

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

Dissertação de Mestrado

**Avaliação da Contaminação das Águas Subterrâneas na Área de Influência da Usina
de Tratamento de Resíduos S/A - UTRESA, em Estância Velha (RS)**

ELISABETH IBI FRIMM KRIEGER

Porto Alegre, outubro de 2000

Avaliação da Contaminação das Águas Subterrâneas na Área de Influência da Usina de Tratamento de Resíduos S/A - UTRESA, em Estância Velha (RS)

Elisabeth Ibi Frimm Krieger

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ecologia, do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia, área de concentração em Ciências Ambientais.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Tereza Raya-Rodriguez

**Comissão Examinadora:
Prof. Dra. Dorothy C. P. Casarini
Prof. Dra. Elba Calesso Teixeira
Prof. Dr. Sérgio João de Luca**

Porto Alegre, outubro de 2000

Com todo o meu amor

Aos meus pais, Leopoldo (in memoriam) e Irmgard, pelo exemplo de coragem e determinação da vida

Ao meu esposo, Luiz e às minhas filhas, Aline e Luana, por serem a minha inspiração para seguir sempre adiante.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, professora Maria Tereza Raya-Rodriguez, pela orientação objetiva, amizade, apoio e exemplo de competência.

À minha amiga e colega Maria Lucia Kolowski Rodrigues, cujo apoio e orientação, desde a concepção deste trabalho até a sua finalização, foram fundamentais para sua concretização, meus mais profundos e sinceros agradecimentos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a seus professores por todos os conhecimentos adquiridos.

À FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental, pelo apoio institucional.

À Faculdade de Química da Pontifícia Universidade Católica, pela realização das análises no cromatógrafo iônico, em especial a Química Simone Barriunuevo e ao Professor Marçal Pires.

Ao Engenheiro Químico Luiz Rupenthal, responsável pela UTRESA, pelo apoio no sentido de viabilizar a realização do trabalho de campo sempre que surgiam obstáculos e ao Eduardo Kranz pelo auxílio prestado.

Aos colegas do curso de Mestrado pela amizade e companheirismo.

Aos colegas do laboratório da FEPAM, pela carinhosa acolhida, pelo auxílio na filtração e preparação das amostras para análise dos metais e pela realização das análises. Meus agradecimentos sinceros a Iara, Maria Luiza, Maria Helena, Jane, Angela, Clarice, Andréa, Ricardo e ao Darlan.

Ao Castro, do setor de coleta da FEPAM, por ter viabilizado a realização das coletas. Meu agradecimento especial ao Cledion, que me auxiliou durante todo o trabalho de campo, com a precisão e competência que lhe são peculiares, extensivo ao Marcelo, Cristiano, Carlinhos e Roberto, que também auxiliaram no trabalho de campo.

À Lilian e ao Tiago do setor de geoprocessamento da FEPAM pelo auxílio na elaboração dos mapas.

Às minhas colegas e amigas do SEDAPI– Serviço de Diagnóstico da Poluição Industrial da FEPAM, Mariza, Maria Lúcia, Araújo, Diva, Neusa e Alda, pelo apoio e carinho e ao colega Vicente pelas “aulas” de geologia.

A minha estagiária Aline da Luz, pela dedicação e auxílio constante na edição deste trabalho.

Aos demais colegas da FEPAM e aos estagiários do SEDAPI, que de diversas maneiras contribuíram para a realização deste trabalho.

A minha mãe, Irmgard, pelo carinho e por ter me substituído muitas vezes na condução das lidas do lar.

Ao Luiz, Aline e Luana, pelo amor, carinho e pela compreensão por tantos momentos não compartilhados.

SUMÁRIO

INDÍCE DAS FIGURAS	ix
INDÍCE DAS TABELAS	xii
RELAÇÃO DAS ABREVIATURAS	xv
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xvii
1 INTRODUÇÃO	01
2 OBJETIVOS	05
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	06
3.1 Classificação dos resíduos sólidos.....	06
3.2 Aterro de resíduos sólidos industriais.....	07
3.3 Processo produtivo de curtume	15
3.4 Caracterização quali e quantitativa dos resíduos de curtume	20
3.5 Águas subterrâneas	24
3.5.1 Formas de ocorrência e propriedades	24
3.5.2 Composição das águas subterrâneas.....	31
3.5.3 Legislação.....	46
3.5.4 Monitoramento	49
3.5.4.1 Procedimento e precauções operacionais	52
3.5.4.2 Utilização dos resultados de monitoramento.....	56
4 AREA DE ESTUDO	58
4.1 Caracterização Fisiográfica	58
4.2 Dados Históricos	63

5 MATERIAL E MÉTODOS	71
5.1 Resíduos depositados na UTRESA	71
5.2 Seleção e instalação dos poços de monitoramento	71
5.3 Amostragem das águas subterrâneas	75
5.3.1 Esgotamento dos poços	76
5.3.2 Leituras de campo e coleta de amostras	78
5.3.3 Medidas de condutividade, TDS, temperatura, OD e Eh	83
5.3.4 Controle de qualidade da amostragem.....	85
5.4 Parâmetros físicos, químicos, biológicos: metodologia de análise	86
5.5 Tratamento dos dados	87
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	90
6.1 Tipos e quantidades de resíduos depositados na UTRESA.....	91
6.2 Níveis de água nos poços de monitoramento e pluviometria	92
6.3 Aplicação dos métodos estatísticos	97
6.3.1 Estatística descritiva	97
6.3.2 Estatística “t” de Student.....	122
6.3.3 Análise fatorial	125
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	134
8 RECOMENDAÇÕES.....	136
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
ANEXO A: Perfis de sondagem	143
ANEXO B: Dados climatológicos	145
ANEXO C: Licença de operação da UTRESA	148

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01- Esquema de aterro de resíduos Classe I (Rocca <i>et al.</i> , 1993)	10
Figura 02 - Fluxo da água em um aterro de resíduos (Rocca <i>et al.</i> , 1993).....	13
Figura 03 - Fluxograma do processo de curtimento (Schünemann <i>et al.</i> , 1983).....	19
Figura 04 - Divisões do sistema de água subterrânea: escala local (Hassuda, 1996).....	25
Figura 05 - Tipos de aquíferos (Ramos <i>et al.</i> , 1989).....	27
Figura 06 - Superfícies potenciométricas e drenanças em aquífero freático e confinados (Ramos <i>et al.</i> , 1989)	28
Figura 07 – Instabilidade relativa e faixas de concentração dos principais parâmetros de interesse no monitoramento da qualidade de águas subterrâneas (Foster & Gomes, 1989).....	42
Figura 08 - Disposição de poços de monitoramento (Rocca <i>et al.</i> ,1993).....	50
Figura 09 - Perfil esquemático do poço de monitoramento (ABNT, 1997).....	51
Figura 10 - Localização geográfica do município de Estância Velha	58
Figura 11 - Localização no município e planta baixa da UTRESA	61
Figura 12 – Reservatório de percolado.....	65
Figura 13 - Aspecto dos taludes da célula I localizada a montante dos poços de monitoramento PM 04 e PM 05	66
Figura 14 - Resíduos depositados na Célula III.....	67
Figura 15 - Pavilhão de Triagem da Célula Calçadista	68
Figura 16 - Vista aérea da UTRESA em dezembro de 1998.....	69
Figura 17 - Detalhe dos fardos armazenados na área VI.....	70
Figura 18 - Perfuração para instalação de poço através de trado manual.....	73
Figura 19 - Colocação do filtro (tubo de PVS ranhurado em sua parte inferior)	74
Figura 20 - Aspecto final do poço de monitoramento	74
Figura 21 - Medição da profundidade dos poços	76

Figura 22 - Medição do nível de água nos poços	77
Figura 23 - Conjunto (bomba, tubulação, fiação) utilizados no esgotamento e amostragem.....	78
Figura 24 - Equipamento de campo utilizado para medição de OD.....	80
Figura 25- Equipamento de campo utilizado para medição de Eh	80
Figura 26 - Coleta de amostras para análise em laboratório.....	82
Figura 27 - Preservação das amostras em campo	82
Figura 28 - Variações do nível de água durante o período de amostragem	93
Figura 29 - Variação do nível de água em cada poço no período de amostragem	93
Figura 30 - Precipitação média anual para a região.....	94
Figura 31- Nível potenciométrico no eixo AA'	96
Figura 32 - Nível potenciométrico no eixo BB'	96
Figura 33 - Valores de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	104
Figura 34 - Concentrações de SDT (mg/L)	104
Figura 35 - Valores de Eh (mV)	105
Figura 36 - Valores de pH	106
Figura 37- Concentrações de OD (mg/L)	106
Figura 38 - Valores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	107
Figura 39 - Concentrações de DQO (mg/L)	108
Figura 40 -Valores de alcalinidade (mg/L).....	108
Figura 41-Valores de turbidez (NTU)	109
Figura 42 - Concentrações de SST (mg/L).....	109
Figura 43 - Concentrações de cloretos (mg/L).....	110
Figura 44 - Concentrações de sulfatos (mg/L)	111
Figura 45 - Concentrações de nitratos (mg/L).....	112
Figura 46 - Concentrações de nitratos (mg/L).....	112
Figura 47 - Concentrações de ferro dissolvido (mg/L).....	113
Figura 48 - Concentrações de ferro dissolvido (mg/L).....	113
Figura 49 - Concentrações de manganês dissolvido (mg/L)	114
Figura 50 - Concentrações de manganês dissolvido (mg/L)	114
Figura 51 - Concentrações de cromo dissolvido (mg/L)	115

Figura 52 - Concentrações de sódio dissolvido (mg/L).....	116
Figura 53 - Concentrações de magnésio dissolvido (mg/L).....	116
Figura 54 - Concentrações de potássio dissolvido (mg/L)	117
Figura 55 - Concentrações de cálcio dissolvido (mg/L).....	117
Figura 56 - Concentrações de cádmio dissolvido (mg/L).....	118
Figura 57 - Concentrações de cobre dissolvido (mg/L)	118
Figura 58 - Concentrações de chumbo dissolvido (mg/L)	119
Figura 59 - Concentrações de zinco dissolvido (mg/L).....	119
Figura 60 - Concentrações de níquel dissolvido (mg/L)	120
Figura 61- Variação espacial e temporal do primeiro índice de qualidade (IQA ₁) dos poços de monitoramento da UTRESA, no período de junho/1999 a março/2000.....	131
Figura 62 - Variação espacial e temporal do segundo índice de qualidade (IQA ₂) dos poços de monitoramento da UTRESA, no período de junho/1999 a março/2000	131
Figura 63 - Variação espacial e temporal do terceiro índice de qualidade (IQA ₃) dos poços de monitoramento da UTRESA, no período de junho/1999 a março/2000	132
Figura 64 - Dispersão tridimensional das unidades amostrais de acordo com os escores fatoriais ou índices de qualidade (IQA ₁ , IQA ₂ e IQA ₃) dos poços de monitoramento da UTRESA, no período de junho/1999 a março/2000	133
Figura 65 - Dispersão bidimensional das unidades amostrais de acordo com os escores fatoriais ou índices de qualidade (IQA ₁ e IQA ₃) dos poços de monitoramento da UTRESA, no período de junho/1999 a março/2000	133

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01- Conteúdo de metais pesados em lodo primário de curtume em mg/Kg de matéria seca (Carré <i>et al.</i> , 1996).....	21
Tabela 02 -Tipos de resíduos gerados nos curtumes e composição química aproximada (FEPAM, 1991).....	23
Tabela 03 - Resultados do ensaio de lixiviação em resíduos de curtumes (FEPAM, 1991).....	23
Tabela 04 - Classificação dos elementos de acordo com sua toxicidade e disponibilidade (Försnter & Wittmann, 1981)	43
Tabela 05 - Padrões de potabilidade da água (CETESB, 1994).....	47
Tabela 06 - Características das bombas de monitoramento de poços (Foster & Gomes, 1989)	54
Tabela 07 - Dados sobre os poços de monitoramento.....	72
Tabela 08 - Localização geográfica e descrição dos pontos de amostragem.....	72
Tabela 09 - Valores de condutividade.....	83
Tabela 10 - Valores de TDS	83
Tabela 11 - Valores de temperatura.....	84
Tabela 12 - Valores de OD medidos.....	84
Tabela 13 - Valores de Eh.....	85
Tabela 14 - Controle de qualidade para parâmetros determinados em laboratório.....	85
Tabela 15 - Controle de qualidade para metais.....	85
Tabela 16 - Controle de qualidade para parâmetros determinados em campo.....	85
Tabela 17 - Metodologia analítica, equipamentos e limites para análise	86
Tabela 18 - Tipos e quantidades de resíduos depositados na UTRESA no período 1991 a março/2000.....	90
Tabela 19 - Níveis de água nos poços de monitoramento	92
Tabela 20 - Precipitação média anual para a região.....	94

Tabela 21 - Níveis potenciométricos dos poços de monitoramento	95
Tabela 22 - Níveis potenciométricos e cotas topográficas no eixo AA'	95
Tabela 23 - Níveis potenciométricos e cotas topográficas no eixo BB'.....	95
Tabela 24 - Resultados do monitoramento de águas subterrâneas analisados em campo – Julho/99.....	97
Tabela 25 - Resultados do monitoramento de águas subterrâneas analisados em campo– Setembro/99.....	97
Tabela 26 - Resultados do monitoramento de águas subterrâneas analisados em campo – Dezembro/99.....	98
Tabela 27 - Resultados do monitoramento de águas subterrâneas analisados em campo – Março/00.....	98
Tabela 28 - Resultados do monitoramento de águas subterrâneas analisados em laboratório – Julho/99.....	98
Tabela 29 - Resultados do monitoramento de águas subterrâneas analisados em laboratório – Setembro/99.....	99
Tabela 30 - Resultados do monitoramento de águas subterrâneas analisados em laboratório – Dezembro/99.....	99
Tabela 31 - Resultados do monitoramento de águas subterrâneas analisados em laboratório – Março/00.....	99
Tabela 32 - Metais dissolvidos em águas subterrâneas – Julho/99.....	100
Tabela 33 - Metais dissolvidos em águas subterrâneas – Setembro/99.....	100
Tabela 34 - Metais dissolvidos em águas subterrâneas – Dezembro/99.....	100
Tabela 35 - Metais dissolvidos em água subterrânea – Março/00.....	101
Tabela 36 - Metais totais em água subterrânea – Julho/99.....	101
Tabela 37 - Metais totais em água subterrâneas – Setembro/99.....	101
Tabela 38 - Metais totais em água subterrâneas – Dezembro//99.....	102
Tabela 39 - Metais totais em águas subterrâneas – Março/99.....	102
Tabela 40 - Parâmetros de monitoramento de águas subterrâneas analisados em campo e laboratório – Junho/00.....	102

Tabela 41 - Estatística descritiva para todos os dados de monitoramento nos nove poços da UTRESA, no período de junho de 1999 a março de 2000.....	121
Tabela 42 - Tratamento estatístico dos parâmetros de monitoramento através da distribuição “t” de Student.....	123
Tabela 43 - Matriz de correlação de Pearson para as variáveis estudadas nos poços de monitoramento da UTRESA, no período de junho de 1999 a março de 2000.....	126
Tabela 44 - Matriz de cargas fatoriais obtida para os poços de monitoramento da UTRESA, no período de junho de 1999 a março de 2000.....	128
Tabela 45 - Coeficientes dos escores fatoriais obtidos para os poços de monitoramento da UTRESA, no período de junho de 1999 a março de 2000.....	128
Tabela 46 - Escores fatoriais ou índices de qualidade obtidos para os poços de monitoramento da UTRESA, no período de junho de 1999 a março de 2000.....	129

RELAÇÃO DAS ABREVIATURAS

AA - Absorção Atômica

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CCEE - Coordenadoria de Controle do Equilíbrio Ecológico

CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental

DL - Divisão de Licenciamento

DQO - Demanda Química de Oxigênio

Eh - Potencial de Oxidação Redução

EVA - Etil Vinil Acetato

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental

FQ - Físico Química

NBR - Norma Brasileira

OD - Oxigênio Dissolvido

OMS - Organização Mundial da Saúde

PM – Poço de Monitoramento

pH - Potencial de Hidrogênio

RS - Rio Grande do Sul

SS – Secretaria da Saúde

SEDAPI – Serviço de Diagnóstico da Poluição Industrial

SIGECORS – Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

SSMA – Secretaria da Saúde e do Meio Ambiente

TDS - Sólidos Dissolvidos Totais

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

USEPA – United States Environmental Protection Agency

RESUMO

Este trabalho objetiva avaliar a contaminação das águas subterrâneas em uma área de disposição de resíduos, originados, principalmente, nas indústrias pertencentes ao ramo coureiro-calçadista, a partir da comparação dos resultados das análises físicas e químicas realizadas em amostras de água subterrânea do aquífero freático à jusante da área, com os padrões de potabilidade da água estabelecidos na legislação vigente e com as características das águas subterrâneas do aquífero à montante da área de disposição de resíduos, através da determinação dos seguintes parâmetros: condutividade, SDT, Eh, pH, OD, temperatura, DQO, alcalinidade, turbidez, SST, cloreto, sulfato, nitrato, ferro, manganês, cromo, sódio, magnésio, potássio, cálcio, cádmio, cobre, chumbo, zinco e níquel. Objetiva, também, quantificar os diferentes tipos de resíduos dispostos na área e fornecer subsídios técnicos para o Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais da FEPAM, no que tange ao monitoramento da qualidade das águas subterrâneas em áreas de disposição de resíduos sólidos.

A área estudada é a UTRESA - Usina de Tratamento de Resíduos S/A, que abrange 29 ha e está localizada no extremo sudoeste do município de Estância Velha- RS.

A metodologia utilizada consistiu das seguintes etapas: quantificação dos resíduos depositados na área, seleção e instalação de nove poços de monitoramento, realização de quatro amostragens das águas subterrâneas, no período compreendido entre junho de 1999 e março de 2000 e tratamento dos dados, com a determinação de índices de qualidade de água subterrânea para cada poço de monitoramento.

O monitoramento demonstrou que alguns parâmetros amostrados nos diferentes poços de monitoramento não atenderam os valores recomendados para a potabilidade das águas pelo Ministério da Saúde e pela Organização Mundial da Saúde, bem como apresentaram valores superiores quando comparados ao ponto controle, localizado à montante da área, observando-se o pior índice de qualidade das águas subterrâneas no PM 05, devido a presença de cromo, nitrato, sulfato, cloreto, sódio e SDT.

ABSTRACT

This work aims the evaluation of the groundwater contamination in an area of mainly tanneries and leather industries solid waste disposal, through the comparison of the results of the physical and chemical analysis of the phreatic groundwater after the disposal area with the results obtained before the disposal area and with the water potability standards established in present legislation, by the determination of the following parameters: conductivity, total dissolved solids, redox potencial, pH, dissolved oxygen, temperature, chemical oxygen demand, alcalinity, turbidity, total suspended solids, chloride, sulphate, nitrate, iron, manganese, chromium, sodium, magnesium, potassium, calcium, cadmium, copper, lead, zinc and nickel. It also has the objective of quantifying diferent kinds of wastes disposed in the area and give technical subvention for the Industrial Solid Waste Disposal Managment System of FEPAM, in aspects related to the monitoring of groundwater in areas of solid waste disposal.

The work was carried out in UTRESA S/A, which is a solid waste disposal and treatment plant, with an area of 29 ha and located in the extreme southwest of Estância Velha, city located on Rio Grande do Sul state.

The methodology used followed the steps: quantification of the wastes disposed in the area, selection and instalation of nine monitoring wells, accomplishment of four sampling campaigns, over a period between the months of june/1999 and march/2000 and data treatment , with the determination of quality indexes for the groundwater for each monitorated well.

The monitoring showed that some parameters outdated the potability standarts recomended by the Health Ministry of Brazil and by the World Health Organization and showed higher results when compared to the backgroud values, located upright the disposal area, showing the worst grounwater qualily index at the monitoring point PM 05, due to the presence of chromium, nitrate, sulfate, chloride, sodium and total dissolved solids.

1 INTRODUÇÃO

As indústrias de couros e peles, representando um dos seis ramos de mais forte ação poluidora e as indústrias calçadistas correspondem às atividades predominantes no estado do Rio Grande do Sul. A maior concentração de empresas desses ramos industriais ocorre na região do vale do rio dos Sinos, onde está localizado o município de Estância Velha.

Nos processos industriais utilizados pelas indústrias do ramo de couros e peles são gerados consideráveis volumes de efluentes líquidos, com elevada carga poluidora orgânica e inorgânica, caracterizada, principalmente, pela presença de cromo e pigmentos presentes nas tintas (KRIEGER *et al.*,1993).

Por muitos anos, os efluentes líquidos das empresas de couros e peles foram lançados “in natura” nos rios da região e os resíduos sólidos depositados diretamente no solo, na maioria das vezes nas margens dos rios ou em áreas consideradas improdutivas, como por exemplo, terrenos alagadiços.

No final da década de 70, foi publicada, pela Secretaria da Saúde do Estado, a Portaria 03/79-SS, que aprovou a Norma Técnica N.º 07/CCEE da Coordenadoria de Controle do Equilíbrio Ecológico/RS, estabelecendo exigências para a implantação de técnicas de controle internas ao processo produtivo, visando a minimização da carga poluidora gerada, bem como para o tratamento dos efluentes líquidos das empresas do ramo de couros e peles.

A operação dos sistemas de tratamento de efluentes líquidos acarretou a geração de grandes quantidades de lodo, conforme (KRIEGER *et al.*,1993), que necessitavam de disposição final adequada.

Conseqüentemente, no final da década de 80, foi publicada pela Secretaria da Saúde e do Meio Ambiente do Estado, a Portaria N.º 21/89-SSMA, que disciplinou a destinação final do lodo e dos demais resíduos sólidos gerados pelas empresas do ramo.

O índice de reaproveitamento dos resíduos do setor coureiro calçadista ainda é muito baixo, devido a insuficiente segregação dos mesmos nas empresas, o que inviabiliza sua utilização posterior, acarretando a geração de consideráveis volumes de resíduos que necessitam de disposição adequada.

Alguns resíduos gerados do processo de curtimento são reaproveitáveis, como, por exemplo, as aparas caleadas destinadas à fabricação de gelatina. Os resíduos gerados nas operações de caleiro e de curtimento ao tanino são usualmente dispostos em solo agrícola. Porém, os resíduos sólidos gerados após a etapa de curtimento ao cromo, como aparas e retalhos de couro, serragem, farelo, pó de lixadeira, resíduos de tintas e pigmentos e o lodo proveniente dos sistemas de tratamento de efluentes líquidos contém, além de outros contaminantes, o cromo em sua composição, sendo classificados como resíduos classe I - perigosos pela norma NBR 10004 - Classificação de Resíduos (ABNT,1987), necessitando disposição final em aterros para resíduos perigosos das próprias empresas ou em centrais de disposição de resíduos.

