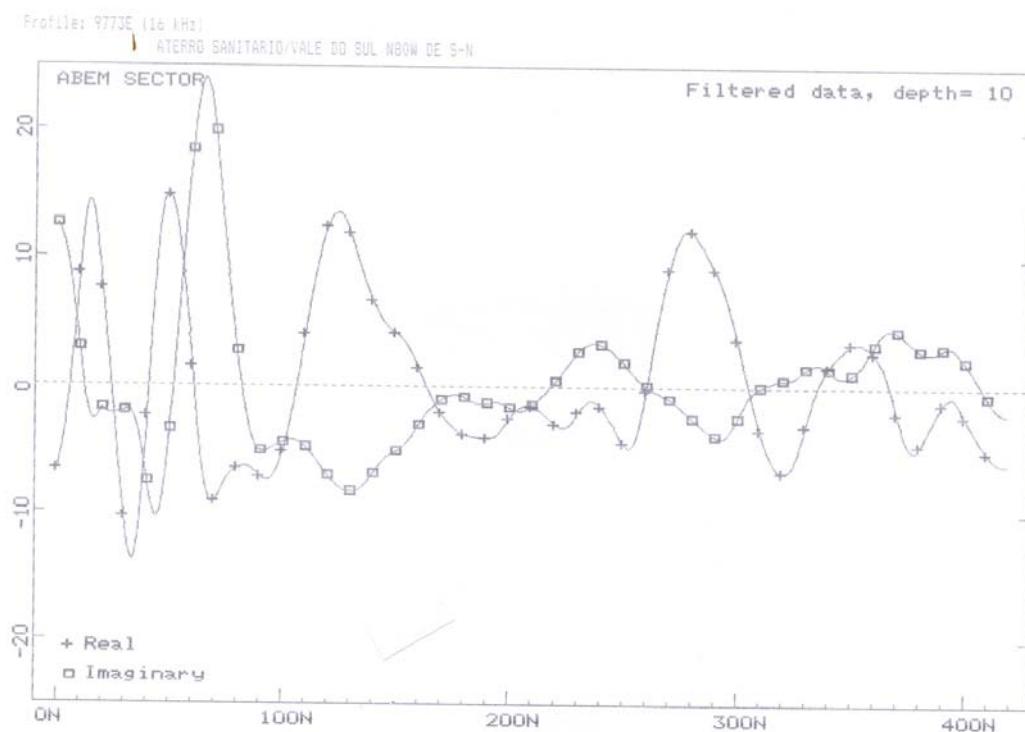
Profile: 8446E FEIRA-LIXAO LAGOA N60W S-N



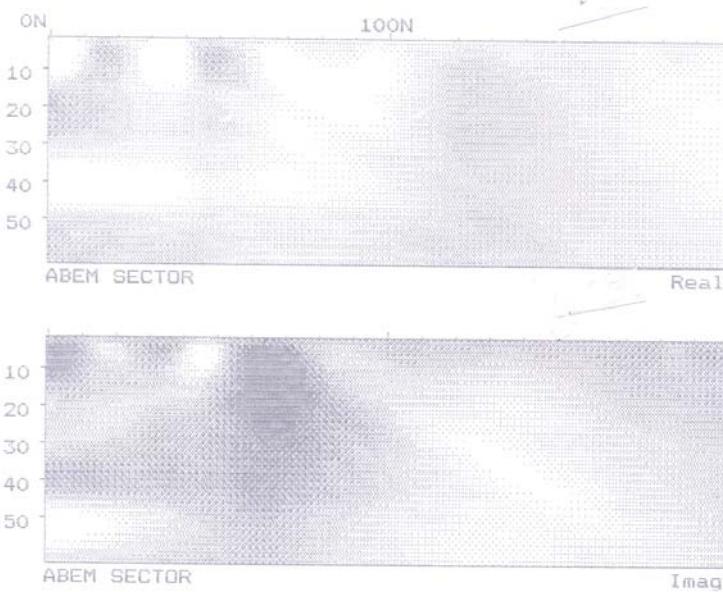


Profile: 8447E FEIRA-LIXAO LAGOA N60W S-N



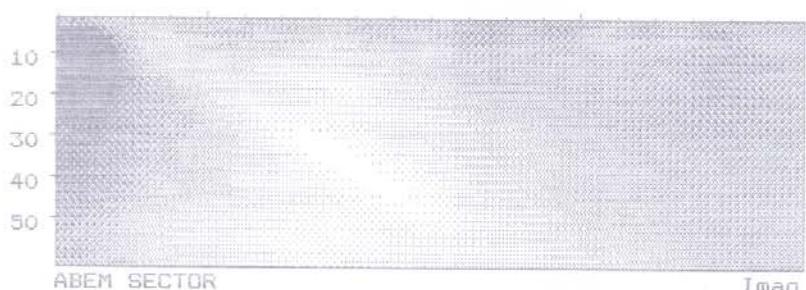
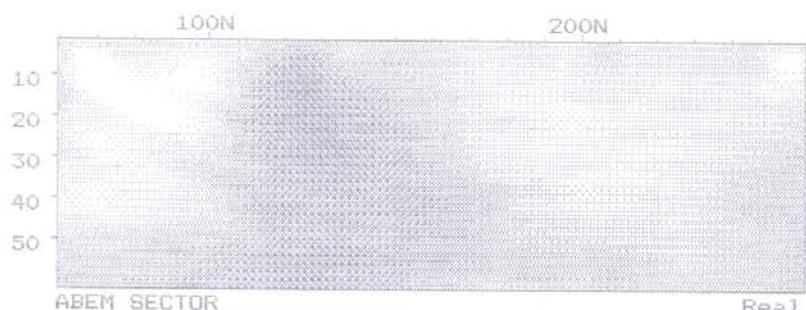


Profile: 9773E
ATERRO SANITARIO/VALE DO SUL NBOW DE S-N



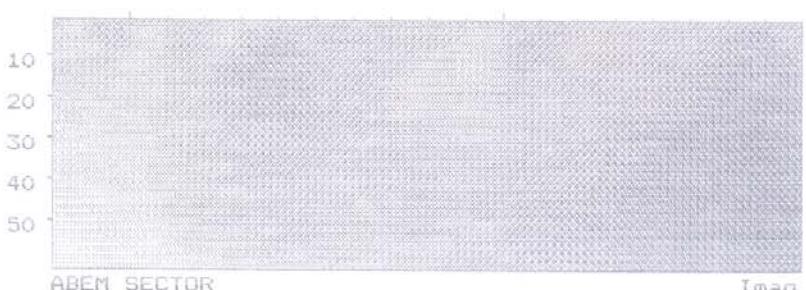
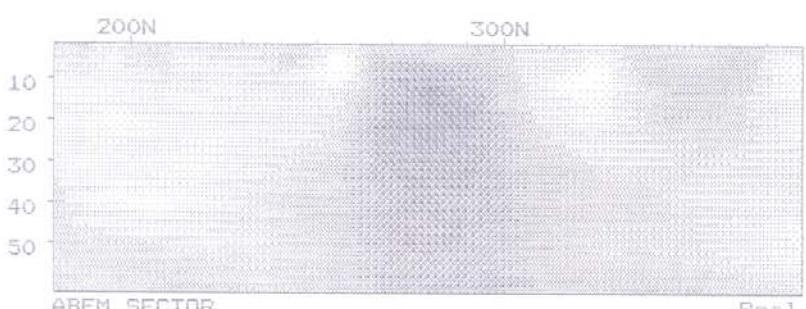
Profile: 9773E

ATERRO SANITARIO/VALE DO SUL NBOW DE S-N

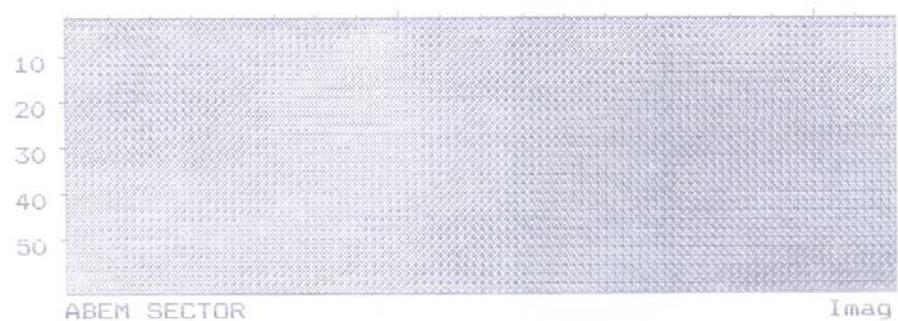
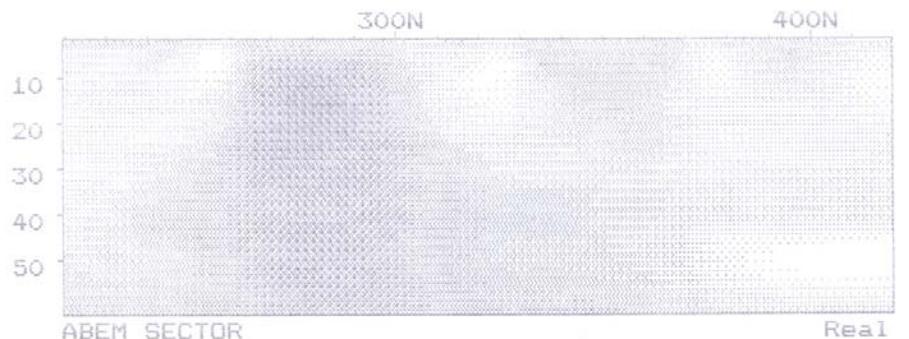


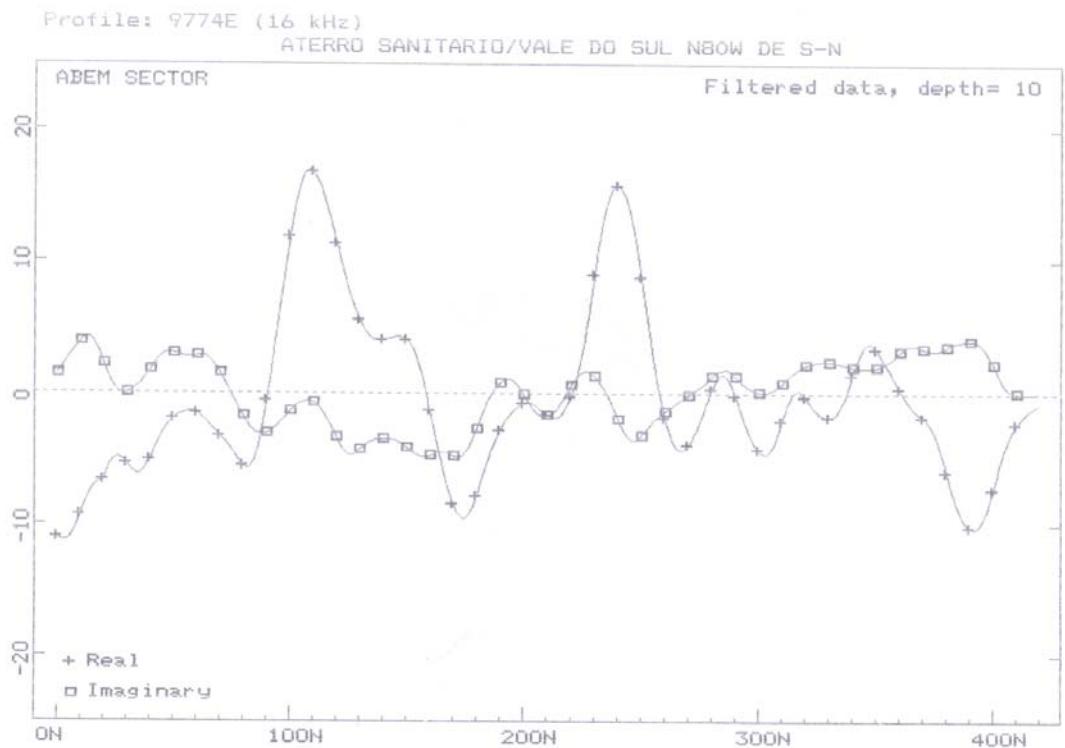
Profile: 9773E

ATERRO SANITARIO/VALE DO SUL NBOW DE S-N



Profile: 9773E
ATERRO SANITARIO/VALE DO SUL N80W DE S-N



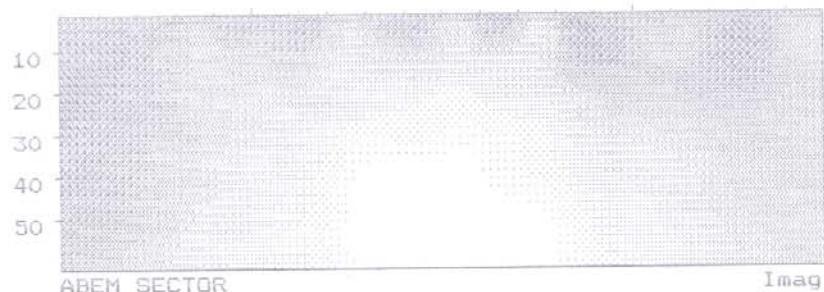
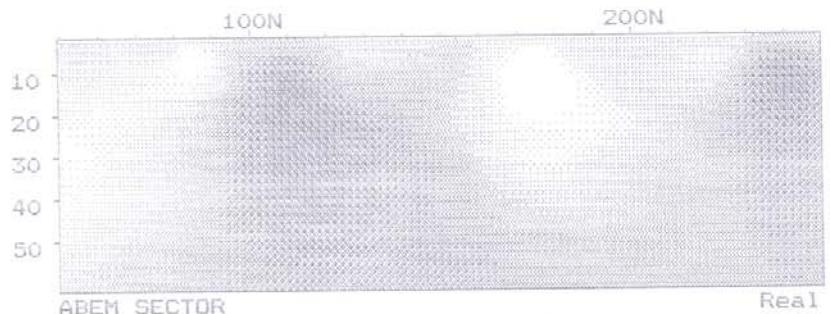


Profile: 9774E
ATERRO SANITARIO/VALE DO SUL N80W DE S-N



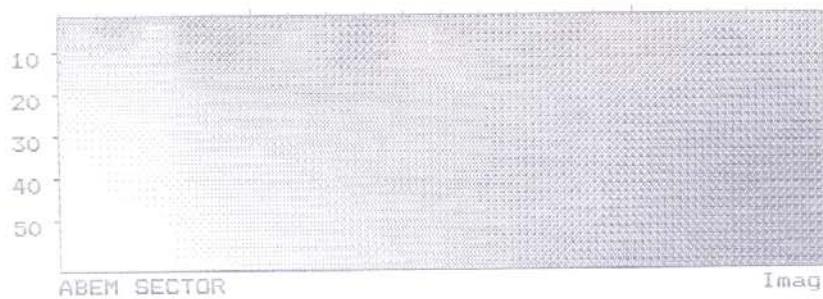
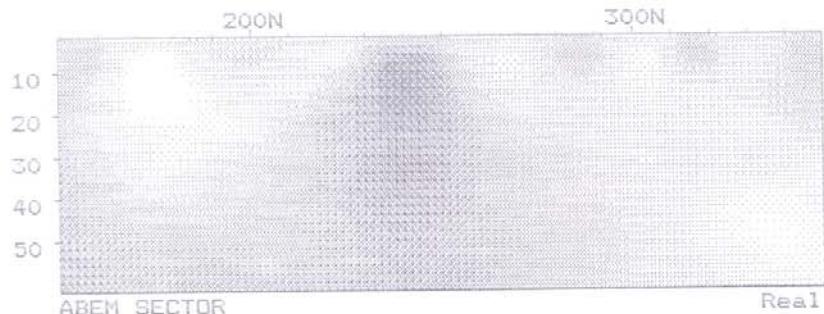
Profile: 9774E

ATERRO SANITARIO/VALE DO SUL N80W DE S-N



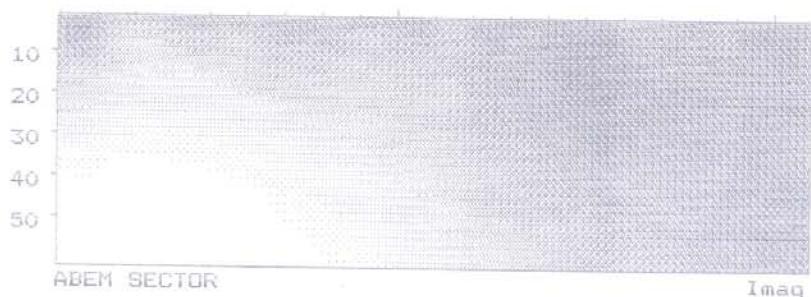
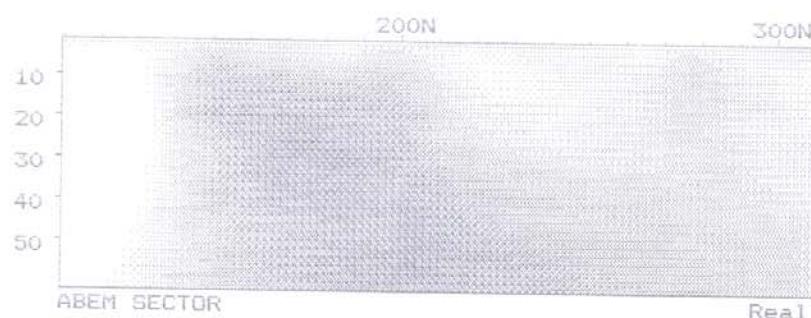
Profile: 9774E

ATERRO SANITARIO/VALE DO SUL N80W DE S-N



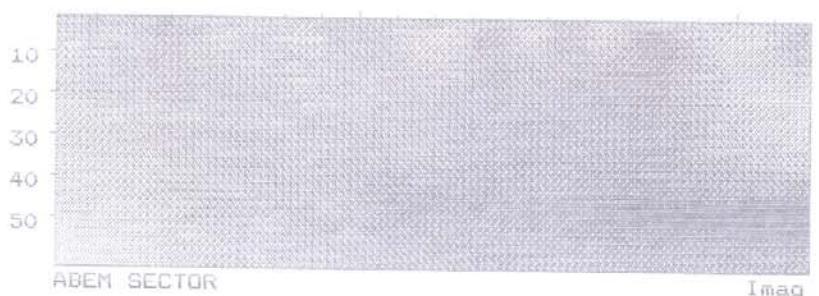
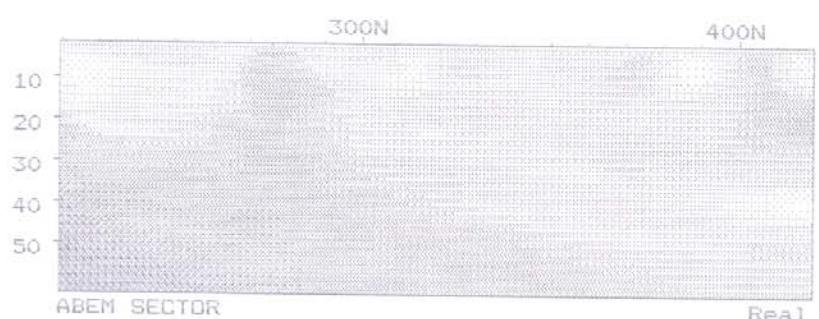
Profile: 977SE

ATERRO SANITARIO/VALE DO SUL N80W DE S-N



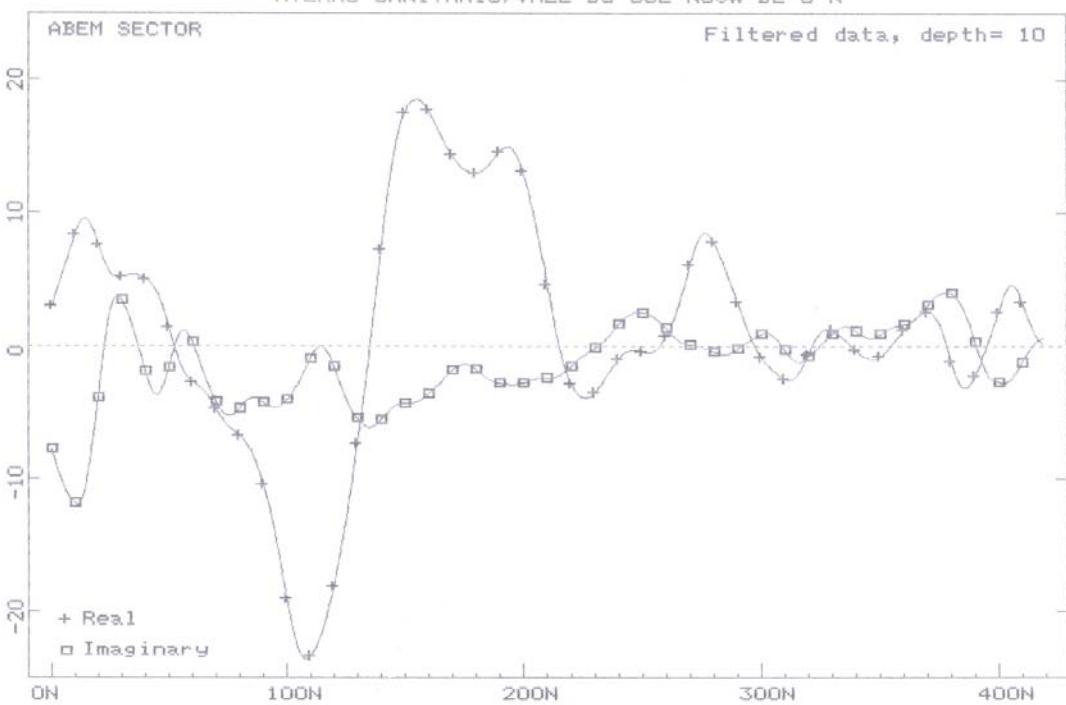
Profile: 977SE

ATERRO SANITARIO/VALE DO SUL N80W DE S-N



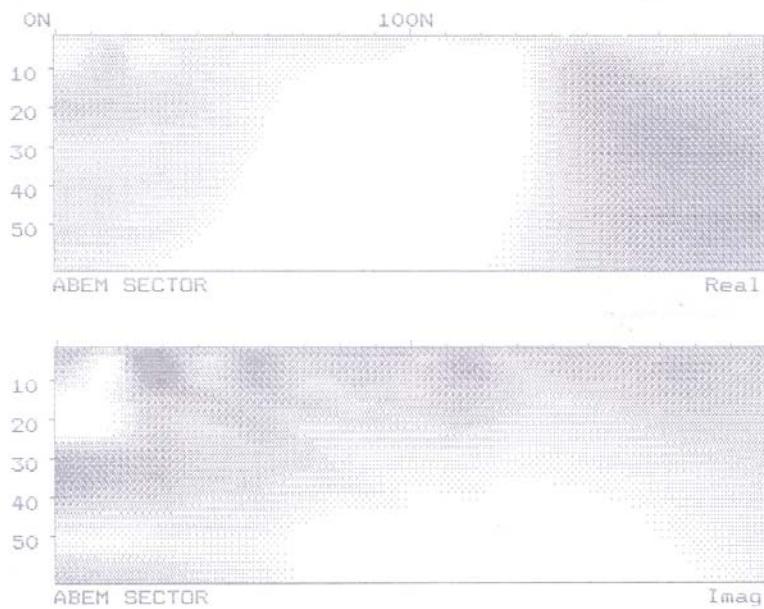
Profile: 9775E (16 kHz)

ATERRO SANITARIO/VALE DO SUL N80W DE S-N



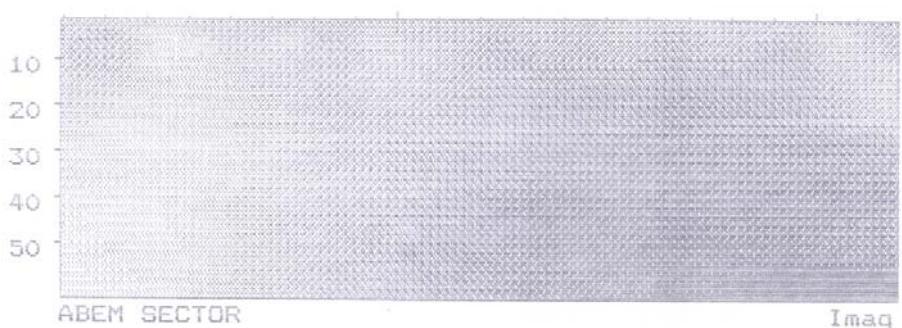
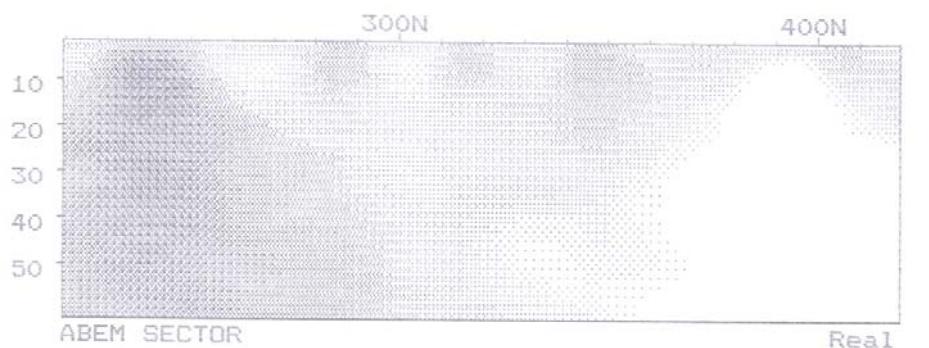
Profile: 9775E

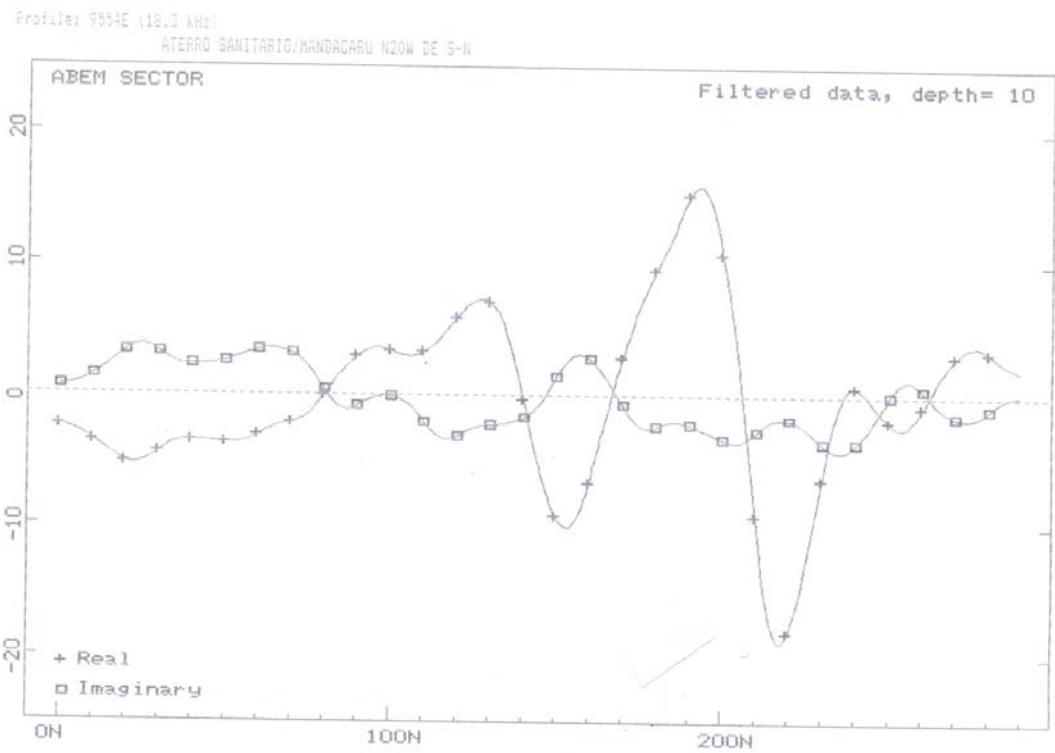
ATERRO SANITARIO/VALE D0 SUL N80W DE S-N



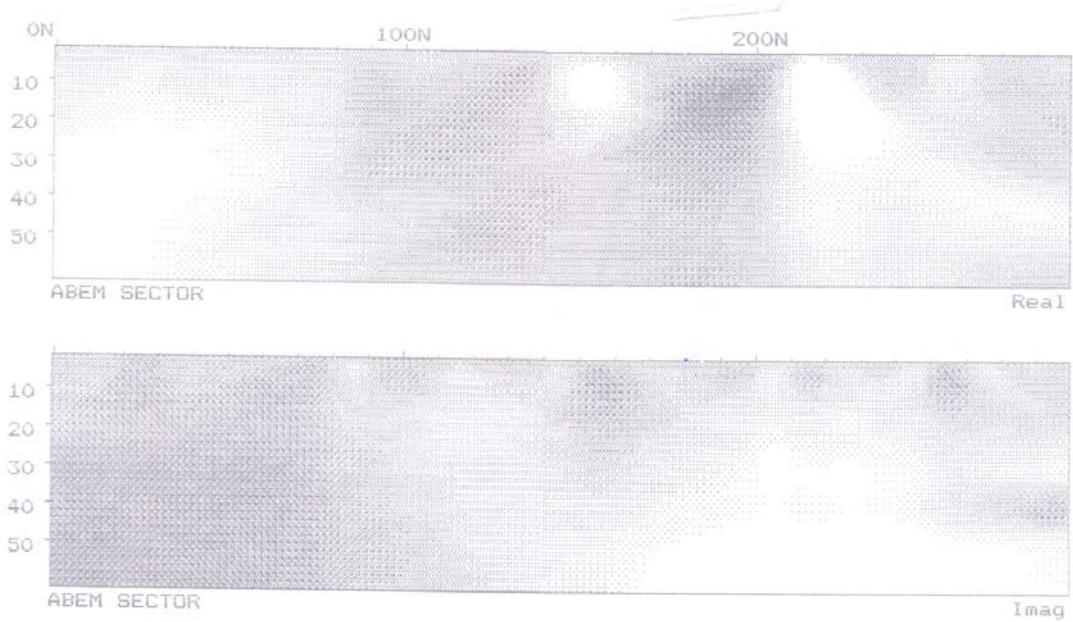
Profile: 9774E

ATERRO SANITARIO/VALE DO SUL N80W DE S-N

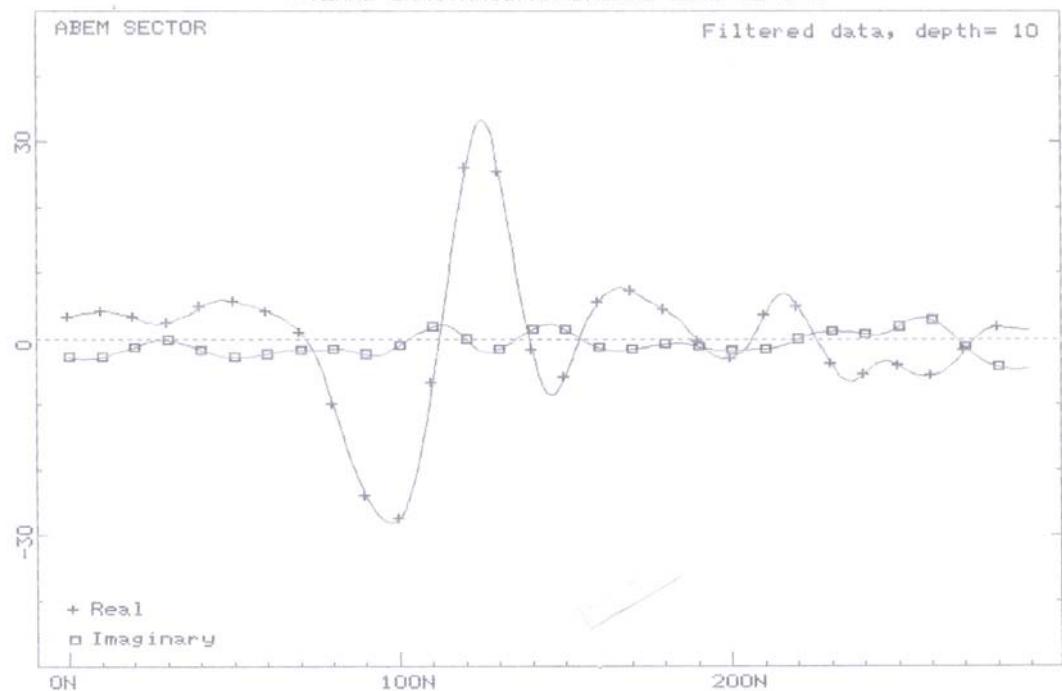




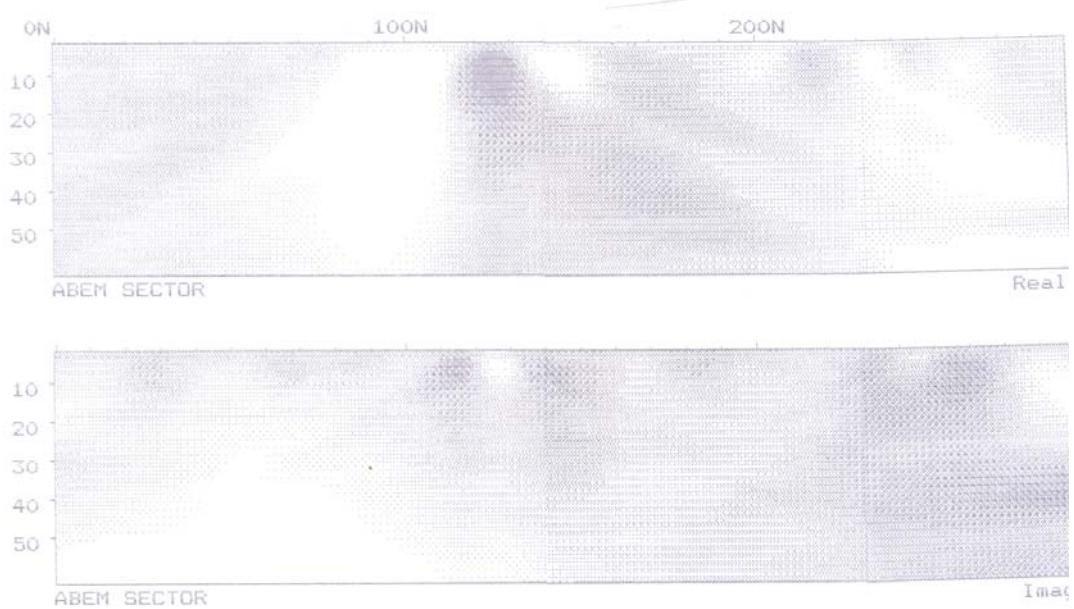
Profile: 9554EATERRO SANITARIO/MANDACARU N20W DE S-N