A área de disposição de resíduos estudada, denominada UTRESA S/A – Usina de Tratamento de Resíduos, foi a primeira Central de disposição de resíduos classe I do Estado. Iniciou sua operação no final de 1991, tendo sido projetada, inicialmente, para receber resíduos das indústrias do ramo de couros e peles de Estância Velha. Após algum tempo de operação, passou a receber, também, resíduos da indústria calçadista e de outros ramos industriais, principalmente de empresas localizadas no vale do rio dos Sinos.

A UTRESA teve um crescimento rápido e desordenado, apresentando irregularidades ao longo de sua operação, tais como, impermeabilização e selamento deficiente das valas, geração de grandes quantidades de chorume, haja visto não haver cobertura total das valas e o lodo chegar à Central com elevado teor de umidade. Presentemente encontram-se em implantação medidas visando sanar as irregularidades existentes.

Esta disposição inadequada dos resíduos sólidos pode causar a contaminação dos aquíferos, devido a percolação do chorume gerado. Segundo FOSTER & HIRATA (1993), o transporte de contaminantes da superfície do terreno até as águas subterrâneas e o movimento dessas águas tende a ser um processo lento na maioria dos aquíferos, podendo levar anos e até décadas antes que o impacto de um episódio de contaminação por um contaminante persistente apareça.

O elevado tempo de residência das águas subterrâneas e o enorme volume de poros nos aquíferos, torna a água subterrânea uma reserva confiável a longo prazo, mas significa, também, que um aquífero, uma vez poluído, pode levar séculos ou mais tempo, até que consiga promover uma auto descontaminação, através de mecanismos de fluxo natural (CLEARY,1989).

Excetuando as geleiras, as águas subterrâneas constituem cerca de 95% da água doce do nosso planeta, e, apenas 5% corresponde aos rios, lagos, segundo CLEARY (1989), observando-se o crescente aumento do uso de águas subterrâneas em função das precárias condições de muitos corpos receptores.

Diante disso, a proteção da água subterrânea é absolutamente necessária, tanto nos aquíferos confinados como no freático, e seu monitoramento é um recurso que permite avaliar o índice de contaminação.

Considerando o anteriormente exposto, este trabalho apresenta dados sobre o monitoramento das águas subterrâneas na área da UTRESA S/A – Usina de Tratamento de Resíduos e a avaliação do comprometimento do aquífero freático na área, considerando que a Central está localizada em zona densamente povoada, com recursos hídricos superficiais bastante poluídos, sendo fundamental a proteção das águas subterrâneas visando o abastecimento da população.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo principal avaliar a contaminação das águas subterrâneas em uma área de disposição de resíduos oriundos, principalmente, das indústrias pertencentes ao ramo de couros e peles e calçadistas, a partir da comparação dos resultados das análises físicas e químicas realizadas em amostras de águas subterrâneas do aquífero freático à jusante da área, com os padrões de potabilidade da água estabelecidos na legislação vigente e com as características do aquífero à montante da área de disposição dos resíduos.

Objetiva-se, ainda, realizar a caracterização quantitativa dos resíduos dispostos na área e fornecer subsídios técnicos para o Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais – SIGECORS da FEPAM, no que tange ao monitoramento das águas subterrâneas em áreas de disposição de resíduos sólidos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Classificação dos resíduos sólidos

De acordo com a norma NBR 10004 - Resíduos Sólidos - Classificação (ABNT, 1987) são considerados resíduos sólidos industriais os resíduos em estado sólido e semi-sólido que resultam da atividade industrial, incluindo-se lodos provenientes das instalações de tratamento de águas residuárias, aqueles gerados em equipamentos de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam, para isto, soluções economicamente inviáveis, em face da melhor tecnologia disponível.

As decisões técnicas e econômicas tomadas em todas as fases do trato dos resíduos sólidos industriais (manuseio, acondicionamento, armazenagem, coleta, transporte e disposição final) deverão estar fundamentadas na classificação dos mesmos. A ABNT editou um conjunto de normas para padronizar, a nível nacional, a classificação dos resíduos (ROCCA *et al.*, 1993).

Os resíduos amostrados de acordo com a norma NBR 10007 – Amostragem de Resíduos (ABNT, 1987) são classificados, conforme a norma NBR 10004 (ABNT, 1987), quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, sendo agrupados em três classes, conforme listado a seguir.

- resíduos classe I ou perigosos: são os resíduos sólidos ou mistura de resíduos que, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, patogenicidade e toxicidade (submetendo, inclusive, o extrato da amostra ao teste de lixiviação, de acordo com a norma NBR 10005 - Lixiviação de Resíduos – Procedimento (ABNT, 1987)) podem apresentar risco á saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade ou incidência de doenças e/ou

apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada;

- resíduos classe II ou não inertes: são os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que não se enquadram na classe I - perigosos ou na classe III - inertes;
- resíduos classe III ou inertes: são os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que, submetidos ao teste de solubilização, conforme a norma NBR 10006 - Solubilização de Resíduos – Procedimento (ABNT, 1987) não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados, em concentrações superiores aos padrões definidos na Listagem 8 da norma NBR 10004 (ABNT, 1987).

Segundo este mesmo autor, os resíduos são classificados em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas e com base na identificação de contaminantes presentes em sua massa.

3.2 Aterro de resíduos sólidos industriais

A minimização da geração de resíduos é importante no gerenciamento de resíduos e baseia-se em duas estratégias básicas (ROCCA *et al.*, 1993):

- redução dos resíduos na fonte através de modificações no processo produtivo;
- reciclagem, através do reuso ou recuperação de resíduos ou de seus constituintes que apresentem algum valor econômico.

Os resíduos sólidos não reciclados devem ser dispostos de forma adequada, pois a disposição indiscriminada de resíduos no solo, pode causar a poluição do ar, das águas superficiais, do solo e das águas subterrâneas, pela infiltração dos líquidos percolados. O aterro é uma forma de disposição de resíduos no solo que, fundamentada em critérios de

engenharia e normas operacionais específicas, garante um confinamento seguro em termos de poluição ambiental e proteção à saúde pública. São passíveis de disposição em aterro os resíduos cujos poluentes neles contidos podem sofrer alguma forma de atenuação no solo, seja por processos de degradação, seja por processos de retenção tais como, filtração, adsorção, troca iônica, etc (ROCCA et al., 1993).

Segundo BAGCHI (1990), o processo de seleção de um local para um aterro é complexo e envolve três aspectos principais:

- levantamento de dados (topográficos, tipos e uso do solo, uso da água, acesso ao local, geológicos, tipos e volume de resíduos a serem depositados, volume do aterro, disponibilidade de equipamentos operacionais, opções para reciclagem e incineração dos resíduos, possibilidade de disposição em aterros já existentes, recursos financeiros);
- critérios locacionais (distância de rios, lagos, estradas, parques públicos, aeroportos, áreas habitadas, fontes de suprimento de água);
- avaliação preliminar da aceitação pública.

Dentre as características favoráveis de uma área para implantação de um aterro, destacam-se (ROCCA *et al.*, 1993):

- baixa densidade populacional na vizinhança;
- baixo potencial de contaminação das águas subterrâneas e superficiais, baixo índice de precipitação pluviométrica e alto índice de evapotranspiração;
- subsolo constituído por um depósito extenso e homogêneo de material argiloso insaturado.

Segundo o mesmo autor, as seguintes condições devem ser observadas na seleção de locais para implantação de aterros:

- distância de 200 m de corpos d'água superficiais e de 500 m de residências;
- subsolo constituído de material granular fino com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-5} cm/s;
- declividade máxima de 20% no terreno, para implantação de aterros de resíduos sólidos industriais perigosos;
- espessura mínima da camada insaturada de 1,5 m (L);
- coeficiente de permeabilidade desejável 10^{-7} cm/s (K);
- a evaporação potencial média anual exceder a precipitação média anual em 500 mm.

Na elaboração de projetos de aterros industriais devem ser observadas as seguintes normas técnicas da ABNT:

- NBR 10004 - Resíduos Sólidos – Classificação (ABNT, 1987);
- NBR 8418 - Apresentação de Projetos de Aterros de Resíduos Industriais Perigosos (ABNT, 1984);
- NBR 10157 - Aterros de Resíduos Perigosos - Critérios para Projeto, Construção e Operação (ABNT, 1987);
- NBR 13896 - Aterros de Resíduos não Perigosos, Critérios para Projeto, Construção e Operação (ABNT, 1997);
- NBR 13895 - Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem (ABNT, 1997).

Para a elaboração de um projeto e implantação de aterro são necessários estudos relativos a caracterização e classificação dos resíduos, conforme o item 3.1 e o conhecimento do local destinado à implantação do aterro, através de caracterização geográfica, topográfica, hidrogeológica e climatológica (ROCCA *et al.*, 1993).

Em geral as características dos resíduos variam dentro de um tipo de indústria e podem variar com o tempo, em função dos processos industriais. Assim, um resíduo deve ser novamente caracterizados, caso haja alteração no processo industrial (BAGCHI, 1990).

A caracterização hidrogeológica deve contemplar informações sobre a definição das camadas constituintes do subsolo, determinação da profundidade do lençol freático, elaboração de mapas potenciométricos, conhecimento da dinâmica, qualidade e importância econômica das águas subterrâneas, importância do terreno em termos de recarga de aquíferos e avaliação de riscos de ruptura ou erosão acentuada do terreno de fundação (ROCCA *et al.*, 1993).

A Figura 01 apresenta um esquema para execução de um aterro de resíduos perigosos – Classe I.

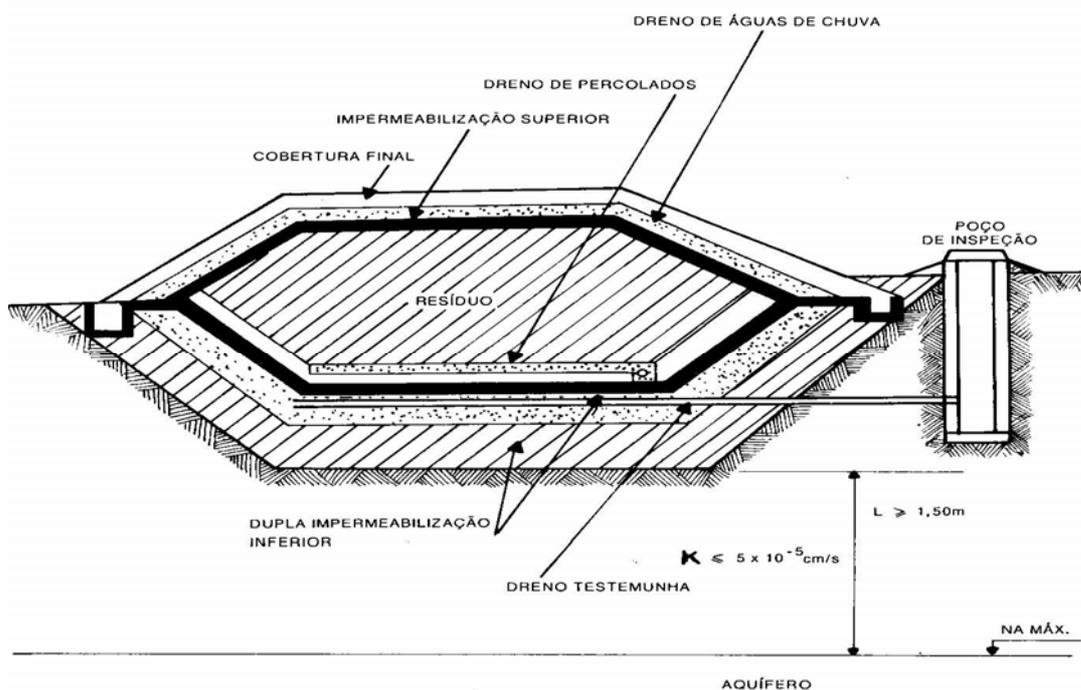


Figura 01: Esquema de aterro de resíduos Classe I (ROCCA *et al.*, 1993)

Segundo este mesmo autor, dentre os elementos de proteção ambiental a serem necessariamente considerados na elaboração de um projeto de aterro, incluem-se:

- sistemas de drenagem de águas pluviais (das águas que precipitam à montante da área do aterro, sobre a área do aterro durante a fase de operação e das águas que precipitam sobre o aterro concluído, evitando sua infiltração através da massa de resíduos);
- sistemas de impermeabilização superior e inferior (para impedir, respectivamente, a percolação de águas de chuva através da massa de resíduos e garantir um confinamento dos resíduos e líquidos percolados, impedindo a infiltração de poluentes no subsolo e aquíferos adjacentes);

Dentre as materiais comumente empregados em impermeabilização destacam-se as argilas compactadas e as geomembranas sintéticas como as mais indicadas para emprego em aterros industriais.

- sistemas de detecção de vazamentos através das camadas de impermeabilização (constituídos por drenos testemunhas, que são estruturas drenantes posicionadas sob as camadas de impermeabilização, objetivando detectar possíveis vazamentos, possibilitando a execução de reparos e por poços de inspeção);
- sistemas de coleta e tratamento de líquidos percolados (todo o líquido percolado gerado dentro de uma célula de aterro deve ser drenado, recolhido e conduzido a uma estação de tratamento de efluentes líquidos);

As estruturas drenantes sub-superficiais são geralmente constituídas por drenos de brita escavados no solo ou na camada de resíduos, acompanhando o terreno, mas devendo ter uma declividade mínima de 2%.

A Figura 02 mostra o fluxo de água em um aterro de resíduos.

- sistemas de drenagem de gases (a formação de gases em aterros deve-se a decomposição da matéria orgânica em meio aneróbico com a formação de metano e gás carbônico ou a reações decorrentes da disposição de resíduos incompatíveis entre si gerando gases tóxicos).

Os drenos de gases são formados por tubos perfurados colocados em uma camisa de brita, atravessando a massa de resíduos no sentido vertical, desde 60 cm da camada impermeabilizante até a área externa do aterro, sendo recomendado que a distância entre os drenos varie entre 30 e 70 metros entre si.

O plano de fechamento do aterro deve prever (ROCCA *et al.*, 1993):

- impermeabilização da camada superior para evitar a entrada de águas pluviais;
- inclinação para evitar o acúmulo das águas pluviais com a formação de bolsões na superfície da célula;
- cobertura vegetal com gramíneas;
- monitoramento do percolado e dos poços de monitoramento por um período mínimo de 20 anos, devendo ser implantados, pelo menos, 4 poços de monitoramento do aquífero, para controlar sua qualidade no entorno do aterro, sendo localizados um a montante e 3 a jusante do aterro, com relação ao sentido de escoamento das águas subterrâneas;
- usos programados para a área no futuro.

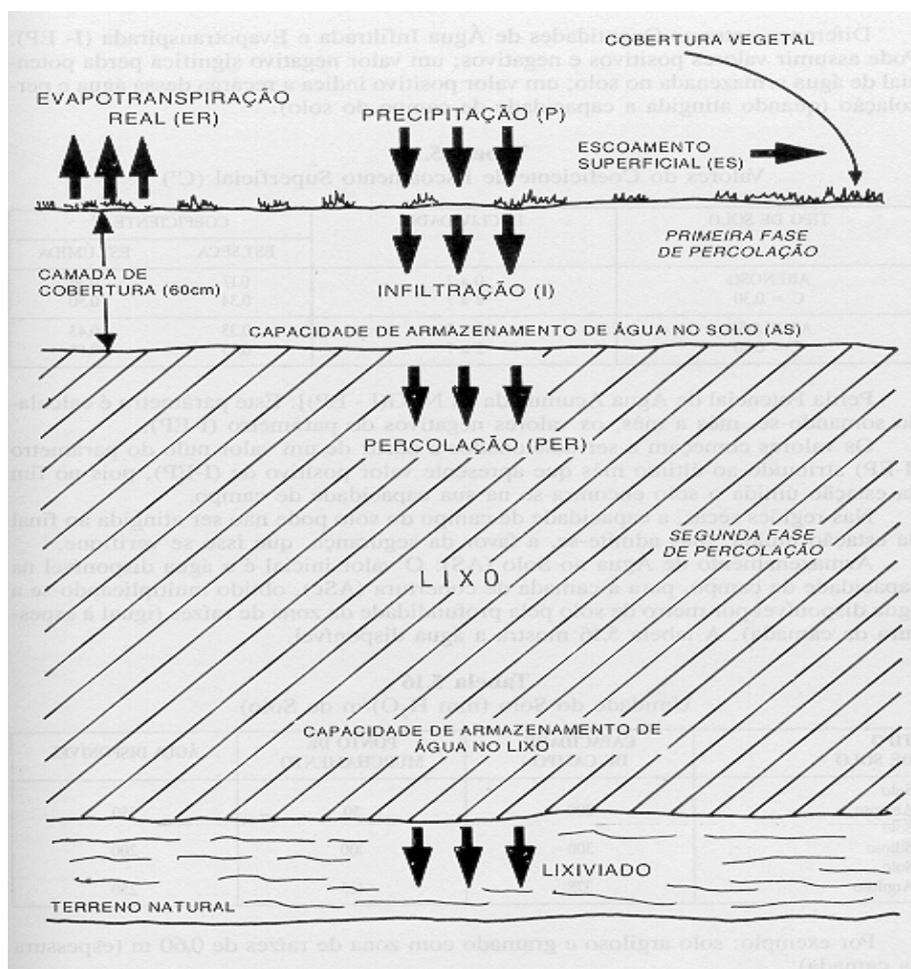


Figura 02: Fluxo da água em um aterro de resíduos (ROCCA et al., 1993)

Sob o ponto de vista econômico, devem haver recursos financeiros disponíveis, não somente para construir, mas também para operar, manter e monitorar o aterro. Como o monitoramento após o encerramento do aterro pode se estender por um período de 20 a 30 anos, o custo de manutenção e monitoramento a longo prazo pode ser maior do que o custo de construção do mesmo. Recursos devem ser reservados durante a vida útil do aterro para garantir a realização das atividades de longo prazo (BAGCHI, 1990).

Um aterro deverá ser operado e mantido de forma a minimizar a possibilidade de geração de fogo, explosão, derramamentos, vazamentos ou liberação de substâncias

nocivas ao ar, águas superficiais, solo e águas subterrâneas. A operação do aterro deverá ser norteada pelos seguintes elementos, (ROCCA *et al.*, 1993):

- plano de registro e controle de recebimento de resíduos dispostos;
- plano de amostragem de resíduos;
- plano de segregação de resíduos;
- plano de inspeção e manutenção da área;
- plano de emergência;
- plano de fechamento e encerramento;
- plano de monitoramento do aquífero.

Segundo FÖRSTNER & WITTMANN (1981), investigações sobre o impacto do lixiviado do aterro na qualidade das águas subterrâneas indicam que o teor de elementos-traço na água de drenagem superficial é principalmente influenciado pela capacidade de adsorção do solo. A capacidade de troca iônica aumenta a medida que a granulometria do solo diminui. Investigações sobre a atenuação de poluentes no lixiviado de aterros municipais por argilo-minerais, com referência particular a adsorção de metais pesados, indicam claramente que a potencial utilidade de materiais de argila como linhas de contenção em locais de deposição de resíduos depende, em grande extensão, do pH das soluções lixiviadas e a precipitação dos cátions de metais pesados do lixiviado foi um mecanismo importante a valores de pH iguais ou maiores do que 5. Lodos de hidróxidos metálicos, bem como os processos aeróbicos de intemperismo podem formar fases solúveis. Uma lixiviação será, provavelmente retardada por valores permanentemente elevados de pH, sendo que a adição de água contendo CO₂ mudará a solubilidade lentamente.

3.3 Processo produtivo de curtume

Segundo CTCCA (1994), o curtume é a indústria que transforma a pele animal, que é um material putrescível, em couro, que é imputrescível. Essa transformação pela qual a pele passa para chegar a couro, denomina-se processo de curtimento.

Segundo SCHÜNEMANN *et al.* (1983), a pele do animal esfolado no matadouro é submetida ao processo de salga, para aumentar a resistência à ação dos microorganismos e viabilizar o seu armazenamento por alguns meses. Quando o processamento imediato das peles é possível, a operação de salga pode ser eliminada.

O processo de curtimento envolve três etapas básicas: ribeira, curtimento e acabamento, segundo SCHÜNEMANN *et al.* (1983), conforme pode ser visualizado na Figura 03.

De acordo com SCHÜNEMANN *et al.* (1983), as principais operações da etapa de Ribeira e suas finalidades são:

- remolho: visa restaurar água à pele e remover sujeiras, soro, sangue e sal, sendo realizado em tanques ou fulões (cilindros rotativos) nos quais as peles são imersas em banhos contendo água, detergente, produtos umectantes e bactericidas;
- pré-descarne: visa remover a camada hipodérmica (carne) das peles, constituindo-se de um processo mecânico realizado antes da operação de depilação-caleiro, evitando a presença de produtos químicos na carne removida, possibilitando o seu aproveitamento total e melhorando a qualidade dos subprodutos;
- depilação-caleiro: visa o despreendimento do pelo, a eliminação da epiderme e um inchamento da estrutura fibrilar, preparando as fibras colágenas e elásticas para serem curtidas, causando também a saponificação das gorduras. Os produtos químicos mais utilizados nesta operação são o sulfeto de sódio e a cal;

- descarne: visa a remover o tecido adiposo subcutâneo e muscular (carnaça) do sebo aderente à face interna da pele, podendo ser realizado manualmente ou por máquinas especiais. Como operação posterior ocorre o recorte das aparas que são utilizadas para fabricação de colas ou gelatinas;
- divisão: visa dividir a pele, geralmente, em duas partes, sendo que a parte que está em contato com a carnaça recebe o nome de “raspa” ou “crosta” e a parte externa recebe o nome de “flor” ou “vaqueta”, sendo realizada em máquina especial onde a pele passa por dois rolos e é dividida pela ação de uma faca giratória;
- descalcinação e purga: visam, respectivamente, remover o excesso de cal e sulfeto das peles e prepará-las para o curtimento. A descalcinação é realizada em fulões, nos quais as peles são imersas em banhos contendo soluções de sulfato de amônia e ácidos e a purga é realizada nos mesmos fulões, sendo as peles lavadas com enzimas proteolíticas ou fungos e sais de amônia, que tem a função de remover as proteínas globulares e materiais queratinosos degradados;
- píquel: visa evitar o inchamento das peles e a precipitação de sais de cromo durante a operação de curtimento, através da acidificação das mesmas, sendo realizado em fulões nos quais as peles são imersas em banhos contendo ácidos orgânicos, tais como ácido láctico e inorgânicos, tais como ácido sulfúrico;

Na etapa de Curtimento ocorre a reação entre o agente curtente (vegetal ou mineral) e a pele, estabilizando definitivamente sua estrutura fibrosa através da ação reticular entre as cadeias polipeptídicas do colagênio.