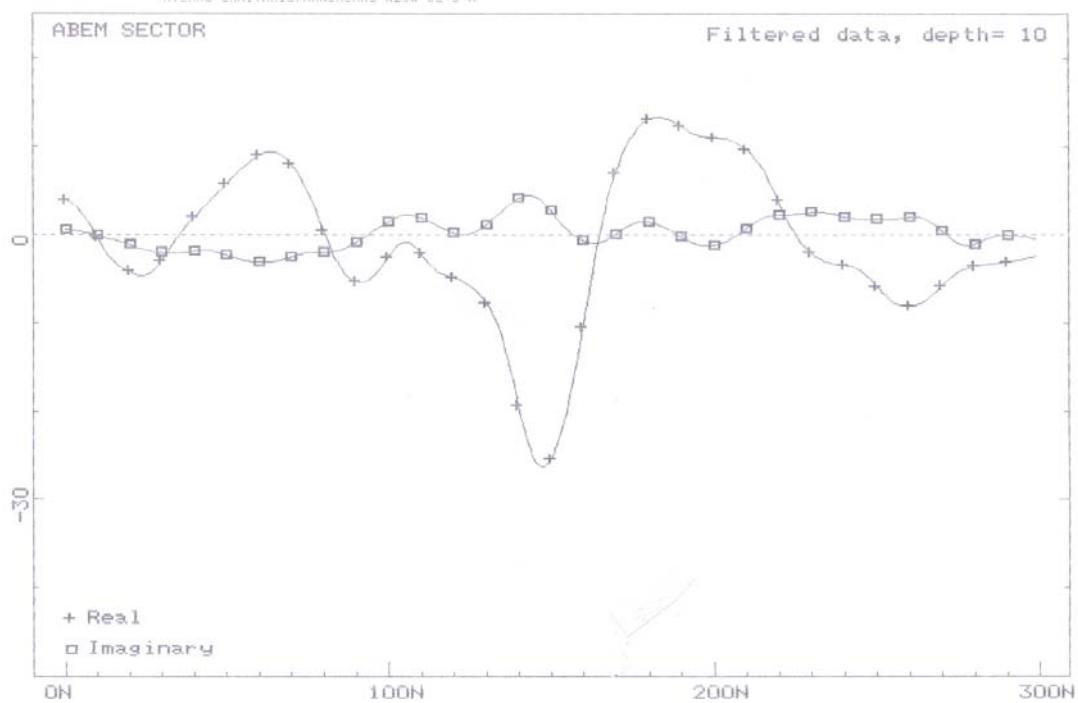
Profile: 9555E (18.3 kHz)
ATERRO SANITARIO/MANDACARU N20W DE S-N



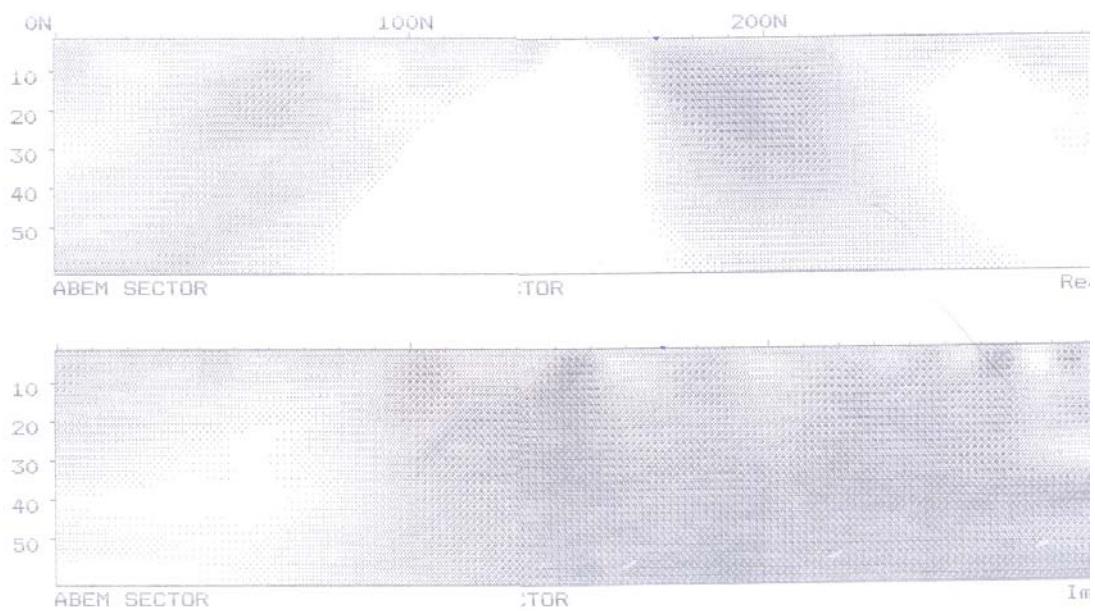
Profile: 9555EATERRO SANITARIO/MANDACARU N20W DE S-N

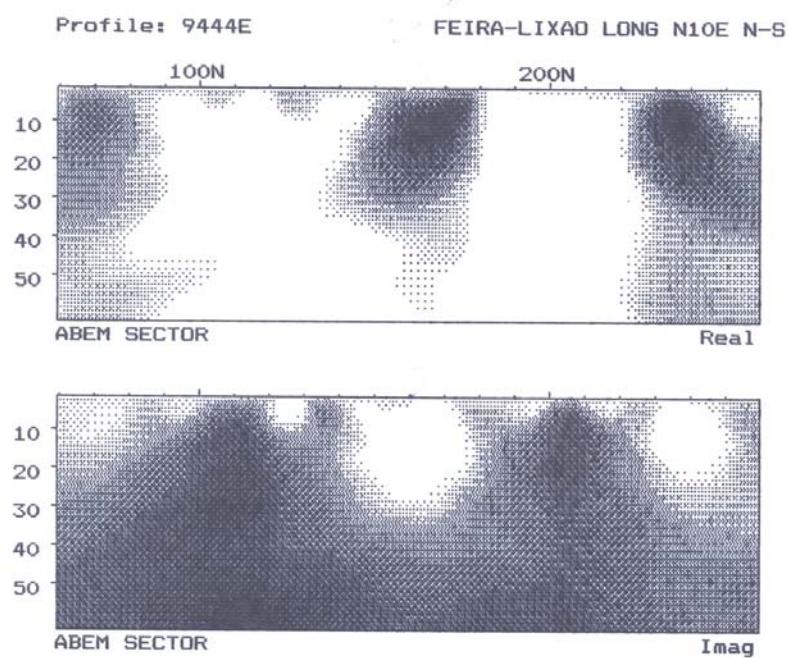
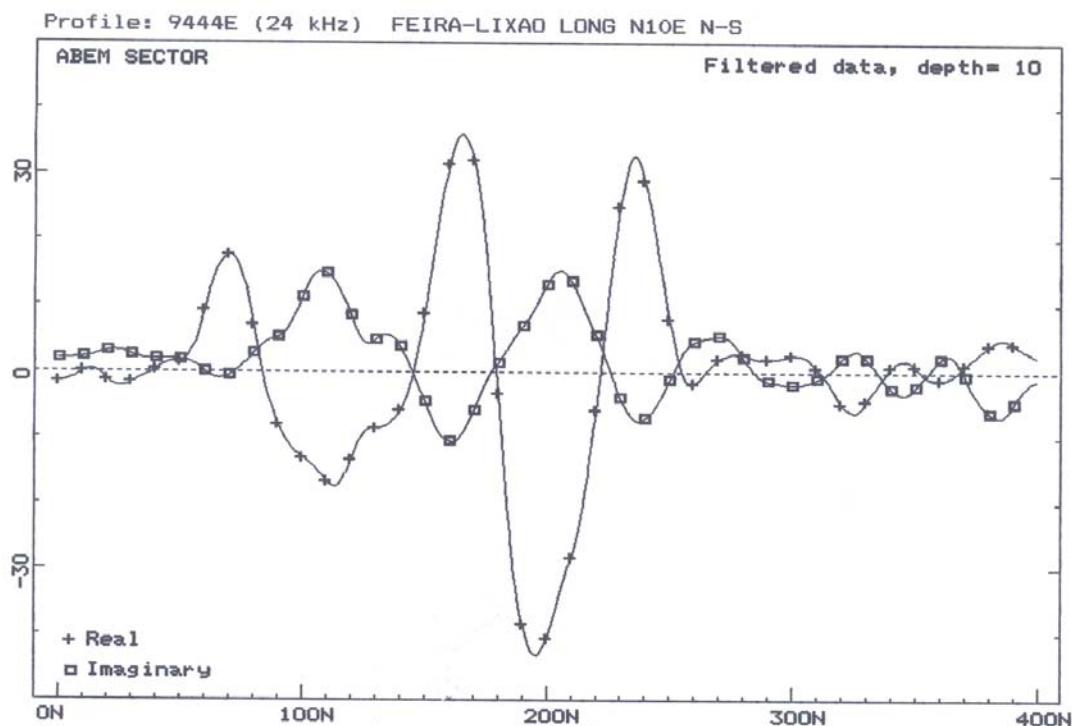


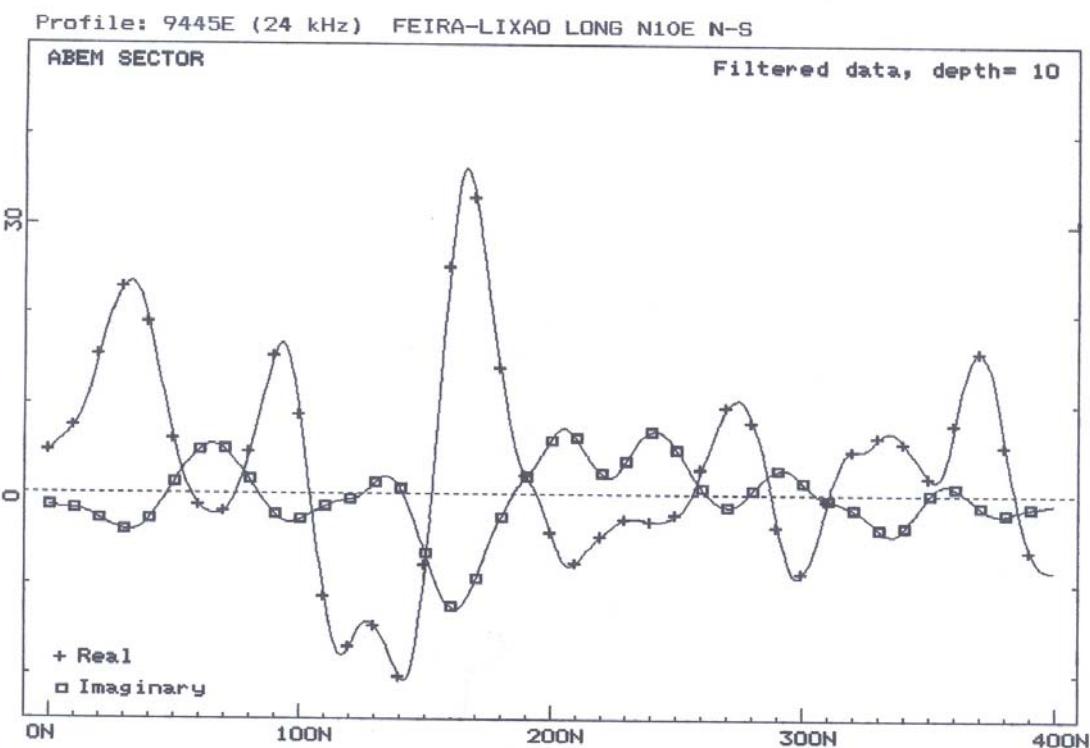
Profile: 9556E (16.3 kHz)
ATERRO SANITARIO/MANDACARU N20W DE S-N



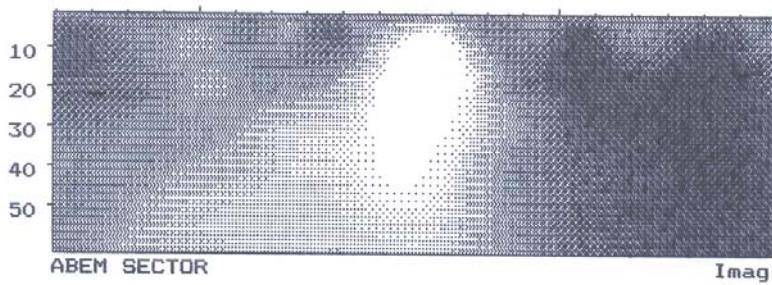
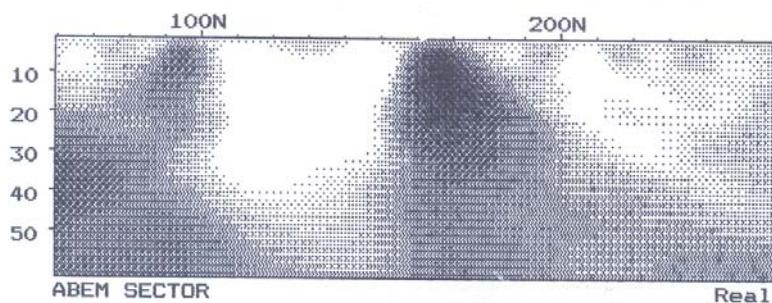
Profile: 9556EATERRO SANITARIO/MANDACARU N20W DE S-N

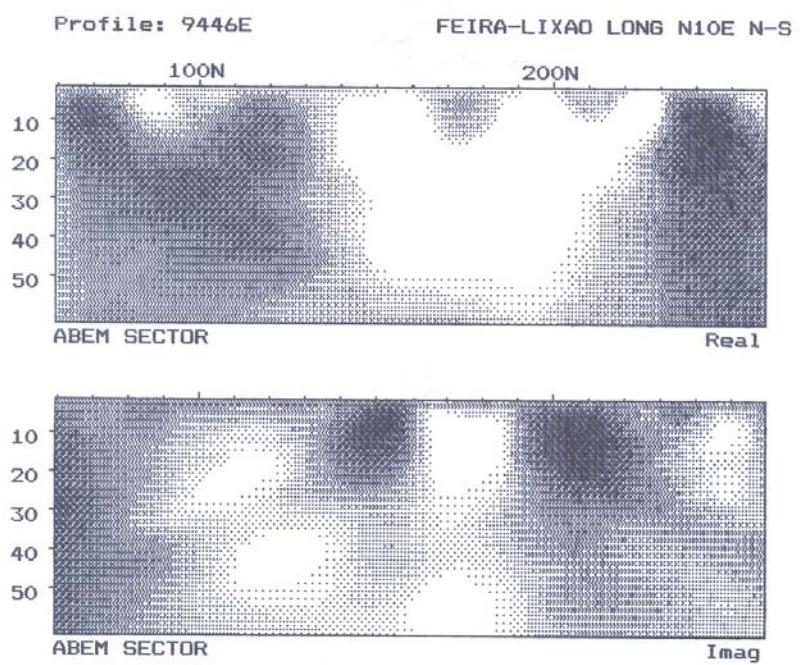
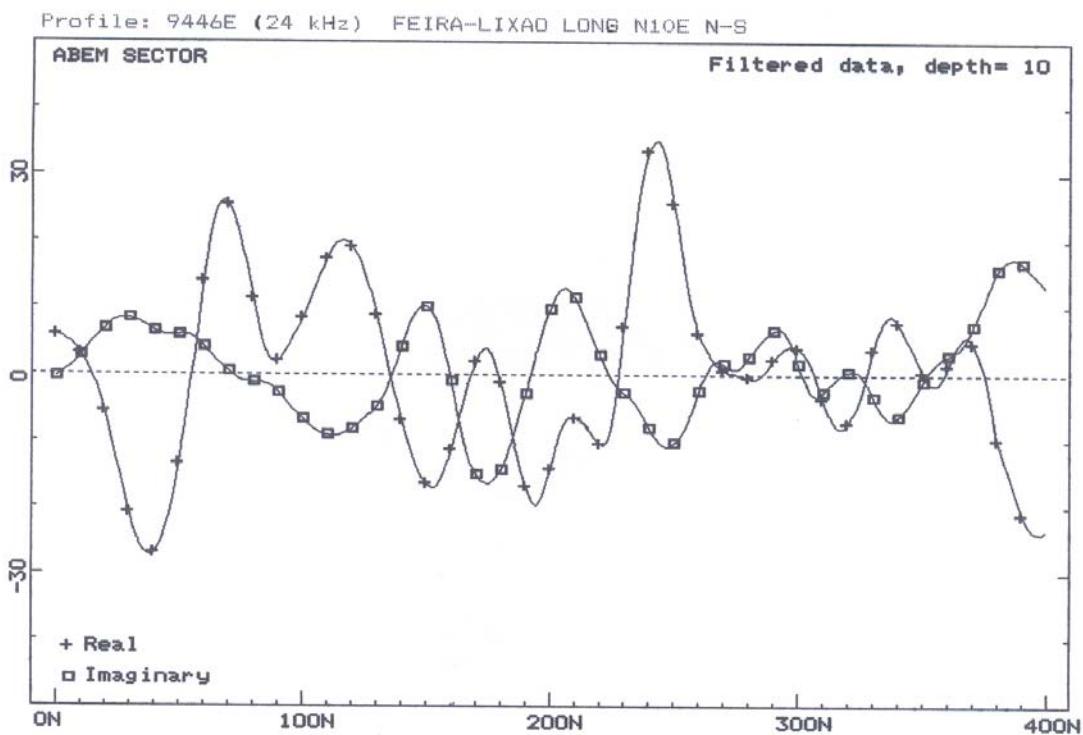




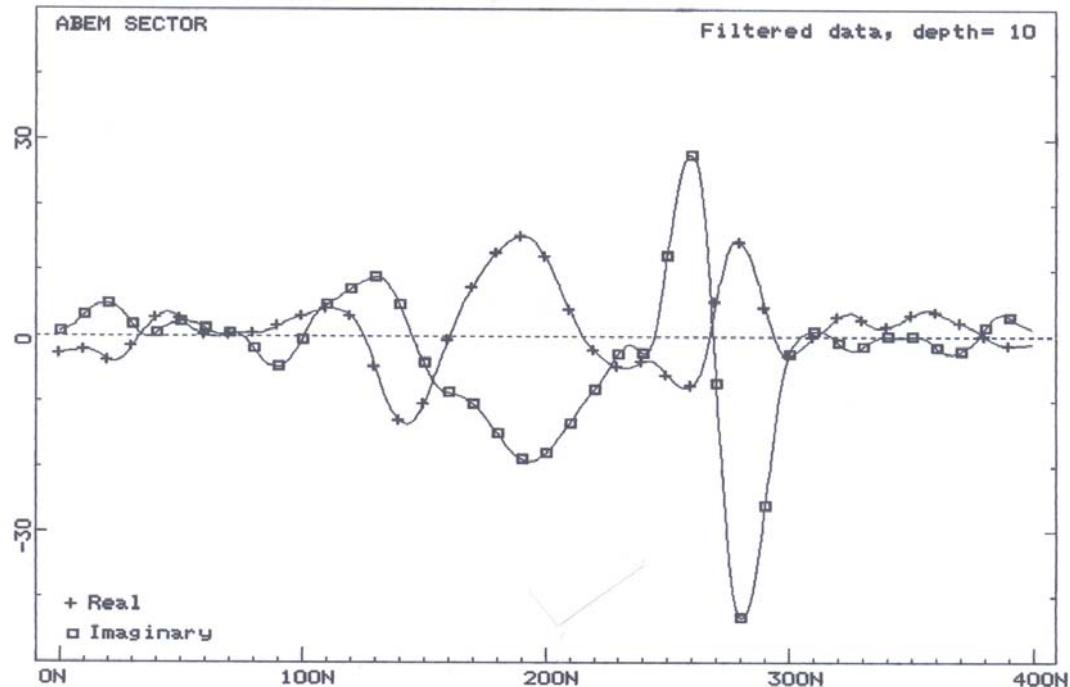


Profile: 9445E FEIRA-LIXAO LONG N10E N-S

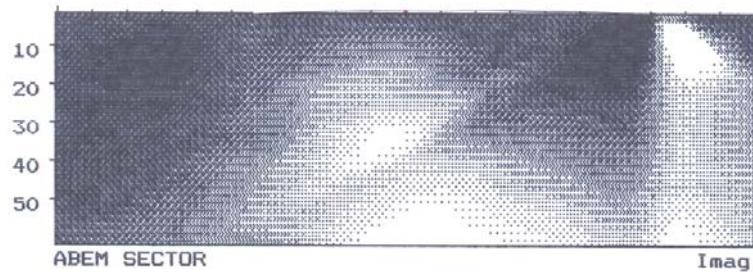
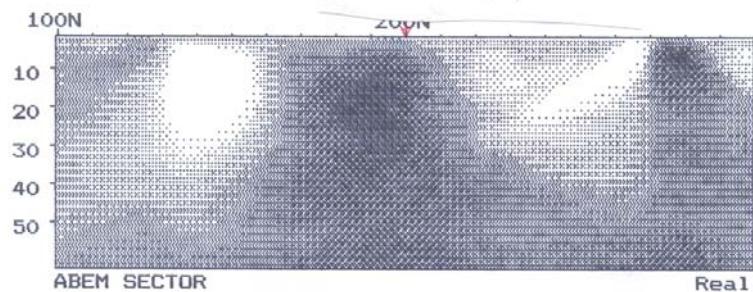


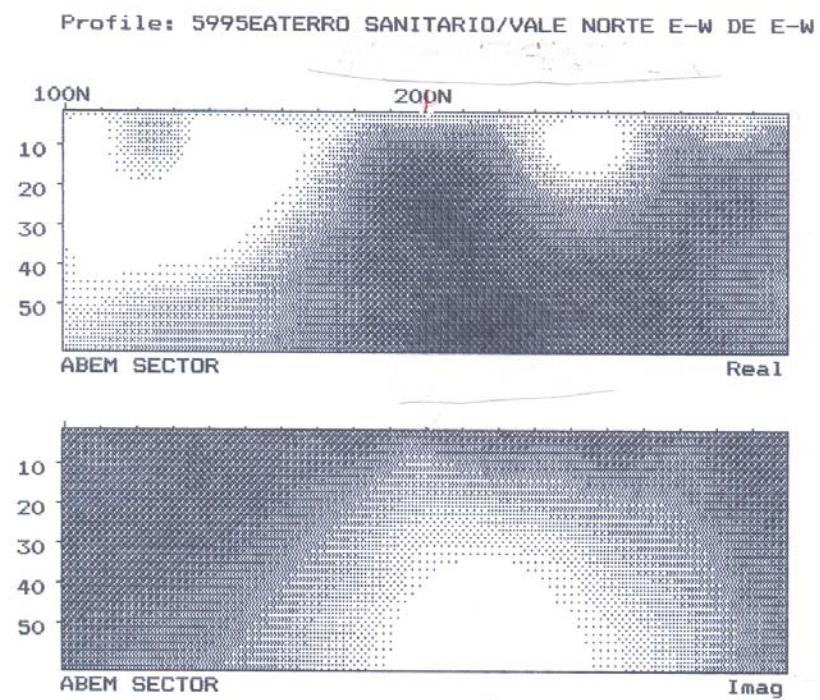
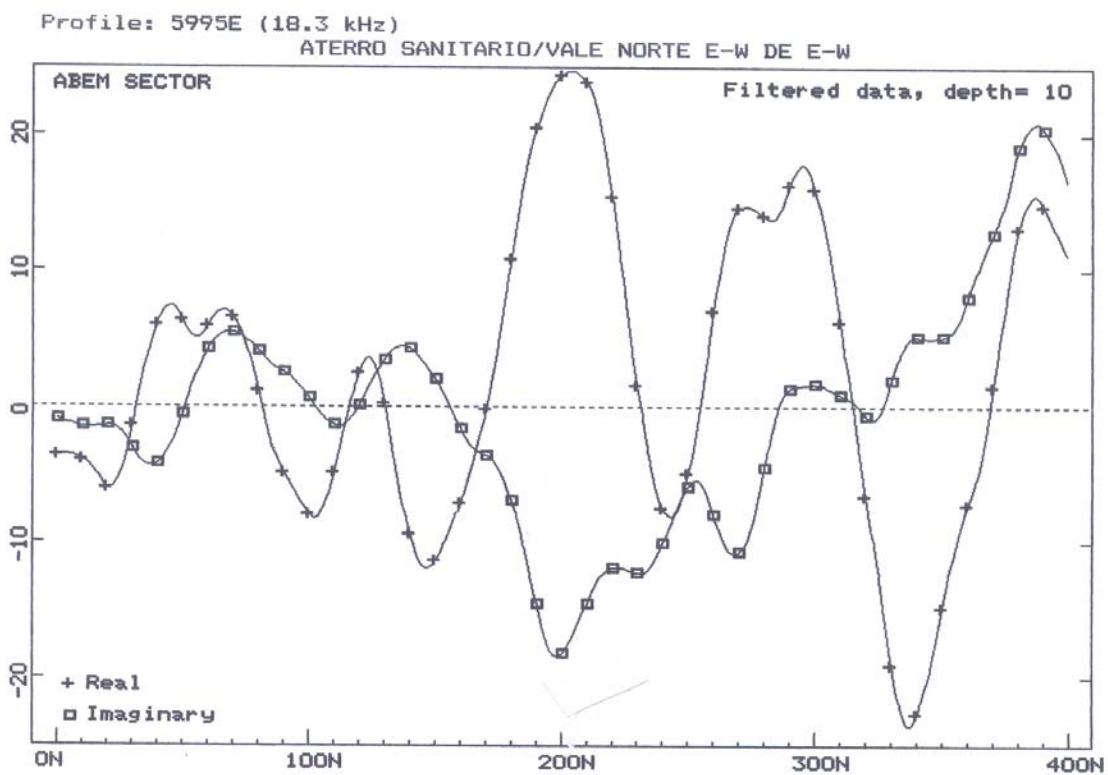


Profile: 5994E (18.3 kHz)
ATERRO SANITARIO/VALE NORTE E-W DE E-W

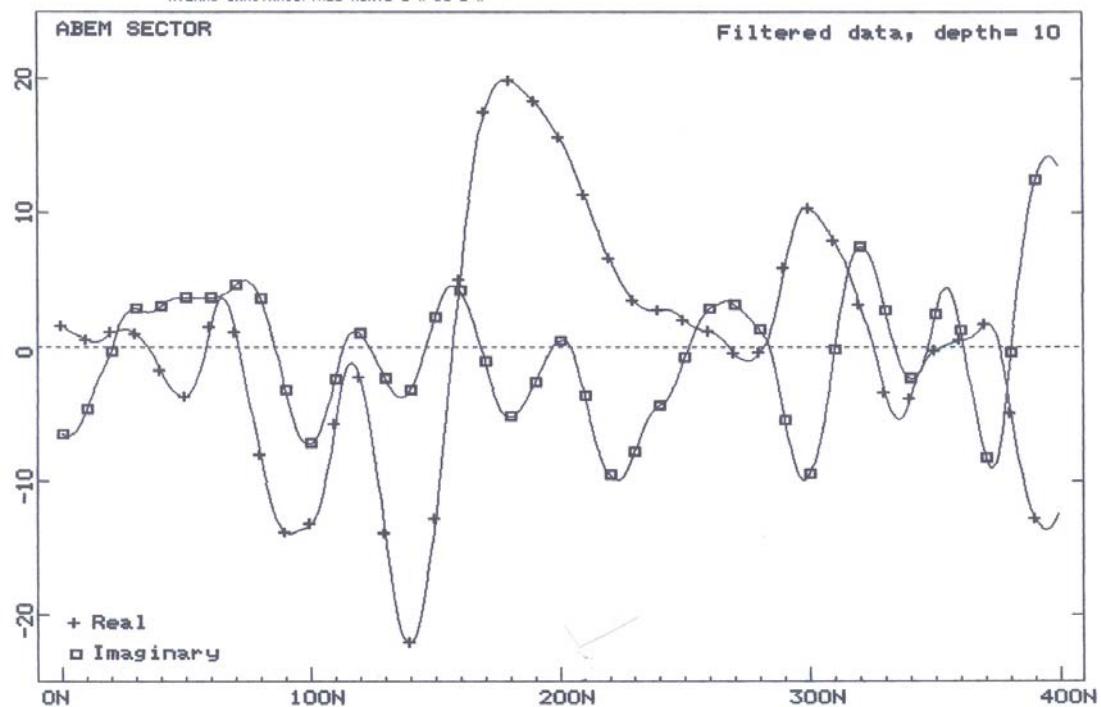


Profile: 5994EATERRO SANITARIO/VALE NORTE E-W DE E-W

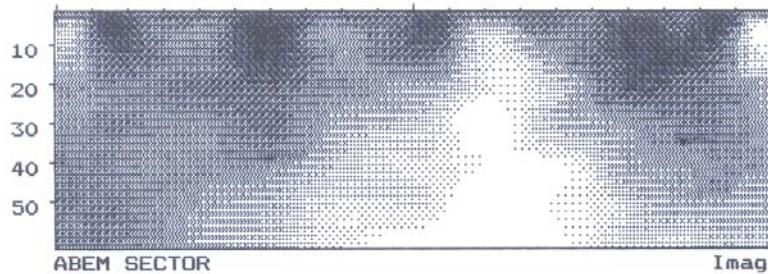
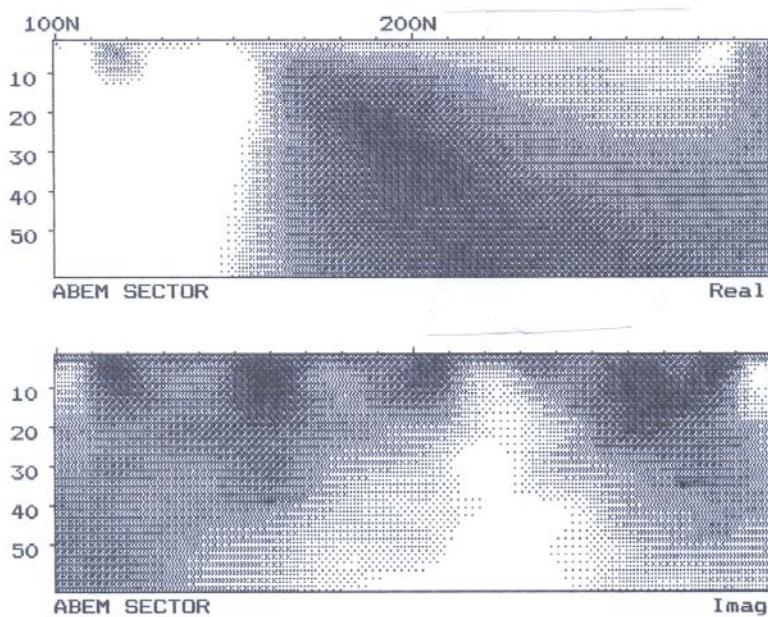