A maior parte dos curtumes utiliza sulfato básico de cromo como agente curtente mineral. A pele absorve sais de cromo na proporção de 3% a 7% de seu peso e, normalmente, a operação de curtimento é realizada no banho de píquel, adicionando-se sais de cromo com um mínimo de 1,5% e um máximo de 5% de Cr_2O_3 sobre o peso da pele.

Segundo CTCCA (1994), os curtentes vegetais variam muito, de acordo com a natureza dos vegetais de onde são extraídos. No Brasil, os taninos vegetais mais usados são os de acácia negra e quebracho.

Fazem parte da etapa de Acabamento as operações que conferem ao couro propriedades específicas de umidade, flexibilidade e aparência, sendo as principais operações, segundo SCHÜNEMANN *et al.* (1983) e CTCCA (1994), listadas a seguir:

- enxugamento: visa remover a umidade do couro, sendo realizado através da passagem do couro em rolos compressores, revestidos com feltros;
- rebaixamento: visa nivelar a superfície do couro e uniformizar sua espessura, o que é realizado por máquinas constituídas por um cilindro com navalhas;
- neutralização: visa retirar da superfície do couro os sais solúveis de cromo, os sais alcalinos e ácidos livres, a fim de que as operações posteriores de tingimento e engraxe possam ser realizadas sem problemas para a aparência e toque final do couro, sendo realizada em fulões, nos quais os couros são imersos em banhos contendo solução de formiato de cálcio e carbonato de cálcio ou bicarbonato de sódio;
- recurtimento: visa conferir ao couro características especiais desejadas, constituindo-se em uma operação semelhante ao curtimento, sendo realizada em fulões contendo soluções de tanantes sintéticos ou naturais;
- tingimento: esta operação é realizada em fulões nos quais os couros são imersos em banhos de corantes aniônicos, sendo realizada antes ou após o engraxe;
- engraxe: visa evitar o fendilhamento do couro e torná-lo mais macio, dobrável, forte e resistente ao rasgo, sendo realizado em fulões contendo banho de óleos e graxas animais, vegetais ou minerais, que aderem à superfície do couro, sendo geralmente utilizados óleos de baleia e de rícino sulfonados;

- secagem: pode ser realizada através de diferentes processos, sendo os mais usuais a secagem a vácuo, em secotherms (placas metálicas aquecidas por eletricidade ou vapor, nas quais o couro é fixado) e pasting (placas de vidro que entram numa estufa, com controle da umidade do ar e da temperatura);
- recondicionamento: visa proporcionar ao couro uma determinada umidade, sendo realizado em máquinas que pulverizam água ou com pistolas manuais;
- amaciamento: visa amaciar os couros através de equipamentos mecânicos;
- estaqueamento: visa retirar o excesso de umidade e aumentar o rendimento do couro;
- lixamento: visa uniformizar a superfície flor do couro, eliminando eventuais defeitos e facilitando a penetração e aderência do filme de acabamento;
- desempoeamento: consiste em tirar o pó do couro, produzido durante o lixamento, sendo realizado mecanicamente, com escovas ou por sistemas de exaustão;
- pintura: consiste na aplicação, com pistola, de materiais corantes, que podem ser pigmentados, anilina, semi-anilina ou naturais;
- prensagem a quente: visa moldar e uniformizar as camadas aplicadas na operação de pintura, através da propriedade de termoplasticidade das resinas, sendo utilizadas estampadeira, prensas hidráulica ou rotativa.

Segundo RIBAS *et al.* (2000), o ramo industrial de couros, peles e produtos similares compreende, basicamente, os curtumes completos, que recebem a pele verde ou salgada e a transformam em couro acabado e os curtumes de acabamento, que transformam o couro em estado wet-blue (curtido ao cromo) ou wet-brown (curtido ao tanino) em couro acabado.

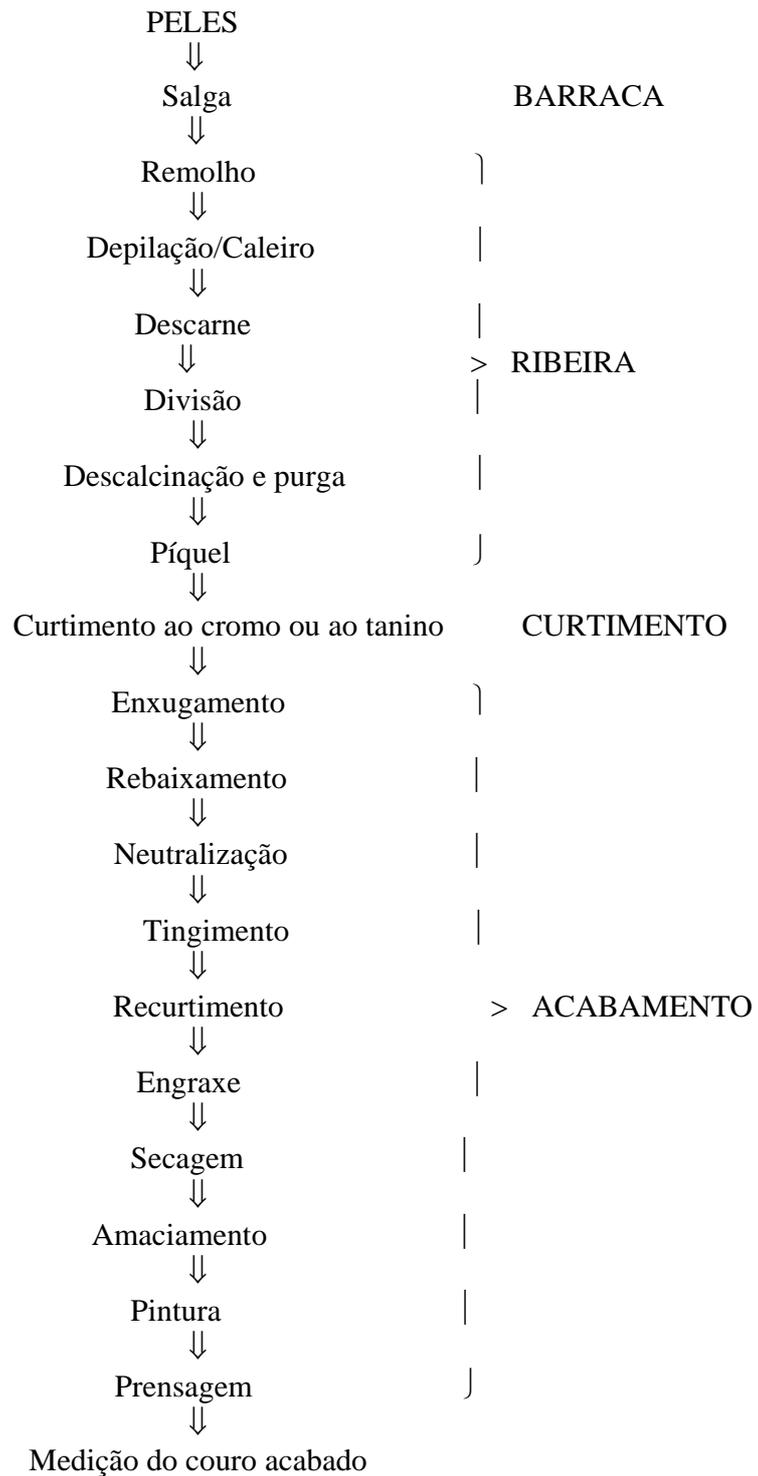


Figura 03: Fluxograma do processo de curtimento (SCHÜNEMANN *et al.*, 1983)

3.4 Caracterização qualitativa e quantitativa dos resíduos de curtume

Os principais resíduos sólidos gerados nos curtumes são aparas e retalhos de couro, serragem, farelo e pó com cromo e o lodo formado nos sistemas de tratamento de efluentes líquidos, os quais podem conter uma vasta gama de substâncias químicas que foram adicionadas à pele até a sua transformação em couro, segundo CARRÉ *et al.* (1994), conforme listado a seguir:

- curtentes: sulfato básico de cromo, tanino de acácia, extrato de quebracho e formol;
- ácidos: fórmico, sulfúrico, oxálico, láctico, fosfórico, clorídrico e acético;
- bases: hidróxido de sódio, cálcio e amônia;
- sais: formiato de sódio e cálcio, bicarbonato de sódio, carbonato de sódio, borax, sulfeto de sódio, sulfato de amônia e manganês, bissulfito de sódio e cloreto de sódio;
- recurtentes: substâncias a base de cromo ou tanino vegetal ou sintético;
- corantes e tintas: contendo metais pesados, como íons chumbo e cádmio;
- engraxantes, tensoativos, conservantes, pastas pigmentadas, lacas, contendo metais pesados, solventes, resinas e catalizadores.

De acordo com MORAES (1999), o processamento de peles gera 1 kg de resíduos sólidos / m² de couro acabado, contendo as substâncias acima listadas.

Estes resíduos, exceto aqueles provenientes do reciclo do caleiro, apresentam altos índices de cromo oriundos do processo de curtimento ao cromo e a presença de outros metais pesados, oriundos de tintas e lacas utilizadas no processo de tingimento e acabamento (MORAES, 1999).

Ao serem depositados em aterros, estes resíduos, classificados como classe I - perigosos pela norma NBR 10004 (ABNT, 1987), sofrem decomposição, sendo gerado o chorume, que contém grande parte das substâncias adicionadas durante o processamento, caracterizando-se por uma alta carga orgânica e inorgânica.

Caso as valas do aterro não estejam devidamente impermeabilizadas, poderá ocorrer e infiltração de percolado no subsolo e a contaminação das águas subterrâneas.

De acordo com CARRÉ *et al.* (1994), o cromo trivalente utilizado na etapa de curtimento está presente no lodo formado nas estações de tratamento de efluentes líquidos sob a forma de hidróxido. Além do cromo, o lodo contém outros metais, conforme pode ser observado na Tabela 01.

Tabela 01: Conteúdo de metais pesados em lodo primário de curtume em mg/Kg de matéria seca (CARRÉ *et al.*, 1994)

Metal	Lodo primário de curtume (mg/Kg de matéria seca)
Cr	16.000 ± 1.000
Fe	18.000 ± 400
Mn	1.000 ± 100
Cu	36 ± 3
Ni	36 ± 3
Zn	182 ± 4
Pb	128 ± 11
Cd	< 0,0033
B	414 ± 20

MORAES (1999), realizou estudos sobre a “ Caracterização físico-química dos percolados gerados na disposição de serragens de couros wet-blue e aparas de couros acabados e semi-acabados em células de aterros sanitários”, comprovando a periculosidade destes resíduos quando depositados inadequadamente no solo, através dos resultados obtidos nos percolados dos lisímetros que receberam os resíduos e a

possibilidade de tratamento dos resíduos em células de aterro sanitários com matéria orgânica codisposta.

No estudo citado, os percolados dos lisímetros que receberam resíduos wet-blue apresentaram os maiores valores de concentrações de cromo, variando de 3,8 mg/L a 29,0 mg/L, quando foi realizada a rega com água destilada a pH de 6,7. No experimento em que a rega dos resíduos foi realizada com água destilada acidulada a um pH de 3,0, as concentrações de cromo variaram de 13,09 mg/L a 40,37 mg/L, tendo sido concluindo que aumentou consideravelmente o valor do cromo lixiviado pela rega a pH baixo. Foi observado também, que para valores de pH diferentes e a temperatura constante, quanto menor o pH, maior a carga de cromo solubilizada. Igualmente, quanto maior a temperatura, a pH constante, maior a carga de cromo solubilizada. Para temperaturas maiores que 70°C, ocorre ainda, o fenômeno de hidrólise, que provoca o dismantelamento das fibras de colagênio, liberando uma quantidade bem maior de cromo do que em temperaturas menores.

No mesmo estudo, com relação as células 1 e 2 do aterro sanitário, que foram preenchidas com os resíduos acima citados e matéria orgânica de restaurante, a célula 1 foi deixada à intempérie e a célula 2 foi submetida a uma rega controlada, equivalente à precipitação média anual de Porto Alegre. Observou-se uma redução drástica dos valores de cromo lixiviado na célula 1, no período do experimento. Isto pode ser devido a uma geração de ácidos voláteis em valores dentro do esperado para processos de digestão anaeróbia e pela presença de matéria orgânica, que é sabido possuir capacidade atenuadora sobre os metais pesados. O rápido aumento de pH, ocasionado pela diminuição da acidez (geração de alcalinidade no meio), favoreceu o declínio das cargas de cromo lixiviadas. A constante rega sobre a célula 2, talvez de maneira não adequada, prejudicou o processo anaeróbio e a ação atenuadora da matéria orgânica presente. Houve geração demasiada de ácidos voláteis e manutenção por muito mais tempo de pH baixos, o que provocou uma carga de cromo lixiviada bem maior do que a observada na célula 1.

Na Tabela 02 apresentamos a composição química de alguns resíduos gerados nos curtumes e na Tabela 03, os resultados do teste de lixiviação (ABNT, 1987) a que foram submetidos, classificando-os como classe I – perigoso de acordo com a norma NBR 10004 – classificação de resíduos (ABNT, 1987).

Tabela 02 : Tipos de resíduos gerados nos curtumes e composição química aproximada (FEPAM, 1991)

Tipos de Resíduos		ST (%)	Cr ⁺³ (%)	Cr ^T (%)	Umidade (%)	Cl ⁻ (%)	S ²⁻ (%)	NO ₃ ⁻ (%)
Lodo		72,62	0,74	0,79	27,38	0,13	nd	0,0016
		47,55	0,42	0,42	52,45	0,039	0,002	0,0002
		-	5,17	5,17	11,69	0,012	nd	0,0003
		-	0,50	0,50	72,51	0,024	0,0014	0,0004
Farelo da rebaixadeira	Ao tanino	51,83	0,0016	0,0017	48,17	0,09	nd	0,0007
	Ao cromo	-	3,31	3,31	26,32	0,672	nd	0,0003
		46,57	3,49	3,50	53,43	0,26	nd	0,0011
Serragem de couro		-	5,46	5,48	-	-	-	0,001
Pó de rebaixadeira		-	2,41	2,41	45,90	0,923	nd	0,0019

C Tabela 03: Resultados do ensaio de lixiviação em resíduos de curtumes (FEPAM, 1991)

Parâmetros	Concentração (mg/L)				
	Aparas de couro curtido	Serragem de couro curtido	Lodo	Pó de lixa e lodo	Farelo da rebaixadeira
Arsênio	0,0005	0,0003	0,260	0,0005	0,003
Bário	0,51	0,39	-	0,04	0,028
Cádmio	0,024	0,013	0,014	0,0003	0,0006
Chumbo	0,092	0,195	0,012	0,056	0,039
Cobre	-	-	0,009	0,043	0,042
Cromo	22,5	85,21	19,10	6,49	167,6
Mercúrio	nd	nd	0,001	0,0002	0,0004
Níquel	-	-	0,066	-	-
Zinco	-	-	0,431	0,019	0,026

nd: não detectado

3.5 Águas subterrâneas

3.5.1 Formas de ocorrência e propriedades

A água subterrânea tem sua origem na superfície e está intimamente ligada à água superficial. Porém, há diferenças significativas com relação a água subterrânea e superficial. As águas subterrâneas movem-se com velocidades aproximadas de 1 m/dia, apresentando fluxo laminar e um tempo de residência médio no subsolo estimado em 280 anos, enquanto que um rio rápido pode mover-se a uma velocidade de 1 m/s, apresentando fluxo turbulento e tempo de residência de menos do que algumas semanas (CLEARY, 1989).

A água é armazenada nos espaços vazios (poros) das rochas que em parte também é ocupada por gases, principalmente ar e vapor d'água. Estes espaços variam na forma, dimensão e freqüência de ocorrência, bem como em função dos tipos de rocha (HASSUDA, 1996).

Segundo HEATH (1983), toda a água sob a superfície da terra ocorre em duas zonas diferentes. A zona que ocorre imediatamente sob a superfície terrestre, contendo água e ar, é referida como zona insaturada. Esta zona é sotoposta por uma zona na qual todas aberturas interconectadas estão cheias de água, que é a zona saturada.

Observa-se na Figura 04, que a zona insaturada inicia-se logo abaixo da superfície do solo e finaliza no topo da franja capilar, compreendendo duas zonas, segundo CLEARY (1989):

- zona do solo (abrange a região logo abaixo da superfície do solo até a zona da raiz);

- zona intermediária (estende-se da base da zona do solo até o topo da franja capilar, separando a zona não-saturada da zona saturada).

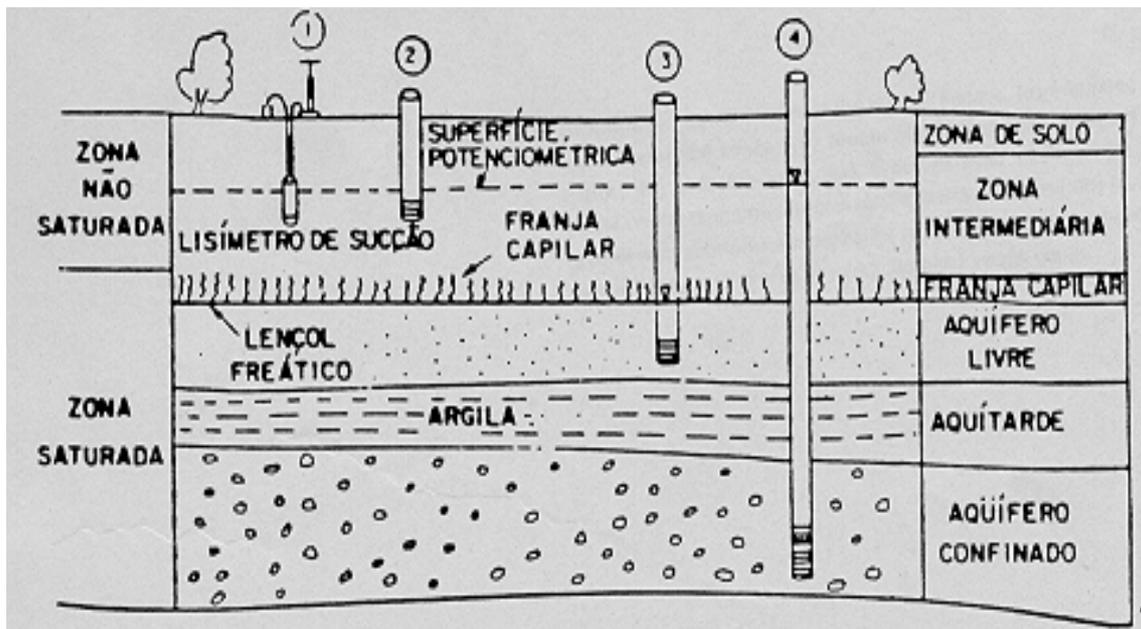


Figura 04: Divisões do sistema de água subterrânea: escala local (CLEARY, 1989)

A zona saturada encontra-se abaixo da franja capilar, e é onde os poros estão totalmente preenchidos por água. A composição química das águas na zona saturada está intimamente relacionada a solubilidade e a mobilidade dos elementos e compostos do meio (CLEARY, 1989).

Segundo De LUCA (1996), a mobilidade dos poluentes na zona saturada é função das características físico-químicas e biológicas do aquífero, das características dos poluentes, da qualidade de água existente e da hidrologia geral.

Dependendo da interação da água com o material geológico, os sistemas hidrológicos são classificados em: aquíferos, aquívardes e aquíludes (CLEARY, 1989).

Segundo CLEARY (1989), um aquífero é uma formação geológica com suficiente permeabilidade e porosidade interconectada para armazenar e transmitir quantidades significativas de água, sob gradientes hidráulicos naturais. Os aquíferos são classificados como não confinados, também chamados de freáticos ou livres e confinados, dependendo da presença ou ausência de um lençol freático ou superfície freática, que é a superfície superior da zona de saturação, que está em contato direto com a pressão do ar atmosférico, através dos espaços vazios no material geológico acima. O termo “ não confinado ” significa que a superfície freática não está confinada ou impedida de movimentar-se para cima e para baixo, através de materiais menos permeáveis, tais como camadas de argilas. O aquífero A, na Figura 05 é um exemplo de um aquífero não confinado, também denominado de freático ou livre. Os aquíferos identificados pelas localizações 3 e 4 da mesma figura são denominados de aquíferos suspensos. No caso da localização 4, a superfície do lençol freático intercepta a superfície do solo, produzindo uma nascente surgente temporária.

Segundo este mesmo autor, os aquíferos confinados são formações geológicas permeáveis, que são contornadas abaixo e acima por materiais relativamente impermeáveis, e que estão sob pressões maiores do que a pressão atmosférica. Estes estratos de baixa permeabilidade separam os materiais que formam o aquífero de permeabilidade mais alta do contato direto com a pressão atmosférica e impedem o movimento ascendente e descendente da água. O aquífero B na Figura 05 ilustra um exemplo de aquífero confinado e a localização 5 representa um poço surgente.

Segundo De LUCA (1996), se os materiais confinantes forem muito pouco permeáveis são chamados de aquíferos e se forem um pouco permeáveis (gotejam), são chamados de aquíferos.

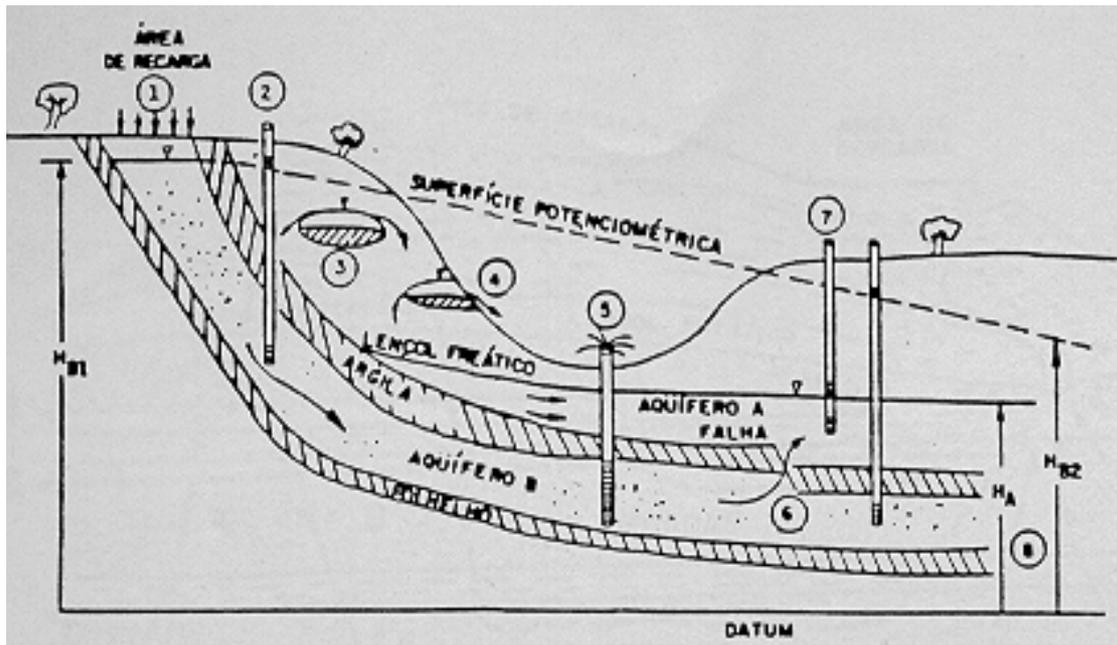


Figura 05: Tipos de aquíferos, onde aquífero A – aquífero não confinado (freático); Aquífero B – aquífero confinado; 1 - área de recarga do aquífero confinado; 2 – poço em aquífero confinado; 3 e 4 – aquíferos suspensos; 5 – poço surgente; 6 – migração de água do aquífero B para o aquífero A; 7 – poço em aquífero não confinado (livre); 8 – aquitarde (folhelo); H_A – altura do nível freático no aquífero A; H_{B1} e H_{B2} – alturas dos níveis d’água no aquífero B (CLEARY, 1989).