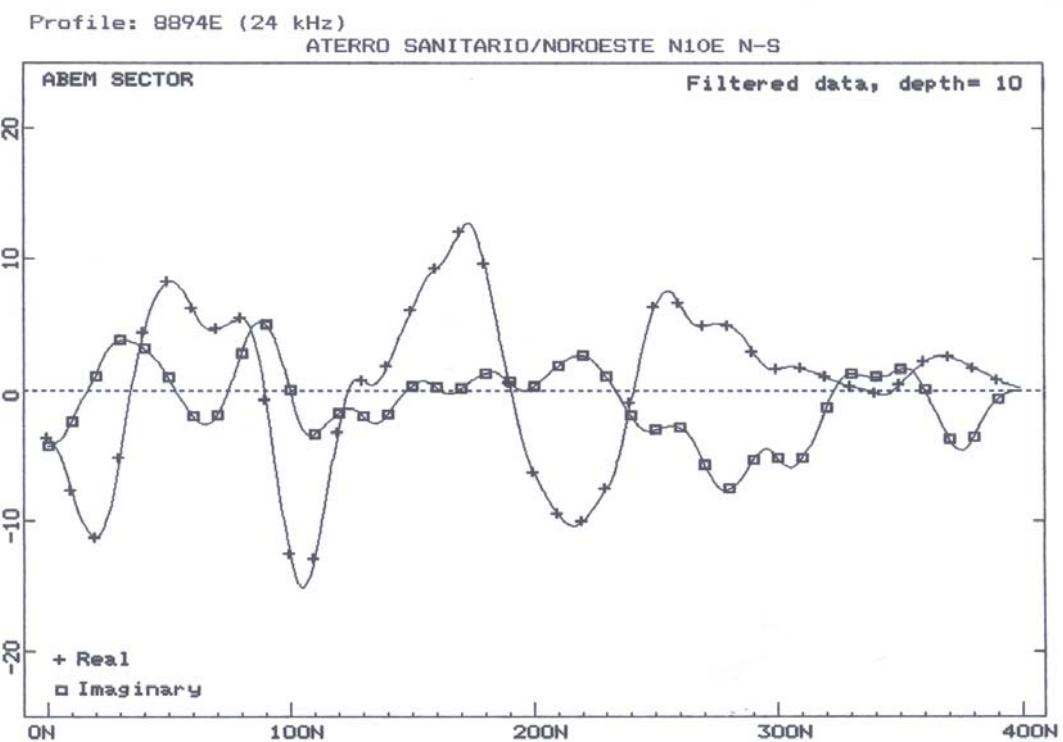


Profile: 5996E (18.3 kHz)
ATERRO SANITARIO/VALE NORTE E-W DE E-W

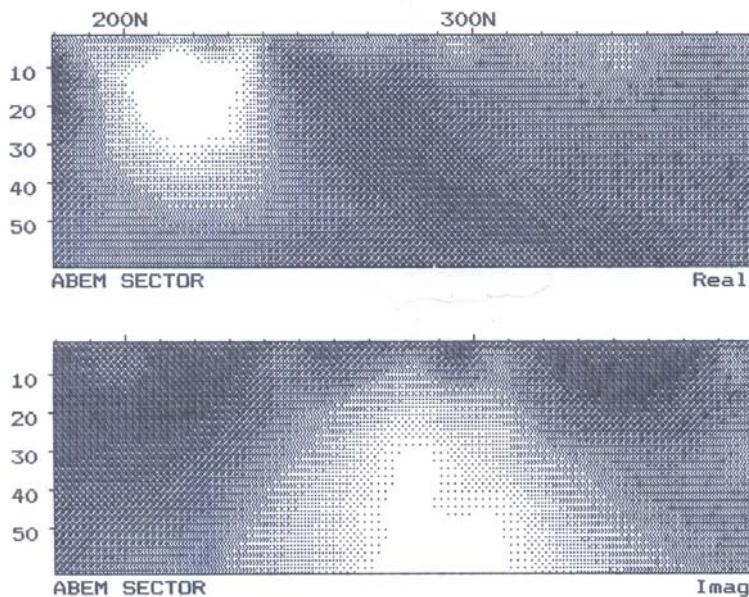


Profile: 5996EATERRO SANITARIO/VALE NORTE E-W DE E-W

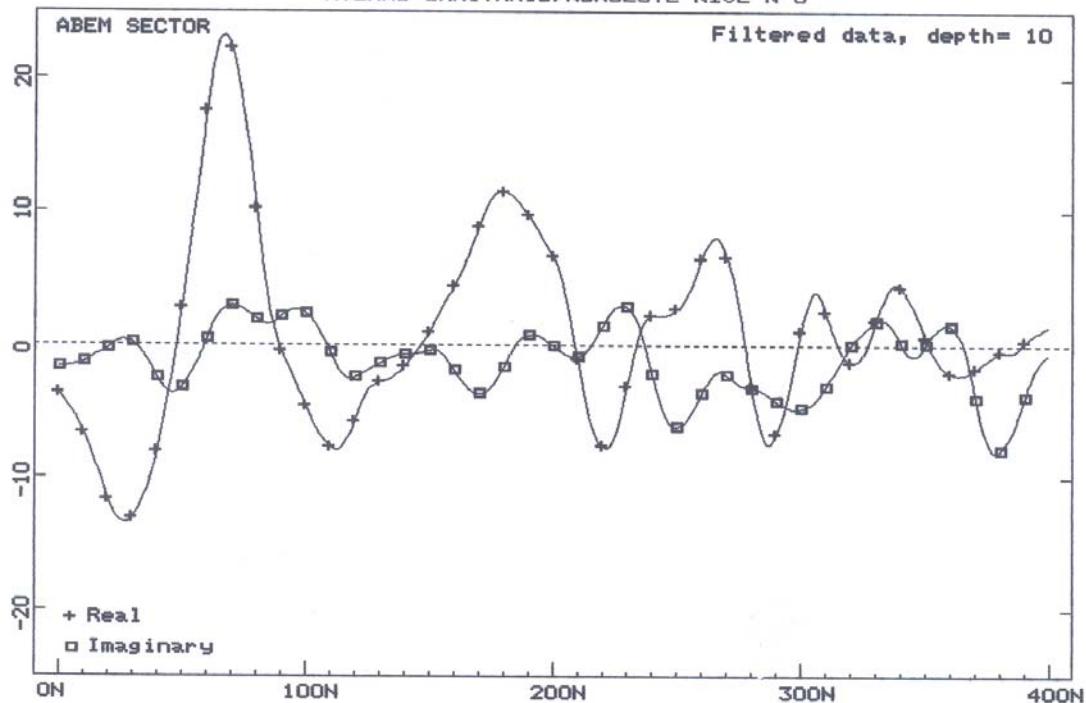




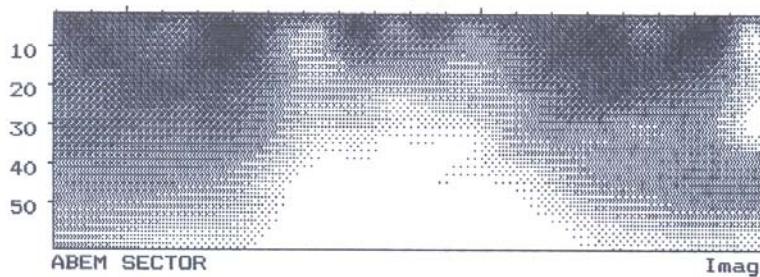
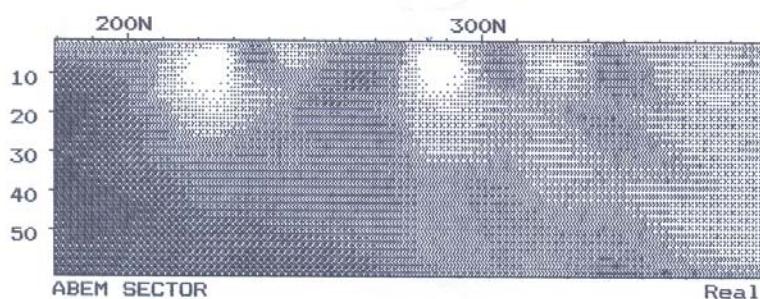
Profile: 8894E ATERRO SANITARIO/NOROESTE N10E N-S

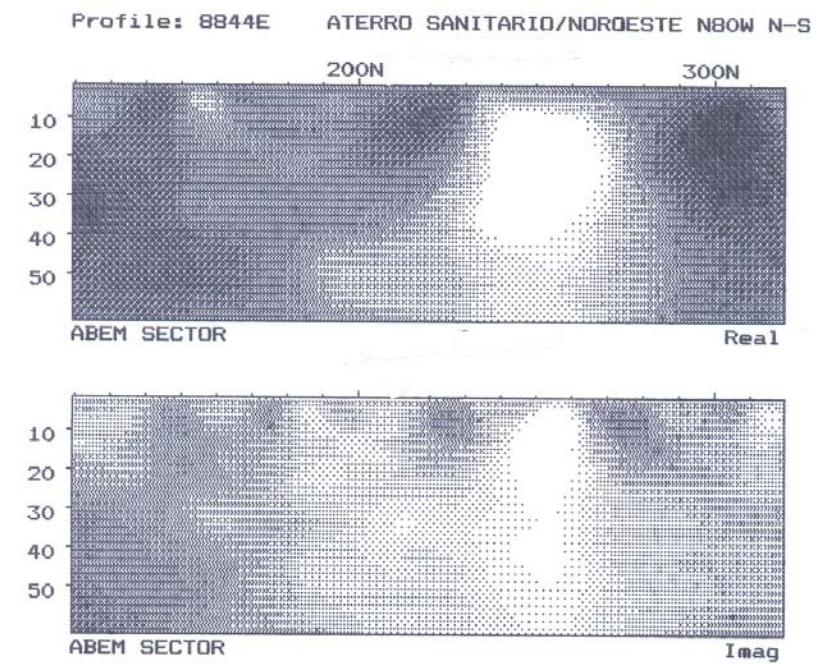
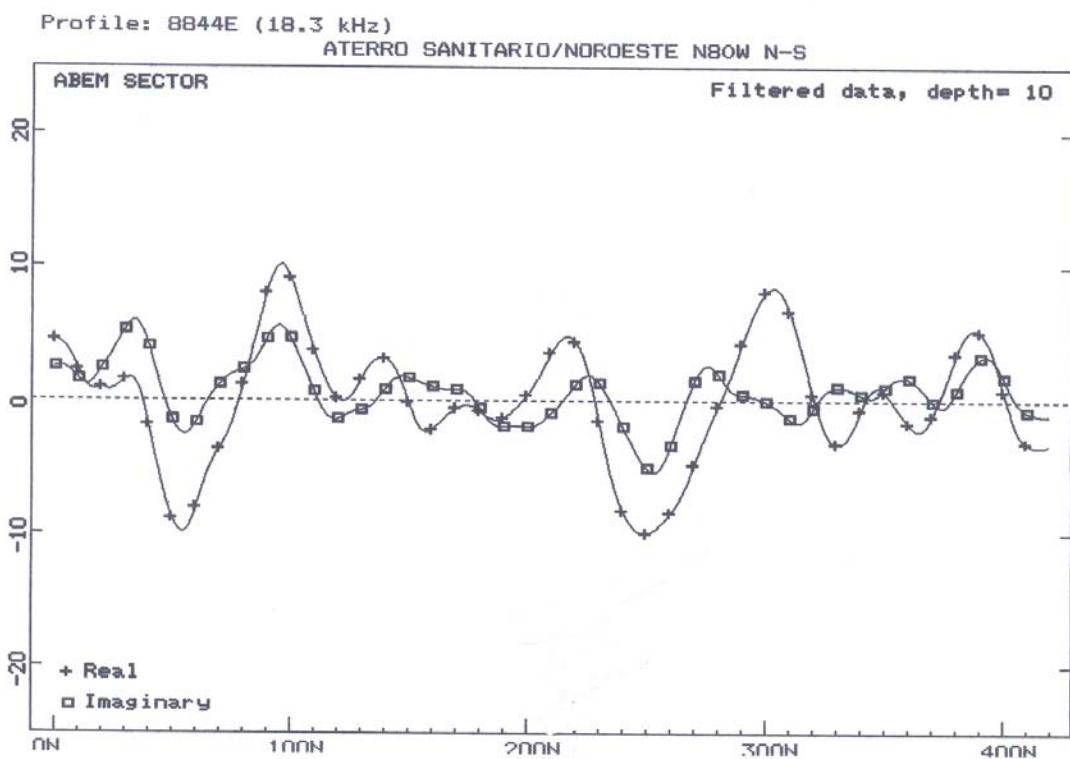


Profile: 8895E (24 kHz)
ATERRO SANITARIO/NOROESTE N10E N-S

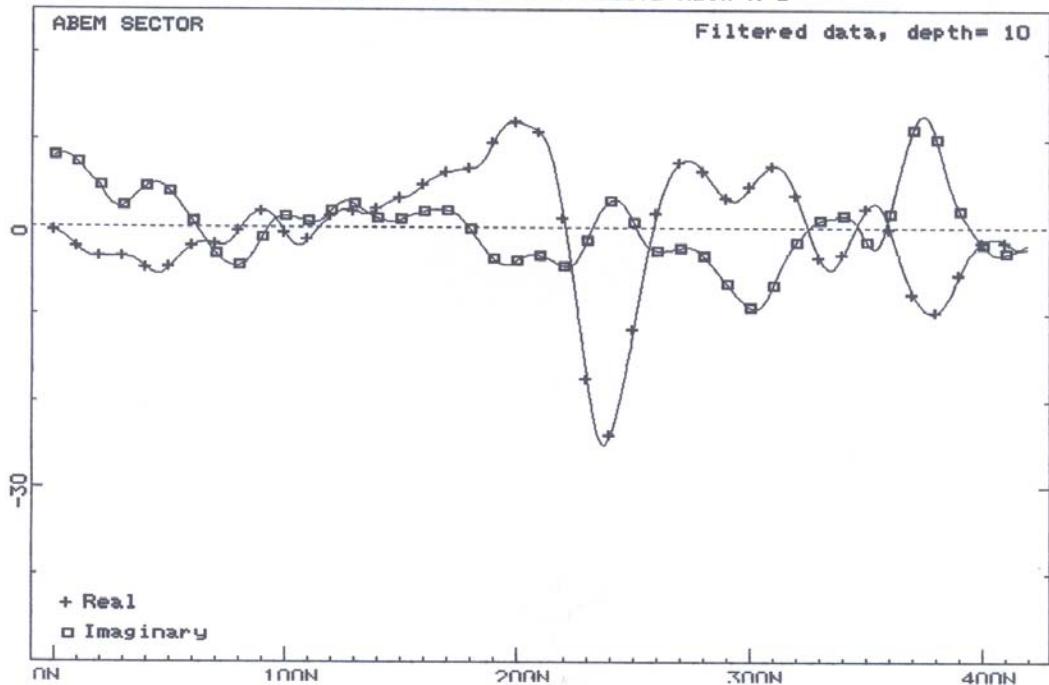


Profile: 8895E ATERRO SANITARIO/NOROESTE N10E N-S

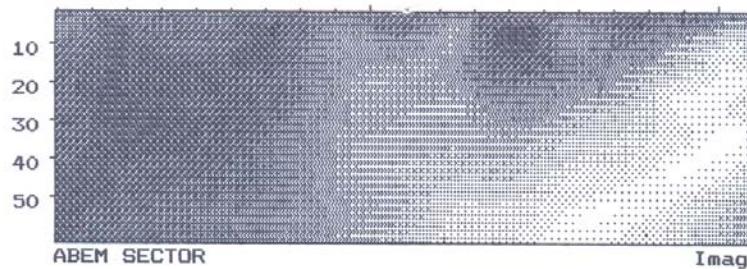
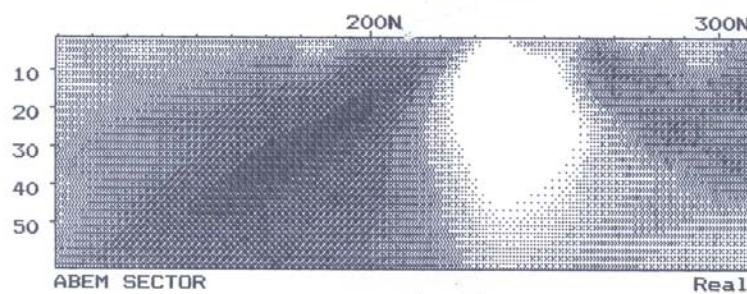


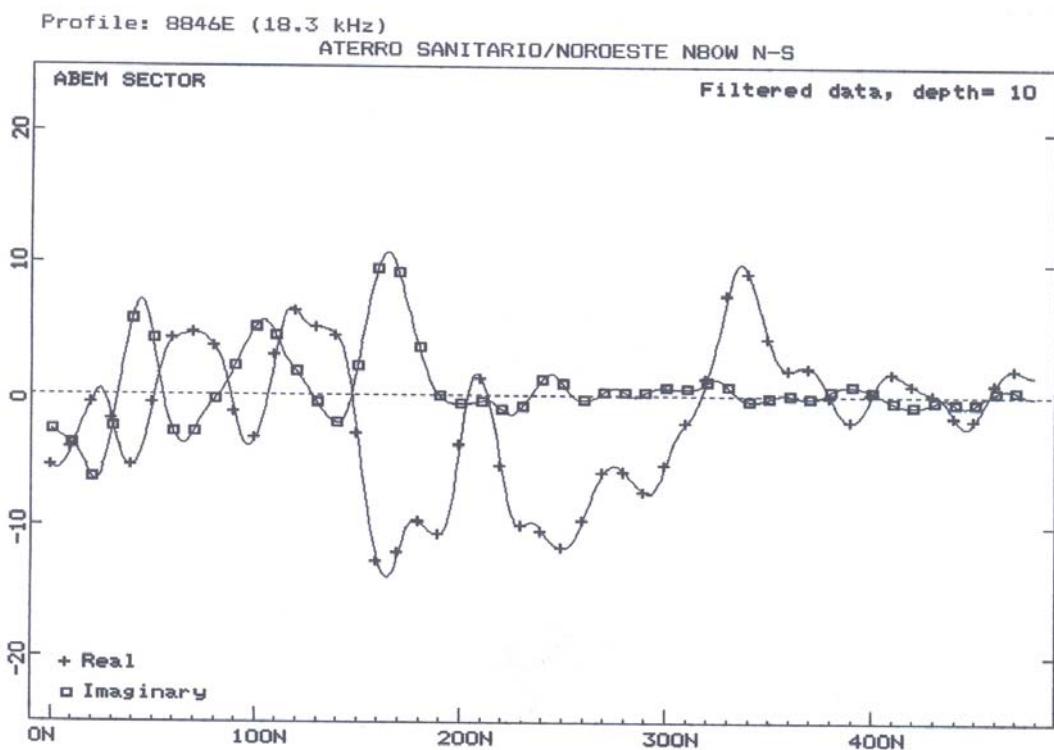


Profile: 8845E (18.3 kHz)
ATERRO SANITARIO/NOROESTE N80W N-S

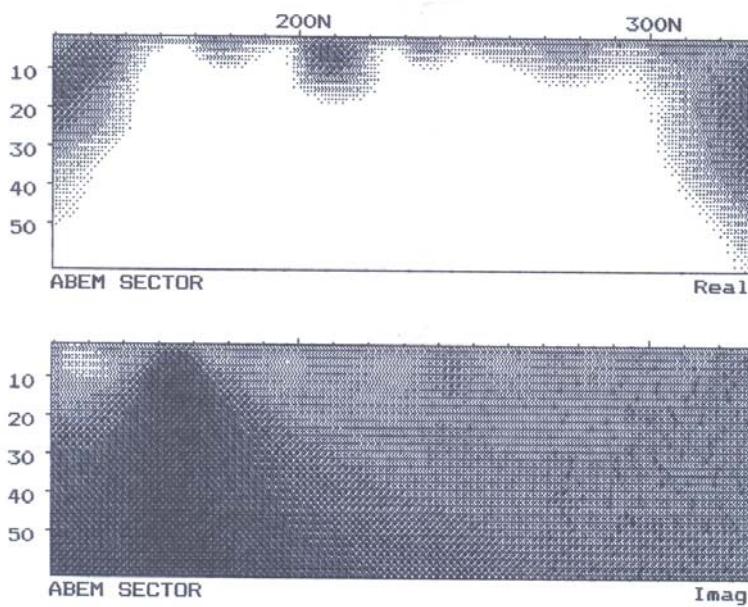


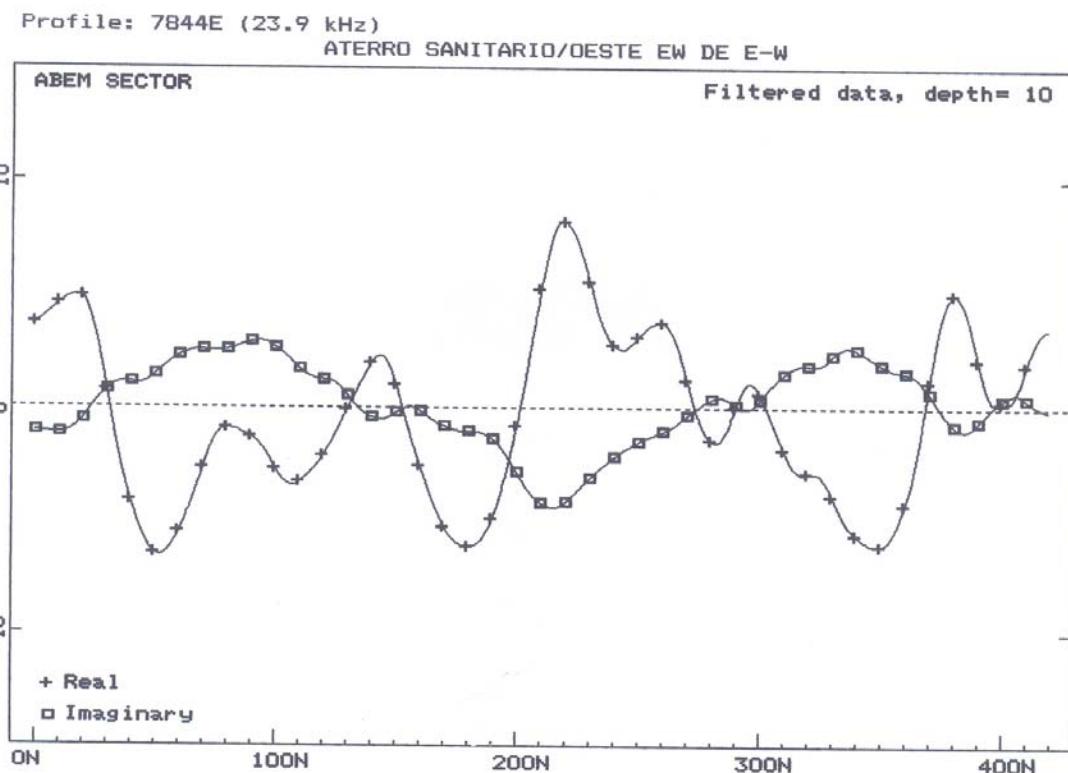
Profile: 8845E ATERRO SANITARIO/NOROESTE N80W N-S



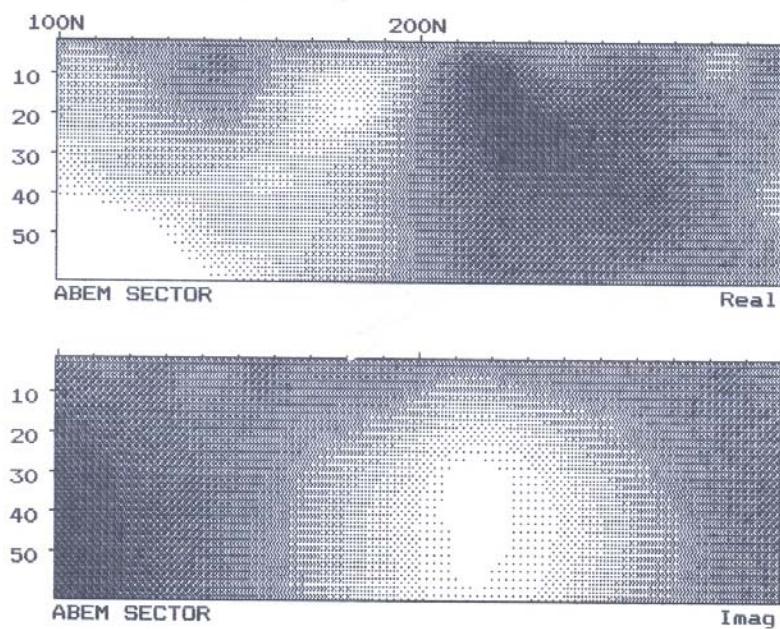


Profile: 8846E ATERRO SANITARIO/NOROESTE NBOW N-S

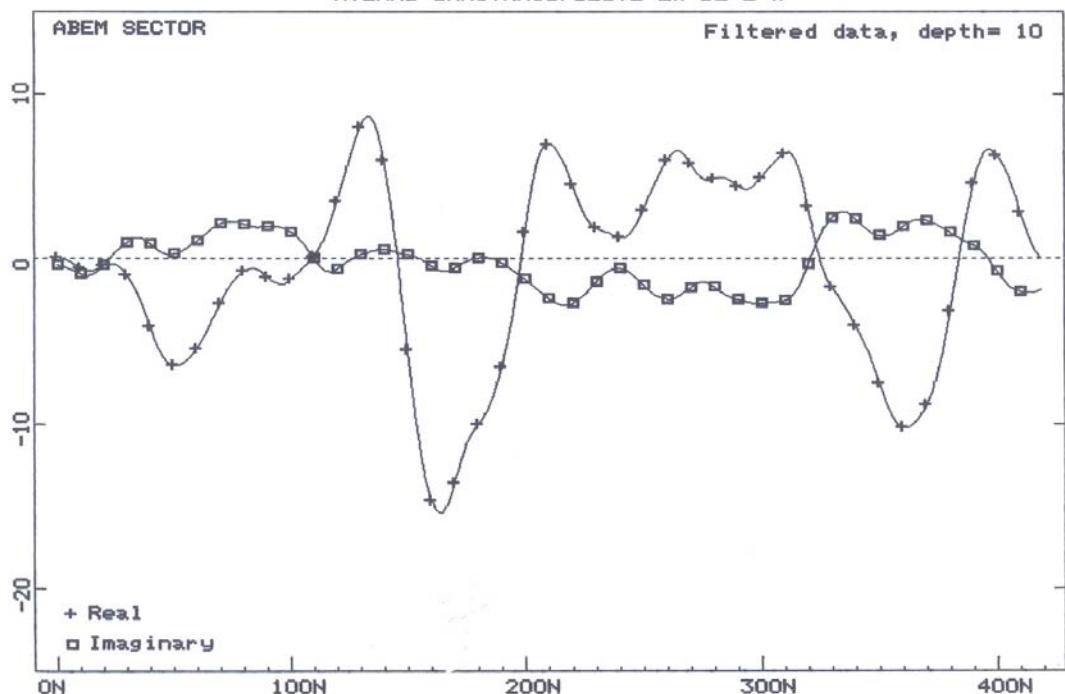




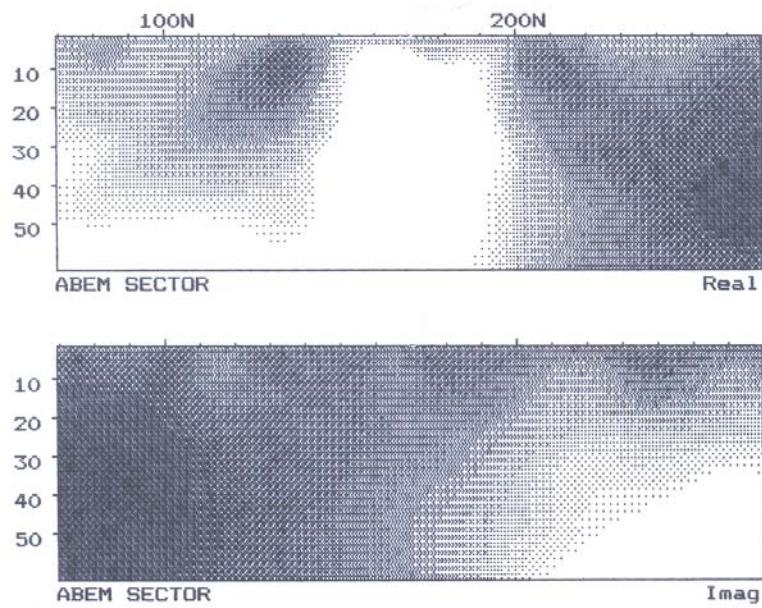
Profile: 7844E ATERRO SANITARIO/OESTE EW DE E-W



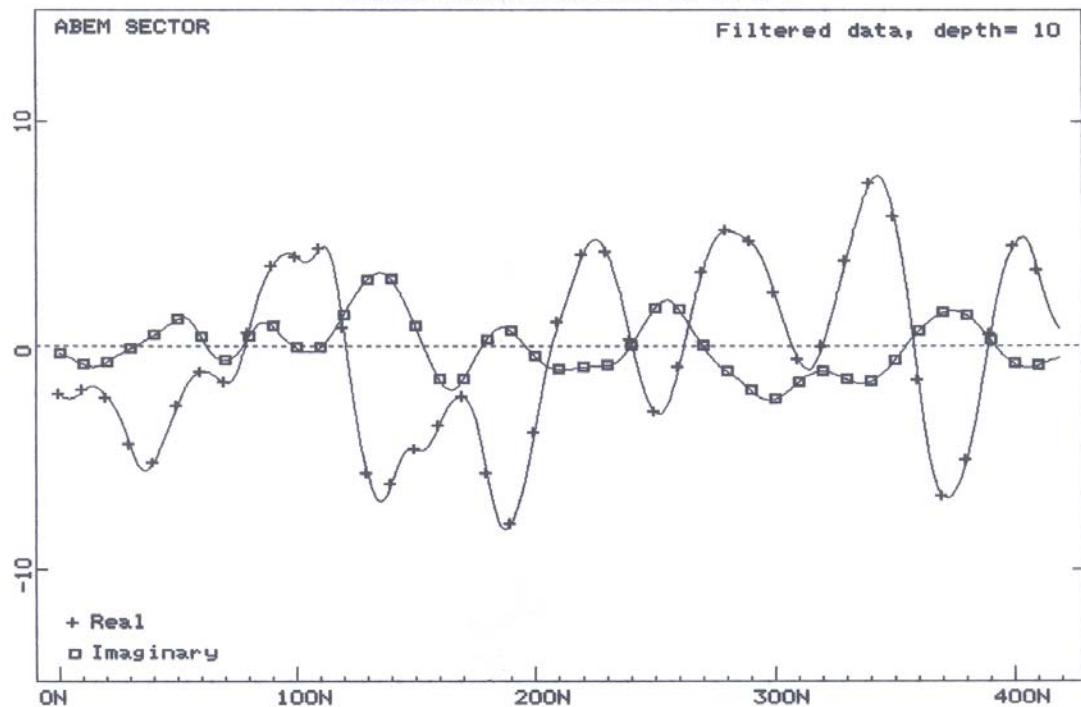
Profile: 7845E (23.9 kHz)
ATERRO SANITARIO/OESTE EW DE E-W



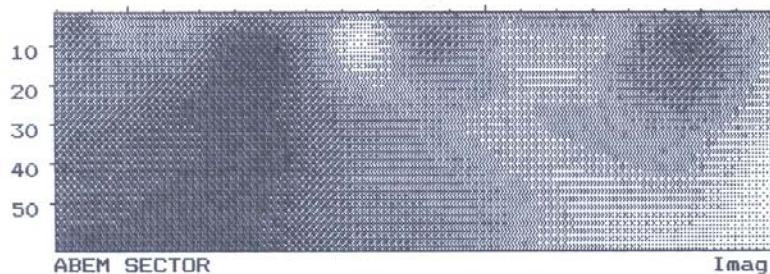
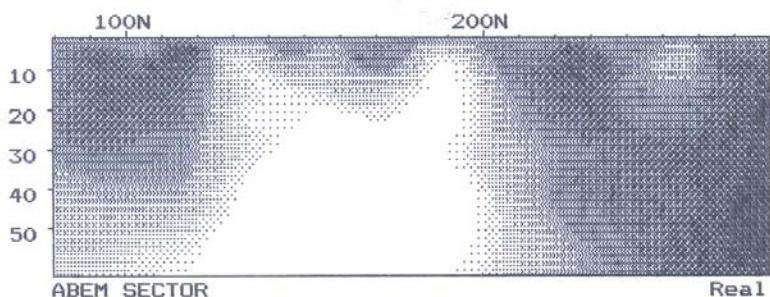
Profile: 7845E ATERRO SANITARIO/OESTE EW DE E-W