Os níveis de água nos poços que penetram um aquífero freático sob condições de fluxo horizontal serão iguais ao nível do lençol freático em torno desses poços. Quando esses níveis são unidos, fica definido um plano, chamado lençol freático ou superfície potenciométrica. Essa superfície móvel descreve não somente o potencial total da água, mas é literalmente o contorno físico do lençol freático. A água subterrânea está sempre em movimento de áreas de potencial maior para áreas de potencial menor. A medida que a água flui através de um aquífero, ela perde energia potencial ao tentar superar a resistência friccional oferecida pela formação geológica. Esta perda de energia é refletida através do gradiente da superfície potenciométrica (CLEARY, 1989).

As elevações das superfícies potenciométricas são medidas comumente, em metros, a partir de um datum único, conforme pode ser observado na Figura 06. Quanto mais alta for a elevação, mais alto é o potencial. Na Figura 06 observa-se que o aquífero confinado 3 com sua superfície potenciométrica acima do solo, possui o potencial mais alto, enquanto o aquífero 2 possui o potencial mais baixo, logo a água fluirá do aquífero 3 em direção ao aquífero 2 (CLEARY, 1989).

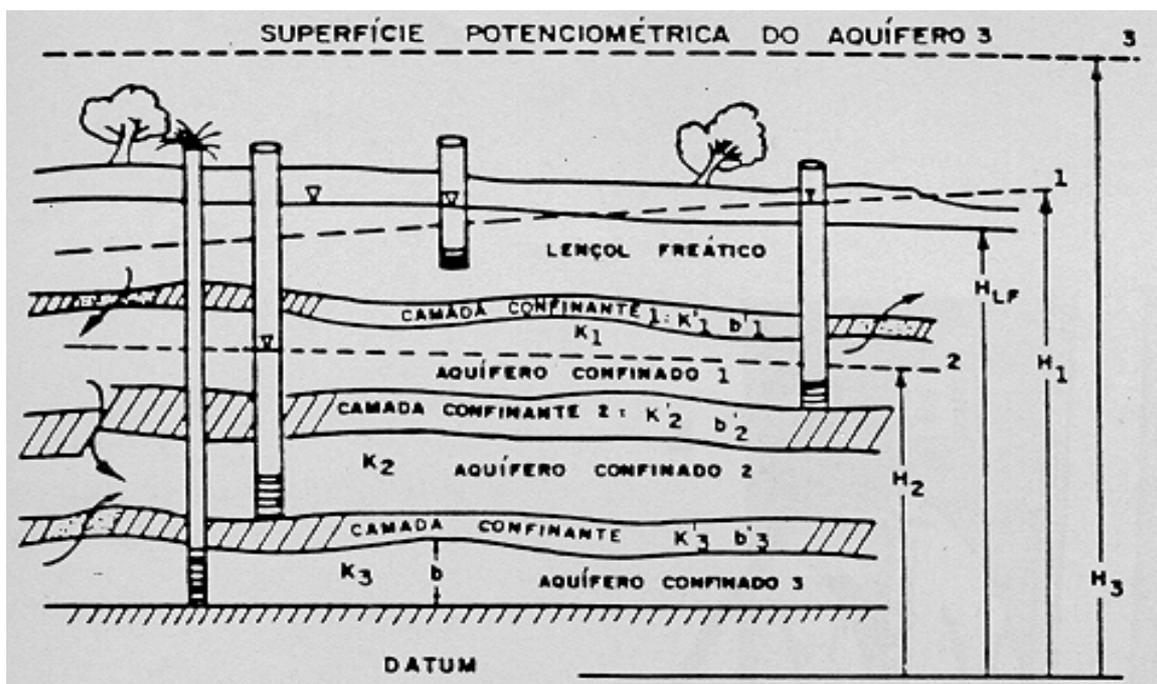


Figura 06: Superfícies potenciométricas e drenanças em aquíferos freático e confinados (CLEARY, 1989)

A direção geral do fluxo de água subterrânea em aquíferos isotrópicos é determinada simplesmente através da comparação entre os níveis de água em poços de monitoramento apropriadamente localizados (CLEARY, 1989).

Segundo este mesmo autor, a fonte primária de recarga natural para a maioria dos aquíferos é a precipitação. Em alguns casos, rios, lagos e reservatórios podem ser um fator importante na recarga dos aquíferos. A identificação e a proteção das áreas de recarga do aquífero é fundamental visando prevenir a poluição dos mesmos.

Segundo CLEARY (1989), a infra-estrutura geológica na zona saturada pode ser classificada em termos de suas propriedades de fluxo e características de armazenamento. As principais propriedades de fluxo são a condutividade hidráulica e a transmissividade, ao passo que as características de armazenamento incluem a porosidade, o coeficiente de armazenamento específico, o coeficiente de armazenamento e a vazão específica. A condutividade hidráulica é uma medida da habilidade do aquífero conduzir água sob a influência do gradiente de uma superfície potenciométrica, sendo função das propriedades do meio poroso e das características do fluido em estudo. A transmissividade, está diretamente relacionada à condutividade hidráulica, sendo definida como a taxa volumétrica de fluxo através de uma seção de largura unitária e altura igual à espessura do aquífero, quando o gradiente hidráulico é 1. A porosidade total de um material geológico é definida como sendo seu volume de vazios dividido por seu volume total, representando a quantidade máxima de água que um dado volume de material geológico pode conter. O volume de água liberado ou absorvido por um aquífero, quando a carga é diminuída ou aumentada, pode ser quantificado pelo coeficiente de armazenamento de um aquífero. Nos aquíferos freáticos, o coeficiente de armazenamento é chamado de vazão específica e nos aquíferos confinados, usa-se o termo coeficiente de armazenamento específico.

Segundo FEITOSA & MANOEL Fº (1997), os mecanismos que atuam no transporte de um poluente em um meio poroso são:

- os fluxos advectivo, dispersivo e difusivo;
- interações sólido-soluto;
- reações químicas e fenômenos de decaimento;

Todos mecanismos podem ser encarados como fenômenos tipo fonte-sumidouro para o soluto.

A advecção é o processo de movimento da água subterrânea que transporta os solutos dissolvidos e, apesar de diluir o efeito do contaminante, pode aumentar a extensão da pluma de contaminação. A dispersão mecânica é o processo mecânico que dilui o soluto e diminui a sua concentração. A difusão molecular é o processo em que espécies dissolvidas na água movimentam-se das áreas de alta concentração para áreas de baixa concentração. A retardação é o processo físico-químico que causa a retardação do movimento do soluto, observando-se que o soluto movimenta-se mais lentamente que o movimento de advecção (HASSUDA, 1996).

Segundo HIRATA *et al.* (1997), a caracterização mais aproximada da idéia de risco de poluição das águas subterrâneas consiste na associação e interação da vulnerabilidade natural do aquífero com a carga aplicada no solo ou em superfície. A vulnerabilidade de um aquífero significa sua maior ou menor suscetibilidade de ser afetado por uma carga poluidora. A caracterização da vulnerabilidade do aquífero pode ser melhor expressa por meio dos seguintes fatores:

- acessibilidade da zona saturada à penetração de poluentes;
- capacidade de atenuação, resultante de retenção físico-química ou de reação de poluentes.

Estes dois fatores são passíveis de interação com os elementos característicos da carga poluidora, que são: o modo de disposição no solo ou em subsuperfície, a mobilidade físico-química e a persistência do poluente. A interação destes fatores permite avaliar o grau de risco de contaminação a que um aquífero está sujeito. Nesta avaliação devem ser ponderados, ainda, a escala e a magnitude do episódio de poluição, assim como as características do recurso hídrico afetado.

3.5.2 Composição das águas subterrâneas

As águas subterrâneas podem ter concentrações salinas superiores a das águas doces superficiais, devido às maiores superfícies de contato para dissolver materiais, lentas velocidades de circulação e maiores pressão e temperatura a que estão submetidas, bem como a facilidade de dissolver o CO do solo não saturado (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983).

A água subterrânea é usualmente limpa, inodora e boa para a saúde, não necessitando de tratamento, não contendo sólidos em suspensão, bactérias e matéria orgânica, sem impactos ambientais (HASSUDA, 1996).

Segundo CETESB (1998), o teor de substâncias dissolvidas nas águas subterrâneas vai aumentando à medida que prossegue no seu movimento. As variações naturais de qualidade das águas subterrâneas são pequenas. Assim, características extremas ou diferentes daquelas esperadas indicam a presença de situações anômalas (corpos de minério, metamorfismo de rochas, ação antrópica). Dentro deste contexto, há necessidade de saber quais são os parâmetros químicos de uma determinada formação aquífera que podem ser considerados naturais ou provenientes de fontes antrópicas.

A composição química e a concentração de substâncias dissolvidas da água subterrânea , de acordo com HASSUDA (1996), deve-se:

- a água da chuva, que tende a dissolver todos os gases da atmosfera (O₂, CO₂, N₂, SO₂, NH₃, N₂O, HCl e CO) e aos aerossóis que tem origem na poeira, sais oceânicos, exalações industriais, vulcânicas e poluição em geral, contendo as seguintes espécies químicas normalmente dissolvidas: Cl⁻, SO₄⁻², NO₃⁻, NO₂⁻, Na⁺, Ca⁺², K⁺, Mg⁺² e NH₄⁺;
- a reações biológicas e químicas que ocorrem na superfície da terra e na zona insaturada do solo;

- ao intemperismo da zona insaturada;
- a reações químicas em grande profundidade, em função da composição mineral dos aquíferos e camadas confinantes através das quais a água se move, observando-se atualmente contribuições antrópicas.

De acordo com HASSUDA (1996), os princípios e processos que controlam a composição das águas naturais são:

- a) a dissolução dos gases oxigênio e CO₂;
- b) o ataque químico e a dissolução de sais;

No contato entre a água e a rocha, além da solubilização dos componentes, podem ocorrer reações de precipitação por saturação da solução e/ou reação entre o material do solo e reações de oxidação decorrentes de alterações de pH e Eh.

O enriquecimento, em elementos principais e traços das águas subterrâneas acontece, principalmente, pela dissolução das rochas (por hidratação e hidrólise), dos solos e da matéria orgânica vegetal e animal, sendo liberados, inicialmente, os íons Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺ e posteriormente o Si⁺⁴ e Al⁺³;

- c) reações redox;

Na água subterrânea, as espécies químicas que são regidas pelas reações redox são: carbono, nitrogênio, enxôfre e ferro.

Segundo FOSTER & GOMES (1989), é bastante comum haver um ambiente oxidado na zona saturada dos aquíferos não confinados e sob tais condições, o ferro e o manganês são efetivamente insolúveis e o nitrato e o sulfato são as formas estáveis do nitrogênio e sulfeto, respectivamente.

d) adsorção e a troca iônica;

Na adsorção, um íon adsorvido por um mineral troca sua posição com outro íon dissolvido na água, preservando a estequiometria do mineral.

Os materiais que se comportam como adsorventes são os oxi-hidróxidos de Fe e Al, os minerais de argila e substâncias orgânicas (especialmente o húmus), que são colóides eletronegativos capazes de fixar e trocar cátions.

A seletividade na troca de íons pelos argilo-minerais obedece a seguinte ordem: $Al^{+3} > Ca^{+2} > Mg^{+2} > NH_4^+ > K^+ > H^+ > Na^+ > Li^+$.

e) processos biológicos;

Os fungos e bactérias (com exceção das bactérias fotossintéticas) são classificadas como redutores, quebrando os compostos químicos para espécies mais simples e extraíndo a energia necessária para o seu crescimento e metabolismo.

A reação de decomposição dos compostos orgânicos em presença de O_2 conduz a formação de gás carbônico e na ausência de O_2 ocorre a redução de Fe^{+3} , a desnitrificação, a redução de sulfatos e formação de metano.

Segundo CUSTÓDIO & LLAMAS (1983), na água subterrânea natural, a maioria das substâncias dissolvidas se encontra em estado iônico e alguns íons se encontram presentes quase sempre, sendo que a sua soma representa a quase totalidade dos íons dissolvidos.

Dos íons fundamentais destacam-se o Cl^- , SO_4^{-2} e CO_3H^- e os cátions Na^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} . Frequentemente, os ânions NO_3^- e CO_3^{-2} e os cátions K^+ e Fe^{+2} são

considerados dentro do grupo de íons fundamentais, mesmo que sua proporção seja pequena (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983).

Entre os gases devem considerar-se como fundamentais o CO_2 e o O_2 , porém não é comum sua análise em águas subterrâneas.

Entre as substâncias dissolvidas pouco ionizadas ou em estado coloidal são importantes os ácidos e ânions derivados da sílica (SiO_2).

Os demais íons e substâncias dissolvidas encontram-se, em geral, em quantidades inferiores que os íons fundamentais. Os íons menores representam menos de 1% do conteúdo iônico total, sendo os mais importantes NO_3^- , CO_3^{2-} , K^+ , Fe^{+2} , NO_2^- , F^- , NH_4^+ e Sr^{+2} , podendo estar em concentrações entre 0,01 e 10 ppm.

Os ânions Br^- , S^{2-} , PO_4^{-3} , BO_3H_2^- , NO_2^- , OH^- , I^- e os cátions Fe^{+3} , Mn^{+2} , NH_4^+ , H^+ e Al^{+3} podem estar em concentrações entre 0,0001 e 0,1 ppm.

Os íons metálicos derivados do As, Sb, Cr, Pb, Cu, Zn, Ba, V, Hg e U as vezes encontram-se em quantidades missíveis, porém, em geral, são elementos traço, ou seja, estão presentes em quantidades que são de difícil medida pelos meios químicos usuais. Os demais íons estão quase sempre em quantidades menores do que 0,0001 ppm.

De acordo com ESTEVES (1988), alguns elementos traço, como Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Mo e B são essenciais aos seres vivos em pequenas concentrações, podendo apresentar toxicidade em altas concentrações. Outros elementos traço como Hg, Pb, Cd, Ag, Cr, Ni e Sn não tem função biológica conhecida e são geralmente tóxicos a uma grande variedade de organismos.

Listamos, a seguir, as características químicas mais importantes dos íons e substâncias dissolvidas na água subterrânea, segundo (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983):

1. Íon cloreto (Cl^-): forma sais, em geral muito solúveis, muito estáveis em solução e dificilmente precipitáveis, não se oxidando e nem se reduzindo em águas naturais e, em geral, associando-se com o Na^+ . A concentração usual em águas doces é de 10 a 250 ppm, porém não sendo prejudicial até alguns milhares de ppm.

2. Íon sulfato (SO_4^{2-}): forma sais moderadamente solúveis a muito solúveis e em meios redutores, com abundante matéria orgânica, pode sofrer uma redução bacteriana a S ou S^{2-} , sendo, em geral, estável. A concentração usual em águas doces é de 2 a 150 ppm.

Segundo ESTEVES (1988), a distribuição do íon sulfato é fortemente influenciada pela formação geológica da bacia de drenagem.

3. Íons bicarbonato e carbonato (CO_3H^- e CO_3^{2-}): existe uma profunda relação entre o CO_2 gás dissolvido, CO_3H^- , CO_3^{2-} e pH, pois são íons que conferem alcalinidade à água, não sendo oxidáveis, nem reduzíveis em águas naturais e precipitando com muita facilidade como CaCO_3 . O íon bicarbonato varia entre 50 a 350 ppm em águas doces, podendo chegar a 800 ppm. O íon carbonato está em concentrações muito menores do que o bicarbonato, e para $\text{pH} < 8,3$ é zero e para $\text{pH} > 8,3$ pode atingir 50 ppm, não apresentando problemas de toxicidade.

Segundo HASSUDA (1996), o CO_2 produzido pelas reações químicas e biológicas do solo, especialmente pela respiração dos microorganismos nos processos de decomposição da matéria orgânica, e pela dissolução dos carbonatos, representam as maiores fontes de CO_2 nas águas, podendo, também, ser produzido pela respiração das raízes.

4. Íon nitrato (NO_3^-): forma sais muito solúveis e, mesmo com tendência a ser estável, em meios redutores pode passar a N_2 ou NH_4^+ e, excepcionalmente a NO_2^- . A maioria dos compostos nitrogenados passam a NO_3^- em meio oxidante, ainda que a NH_4^+ possa perder-se em parte como N_2 . Normalmente são encontradas concentrações entre 0,1 e 10 ppm, porém em águas poluídas pode chegar a 200 ppm ou até 1000 ppm.

Segundo FOSTER & GOMES (1989), os nitratos presentes, tanto no solo, quanto nas águas subterrâneas são resultado da degradação microbiana de substâncias orgânicas nitrogenadas.

Segundo CETESB (1998), sua presença em concentrações elevadas nas águas subterrâneas utilizadas para o abastecimento público, pode provocar a doença infantil denominada metahemoglobinemia, sendo também apontado como um possível causador de câncer.

O nitrato apresenta ocorrência muito generalizada e problemática, devido a sua alta mobilidade, em comparação com o nível de nitrogênio amoniacal, que apresenta teores baixos nas águas subterrâneas, em função de sua adsorção às argilas ou sua oxidação para nitrato. O tipo de rocha não influi substancialmente na variação do teor de nitratos e graças a isso, trata-se de um elemento, cuja elevação no teor de águas subterrâneas indica influência de fontes de contaminação, tais como: esgoto doméstico (fossas), lixo, fertilizantes agrícolas, agrotóxicos e efluentes ou resíduos industriais CETESB (1998).

5. Silício: a maior parte do silício apresenta-se sob a forma SiO_4H_4 , parte dissolvida e parte coloidal e somente uma pequena porção está ionizada (SiO_4H_3^-) a pH normal.

6. Íon sódio (Na^+): possui solubilidade muito elevada, podendo estar associado ao íon cloreto, mesmo que nem sempre suceda assim. Concentrações entre 1 e 150 ppm são comuns em águas doces, não sendo raro encontrar concentrações de até milhares de ppm.

7. Íon potássio (K^+): apresenta solubilidade muito elevada, sendo absorvido de forma muito pouco reversível pelas argilas em formação. Concentrações entre 0,1 e 10 ppm são comuns em águas doces, encontrando-se, extraordinariamente, algumas centenas de ppm.

8. Íon cálcio (Ca^{+2}): forma sais desde moderadamente solúveis a muito solúveis, sendo facilmente precipitável como CaCO_3 . Sua química está muito associada a dos íons CO_3H^-

e CO_3 em muitas águas naturais, podendo ser precipitado e dissolvido com facilidade pela alteração do pH ou da pressão parcial de CO_2 . Concentrações entre 10 e 250 ppm são comuns em águas doces, podendo chegar a 600 ppm em águas com elevado teor de sulfato.

9. Íon magnésio (Mg^{+2}): apresenta propriedades similares ao cálcio, porém é mais solúvel e mais difícil de precipitar. Concentrações entre 1 e 100 ppm são comuns em águas doces.

10. Íons relacionados com o ferro (Fe): a estabilidade dos íons Fe^{+2} e Fe^{+3} , $\text{Fe}(\text{OH})^{+2}$ e $\text{Fe}(\text{OH})^+$, em relação ao $\text{Fe}(\text{OH})_3$ e $\text{Fe}(\text{OH})_2$ precipitado ou coloidal depende do pH, Eh, temperatura e composição da solução. As águas subterrâneas normalmente só tem Fe^{+2} dissolvido (às vezes FeOH^+) e a valores de Eh e pH elevados praticamente não existe ferro dissolvido, aumentando a estabilidade da forma oxidada Fe^{+3} . As concentrações usuais de Fe^{+2} estão entre 0 e 10 ppm, sendo menores do que 0,5 ppm em águas aeradas.

11. CO_2 : é um gás relativamente solúvel, que ao se hidrolizar produz ácido carbônico parcialmente dissociado. Concentrações entre 1 e 30 ppm são comuns em águas doces.

12. Oxigênio dissolvido (O_2): tem um papel de grande importância na solubilização ou insolubilização de íons que trocam com facilidade de valência, assim como na atividade de microorganismos. Se consome com facilidade se existem substâncias oxidáveis, tais como matéria orgânica, Fe^{+2} , NH_4^- , NO_2^- , em especial por ação biológica. A maioria das águas subterrâneas tem entre 0 e 5 ppm, frequentemente abaixo de 2 ppm. Os baixos valores de OD nas águas subterrâneas devem-se ao consumo de oxigênio por microorganismos terrestres e pelas reações químicas com minerais. Em condições de subsuperfície, como em aquíferos, predominam condições anaeróbias, combinadas com falta de luz solar e fluxo lento.

Segundo CLEARY. (1989), no caso dos aquíferos freáticos, os primeiros metros abaixo da superfície freática podem também conter ar dissolvido ou preso, se a

atividade biológica for desprezível. De outro modo, o conteúdo de oxigênio pode aproximar-se de zero.

13. Sulfeto e gás sulfídrico (S^{2-} e SH_2): são facilmente oxidáveis a S_0 , SO_3^- ou SO_4^{2-} e podem ser depositados no terreno, já que formam diversos sais poucos solúveis. São característicos de meios redutores, porém nem mesmo estão presentes nos mesmos. A maioria das águas subterrâneas tem concentrações muito abaixo de 1 ppm, ainda que em águas de meios muito redutores, podendo chegar a concentrações de 100 ppm.

14. Íon Manganês: o manganês tem um comportamento similar ao Fe, apresentando também os estados de valência +2 e +3, além da valência +4 que só existe como MnO_2 insolúvel. A maioria das águas subterrâneas tem concentrações inferiores a 0,2 ppm, raras vezes acima de 1 ppm, sendo abundante em águas ácidas.

Listamos, a seguir, as características físicas mais importantes da água subterrânea (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983):

1. Temperatura: as águas subterrâneas tem uma temperatura muito pouco variável e respondem a média anual das temperaturas atmosféricas do lugar, incrementado do produto da profundidade pelo gradiente geométrico ($1^\circ C$ a cada 33 m em média).