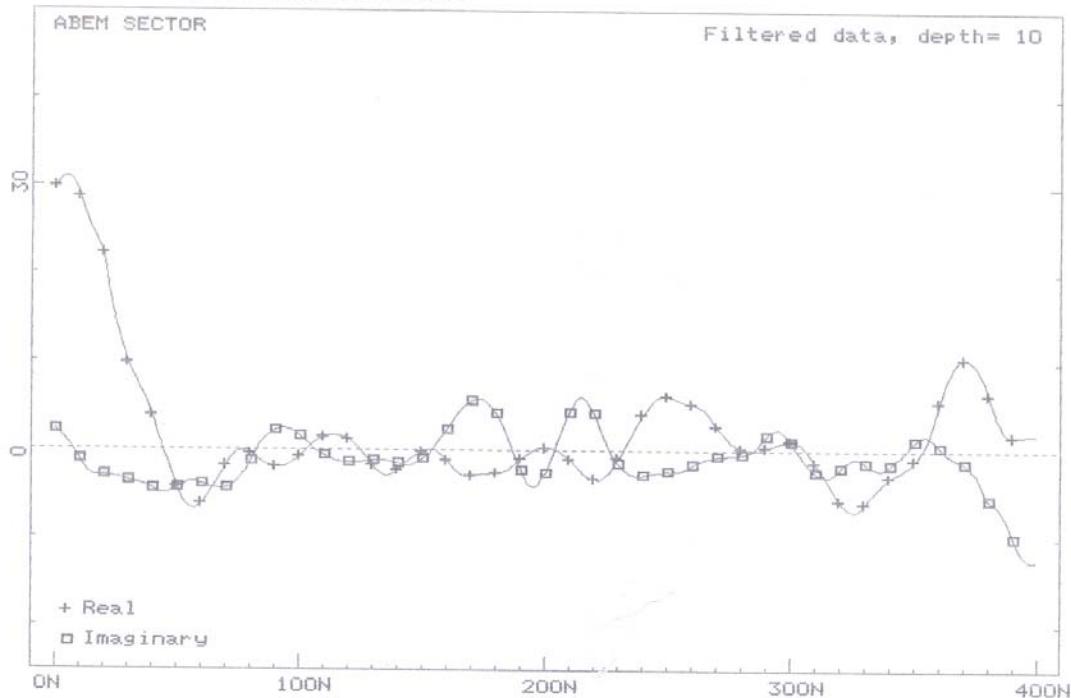
Profile: 7846E (23.9 kHz)
ATERRO SANITARIO/ESTE EW DE E-W



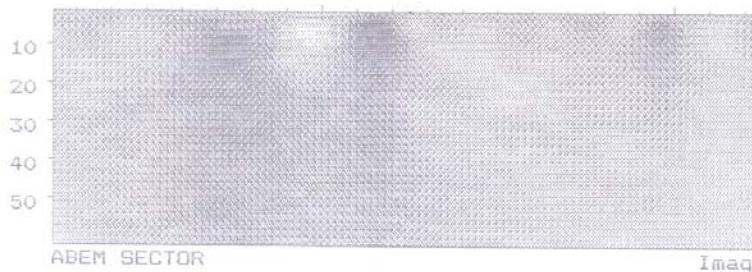
Profile: 7846E ATERRO SANITARIO/ESTE EW DE E-W



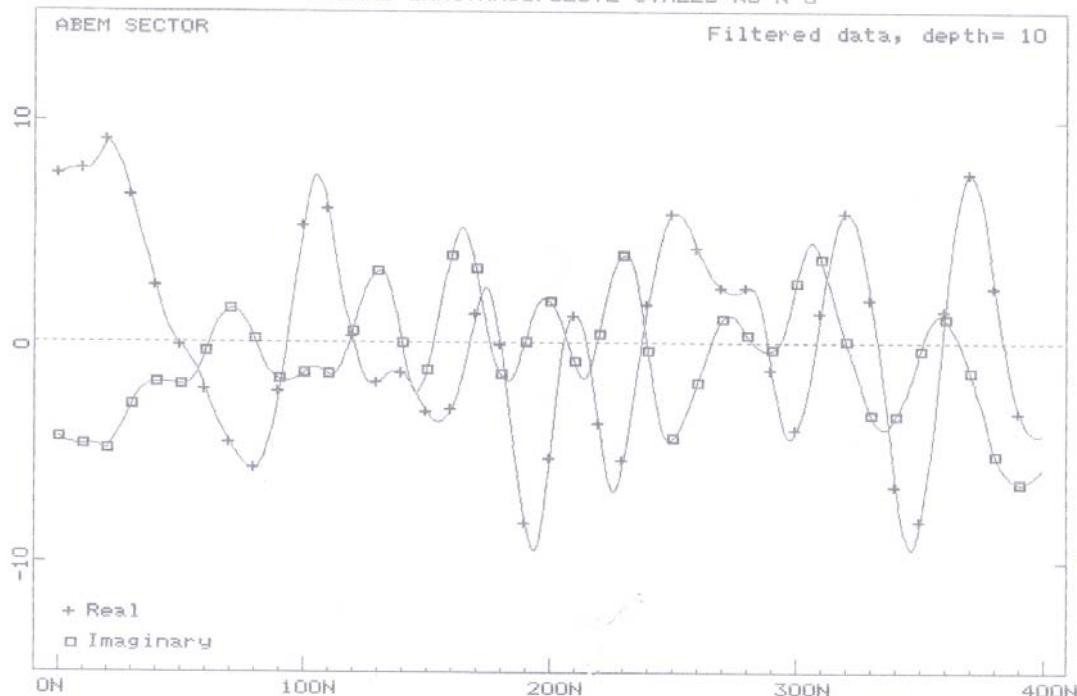
Profile: 7644E (17 kHz)
ATERRO SANITARIO/OESTE 3VALES NS N-S



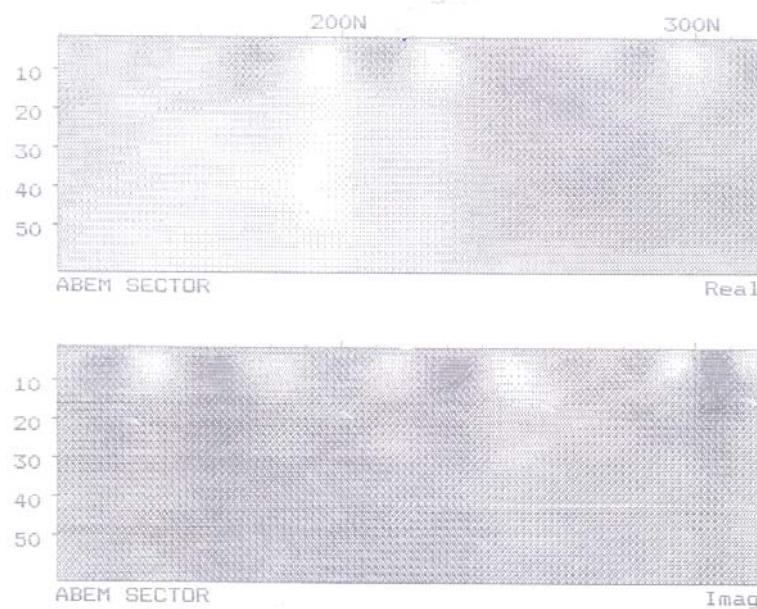
Profile: 7644E ATERRO SANITARIO/OESTE 3VALES NS N-S



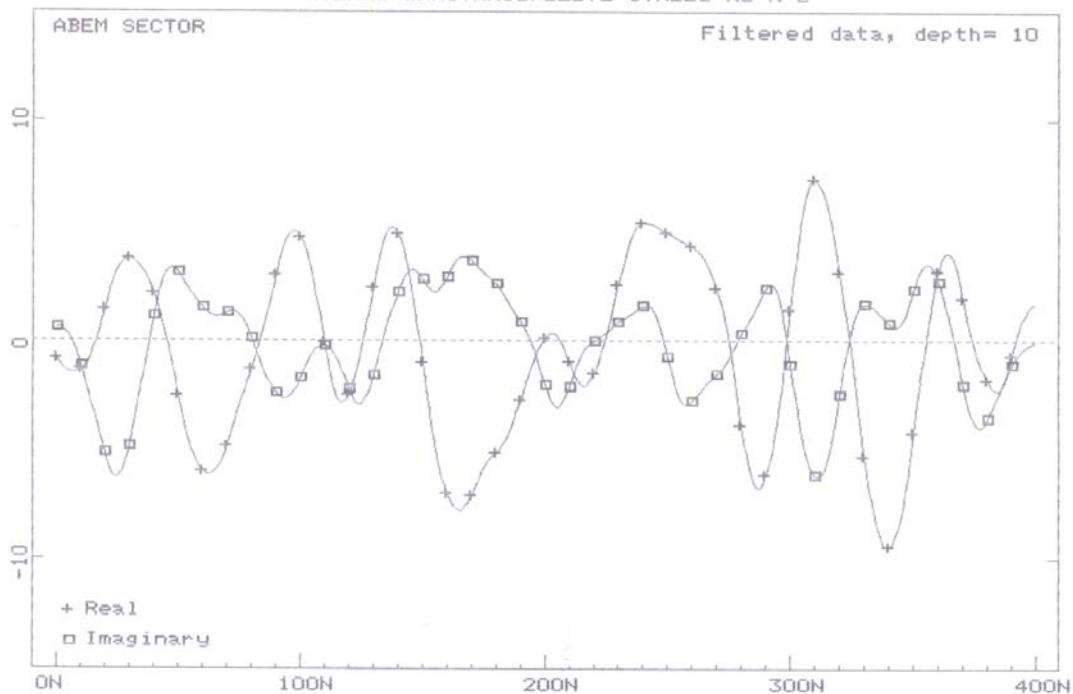
Profile: 7645E (17 kHz)
ATERRO SANITARIO/OESTE 3VALES NS N-S



Profile: 7645E ATERRO SANITARIO/OESTE 3VALES NS N-S



Profile: 7646E (17 kHz)
ATERRO SANITARIO/ESTE 3VALES NS N-S



Profile: 7646E ATERRO SANITARIO/ESTE 3VALES NS N-S

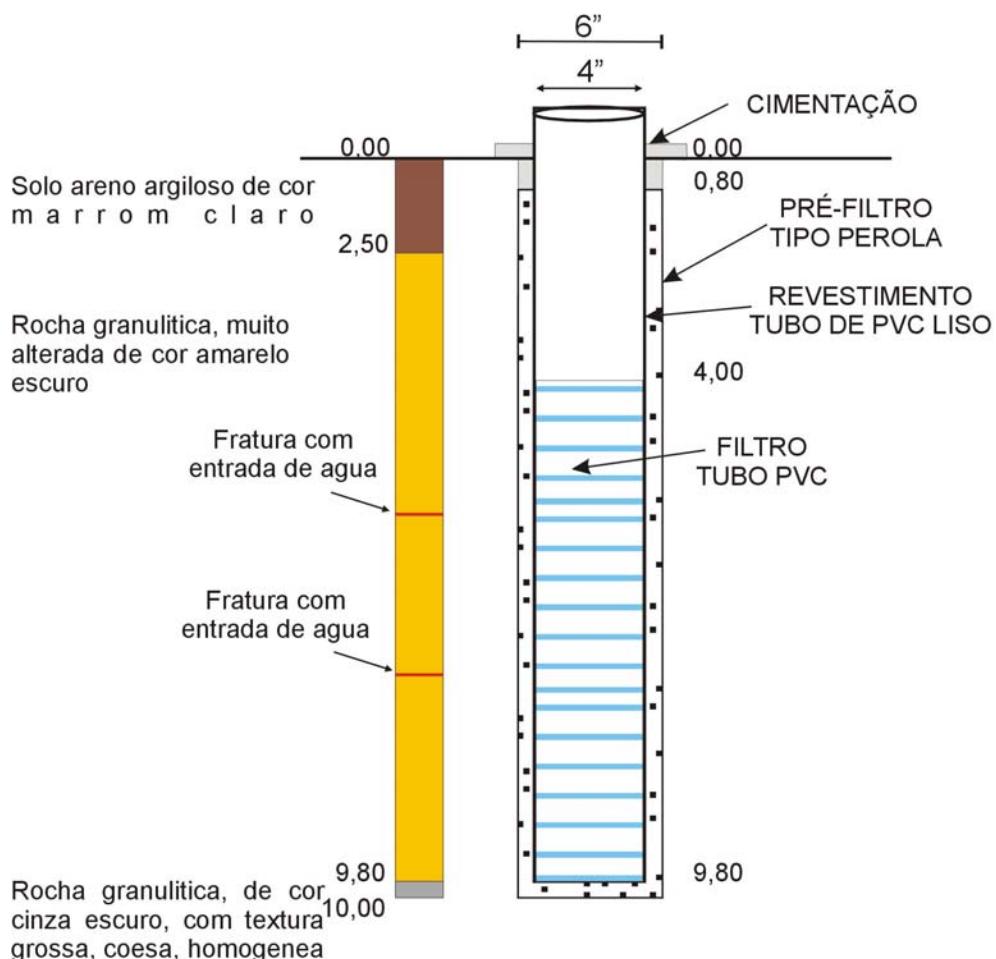


Apêndice II

Seções Litológicas e Construtivas dos Poços de Monitoramento

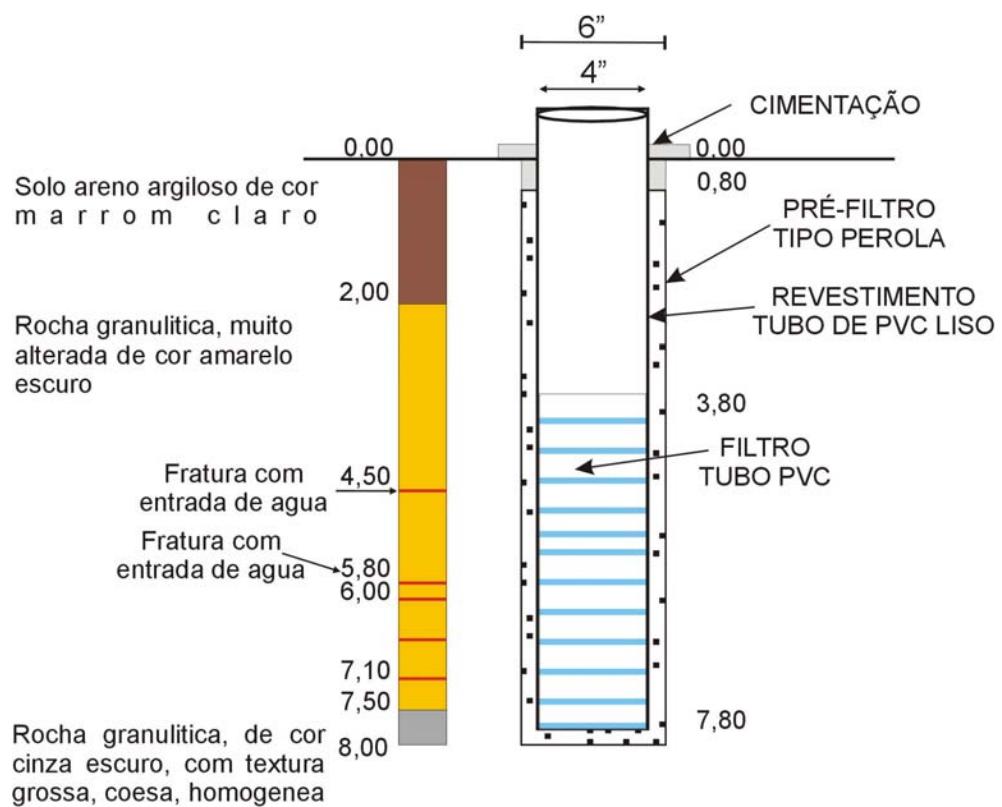
SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA DOS POÇOS DE MONITORAMENTO