2. Condutividade elétrica: a condutividade cresce com a concentração e o tipo de íons dissolvidos e com a temperatura, na ordem de $2\% / ^\circ C$. A condutividade varia de 100 a 2000 $\mu S/cm$ a $18^\circ C$ para águas doces. Para as águas subterrâneas pode-se estabelecer que:

$C (\mu S/cm) = A \cdot R_S$ (ppm), onde:

a $18^\circ C$ $A=0,86$ a $1,72$ em casos extremos

a $18^\circ C$ $A=1,15$ a $1,56$ em casos normais

e R_S = resíduo seco a $110^\circ C$

O pH da amostra pode ter grande influência sobre os valores de condutividade elétrica. Em amostras cujos valores de pH se localizam nas faixas extremas, os valores de condutividade elétrica são devido apenas as elevadas concentrações de poucos íons em solução, dentre estes, os mais freqüentes são H^+ e OH^- (ESTEVES, 1988).

Segundo ELLERT *et al.* (1988), como os agentes poluentes podem ter condutividades mais elevadas que a água subterrânea, estes agentes ao migrarem através das camadas geológicas, podem ter porções retidas na zona insaturada, bem como atingir o lençol freático e com isto alteram substancialmente a condutividade.

Depósitos de rejeitos industriais e urbanos, ou intensa aplicação de compostos para fins agrícolas, com elevados teores de $Na^+ Cl^-$, SO_4^{2-} , $P_2O_5^{3-}$, NO_2^- , NO_3^- , K^+ , etc, fazem com que a água da chuva percolada, carregada destes elementos condutores em seu caminho rumo ao lençol freático, altere fundamentalmente a condutividade das zonas insaturada e saturada (ELLERT *et al.*, 1988).

3. Turbidez: mede o conteúdo de materiais coloidais e a matéria em suspensão muito fina e difícil de sedimentar e filtrar. A turbidez das águas subterrâneas é, em geral, menor do que 1 ppm de SiO_2 .

4. Material em suspensão: as águas de origem subterrânea não tem material em suspensão, exceto em circunstâncias kársticas ou se a coleta foi mal realizada, provocando arrastes. O teor de sólidos suspensos das águas subterrâneas é, em geral, menor que 1 ppm.

Segundo De LUCA (1996), se a relação sólidos suspensos / turbidez for maior do que 3:1, há fortes indícios de que a coleta e/ou análise tenham sido mal realizadas.

5. Cor: em geral deve-se a materiais orgânicos de formação carbonosa ou solos vegetais. A água pura, em grande espessura, é azulada, o ferro confere a cor avermelhada, o manganês a cor preta, o H_2S a cor azulada e os ácidos húmicos a cor amarelada.

Listamos, a seguir, as características químicas mais importantes da água subterrânea (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983):

1. pH: aumenta de 8% / ° C ao aumentar a temperatura. Em geral, o pH varia entre 6,5 e 8,0 e, em casos excepcionais, pode variar entre 3 e 11.

O pH pode ser considerado como uma das variáveis ambientais mais importantes, ao mesmo tempo que uma das mais difíceis de se interpretar, devido ao grande número de fatores que podem influenciá-lo (ESTEVEZ, 1988).

Na maioria das águas naturais o pH da água é influenciado pela concentração de íons H^+ originados da dissociação de ácido carbônico, que gera valores baixos de pH e das reações de íons carbonatos e bicarbonato com a molécula de água, que elevam os valores de pH para a faixa alcalina (ESTEVEZ, 1988).

2. Resíduo seco (R_s) e sólidos dissolvidos totais (S_d): Aproximadamente $S_d \sim R_s + \frac{1}{2} CO_3H^-$ em ppm. Em uma análise deve cumprir-se aproximadamente que:

$\Sigma \text{cátions} + \Sigma \text{ânions} + \Sigma \text{coloides} - \frac{1}{2} CO_3H^- \sim R_s$ a 110 ou 180 °C em ppm.

O resíduo seco varia de 50 a 1500 ppm em águas doces.

Segundo De LUCA (1996), o balanço salino é expresso:

$$SDT = (0,6 \text{ Alcalinidade}) + Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+ + K^+ + Si^+ + Cl^- + SO_4^{-2} + SO_3^- + NO_3^- + F^-$$

3. Alcalinidade (TAC e TA): é a capacidade de uma água para neutralizar ácidos. A alcalinidade TAC mede a capacidade até pH=4,5 e a alcalinidade TA até pH=8,3. A alcalinidade mede o efeito dos íons CO_3H^- e CO_3 e também dos íons OH^- , $SiO_4H_3^-$, PO_4^{-3} , $BO_3H_2^-$, F^- , etc., sendo que estes últimos influem pouco em águas subterrâneas. O valor da alcalinidade TAC está geralmente entre 100 e 300 ppm de $CaCO_3$, podendo as vezes

estar entre 50 e 500 ppm e excepcionalmente chegar a 1000. O valor TA é geralmente 0, podendo chegar a 10 em águas bicarbonatadas sódicas e excepcionalmente a 50 ppm CaCO_3 .

4. Acidez: é raro que águas naturais tenham acidez. A oxidação de sulfetos, a hidrólise de íons de Fe, Al e NH_4^+ podem produzir acidez. A oxidação de sulfatos precisa muito oxigênio e só pode dar acidez importante nas proximidades do nível freático e no meio saturado.

5. Dureza: as definições atuais a identificam como o conteúdo de íons alcalino-terrosos, essencialmente $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$, combinados a carbonatos, bicarbonatos, sulfetos e cloretos. Os valores de dureza variam entre 10 e 300 ppm de CaCO_3 , podendo chegar a 1000 e excepcionalmente a 2000.

6. Demanda Química de Oxigênio (DQO): mede o conteúdo de materiais orgânicos oxidáveis e também outras substâncias que consomem oxigênio, tais como Fe^{+2} , Mn^{+2} , NH_4^+ , etc. Em águas não contaminadas, os valores de DQO estão entre 1 e 5, podendo chegar até 15. Valores superiores a 10 ppm podem ser um claro indício de contaminação.

7. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): É uma medida de pouco interesse em hidrogeoquímica. Em águas subterrâneas, em geral, apresentam valores inferiores a 1 ppm, observando-se que valores mais elevados indicam contaminação. Em geral não se realiza sua determinação, que precisa de tomadas de amostra especiais.

Segundo FOSTER & GOMES (1989), os parâmetros de interesse comum na investigação de águas subterrâneas tem sido classificados em relação ao nível de detecção requerido e a estabilidade relativa, conforme a Figura 07, indicando os grupos que requerem precauções especiais.

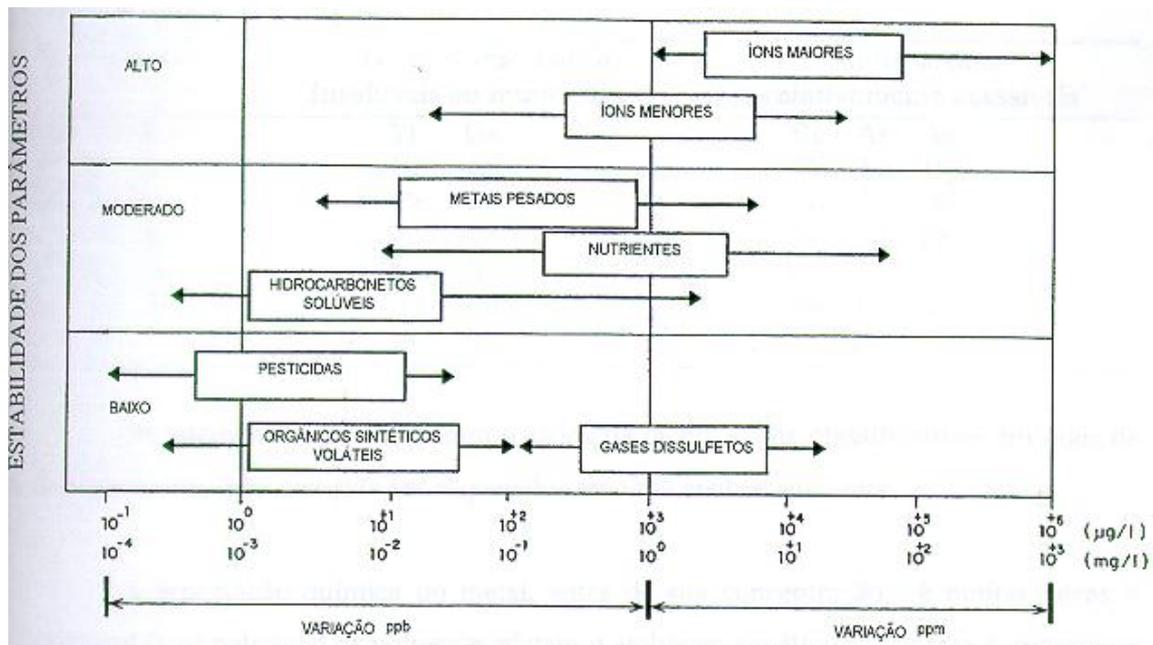


Figura 07: Instabilidade relativa e faixas de concentração dos principais parâmetros de interesse no monitoramento da qualidade de águas subterrâneas (FOSTER & GOMES, 1989)

Segundo FÖRSTNER & WITTMANN (1981), deve-se notar dois aspectos quanto aos metais:

- traços de metais não são eliminados dos ecossistemas aquáticos por processos naturais, em contraste a maioria dos poluentes orgânicos;
- a maioria dos poluentes metálicos é enriquecida em substâncias minerais ou orgânicas.

Sob o ponto de vista de poluição ambiental, segundo FÖRSTNER & WITTMANN (1981), os metais podem ser classificados de acordo com três critérios: (1) não críticos, (2) tóxicos, mas muito insolúveis ou muito raros, e (3) muito tóxicos e relativamente acessíveis, conforme pode ser observado na Tabela 04.

Tabela 04: Classificação dos elementos de acordo com sua toxicidade e disponibilidade (FÖRSTNER & WITTMANN, 1981)

Não críticos			Tóxicos, mas muito Insolúveis ou muito raros		Muito tóxicos e relativamente acessíveis		
Na	C	F	Ti	Ga	Be	As	Au
K	P	Li	Hf	La	Co	Se	Hg
Mg	Fe	Rb	Zr	Os	Ni	Te	Ti
Ca	S	Sr	W	Rh	Cu	Pd	Pb
H	Cl	Al	Nb	Ir	Zn	Ag	Sb
O	Br	Si	Ta	Ru	Sn	Cd	Bi
	N		Re	Ba		Pt	

Os elementos que não foram listados na tabela acima classificam-se em mais de uma categoria, não devendo ser esquecidos em uma análise ambiental.

A especiação química do metal, antes de sua concentração, é muitas vezes o principal fator pelo qual os poluentes afetam o ambiente aquático e este fato é importante para a análise de metais traço no que se refere às questões ambientais (FÖRSTNER & WITTMANN, 1981).

Comentaremos, a seguir, algumas características de alguns íons metálicos que podem estar presentes nas águas subterrâneas:

1. Cromo

Segundo FÖRSTNER & WITTMANN (1981), o cromo é um dos elementos traços menos tóxico, com base em sua abundância e essencialidade e, compostos de cromo VI são aproximadamente 100 vezes mais tóxicos do que os sais de cromo III.

O cromo é lançado no meio ambiente pelas indústrias do ramo de couros e peles e pelas galvanoplastias, que usam em seu processo produtivo, respectivamente, cromo trivalente e hexavalente.

Segundo CARRÉ *et al.* (1994), as propriedades físico-químicas e toxicológicas do cromo trivalente diferem muito da forma hexavalente. Teoricamente, a oxidação de

cromo trivalente para hexavalente poderia ocorrer em valores de potencial redox relativos a solos aerados, mas na prática esta conversão nunca foi observada, nem mesmo em situações que combinem máxima aeração e elevado pH. Acima do pH 5, a mobilidade do cromo trivalente é muito baixa e a presença de agentes complexantes, como cloretos e sulfatos aumentará a mobilidade. Abaixo do pH 4, o cromo é solúvel, mas sua mobilidade pode ser restringida pela absorção em montmorilonita e caulinita. Entre pH 4 e 5 a absorção e a precipitação estão combinadas.

Segundo CORSEUIL (1999), o cromo trivalente é um cátion com forte tendência a se aderir ao material do aquífero. A matéria orgânica dissolvida na água subterrânea reduz o cromo hexavalente a trivalente, tornando-o imóvel.

2. Chumbo

A presença do chumbo na água deve-se a poluição por resíduos industriais, minas ou então como resultado da ação corrosiva sobre as canalizações. É um veneno cumulativo e causa uma intoxicação crônica chamada saturnismo, doença que pode levar a morte. A faixa de concentração fisiologicamente inócua na água é de 0,05 mg/L (durante toda a vida) e de 2 a 4 mg/L por período curto, ou seja, poucas semanas, sendo letal uma concentração superior a 15 mg/L, por várias semanas. (AMAZARRAY, 1991).

3. Arsênio

A ocorrência de traços de arsênio inofensivos a saúde é freqüente nas águas naturais. O aumento de seu teor nas águas é, em geral, devido a despejos industriais, atividades de mineração ou por lavagem superficial do solo, onde inseticidas e herbicidas à base destes elementos são utilizados. O arsênico se elimina lentamente do organismo humano, observando um efeito cumulativo de pequenas doses. Além da ação tóxica, o arsênio pode exercer efeito carcinogênico, existindo registros de ocorrências em que a ingestão da água contendo arsênico resultou em câncer de pele e talvez de fígado (AMAZARRAY, 1991).

4. Bário

Apenas traços são geralmente encontrados nas águas naturais e isso é devido a solubilidade extremamente baixa do sulfato de bário. Sob a forma de carbonatos ocorre naturalmente em certas fontes minerais. Também é encontrado nos efluentes de mineração. É capaz de causar bloqueio nervoso e mesmo em doses pequenas ou moderadas, vaso constrição, com o aumento da pressão sanguínea. Para o homem, a dose letal é de 0,8 a 0,9 g, como cloreto (550 a 600 mg de Ba). Não parece ter efeitos cumulativos e se considera o limite de 1,0 mg/L para que a água esteja perfeitamente dentro da faixa de segurança (AMAZARRAY, 1991).

5. Cádmio

O cádmio é de considerável importância ambiental e para a saúde, devido a sua alta mobilidade e toxicidade para diversas formas de vida, possuindo propriedades carcinogênicas reconhecidas para os animais. Os problemas de saúde para o homem, associados com o Cd relacionam-se a disfunções renais, bem como ao seu potencial efeito carcinogênico (BINOTTO, 1997).

6. Alumínio

A importância ambiental do alumínio tem aumentado consideravelmente nos últimos anos devido ao aumento de sua mobilidade a partir da acidificação das águas. Tal fato tem promovido a formação e/ou ressolubilização de complexos inorgânicos e orgânicos de alumínio nas águas superficiais. Para o homem, o principal problema associada a altas concentrações de Al é a doença de Alzheimer (BINOTTO, 1997).

7. Cobre

O cobre é um elemento essencial em diversas reações enzimáticas dos mamíferos. É considerado altamente tóxico para a maior parte das espécies de plantas aquáticas,

sendo utilizado, rotineiramente, como algicida e herbicida. Também é altamente tóxico para a maior parte das espécies de invertebrados e peixes (BINOTTO, 1997).

8. Níquel

O níquel é moderado a altamente tóxico para a maior parte das espécies de plantas aquáticas. Para os invertebrados, é um dos agentes inorgânicos menos tóxicos, sendo relativamente não tóxico para peixes. Para os homens, algumas formas de Ni são conhecidas pelo seu potencial carcinogênico, principalmente no desenvolvimento de câncer respiratório, não havendo, entretanto, evidências de seu potencial carcinogênico a partir da ingestão de níquel na comida ou em águas (BINOTTO, 1997).

9. Zinco

A toxicidade do zinco em plantas aquáticas é altamente variável, com efetiva concentração permitida de valores inferiores a 0,01 e superiores a 100 mg/L. O Zn^{+2} é moderadamente tóxico para a maior parte das espécies de peixes (BINOTTO, 1997).

3.5.3. Legislação

Encontra-se em vigor no estado de São Paulo a Lei Nº 6.134, de 02.06.1988, regulamentada pelo Decreto Nº 32.955, de 07.02.1991 (ABAS, 1992), que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do estado de São Paulo. O artigo 18 do referido Decreto estabelece que as águas subterrâneas destinadas ao consumo humano deverão atender aos padrões de potabilidade fixados na legislação sanitária. Na Tabela 05 (CETESB,1994), são apresentados os padrões de potabilidade da água estabelecidos por diversas legislações.

O padrão de potabilidade é definido na Portaria Nº 36 do Ministério da Saúde (BRASIL, 1990) como o conjunto de valores máximos permissíveis, das características de qualidade da água destinada ao consumo humano.

Tabela 05: Padrões de potabilidade da água (CETESB, 1994)

PARÂMETRO	UNIDADE	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Turbidez	UNT	1	5	-	4	1-5	-	-	-	-
Temperatura	°C	-	-	-	25	15	-	25	-	-
pH	-	6,5- 8,5	6,5- 8,5	-	9,5	6,5- 8,5	6,5 -8,5	6,5 – 9,5	6,5 -8,5	-
Condutividade	µS/cm	-	-	-	-	-	-	2.000	-	-
Cádmio	mg/L Cd	0,005	0,005	0,01	0,005	0,005	0,01	0,005	-	0,01
Chumbo	mg/L Pb	0,05	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05	0,04	0,1	0,1
Cromo ⁺⁶	mg/L Cr ⁺	-	-	-	-	-	0,05	-	-	0,05
Cromo Total	mg/L Cr	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-	-
Nitratos	mg/L N	10	10	-	50	10	10	50	10	-
Níquel	mg/L Ni	-	-	-	0,05	-	-	0,05	-	-
Potássio	mg/L K	-	-	-	12	-	-	12	-	-
Fenol	µg/L	0,1	-	-	0,5	2,0	1,0	-	-	-
Alumínio	mg/L Al	0,2	0,2	-	0,2	-	-	0,2	0,5	-
Cloretos	mg/L Cl	250	250	-	-	250	250	-	350	-
Cobre	mg/L Cu	1,0	1,0	0,005	-	1,0	1,0	-	1,0	-
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	500	500	-	-	-	-	-	-	-
Ferro Total	mg/L Fe	0,3	0,3	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,1
Manganês	mg/L Mn	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	-
Magnésio	mg/L Mg	-	-	-	50	-	-	50	0,1	-
Sódio	mg/L Na	-	200	-	175	-	-	150	-	-
STD	mg/L	1.000	1.000	-	-	500	500	-	-	-
ST	mg/L	-	-	-	1.500	-	-	-	-	-
Sulfatos	mg/L SO ₄	400	400	-	250	500	-	240	500	-
Zinco	mg/L Zn	5,0	5,0	5,0	-	5,0	-	-	5,0	-
Arsênio	mg/L As	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05
Bário	mg/L Ba	1,0	-	1,0	-	1,0	1,0	-	0,1	-

Normas: 1. Portaria Nº 36 Ministério da Saúde, de 19.01.90; 2. Organização Mundial da Saúde - OMS (Recomend.); 3. Organização Mundial da Saúde - OMS (Recomend. p/Europa); 4. Comunidade Econômica Européia - CEE; 5. Canadá ; 6 .E.U.A.; 7. Alemanha; 8. URSS; 9. Japão.

Segundo CASARINI (2000), a tendência mundial é o estabelecimento de uma lista orientadora genérica de valores de referência de qualidade e de intervenção para águas subterrâneas, sendo estes últimos estabelecidos a partir de modelos de análise de risco, baseando-se na definição de cenários de uso e ocupação do solo, nas diferentes vias de exposição e na quantificação de variáveis toxicológicas.

A função destes valores numéricos é prover uma orientação quantitativa no processo de avaliação de áreas contaminadas, devendo a análise de risco ser utilizada, caso a caso, no processo de tomada de decisão sobre a necessidade, urgência e alvo de remediação, com vistas a proteção da saúde humana. A maioria das legislações preconiza

que essa remediação deve ser encerrada quando um determinado valor de concentração de poluentes é atingido. Este poderá ser o valor de alerta ou um outro, abaixo deste, chegando até mesmo ao valor natural, dependendo do cenário em que a área contaminada se insere CASARINI (2000).

Outra abordagem para a qualidade das águas subterrâneas seria a comparação com as características estabelecidas para águas de classe especial na Resolução Nº 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1986).

Segundo CASARINI (2000), cabe ressaltar que o uso de valores internacionais pode levar à avaliações inadequadas, já que existem diferenças nas condições climáticas, tecnológicas e pedológicas de cada país, justificando o desenvolvimento de listas orientadoras próprias, compatíveis com as características de cada um deles. Apesar dessa limitação, o critério numérico genérico tem muitas vantagens, como por exemplo:

- possibilidade como indicador do grau de poluição;
- rapidez e facilidade de implantação;
- utilização como fonte de informação, facilitando o planejamento de ações;
- coerência com a política de controle de poluição, através de padrões ambientais;
- utilização para avaliação da eficiência do tratamento de solos;
- capacidade de reduzir influências políticas locais;
- disponibilidade como instrumento de monitoramento para locais contaminados.

Até o momento, a CETESB não dispõe de valores orientadores adaptados às condições do estado de São Paulo para subsidiar as ações de controle.

A proposta do estado de São Paulo relativa a valores de referência de qualidade nas águas subterrâneas, para metais, é que os mesmos sejam estabelecidos com base nos resultados de monitoramento dos principais sistemas aquíferos (freáticos) a ser implantado pela CETESB, prevalecendo assim, a qualidade natural do aquífero. Para substâncias naturalmente ausentes no ambiente, ou seja, compostos orgânicos antropogênicos, estão sendo propostos os limites de detecção dos métodos analíticos utilizados, uma vez que estes não detectam o zero absoluto em termos de concentração CASARINI (2000).

Os valores de intervenção propostos para as águas subterrâneas são os padrões de potabilidade da Portaria N.º 36 do Ministério da Saúde (BRASIL,1990), independentemente do uso atual deste recurso hídrico (CASARINI, 2000).

Para substâncias que não estão regulamentadas na Portaria acima citada, foi derivado um valor de intervenção, a partir de uma concentração máxima aceitável no solo (risco) em um cenário agrícola. O modelo matemático *C-soil* calculou, então, a concentração na solução do solo (água dos poros) através de coeficientes de partição solo-água. Admitindo-se um fator de diluição e atenuação igual a 10, a concentração máxima permitida no aquífero será 10 vezes menor do que aquela calculada para a solução do solo CASARINI (2000).

Observa-se que os padrões de potabilidade aproximam-se dos valores de intervenção internacionais, devido ao fato de terem sido estabelecidos com base em dados toxicológicos. Ressalta-se porém que, estes padrões não foram estabelecidos com base em análise de risco CASARINI (2000).

3.5.4 Monitoramento

O objetivo básico do monitoramento da qualidade de águas subterrâneas é detectar e avaliar sua distribuição espacial e sua variação no tempo (FOSTER & GOMES, 1989).

A norma que fixa as condições para a construção de poços de monitoramento do aquífero freático e dados mínimos para a apresentação de projetos de redes de monitoramento é a NBR 13895 – Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem (ABNT, 1997).

De acordo com a referida norma, a rede de monitoramento deve possuir um ou mais poços localizados a montante da instalação a ser monitorada, a fim de que possa ser avaliada a qualidade original da água subterrânea e, pelo menos, três poços, não alinhados, posicionados transversalmente ao fluxo subterrâneo, a jusante da instalação, para avaliar possível interferência da mesma na qualidade original da água subterrânea local, conforme pode ser observado na Figura 08.

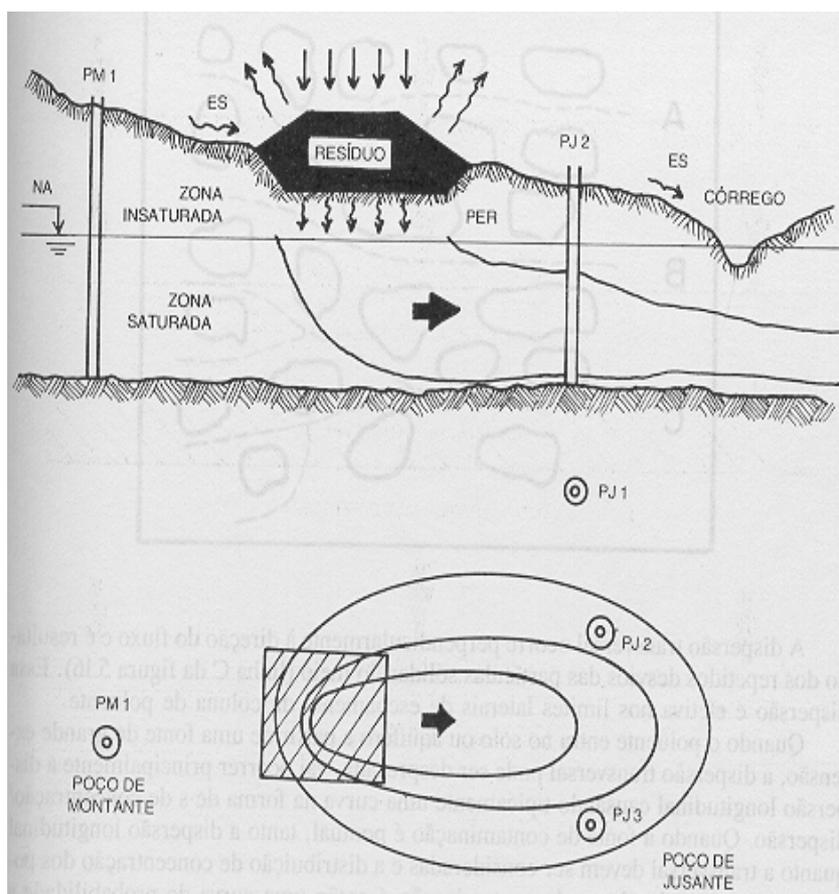


Figura 08: Disposição de poços de monitoramento (ROCCA *et al.*, 1993)

Na Figura 09 é apresentado um perfil esquemático de um poço de monitoramento, conforme recomenda a norma NBR 13895 (ABNT, 1997), onde podem ser observados os componentes básicos do mesmo.

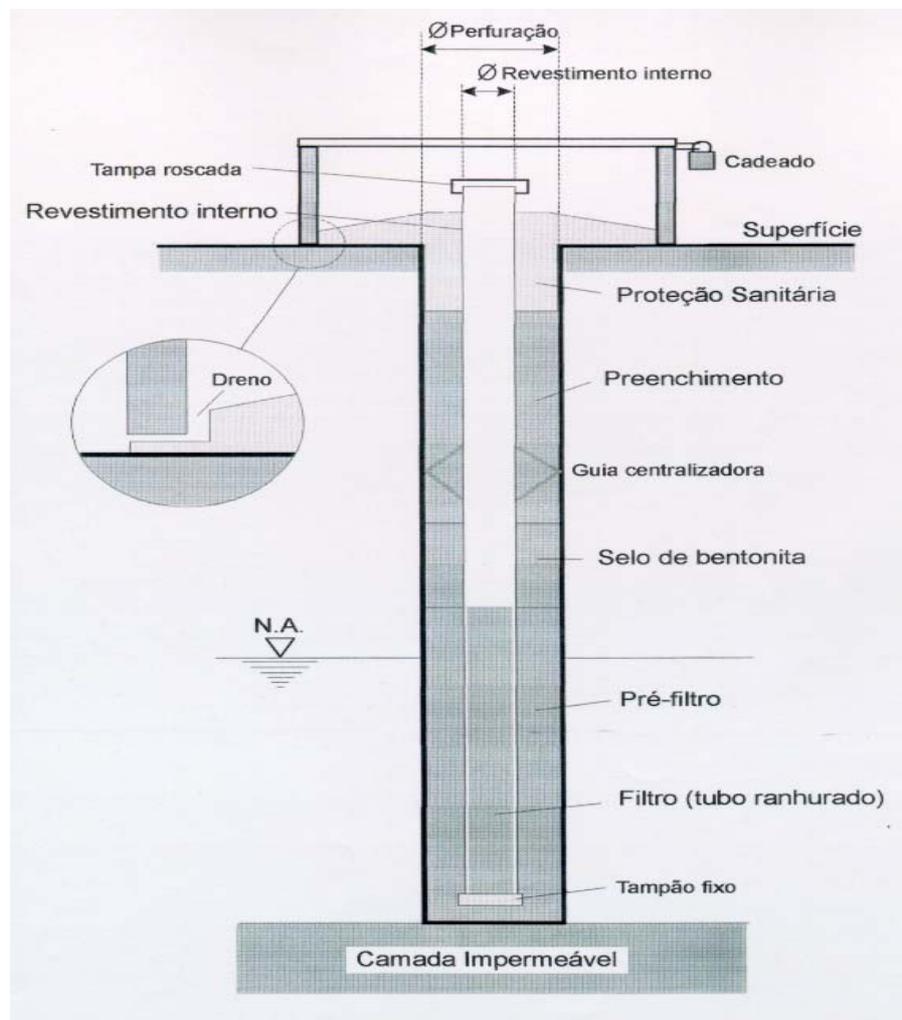


Figura 09: Perfil esquemático do poço de monitoramento (ABNT, 1997)

Segundo FOSTER & GOMES (1989), no monitoramento de avaliação, o número total e a densidade de poços de monitoramento é geralmente grande, devido aos requisitos de estabelecer a distribuição tridimensional de contaminantes no sistema de águas subterrâneas. Os poços de monitoramento normalmente são instalados ao longo de linhas perpendiculares à direção do fluxo de águas subterrâneas, gradiente hidráulico abaixo, desde a suposta fonte de contaminação.

Quando o objetivo do monitoramento está relacionado com a qualidade das águas subterrâneas e/ou aos problemas de contaminação, a seleção dos parâmetros analíticos normalmente estará definida pela interação entre (FOSTER & GOMES, 1989):

- o uso principal das águas subterrâneas;
- a possibilidade de que o parâmetros assim definidos se encontrem presentes em concentrações problemáticas, como resultado do regime hidrogeoquímico natural e/ou o caráter de qualquer carga contaminante que está sendo descarregada no subsolo.

3.5.4.1 Procedimento e precauções operacionais

Segundo FOSTER & GOMES (1989), quando as águas subterrâneas são extraídas do aquífero estão sujeitas a modificações físico-químicas como resultado das alterações de pressão e temperatura, exposição a luz solar e contato com a atmosfera.

O monitoramento compreende as seguintes etapas (FOSTER & GOMES, 1989):

a) Limpeza do poço

Trata-se da operação inicial, sendo crítica, pois deverá assegurar que a amostra recolhida seja representativa do aquífero.

Critérios empíricos, tal como a remoção de 5 a 10 volumes do poço são usados com o propósito de assegurar a limpeza do poço, porém é preferível verificar a limpeza adequada mediante o monitoramento da linha de descarga, para condutividade elétrica, temperatura, pH e Eh ou OD.

b) Equipamentos de coleta de amostras

São utilizados amostradores de profundidade, que são introduzidos no poço até uma profundidade conhecida e após fechados e conduzidos até a superfície para transferir a amostra até um frasco.

A principal limitação deste tipo de amostradores é a incerteza acerca da profundidade do aquífero no qual a amostra se origina, apesar de que foi recolhida a uma profundidade conhecida no poço de monitoramento. Um problema secundário é que a maioria dos amostradores tradicionais podem deixar que ocorra uma modificação dos componentes instáveis devido a aeração, desgaseificação e perdas de voláteis.

Conforme a USEPA (1996), as bombas submersas, com vazões ajustáveis, são os equipamentos de extração preferidos (por exemplo, bombas centrífugas ou de bexiga construídas de aço inox ou de teflon). As bombas peristálticas (sucção), com vazões ajustáveis, devem ser usadas com cuidado, não sendo recomendadas, pois podem causar modificação do pH, desgaseificação e perda dos compostos voláteis. As bombas de inércia também não são recomendadas, pois, freqüentemente, causam grandes distúrbios durante o esgotamento e amostragem, sendo menos facilmente controladas do que as bombas anteriormente listadas, podendo conduzir a resultados de amostragem que são adversamente afetados pelas operações de esgotamento e amostragem e por um alto grau de variação de dados. Alguns tipos de bomba (peristáltica, de ar comprimido e venturi) provocam volatilização e produzem elevada pressão diferencial, o que acarreta variação nas medidas de pH e condutividade, bem como nos resultados das análises para determinação dos teores de metais e de orgânicos voláteis, sendo seu uso aceitável para esgotamento, desde que se deixe a água estabilizar antes da amostragem;

Segundo FOSTER & GOMES (1989), as características das bombas usadas na coleta de amostras estão resumidas na Tabela 06.

Tabela 06 - Características das bombas de monitoramento de poços (FOSTER & GOMES, 1989)

Mecanismo de bombeio	Vantagens	Limitações
Deslocamento positivo submergível (A) -centrífuga elétrica -bomba de pistão -bomba de diafragma	- profundidade ilimitada - adaptável a todos de-terminantes com uso de materiais inertes - apropriada para poços de pequenos diâmetros - taxas de fluxo podem ser controladas - eficiente para limpeza antes da amostragem	-moderadamente portátil - centrífugas elétricas não confiáveis para determinantes instáveis - bombas de pistão de fluxo contínuo são difíceis de limpar e manter
Deslocamento positivo submergível (B) -inercial manual -inercial mecânico	-portátil -durável -boa para desenvol- vimento, limpeza e pro- va hidráulica do poço -taxas de fluxo podem ser controladas -apropriadas para deter- minates instáveis	-profundidade de amos- tragem limitada (manual a 40m - poços mais profundos requerem bombeio a motor - gastam muito com uso contínuo
Impulsão por sucção -peristáltica -sucção manual -centrífuga	-muito portátil -apropriada pra todos determinantes com adap- tação - apropriada para poços de pequeno diâmetro -adaptável para limpeza antes da amostragem -contato com a bomba é limitado na maioria dos casos	-profundidade de amos- tragem limitada a 8m -desgazeificação e aera- ção difíceis de controlar
Impulsão por gás -tubo duplo -fluxo contínuo	- profundidade ilimitada - podem ser construídas de material inerte -eficientes para limpeza antes da amostragem -taxas de fluxo podem ser controladas - apropriado para insta- lação permanente	- é necessário um gás inerte muito puro para evitar contaminação - entrada de gás na tubulação de descarga pode causar desgazei- ficação/volatização

c) Coleta de amostras

Geralmente as amostras pontuais não devem ser recolhidas na seção do poço com revestimento sem ranhuras, já que neste ponto a água não foi originada e é possível que a mesma tenha sido significativamente alterada por reações químicas e/ou atividade microbiológica.

Porém, quando a água estagnada puder ser extraída por bombeamento e o poço tiver somente um intervalo pequeno de filtro, as amostras serão representativas.

As amostras devem ser recolhidas o mais próximo possível da descarga da bomba.

O programa de coleta de amostras é realizado de acordo com os parâmetros a serem investigados, devendo ser observadas as técnicas de preservação e tempos de armazenamento permissíveis das amostras.

Em maior ou menor grau, os métodos de coleta de amostras permitem contato atmosférico alguma vez durante seu processo, causando modificação da amostra devido ao ingresso de oxigênio, ocasionando aumento de Eh, que aumenta a solubilidade de numerosos íons como Fe, Mn e outros metais, podendo haver precipitação dos oxihidróxidos. Estes tem capacidade de adsorção e o processo pode reduzir a concentração de numerosos componentes, como metais pesados e compostos orgânicos sintéticos na fase líquida.

d) Filtração de amostras

As amostras de águas subterrâneas, as vezes, contém sólidos suspensos, que se não forem eliminados, podem influir nos resultados analíticos. As reações possíveis entre a água e os sólidos suspensos incluem o intercâmbio de íons e a dissolução de material em partículas e coloidal. Adicionalmente, a acidificação da amostra pode dissolver os sólidos suspensos e produzir resultados falsos.

A filtração é recomendada na maioria dos casos, mesmo quando aparentemente não se apresentam sólidos suspensos. No entanto, não é recomendável filtrar amostras para análises orgânicas ou determinações microbiológicas, já que isto pode dar como resultado a perda de substâncias ou íons de interesse.

A filtração deve ser realizada , preferencialmente, na cabeceira do poço.

Segundo BARCELONA *et al.* (1989), a seleção do filtro depende dos íons ou compostos sob investigação. Em geral é recomendado um filtro de acetatocelulose de 0,45 µm de tamanho de poro. O filtro permitirá a passagem de bactérias e material coloidal, porém os tamanhos mais pequenos dos poros tendem a obstruir-se rapidamente. Se houver suspeita de encontrar solventes orgânicos sintéticos são recomendados filtros de fibra de vidro ou teflon .

e) Preservação de amostras

f) Controle e garantia de qualidade

3.5.4.2. Utilização dos resultados de monitoramento

Segundo FOSTER & GOMES (1989), os dados de qualidade das águas subterrâneas gerados pelo monitoramento podem apresentar flutuações complexas, apresentando problemas de correlação espacial e serial. A detecção da contaminação geralmente é constatada comparando-se dados de séries descendentes e ascendentes de tempo. Quando os íons ou substâncias de interesse não ocorrem de forma natural na águas subterrâneas, a sua presença pode ser suficiente para indicar contaminação e justificar um programa de avaliação.

Segundo estes mesmos autores, se os íons ou substâncias também se encontram presentes em forma natural a concentrações baixas, a detecção de contaminação não é tão

fácil. A grande necessidade de uma caracterização adequada de antecedentes de qualidade de águas subterrâneas é evidente e técnicas estatísticas são utilizadas para ajudar a determinar se as diferenças dos dados da água a montante e a jusante são significativas.

A compreensão do regime de fluxo de águas subterrâneas no projeto das redes de monitoramento é fundamental para a interpretação e aplicação dos resultados do monitoramento, pois o mesmo é responsável pelo transporte de contaminantes dentro do aquífero (FOSTER & GOMES, 1989).

4 AREA DE ESTUDO

4.1 Caracterização Fisiográfica

A UTRESA S/A – Usina de Tratamento de Resíduos está localizada no município de Estância Velha, pertencente a Região Metropolitana de Porto Alegre, estado do Rio Grande do Sul, Brasil, conforme pode ser visualizado na Figura 10.

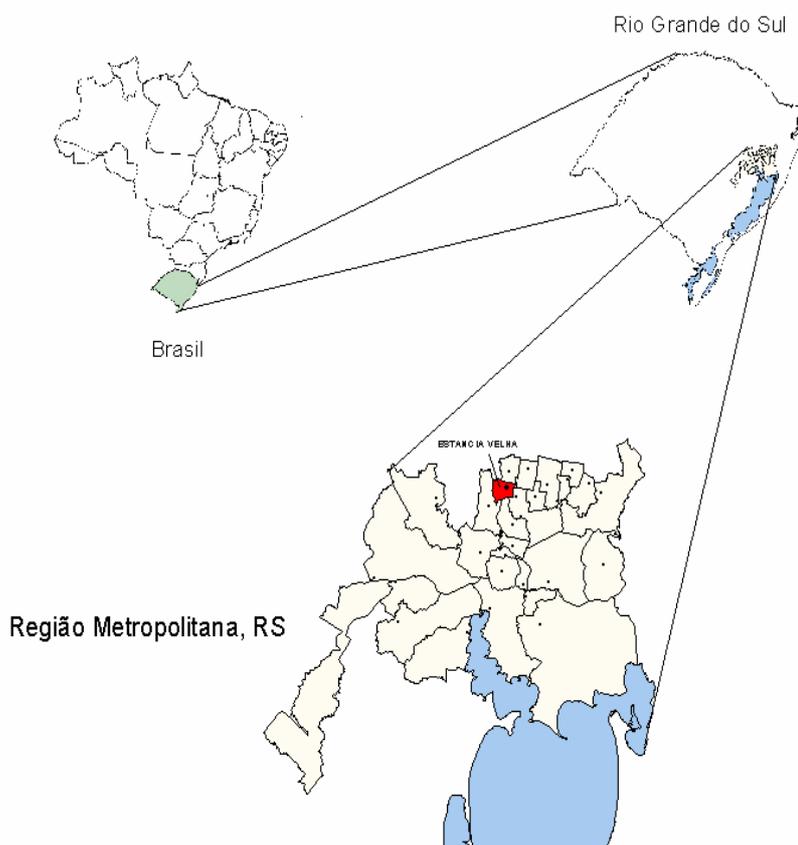


Figura 10: Localização geográfica do município de Estância Velha

A UTRESA localiza-se na Estrada do Terminal, n.º 1545, no bairro Campo Grande Industrial e sua área abrange 29,95 ha, estando situada no extremo sudoeste do município de Estância Velha, distando cerca de 5 Km do seu centro urbano, próxima a confluência dos arroios Cascalho e Estância Velha, cujo destino final é o rio dos Sinos, conforme pode ser observado na Figura 11. As coordenadas geográficas da área são: Latitude S 29° 41' 1,2" e Longitude W 51° 12' 46,8".

De acordo com PROTEGER (1994), a área da UTRESA está localizada sobre a Formação Botucatu, cuja formação foi dividida em Fácies Eólica e Interdunas.

A cobertura local de alteração meteórica é bastante expressiva e supera os 10 metros de espessura, apresentando, do topo para a base, a seguinte seqüência, conforme (SCHNACK, 1991):

- solo arenoso, fino, friável, pobre em matéria orgânica, de coloração marron-clara, apresentando espessuras entre 0,40 e 1,50 m;
- colúvio argilo-arenoso, compacto, de coloração marron-avermelhada, apresentando espessuras entre 1,10 e 4,20 m;
- saprólito síltico-arenoso, plástico a compacto com colorações variadas, apresentando a 5 m. localmente alterações caulíníficas, o que evidencia uma forte alteração meteórica e possuindo espessuras superiores.

No Anexo A são apresentados os perfis de sondagem dos furos F-01 e F-02, identificados na Figura 11, respectivamente, na célula III e no item 14.

De acordo com FISH (1990), o solo na área da UTRESA é caracterizado por um horizonte A profundo (aproximadamente 65 cm) com presença de horizonte Az. Apresenta estrutura maciça ou francamente desenvolvida em blocos subangulares, é poroso, muito friável, não plástico e pegajoso e a coloração predominante é areia franca.

O solo da área é o podzólico vermelho amarelo, abrupto textura argilosa, relevo ondulado, substrato arenito e predominam solos profundos de coloração bruno e vermelho, arenosos, porosos e bem drenados. Quimicamente o solo é ácido, com saturação de bases baixas, pobre em nutrientes e matéria orgânica. Na área da UTRESA e nas áreas vizinhas, o solo é utilizado para atividades de reflorestamento, principalmente com acácia negra.

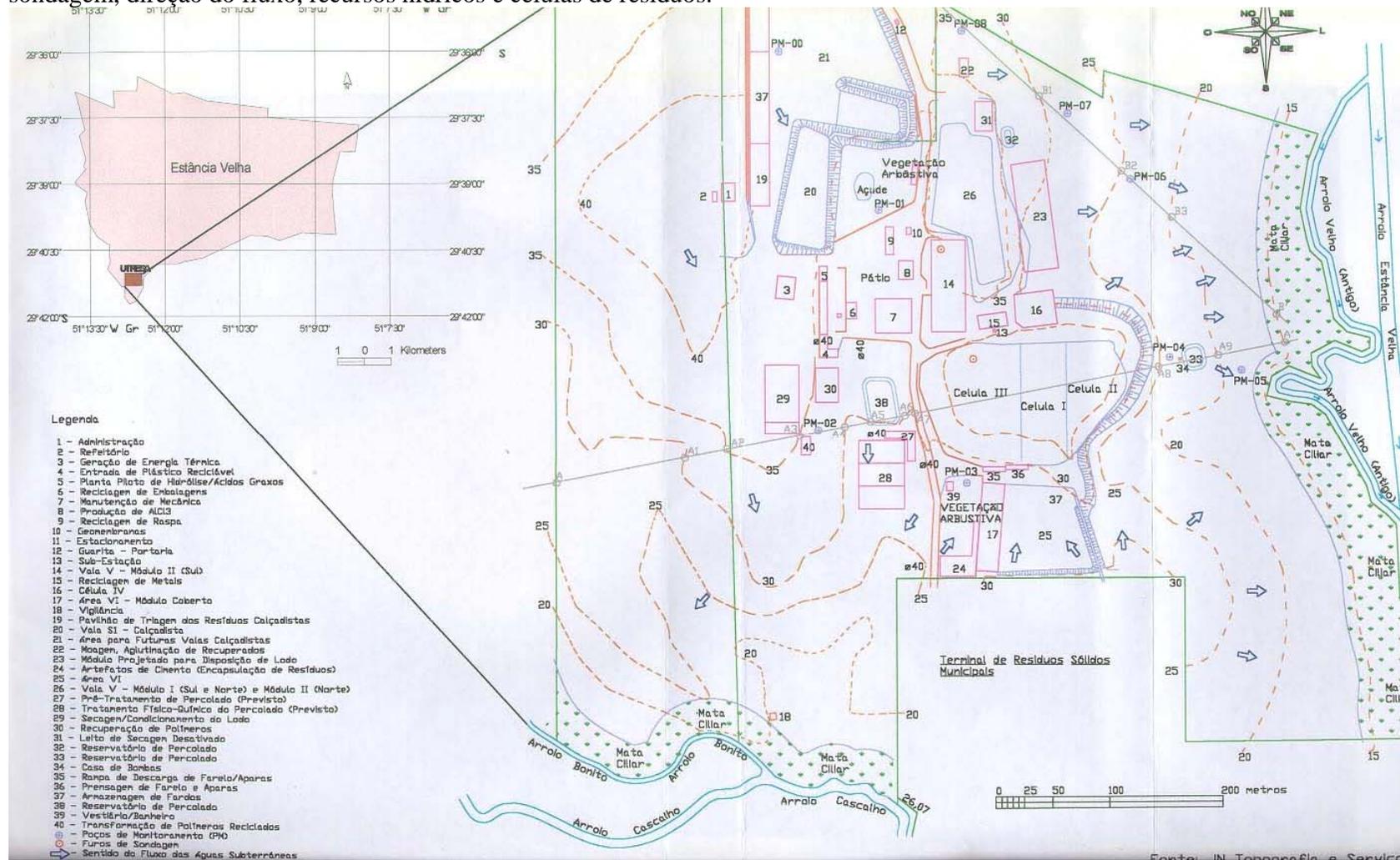
O relevo da área é ondulado, as elevações são arredondadas, apresentando declives em torno de 8%. Entre as elevações formam-se depressões onde localizam-se solos mais ou menos hidromorfizados, estando a altitude em torno de 40m FISH (1990).