POÇO PM - NS 1 SUL



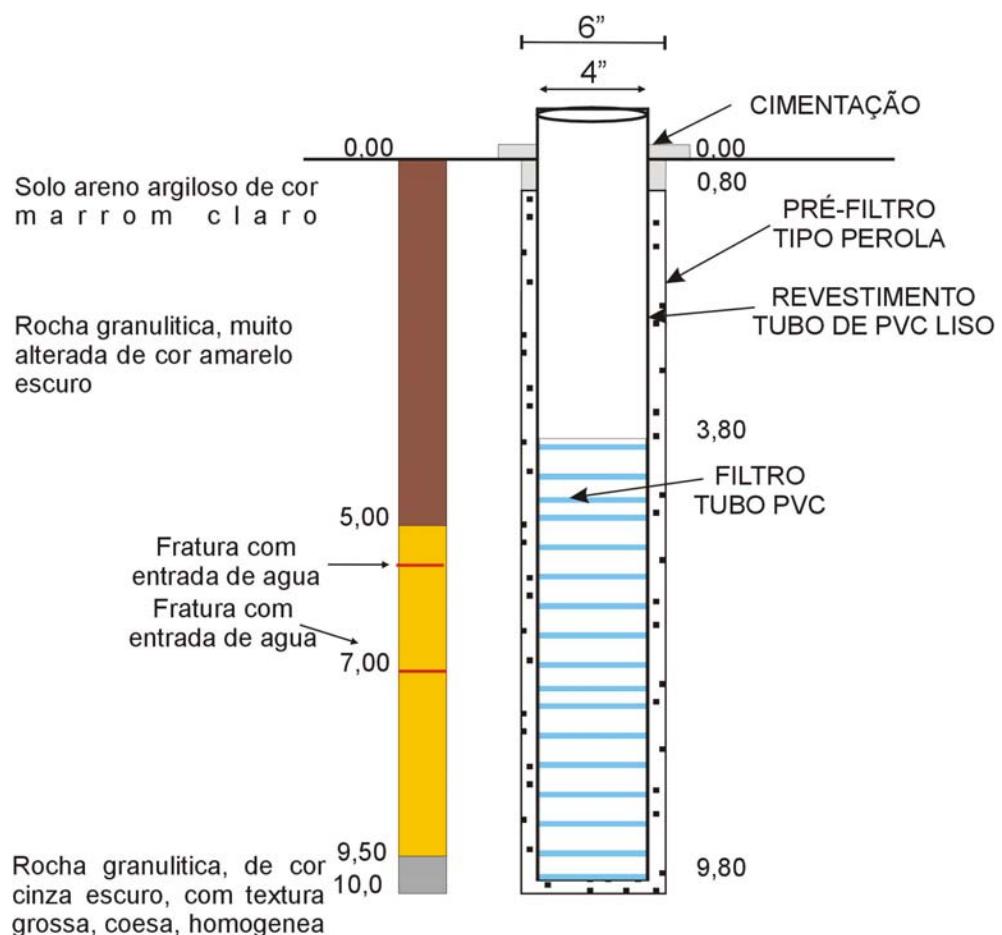
SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA DOS POÇOS DE MONITORAMENTO

POÇO PM - NS 1 NORTE



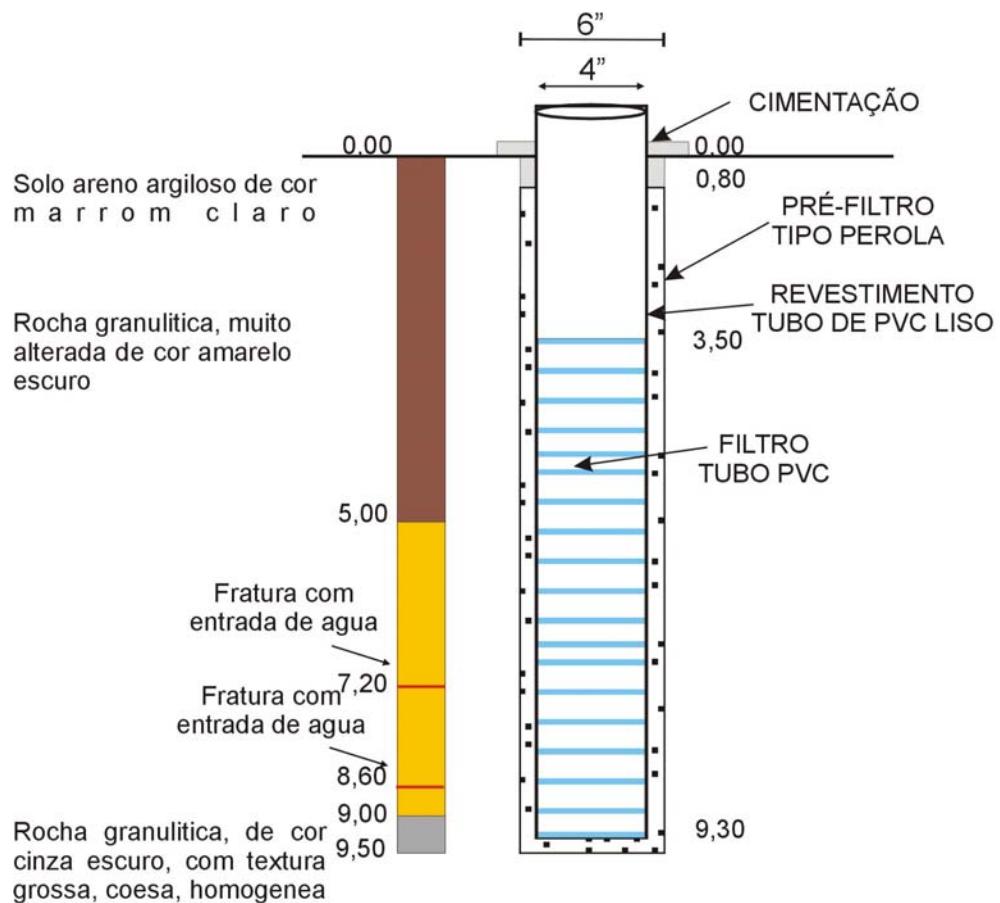
SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA DOS POÇOS DE MONITORAMENTO

POÇO PM - NS 2 NORTE



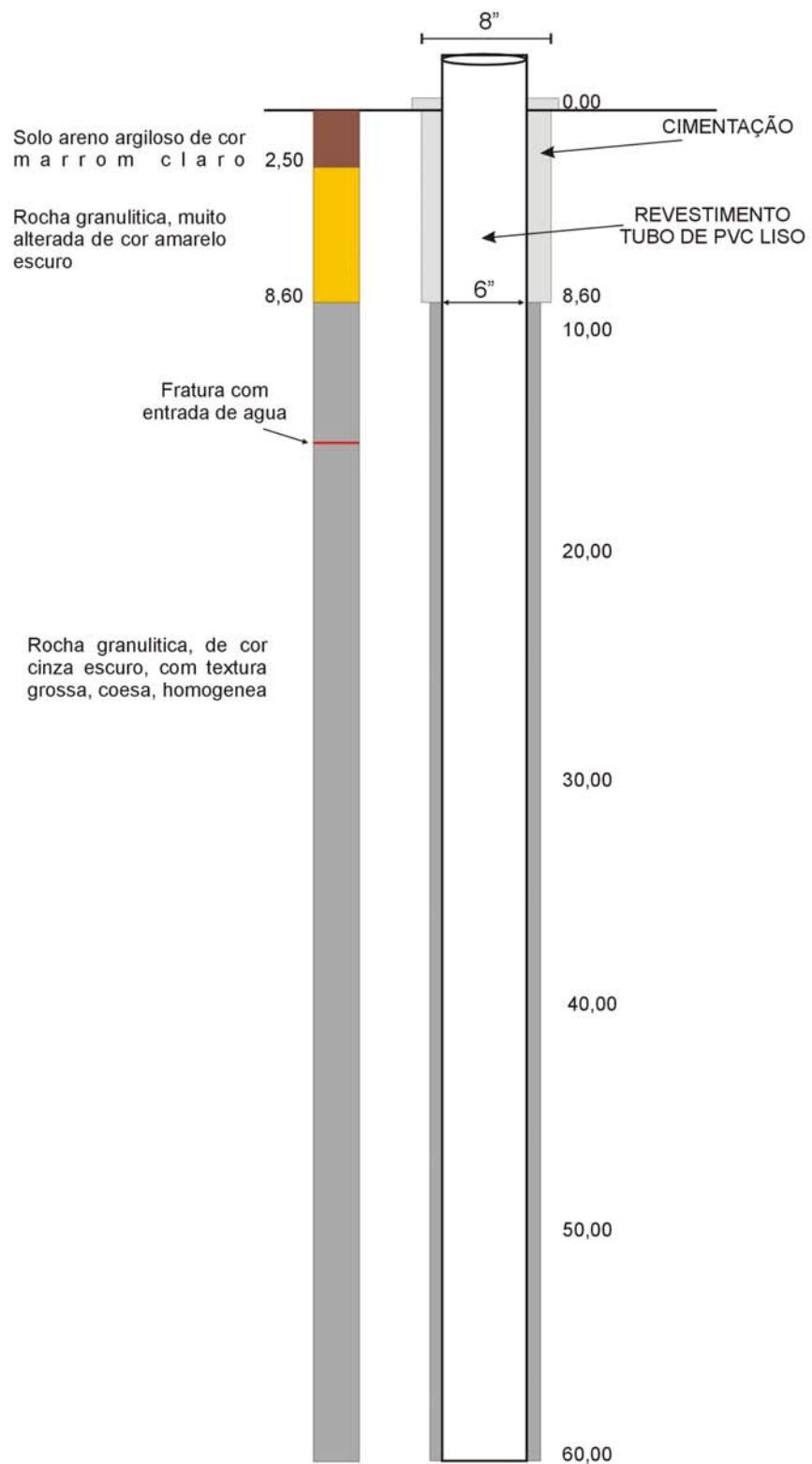
SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA DOS POÇOS DE MONITORAMENTO

POÇO PM - NS 3 NORTE



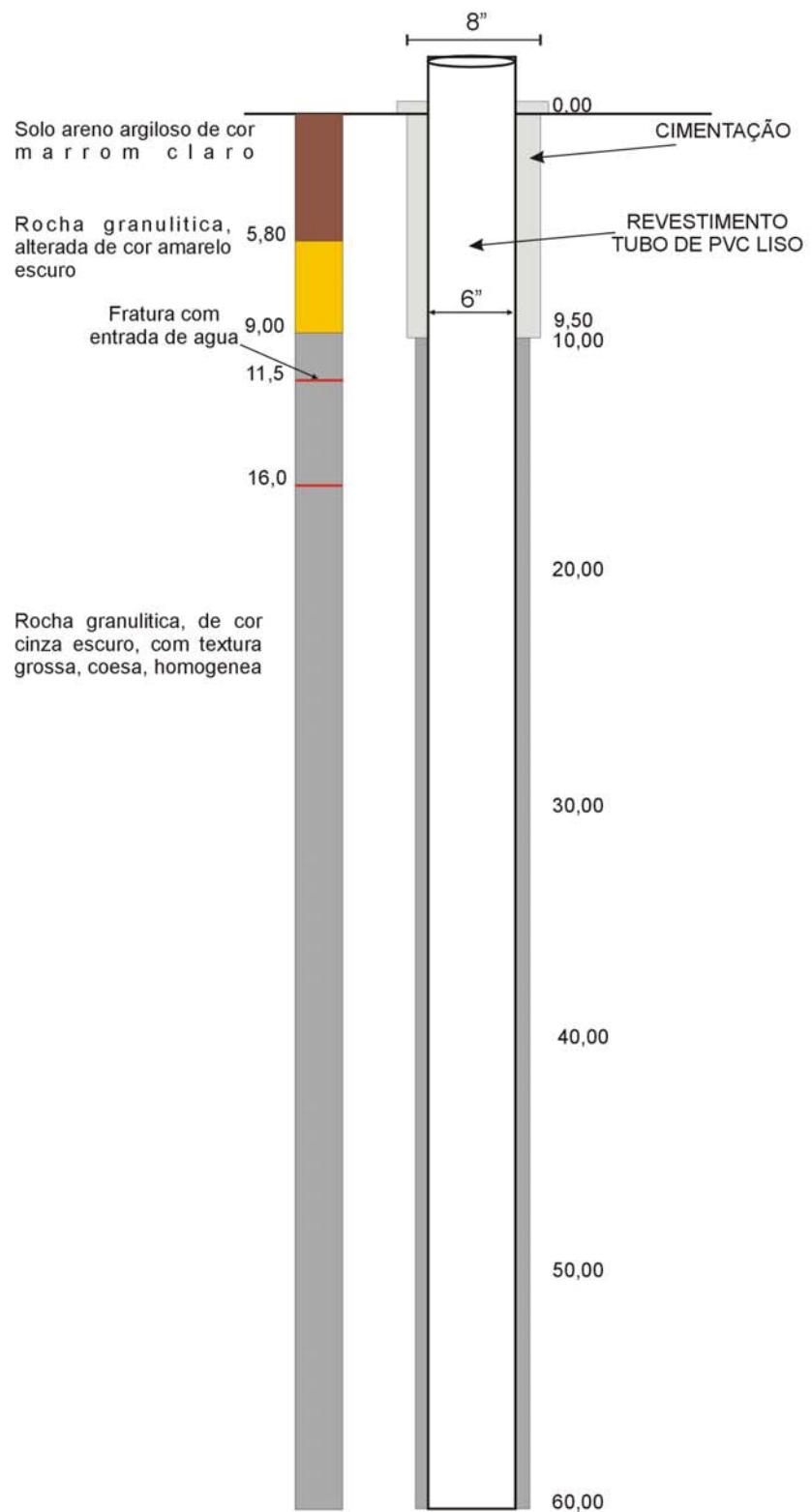
SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA DOS POÇOS DE MONITORAMENTO

POÇO PZ1 - SUL



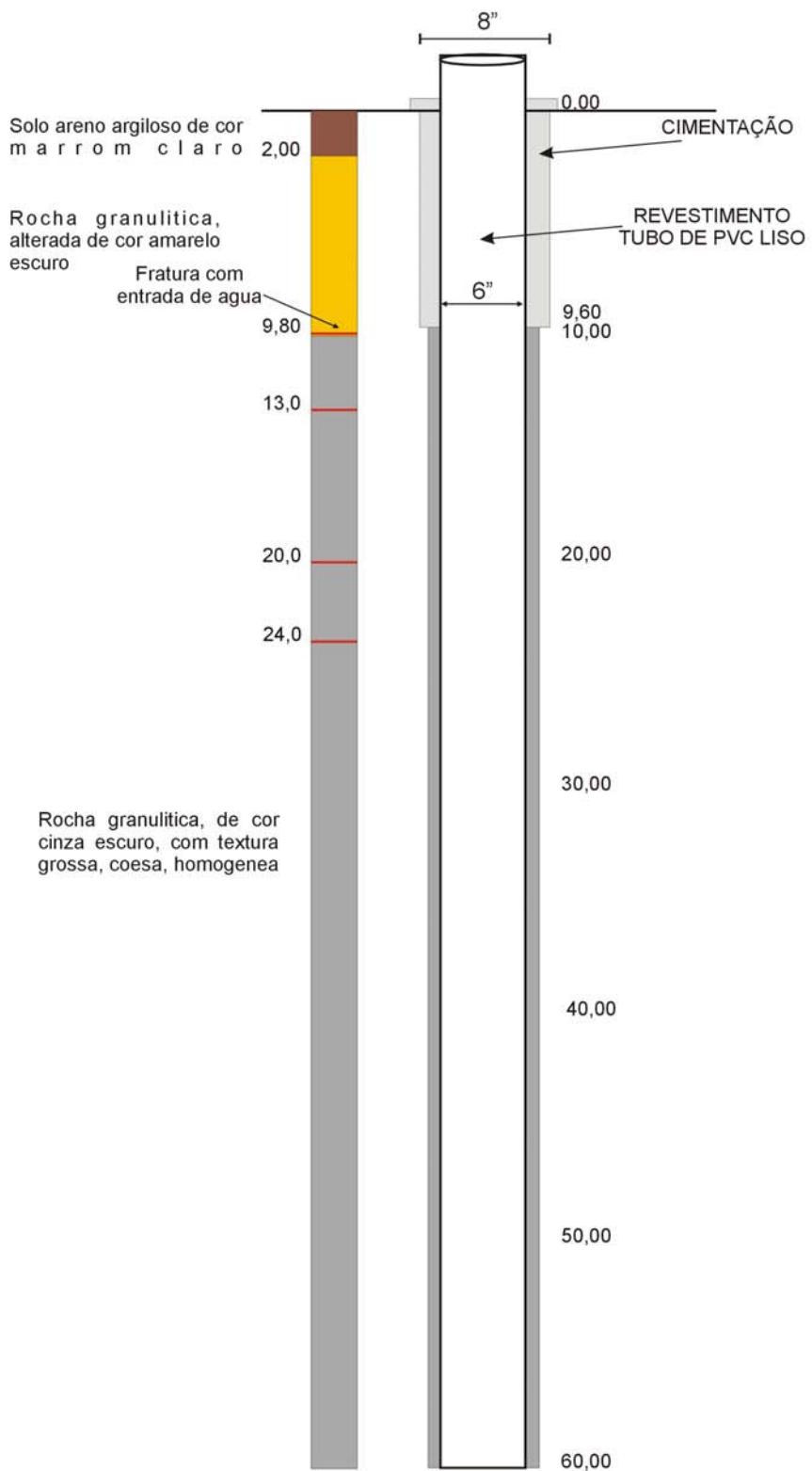
SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA DOS POÇOS DE MONITORAMENTO

POÇO PZ1 - NORTE



SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA DOS POÇOS DE MONITORAMENTO

POÇO PZ1 - OESTE



SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA DOS POÇOS DE MONITORAMENTO

POÇO PZ1 - NOROESTE