De acordo com SCHNACK (1991), o substrato litológico da área é constituído de arenitos impuros de Formação Botucatu, cujos afloramentos naturais podem ser observados no leito do Arroio Estância Velha. Estes arenitos apresentam uma textura média a fina e são de composição quartzo-feldspática com alterações silteosas e argilosas, possuindo uma coloração predominantemente avermelhada .

Segundo HAUSMAN (1995), a Sub- Província Botucatu engloba todos os afloramentos contínuos do Arenito Botucatu, ao longo do contato com a Formação Rosário do Sul, por um lado e os derrames da Serra Geral de outro.

Foram identificados dois níveis de aquíferos na área da UTRESA. O nível superior, que é objeto do presente estudo, corresponde ao aquífero freático. De acordo com SCHNACK (1991), o aquífero freático apresenta um comportamento bastante regular, estando regionalmente condicionado ao leito do Arroio Estância Velha. A profundidade do espelho d'água varia conforme a topografia do terreno, estando no local da célula III a uma profundidade máxima de 8,50m no topo da coxilha, onde foi realizado o furo de sondagem (F-01) e profundidade mínima de 0,90 no leito de drenagem intermitente ao sul da célula II.

Figura 11: Localização no município e planta baixa da UTRESA, mostrando a localização dos poços de monitoramento, pontos de sondagem, direção do fluxo, recursos hídricos e células de resíduos.



A topografia da área foi alterada após 1990, conforme se observa na Figura 11, influenciando no regime de escoamento das águas subterrâneas. Conforme PEDROSO (1997), a profundidade do lençol freático na UTRESA e entornos é variável, de subafiorante nos baixios (drenagem pluvial e Arroio Estância Velha) e em torno de 10 metros nos altos topográficos, sendo na maior parte das vezes inferior a 5 metros. As áreas de recarga local do aquífero estão situadas uma ao norte da área, onde está locado o ponto controle e outra no terminal de resíduos sólidos do município e o fluxo de águas subterrâneas se dá no sentido aos arroios Estância Velha e Cascelho/Bonito (áreas de descarga das águas subterrâneas), conforme pode ser visualizado na Figura 11. Os ensaios realizados nas litologias (Anexo A) acusaram condutividades hidráulicas de $6,20 \times 10^{-8}$ cm/s na amostra do colúvio e $6,49 \times 10^{-7}$ cm/s na amostra do saprólito (SCHNACK, 1991).

O aquífero superior foi indicado por três poços tubulares profundos (artesianos), com profundidades variando de 40 a 60m, localizados na área da UTRESA. Conforme HAUSMAN (1995), a rentabilidade do aquífero pode variar com o maior ou menor teor de cimento argiloso, com ou sem silicificação secundária, com fraturamentos ou se estão ou não recobertos por basalto. Em Estância Velha, as vazões são relativamente baixas, no máximo 7 m³/h. Devido ao nível de água apresentar-se bastante profundo, é sugerido que as áreas de recarga do aquífero situam-se fora dos limites do município. A capacidade de infiltração e armazenamento da água é reduzida face a predominância de litologias pelíticas (PROTEGER, 1994).

Os dados climatológicos referentes à localidade de São Leopoldo foram obtidos na Estação de Observação Meteorológica “José Soares Lima”, em São Leopoldo/RS e cobrem o período de 1987 a 1999, encontrando-se no Anexo B. Observa-se que a precipitação média anual neste período foi de 1.601,6 mm. A maior média mensal de precipitação pluviométrica corresponde ao mês de janeiro, com 172,5 mm, enquanto que a menor média corresponde ao mês de maio, com 86,5 mm.

Conforme FISH (1990) a área da UTRESA é caracterizada por três tipos básicos de vegetação:

- Mata Ciliar ou de Galeria Mista com Mata Sub-Subtropical Arbustiva, com deficiência de algumas espécies, nas margens do Arroio Estância Velha, aparecendo um número significativo de espécimes, como o cedro e mirtáceas;
- Campos grossos, onde predominam a grama forquinha, barba de bode, carrapicho, carqueja e samabaías;
- Área cultivada, representada, principalmente, por acácia negra.

4.2 Dados Históricos

Em 1990, o Sindicato das Indústrias de Curtume de Estância Velha fundou a UTRESA S/A - Usina de Tratamento de Resíduos, constituída por 13 empresas do ramo, com o objetivo de gerenciar e destinar adequadamente os resíduos gerados pelas indústrias do ramo de couros e peles de Estância Velha, compostos por aparas wet-blue, aparas ao vegetal, recortes semi-acabados, farelo de rebaixadeira, pó de lixadeira, recorte acabado, cinzas de caldeira, resíduos de varredura da fábrica, lodo formado nas estações de tratamento de efluentes líquidos e resíduos de tintas e pigmentos.

No início de 1991, a FEPAM emitiu a Licença Prévia N.º 24/91-DL da UTRESA, autorizando que a área pleiteada fosse utilizada para a implantação de uma Central de disposição final de resíduos.

No final de 1991, a FEPAM emitiu a Licença de Instalação N.º 115/91-DL da UTRESA, autorizando a implantação de um canteiro para secagem do lodo, com área de 14.400 m² e uma vala de disposição final dos resíduos com área de 28.600 m² e espessura média de resíduos de 5,25m, perfazendo um volume de 150.000 m³. A

impermeabilização da vala previa uma camada de 50 cm de espessura de argila do colúvio, sobreposta de uma manta sintética de PVC, com 0,80 mm de espessura.

Em 1992, a FEPAM emitiu a Licença de Operação N.º 292/92-DL da UTRESA, autorizando a operação da Central de tratamento e disposição final de resíduos sólidos industriais, para um recebimento mensal de 1.573 m³ de resíduos.

A UTRESA não implantou a vala anteriormente citada, optando pela implantação de módulos menores na área prevista.

A célula II da Figura 11, com volume útil de 20.000 m³, foi a primeira a operar. Na porção central da vala, em sua parte mais baixa, foi instalado o sistema coletor de percolado, que constava de um tubo de PVC de drenagem de 100 mm de diâmetro, revestido com bidim e recoberto com areia grossa, o qual era canalizado para um reservatório, com volume útil de 150 m³, revestido com manta de PVC de 0,8 mm de espessura. Este reservatório foi posteriormente desativado e encontrava-se ao sul da célula II, conforme Figura 11. O líquido acumulado neste reservatório era encaminhado para tratamento nos sistemas de tratamento das empresas depositárias de resíduos na UTRESA.

Em maio de 1993 foram concluídas as obras de implantação da célula I, conforme pode ser observado na Figura 11, com um volume útil projetado de 26.500 m³, área de 4.800 m² e espessura média útil de 5,5 metros. Antes da impermeabilização foi instalado um sistema de drenagem de fundo para o rebaixamento do freático. Este dreno de fundo foi construído na forma de uma vala com 2 metros de profundidade preenchida com pedras até sua metade e posteriormente recoberto com a mesma argila que foi escavada. O dreno de percolado foi colocado longitudinalmente na porção central rebaixada da célula, sendo construído um novo reservatório para este líquido a jusante da célula, com uma capacidade de 300 m³. O depósito de percolado da célula II foi interligado ao reservatório da célula I (item 33 da Figura 11), de onde o percolado é bombeado para o reservatório identificado como item 38 na Figura 11, sendo e após encaminhado para os

sistemas de tratamento de efluentes líquidos das empresas depositárias de resíduos na UTRESA.

Na Figura 12 visualiza-se o reservatório de percolado identificado como item 33 da Figura 11.



Figura 12: Reservatório de percolado à jusante do PM 04 e a esquerda do PM 05, item 33 da Figura 11

As células I e II encontravam-se com sua capacidade esgotada em 1995, tendo sido recobertas com argila e colocados os drenos de gases. Posteriormente, grandes quantidades de resíduos foram novamente colocados sobre as células. Presentemente, as duas células foram novamente seladas superficialmente com argila compactada, devendo até o final do presente ano ser realizado o recobrimento superficial e a reconstituição dos taludes com geomembrana e posteriormente a recomposição da cobertura vegetal, considerando as irregularidades existentes, conforme pode ser observado na Figura 13.



Figura 13: Aspecto dos taludes da célula I localizada a montante dos poços de monitoramento PM 04 e PM 05

Em 1993 foi implantada a célula III , conforme Figura 11, perfazendo um volume útil de 15.000 m³, para disposição exclusiva do farelo de rebaixadeira e aparas de couro. Porém, muitos outros resíduos foram depositados na célula, tais como, plásticos, resíduos de papel contaminado, resíduos de PU, fibra de vidro, isopor e outros. Presentemente, a célula ainda está recebendo resíduos , devendo ser selada até o final do ano, conforme procedimento já descrito para as células I e II.

Na Figura 14 podem ser observados os resíduos depositados na célula III.

Em janeiro de 1996 iniciou a operação do módulo I da vala IV, item 16 da Figura 11, com volume útil 4.000 m³ e área de 400 m², destinado a receber resíduos com características predominantemente inorgânicas (matéria orgânica máxima de 5%). A vala foi impermeabilizada com base de argila de 50 cm, camada de concreto magro, sistema

multicamada elástica constituída de látex SBR, tela de poliéster costurado e revestimento superior de butadieno e finalmente geomembrana de PEAD de 1,0 mm de espessura, sendo coberta com telhas de fibrocimento, não havendo geração de chorume na vala.



Figura 14: Resíduos depositados na Célula III

Presentemente, encontra-se em operação o módulo II da vala IV e o módulo I foi totalmente selado. A vala recebe os seguintes resíduos: fuligem e cinzas de caldeira, sais de têmpera e lodo galvânico, observando-se que grande parte do lodo galvânico depositado foi utilizado, posteriormente, como micronutriente na fabricação de adubos.

Em 1997 o pátio de secagem foi totalmente desativado e nesta área foram implantados, inicialmente, o módulo I (sul e norte) e, posteriormente, o módulo II (norte) da vala V (item 26 da Figura 11), ocupando uma área de aproximadamente 6.000 m² e um volume de 48.000 m³, destinados a receber o lodo dos sistemas de tratamento de efluentes líquidos de empresas do ramo de couros e peles. Estes módulos estão presentemente selados, encontrando-se em operação o módulo II (sul) da vala V (item 14 da Figura 11), constituído de uma vala coberta, ocupando um volume de 13778 m³.

Em maio de 1997 , começou a operar a vala S1 calçadista, identificada pelo item 20 da Figura 11, com volume útil de 24.000 m³ , área de 2.400 m² e altura de 10 m, destinada a receber resíduos da indústria calçadista, após triagem no pavilhão identificado pelo item 19 da Figura 11. O fundo e as laterais da célula foram impermeabilizadas com argila compactada de espessura de 50 cm e geomembrana impermeabilizante confeccionada em manta de poliéster reforçado com nylon, recoberta com látex.

Na Figura 15 visualiza-se o pavilhão de triagem da célula calçadista.

Os resíduos da indústria calçadista compreendem: aparas e retalhos de couro, tecidos naturais e sintéticos, aparas de solados sintéticos (PVC, PU e EVA), pó de lixamento, aparas de contraforte, espumas, acessórios plásticos e metálicos, resinas curadas e papel e papelão



Figura 15: Pavilhão de Triagem da Célula Calçadista

Em dezembro de 1998 foi autorizada pela FEPAM a operação de um módulo dentro da célula III, destinado a receber lodos cujo percentual de matéria orgânica não permitia a disposição na célula IV. Este módulo foi encerrado em meados de 1999, podendo ser observado na Figura 16, que apresenta uma vista aérea da UTRESA em novembro de 1998.



Figura 16: Vista aérea da UTRESA em dezembro de 1998

1.Administração 2. Célula para resíduos do setor calçadista 3. Reciclagem de papel, papelão e latas 4.Reservatório de percolado 5. Célula III com módulo orgânicos 6. Célula VI para farelo e aparas de couro 7. Terminal de resíduos domésticos 8. Célula IV para resíduos inorgânicos 9. Célula V 10. Leitões de secagem de lodo 11. Maison S/A (empresa de reciclagem de EVA)

Em 1998 iniciou a operação da área VI, conforme item 25. da Figura 11, destinada a receber somente farelo e pó de rebaxeadeira enfardados. Os fardos são cobertos com manta de PEAD, conforme pode ser observado na Figura 17. A área total da célula VI é de 10.190 m^2 e o volume é de 87.129 m^3 , com 32% do volume ocupado presentemente.



Figura 17: Detalhe dos fardos armazenados na área VI

O sistema de impermeabilização da área VI é composto de um pavimento de concreto e por geomembranas de 1,0 mm de espessura instaladas somente sobre parte dos taludes laterais. Encontra-se implantado na área, um pavilhão de estocagem de resíduos, que ainda não está operando.

Presentemente, a UTRESA está licenciada pela FEPAM através da LO N° 2324/2000-DL (Anexo C), para uma capacidade de recebimento de resíduos de 10.000 m³/mês, compreendendo as células I, II e III, valas IV (módulos I e II), vala V (módulos I e II – norte e sul), área VI (pavilhão de estocagem e vala de disposição final), bem como para as atividades de: reaproveitamento de aparas e retalhos de couro, produção de cloreto de alumínio, comercialização de produtos químicos, recuperação de graxas de resíduo do pré-descarne, produção de blocos de concreto com incorporação de EVA moído e unidade de triagem de plásticos, papéis, tonéis e sucatas recicláveis. Até o final do ano de 2000 está previsto o selamento de todas as células que presentemente operam sem cobertura.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Resíduos depositados na UTRESA

Foram levantados no processo da empresa na FEPAM, os dados referentes aos tipos e quantidades de resíduos depositados na UTRESA, que são informações fundamentais para o entendimento e interpretação dos resultados do monitoramento das águas subterrâneas realizado na área, em função das características físicas e químicas dos mesmos.

Salienta-se que todos os dados levantados são aproximados, uma vez que não foram registradas nas planilhas encaminhadas à FEPAM todos os resíduos destinados à UTRESA e os volumes nem sempre foram devidamente quantificados.

5.2 Seleção e instalação dos poços de monitoramento

Com a finalidade de monitorar o aquífero freático na área da UTRESA, foram implantados, em 1997, 9 (nove) poços de monitoramento. A localização dos poços pode ser visualizada na Figura 11, onde observa-se que o PM 00 está a montante do aterro e os demais poços de monitoramento estão à jusante do mesmo.

Anteriormente existia outra rede de 5 poços de monitoramento que foi desativada.

De acordo com PEDROSO (1997), os poços foram localizados em função do local geográfico – colina e sentido do fluxo de águas subterrâneas em direção aos drenos pluviais localizados no centro da Central, arroio Velho (antigo) e Arroio Estância Velha e da localização das células de disposição de resíduos e lagoas de percolado, tendo sido construídos de acordo com a norma NBR 13895 (ABNT, 1997), conforme a Figura 09.

A Tabela 07 resume os dados sobre os poços de monitoramento.

Tabela 07: Dados dos poços de monitoramento

Poço	Cota Topográfica (m)	Profundidade do poço (m da superfície)	Aquífero	
			Nível da água em 07/9 (m da superfície)	Nível Potenciométrico (m)
PM 00	36,000	8,17	1,52*	34,480
PM 01	32,476	3,70	0,13	32,346
PM 02	33,294	5,02	2,82	30,474
PM 03	28,193	10,39	0,99	27,203
PM 04	23,855	2,74	1,39	22,465
PM 05	18,063	4,37	0,71	17,353
PM 06	24,027	1,88	0,38	23,647
PM 07	28,121	2,49	1,00	27,121
PM 08	33,084	2,92	1,18	31,904

*A medida do PM 00 refere-se a dezembro/99, quando o mesmo foi realocado

A localização geográfica dos poços e a possível influência das valas de disposição de resíduos localizadas nas proximidades são apresentadas na Tabela 08.

Tabela 08: Localização geográfica e descrição dos pontos de amostragem

Poços	Localização	Descrição
PM 00	S.29°41' 02" W.51°12' 78"	À montante das valas, ponto controle
PM 01	S.29°41' 11" W.51°12' 75"	Influência do módulo S1 da vala calçadista
PM 02	S.29°41' 23" W.51°12' 87"	Influência da célula calçadista
PM 03	S.29°41' 24" W.51°12' 69"	Influência da célula III e do aterro municipal
PM 04	S.29°41' 17" W.51°12' 61"	Influência das células I, II e III
PM 05	S.29°41' 21" W.51°12' 57"	Influência das células I, II e III
PM 06	S.29°41' 08" W.51°12' 60"	Influência da vala V
PM 07	S.29°41' 09" W.51°12' 68"	Influência da vala V
PM 08	S.29°41' 01" W.51°12' 68"	Influência de antiga lagoa de lodo desativada fora da área da UTRESA

Devido ao mau estado de conservação do poço de monitoramento PM 05 ao iniciarem as amostragens, em julho de 1999, foi construído um novo poço, de acordo com a norma NBR 13895 (ABNT, 1997), ao lado do anteriormente existente. As Figuras 18, 19 e 20 mostram respectivamente, a perfuração para instalação do poço,

através de trado manual, a colocação do tubo de PVC ranhurado em sua parte inferior (filtro) e o aspecto final do poço de monitoramento.

Em dezembro de 1999, foi implantado um novo poço de monitoramento PM 00, ao lado do anteriormente existente, em função do desbarrancamento ocorrido devido à construção do galpão de triagem da vala calçadista, junto ao antigo poço e em março de 2000 foram construídos novos poços PM 06 e PM 07, com profundidade de 9,0 m, ao lado dos antigos, pois os mesmos encontravam-se secos.



Figura 18: Perfuração para instalação do poço, através de trado manual



Figura 19: Colocação de filtro (tubo de PVC ranhurado em sua parte inferior)



Figura 20: Aspecto final do poço de monitoramento

5.3 Amostragem de águas subterrâneas

O esgotamento dos poços de monitoramento e a coleta de amostras das águas subterrâneas foi realizado segundo a norma NBR 13895 (ABNT,1997).

Foram realizadas quatro campanhas de amostragem da água subterrânea nos nove poços de monitoramento, localizados na área da Central.

As amostragens ocorreram nos meses de junho/1999, setembro/1999, dezembro/1999 e março/2000, a fim de contemplar as quatro estações do ano.

Cada campanha foi realizada no período de três dias. No primeiro dia, os nove poços foram esgotados e nos dois dias seguintes foram realizadas as leituras de campo e a coleta das amostras.

Antes de iniciarem os trabalhos de esgotamento, os poços de monitoramento foram inspecionados para verificar se estavam devidamente lacrados com cadeado, tendo sido medida sua profundidade, conforme pode ser observado na Figura 21.

Os poços foram esgotados e amostrados, preferencialmente, na ordem crescente das concentrações químicas inferidas, considerando-se, também, a localização dos mesmos na área, a fim de facilitar o trabalho. A seqüência de amostragem se deu em três blocos: PM 00, PM 01, PM 02 e PM 03, seguido de PM 06, PM 07 e PM 08 e, finalmente, PM 04 e PM 05.



Figura 21: Medição da profundidade dos poços

5.3.1 Esgotamento dos poços

Antes de cada operação de esgotamento foi realizada a medição do nível d'água estático de cada poço, através de um medidor eletrônico de nível, , conforme pode ser observado na Figura 22 e calculado o volume de água estagnada, considerando a profundidade do mesmo.

O esgotamento foi realizado utilizando-se bombas submersas de marca Whale, modelo EP 8815, 12 V e bombas helicoidais usadas em limpadores de parabrisa, acionadas por uma bateria de carro de 45 ampéres.

Cada poço tinha sua própria bomba, tubulação e fiação elétrica, conforme pode ser observado na Figura 23, para evitar contaminações de um poço para outro e eliminar o trabalho de descontaminação antes da utilização no poço seguinte.



Figura 22: Medição do nível de água dos poços

Para realizar o esgotamento do poço, a bomba, a tubulação e a fiação elétrica foram colocadas vagarosamente (para minimizar a turbulência) para dentro do poço, tomando-se o cuidado para que o solo não entrasse em contato com os mesmos e, em seguida, a fiação foi ligada à bateria e realizado o esgotamento.



Figura 23: Conjunto (bomba, tubulação e fiação) utilizadas no esgotamento e amostragem

Foi esgotado, no mínimo, o volume de água estagnada calculado, aguardando-se a recuperação do nível estático, de tal forma que a água de formação substituísse a água estagnada, pois esta última pode não ser representativa da qualidade de água no local.

5.3.2 Leituras de campo e coleta de amostras

No dia seguinte ao esgotamento, o nível estático dos poços encontrava-se recuperado, tendo sido iniciada a amostragem, que se prolongou por dois dias.

A fim de reduzir as possibilidades de contaminação da amostra a ser coletada e evitar a limpeza do amostrador entre as coletas de um poço e outro, foi utilizado um equipamento de amostragem para cada poço, que foi o mesmo utilizado para o esgotamento.

As taxas de bombeamento foram inferiores a 1 L/min, a fim de coletar amostras com as mínimas alterações químicas.

Foram utilizadas tubulações de polietileno para a coleta de amostras por bombeamento, já que não foram amostrados contaminantes orgânicos.

A estabilização de parâmetros indicadores de campo é usada para indicar que as condições estão adequadas para que a amostragem comece, sendo desejável, mas não obrigatório, um nível de turbidez inferior a 5 NTU. Este valor não foi alcançado nas amostras coletadas.

O ponto médio do comprimento do filtro saturado (que não deve exceder 10 ft) é usado, por convenção, como ponto de sucção da bomba. Não foi possível obedecer este critério para o PM 00, cuja profundidade era de 16 m, tendo em vista que a bomba não tinha capacidade para coletar amostras a profundidades superiores a 10 m. Adotou-se, então, o critério de realizar as leituras de campo e coletar as amostras na metade da profundidade da coluna de água de cada poço.

As primeiras leituras realizadas em campo foram as concentrações de OD e o Eh, conforme pode ser visualizado nas Figura 24 e 25.

Após foram medidos a temperatura, condutividade e TDS, sempre a meia profundidade da coluna de água existente em cada poço.



Figura 24: Equipamento de campo utilizado para medição de OD



Figura 25: Equipamento de campo utilizado para medição de Eh

A seguir, foi completado o volume dos frascos a serem encaminhados para análise em laboratório, sendo as amostras retiradas diretamente do equipamento de amostragem para o frasco de coleta, observando-se os métodos de preservação das mesmas e identificando os frascos, conforme pode ser observado nas Figuras 25 e 26.

Foram coletadas amostras para determinação dos seguintes parâmetros, em laboratório:

- metais totais e dissolvidos, em frascos de polietileno de 1000 ml. O frasco para determinação de metais totais foi preservado com HNO_3 concentrado. As amostras coletadas para determinação dos metais dissolvidos foram filtradas em laboratório através de uma membrana de $0,45\mu\text{m}$ e preservadas com HNO_3 concentrado em outro frasco de polietileno de 1000 ml. Os metais analisados foram: Cd, Cu, Pb, Ni, Cr, Zn, Fe, Mn, Ca, Mg, Na e K
- ânions cloreto, sulfato e nitrato, em frascos de polietileno de 100 ml;
- DQO, alcalinidade, turbidez e SST, em frascos de polietileno.

Finalmente, foi bombeada uma amostra a meia profundidade da coluna de água existente em cada poço, a qual foi coletada em um balde, sendo verificado novamente o Eh, OD, pH, temperatura, condutividade e TDS, a fim de verificar se ocorriam variações nos valores anteriormente medidos.



Figura 26: Coleta de amostras para análise em laboratório



Figura 27: Preservação das amostras em campo

5.3.3. Medidas de Condutividade, TDS, temperatura, OD e Eh

Objetivou-se verificar eventuais diferenças entre os valores de condutividade, TDS, temperatura, OD e Eh medidos na superfície, em amostras coletadas em um balde e os valores medidos dentro dos poços, a meia profundidade da coluna de água.

Nas Tabelas 09, 10, 11 e 12 são apresentados os resultados obtidos para condutividade, TDS e temperatura, não tendo sido observadas variações significativas entre os valores medidos para os três parâmetros.

Tabela 09: Valores de condutividade

Data	Local	PM 00	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	PM 05	PM 06	PM 07	PM 08
Jul-99	*	34,6	66,1	86,5	2290	1363	2280	343	190	465
Jul-99	**	33,1	64,1	83,7	2240	1367	2290	341	193	448
Set-99	*	29,6	52,5	95,5	1941	1335	2440	465	155	392
Set-99	**	28,7	53,5	95,9	1851	1276	2430	443	154	391
Dez-99	*	36,3	67,0	109	1136	1450	3430	357	148	377
Dez-99	**	31,1	61,1	103	1097	1428	3380	355	143	368
Mar-00	*	31,8	72,8	139	597	1708	6690	42,5	52,8	362
Mar-00	**	31,5	65,1	143	596	1716	6610	37,8	55,0	360

*Leitura na superfície **Leitura dentro do poço, a meia profundidade da coluna de água

Tabela 10: Valores de TDS

Data	Local	PM 00	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	PM 05	PM 06	PM 07	PM 08
Jul-99	*	16,0	30,0	39,0	1035	615	1025	154	86,0	210
Jul-99	**	15,0	30,0	38,0	1010	615	1033	153	87,0	202
Set-99	*	14,1	24,0	43,0	873	598	1098	209	70,0	176
Set-99	**	14,1	24,0	43,0	833	576	1094	202	70,0	175
Dez-99	*	16,0	32,0	52,0	566	664	1643	168	68,0	180
Dez-99	**	14,0	31,0	52,0	561	684	1710	171	70,0	179
Mar-00	*	15,0	34,0	67,0	296	779	3073	21	26,0	173
Mar-00	**	15,0	31,0	70,0	293	777	3093	19	27,0	173

*Leitura na superfície **Leitura dentro do poço, a meia profundidade da coluna de água

Tabela 11: Valores de temperatura

Data	Local	PM 00	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	PM 05	PM 06	PM 07	PM 08
Jul-99	*	19,8	18,0	18,7	17,2	16,0	17,0	15,3	16,4	17,2
Jul-99	**	20,1	18,0	19,1	19,0	17,1	17,0	15,1	16,1	17,0
Set-99	*	19,9	19,1	19,3	18,2	19,3	17,4	17,2	17,9	17,6
Set-99	**	20,1	18,2	19,2	18,4	19,1	17,6	17,4	17,8	17,4
Dez-99	*	21,8	22,0	21,4	20,5	24,1	21,2	23,1	25,1	22,6
Dez-99	**	20,3	20,5	20,0	19,3	22,2	20,6	21,2	21,6	21,9
Mar-00	*	22,2	22,5	22,0	20,5	24,3	21,1	21,5	21,5	22,0
Mar-00	**	21,7	22,3	20,9	21,0	24,9	21,0	19,8	21,4	22,1

*Leitura na superfície **Leitura dentro do poço, a meia profundidade da coluna de água

Na Tabela 12 são apresentados os resultados obtidos para OD, tendo sido observadas variações significativas entre os valores medidos, concluindo-se que as medições devem ser realizadas dentro do poço.

Tabela 12: Valores de OD

Data	Local	PM 00	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	PM 05	PM 06	PM 07	PM 08
Jul-99	*	1,3	4,6	2,0	3,1	7,6	5,9	4,2	2,0	4,1
Jul-99	**	2,1	4,9	2,4	4,8	5,9	6,0	3,4	1,7	3,6
Set-99	*	2,1	5,6	1,2	2,9	3,4	1,9	3,8	1,1	3,3
Set-99	**	1,1	3,1	0,7	3,3	1,1	0,9	3,8	1,0	3,2
Dez-99	*	4,6	4,2	2,4	2,8	2,3	3,0	3,2	2,8	2,2
Dez-99	**	2,2	2,8	1,1	3,6	2,0	1,2	2,1	1,3	1,8
Mar-00	*	4,2	4,1	1,6	2,1	4,8	1,8	7,3	10,1	4,2
Mar-00	**	2,9	3,7	1,6	3,0	3,6	1,9	5,7	7,1	2,4

*Leituras na superfície **Leitura dentro do poço, a meia profundidade da coluna de água

Na Tabela 13 são apresentados os resultados obtidos para Eh, tendo sido observadas variações significativas entre os valores medidos, concluindo-se que as medições devem ser realizadas dentro do poço. Não foi possível realizar as medições dentro do poço nas duas últimas campanhas, pois o cabo de profundidade estragou.

Tabela 13: Valores de Eh

Data	Local	PM 00	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	PM 05	PM 06	PM 07	PM 08
Jul-99	*	368	349	397	398	176	153	237	279	313
Jul-99	**	193	328	293	332	118	67,8	219	222	339
Set-99	*	271	204	233	300	137	85,2	308	99,4	213
Set-99	**	230	238	207	272	102	57,2	330	122	241
Dez-99	*	224	219	226	223	199	174	216	214	217
Mar-00	*	168	169	162	163	145	91,0	219	278	146

*Superfície

**Leitura dentro do poço, a meia profundidade da coluna de água

5.3.4 Controle de qualidade da amostragem

A fim de confirmar a qualidade da amostragem em relação ao equipamento de bombeamento e aos frascos de coleta procedeu-se a amostragem com água destilada. Os resultados constam das Tabelas 14, 15 e 16.

Tabela 14: Controle de qualidade para parâmetros determinados em laboratório

Parâmetro	DQO	Alcalinidade	Turbidez	SST	Cloretos	Nitratos	Sulfatos
Unidade	(mg/L)	(mg/L)	(NTU)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
29.09.99	◆	2,6	zero	<10	◆	◆	◆
29.12.99	<5	1,9	zero	<10	<0,5	0,6	<0,5
29.03.00	<5	1,9	zero	<10	<0,5	1,40	0,3

◆ não analisado

Tabela 15: Controle de qualidade para metais

Parâmetro	Cd	Cu	Pb	Ni	Zn	Fe	Mn	Cr	Na	K	Ca	Mg
Unidade	(mg/L)											
L.D.	0,002	0,006	0,018	0,009	0,001	0,009	0,004	0,020	0,100	0,100	0,100	0,500
29.09.99	nd	nd	nd	nd	nd	0,010	nd	nd	nd	nd	nd	nd
29.12.99	nd	nd	nd	0,013	0,011	0,013	nd	nd	0,120	0,063	0,18	nd

nd – não detectado

L.D. – Limite de Detecção

Tabela 16: Controle de qualidade para parâmetros determinados em campo

Parâmetro	Condutiv.(25°)	TDS	pH	OD	Temperatura
Unidade	(µS/cm)	(mg/L)		(mg/L)	°C
29.12.99	3,70	1,00	5,00	6,0	29,0
29.03.00	4,10	2,00	6,30	8,3	22,7

5.4. Parâmetros físicos, químicos, biológicos: metodologia de análise

A metodologia analítica, os equipamentos utilizados para determinação dos parâmetros analisados e seus respectivos limites encontram-se listados na Tabela 17.

Tabela 17: Metodologia analítica, equipamentos e limites para análise

(FEPAM,1998)(APHA,1995)

PARÂMETRO	METODOLOGIA ANALÍTICA	EQUIPAMENTO	LIMITES
Nível de água	-	Medidor eletrônico de nível	-
Condutividade	Condutometria FEPAM-FQ-05	Condutivímetro Orion 135	0 – 19,99 mS
Sólidos Dissolvidos Totais (TDS)	Condutometria FEPAM-FQ-05	Condutivímetro Orion 135	0 a 1999 mg/L
Eh	Potenciometria Standard Methods 2580.B	Potenciômetro Digimed DM-P	± 1999 mV
Oxigênio Dissolvido (OD)	Oximetria Standard Methods 4500.OG	Oxímetro YSI S-C-T Meter - Yellow Springs Company	0 a 20 mg/L
pH	Potenciometria FEPAM-FQ-18	Potenciômetro Digimed DM-P	0 – 14
Temperatura	-	Termômetro	-
Sulfatos	Cromatografia iônica Método do carbonato-bicarbonato	Cromatógrafo iônico Dionex 500	0,00936 mg/L
Nitratos	Cromatografia iônica Método do carbonato-bicarbonato	Cromatógrafo iônico Dionex 500	0,0060 mg/L
Cloretos	Cromatografia iônica Método do carbonato-bicarbonato	Cromatógrafo iônico Dionex 500	0,0058 mg/L
Alcalinidade total	Titulação potenciométrica até pH pré-determinado FEPAM-FQ-01	Potenciômetro Modelo B221 Micronal	0,5 mg/L CaCO ₃
DQO	Refluxo aberto com dicromato de potássio FEPAM-FQ-08	-	-
Turbidez	Nefelometria FEPAM-FQ-23	Turbidímetro	0,16 NTU
Sólidos suspensos Totais	Gravimetria FEPAM-FQ-19	Millipore AP 40	10-20.000 mg/L
Metais Totais e Dissolvidos: Cd, Cu, Pb, Ni, Cr, Zn, Fe, Mn, Ca, Mg, Na e K	Espectrofotometria de absorção atômica ar-acetileno com prévio ataque ácido FEPAM-AA-01	Espectrofotômetro de absorção atômica em chama Varian AA-250 PLUS	Cd: 0,002 Cu: 0,006 Cr: 0,020 Fe: 0,009 Mn: 0,004 Zn: 0,001 Pb: 0,018 Ni: 0,008

5.5. Tratamento dos dados

Inicialmente, os dados relativos às quatro campanhas de amostragens foram plotados em gráficos, que mostram a distribuição temporal dos valores obtidos nas análises físicas ou químicas para cada parâmetro amostrado, nos nove poços de monitoramento, utilizando-se o software *Excell for Windows*.

Nestes gráficos foram indicados os respectivos padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria N.º 36, de 19.01.90, do Ministério da Saúde (BRASIL, 1990), sempre que existentes.

Procurou-se descrever o comportamento das diferentes variáveis analisadas, em cada poço de monitoramento, estabelecendo comparações com os padrões de potabilidade e com os valores do ponto controle (PM 00), objetivando-se, também, obter uma correlação entre a variabilidade dos parâmetros analisados, bem como associar a alteração dos valores em relação ao ponto controle à uma possível influência dos resíduos depositados nas células e valas da UTRESA.

Após, foi obtida a média, desvio-padrão, o máximo e o mínimo para cada variável analisada.

Após, para avaliar as possíveis variações dos valores nos poços a jusante do aterro, foi aplicado o teste estatístico “t” de Student, conforme determina a norma NBR 10157 (ABNT, 1987), tendo sido comparadas as médias de todos os parâmetros determinados em cada poço de monitoramento com a média dos valores obtidos para cada parâmetro no ponto controle.

Para avaliar a existência de correlações significativas entre as variáveis, inicialmente, foi determinada uma matriz de correlação de Pearson, através da rotina *Basic Statistics and Tables, Correlation matrices*, do programa *Statistica for Windows*.

A fim de simplificar e sintetizar o grande número de informações, visando facilitar sua interpretação, optou-se pela determinação de índices de qualidade representativos de cada poço de monitoramento, baseados no método estatístico multivariado de análise fatorial, por componentes principais (PCA). Foi montado um banco de dados composto de 25 colunas (variáveis) e 36 linhas (unidades amostrais).

Para tornar viável o processamento estatístico dos dados foi necessário fazer algumas substituições no banco de dados, conforme listado a seguir:

- os resultados “não detectado” foram substituídos pela metade do valor de detecção do método analítico;
- foi arbitrado um valor elevado em relação aos resultados obtidos para a turbidez no ponto PM 06 em março de 2000, considerando-se que o teor de SST apresentou o valor mais elevado do conjunto de dados determinados para este parâmetro neste ponto e que os dois parâmetros estão fortemente correlacionados.
- as poucas lacunas existentes (quatro no total) foram substituídas de acordo com a tendência apresentada pela variável, utilizando-se a média no ponto.

Após, os dados foram processados através da opção *Componentes Principais*, no subprograma *Factor Analysis* do programa *Statistica for Windows*.

De acordo com ÓRLÓCI *et al.* (1987), a aplicação da análise fatorial objetiva:

- avaliar a existência de associações entre as variáveis selecionadas;
- determinar o grau de relevância de cada variável na composição do diagnóstico da área;

- comparar as unidades amostrais (medidas espaciais e temporais resultantes da coleta de dados), ao longo do tempo e do espaço, de modo a detectar a existência de tendências.

Segundo RODRIGUES (1997), a elaboração de um índice de qualidade envolve a combinação, numa escala comum, de um grupo de variáveis correlacionadas, de modo a obter um único valor numérico, capaz de traduzir sinteticamente a qualidade ambiental de cada unidade amostral. Este grupo deve conter os parâmetros mais significativos do conjunto de dados, de modo que os índices gerados possam descrever a situação global e refletir mudanças, de forma sensível e representativa.

A técnica de Análise de Componentes Principais (PCA) utilizada, consiste em extrair as raízes e respectivos vetores próprios de uma matriz de semelhança entre as variáveis originais, tendo sido determinada uma matriz de correlações. Os vetores próprios são os redutores (componentes principais) do novo espaço de comparação e o grau de síntese é indicado pelas raízes correspondentes. Quanto maior o valor relativo da raiz, maior é a variação contida no próprio vetor entre as variáveis originais (PILLAR, 1998).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Tipos e Quantidades de Resíduos Depositados na UTRESA

Os principais tipos de resíduos e os volumes destinados à UTRESA, no período compreendido entre 1991, ano em que a UTRESA iniciou sua operação, até março de 2000, quando foi realizada a última campanha de amostragem, constam da Tabela 18.

Tabela 18: Tipos e quantidades de resíduos depositados na UTRESA (1991 a 03/2000)

TIPO	DE	CÓDIGO	UN	1991	07/93	07/94	07/95	07/96	07/97	07/98	07/99	TOTAL	
RESÍDUO				a	a	a	a	a	a	a	a		
				06/93	06/94	06/95	06/96	06/97	06/98	06/99	03/00		
Aparas e retalhos com cromo	D	0991	m ³	3898	3316	2869	4059	10570	14522	15040	17397	71671	
Cinzas da caldeira	A0111	t				24	3	71	20	50	47	215	
Aparas, retalhos de couro atinado	A0993	m ³		506	805	14	52		16		7	1400	
Fibra de vidro	A0084	m ³							41	159	96	296	
Lodo de caleiro	A0998	m ³		258	13	6	325	21			157	780	
Lodo de ETE com cromo	D0090	m ³		4385	6452	7011	8799	25675	17390	12390	13982	96084	
Lodo de ETE de galvanoplastia	F0006	m ³						621			365	986	
Lodo perigoso de ETE	D0050	m ³					345	576	590	804	781	3096	
Material com óleo	F0031	m ³								111	197	308	
Resíduo de borracha	A0080	m ³						218	1288	43	502	2051	
Resíduo de EVA	A0081	m ³							631	2194	1885	4710	
Resíduos têxteis	A0100	t									91	91	
Resíduo de PU	A0082	m ³								223	1196	1419	
Resíduo de tintas e pigmentos	K0780	m ³		23	26	5	101	253	80	150	225	863	
Resíduo perigoso de varrição	D	0096	m ³		36	46		63	191	893	145	216	1590
Resíduo de ETE não perigoso	A0210	m ³		3106	2390	1023	430	64			15	7028	
Resíduo plástico	A0071	t								44	783	827	
Serragem, farelo e pó com cromo	D0092	m ³		27317	10303	6714	16972	29118	18696	20260	18604	147984	
Serragem, farelo e pó de couro atinado	A0997	m ³		3721	1050	41	567	478		156	10	6023	
14 TOTAL	15	-	m ³	43250	24401	17683	31713	67859	54147	51675	55635	346289	

Para uma melhor avaliação da Tabela 18, observamos:

- as aparas e retalhos com cromo compreendem resíduos de curtumes e de fábricas de calçados;
- o lodo de curtumes de atinado foi considerado sob o código A0210;
- o resíduo de varrição foi sempre considerado perigoso, apesar de não ser informado assim pelos curtumes;
- os resíduos assinalados com * foram encaminhados para compostagem, razão pela qual não foram computados no somatório;
- o lodo perigoso de ETE compreende o lodo de diversos ramos industriais, exceto de curtume e de galvanoplastia;
- não foram computados nos totais, os resíduos quantificados em toneladas.

Além dos resíduos listados na Tabela 18 foram, também, depositados na UTRESA, entre outros: aparas salgadas, areia de fundição, borra de retífica, espumas, limalha de aço, resíduo de materiais têxteis (panos e estopas), resíduos orgânicos de processo, carnaça, aparas caleadas, couro cru, areia de fundição, solo contaminado, embalagens vazias contaminadas, cera e lâmpadas fluorescentes.

Alguns resíduos encaminhados à UTRESA são destinados a outras empresas, para reaproveitamento, tais como: hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio e hidróxido de alumínio, soda cáustica, ácido clorídrico, borra de tinta de alumínio, óleo para engraxe de couro, lodo galvânico (micronutrientes para produção de adubos), cloreto de alumínio, espumas, borra ácida, borra de PVA, resina acrílica, permanganato de potássio e resíduo de algodão.

Na UTRESA também são recuperados, tonéis e bombonas, sucata de ferro, resíduo plástico, papelão, solados e resíduos de madeira, para venda posterior.

Analisando a Tabela 18 observa-se que houve um considerável aumento na quantidade de resíduos depositados na Central ao longo dos anos.

6.2 Níveis de água nos poços de monitoramento e pluviometria

A Tabela 19 mostra as medições do nível da água realizadas nos poços de monitoramento, trimestralmente, no período de amostragem e a profundidade dos mesmos.

A Figura 28 mostra as variações do nível de água no período de amostragem e na Figura 29 verifica-se a variação do nível de água em cada poço, salientando-se que o zero (0) corresponde à superfície do terreno a partir da qual foram medidos os níveis de água estáticos.

16 Tabela 19: Níveis de água nos poços de monitoramento

POÇO	Prof (m)	Julho/99	Setembro/99	Dezembro/99	Março/00
PM 00	8,17	*	*	1,52	1,82
PM 01	3,70	0,13	0,22	0,61	0,46
PM 02	5,02	2,82	2,85	3,67	3,62
PM 03	10,39	0,99	0,91	1,47	1,69
PM 04	2,74	1,39	1,47	1,71	1,84
PM 05	4,37	0,71	0,90	1,32	2,37
PM 06	1,88	0,38	0,85	1,62	**
PM 07	2,49	1,00	1,05	2,09	**
PM 08	2,92	1,18	1,24	1,67	2,27

* Dados desprezados porque o PM 01 foi realocado em dez/99

**Não determinado

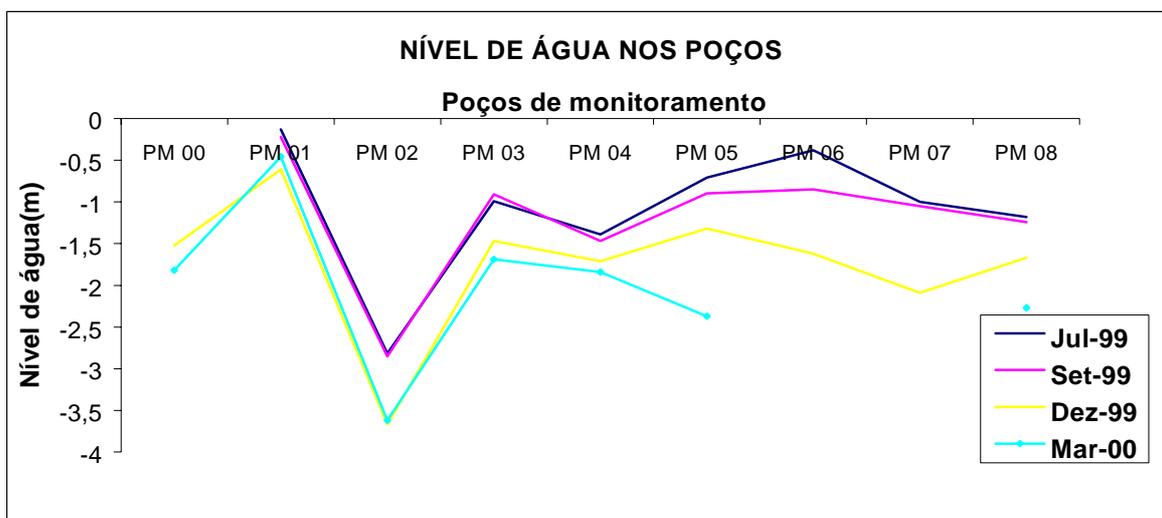


Figura 28: Variações do nível de água durante o período de amostragem

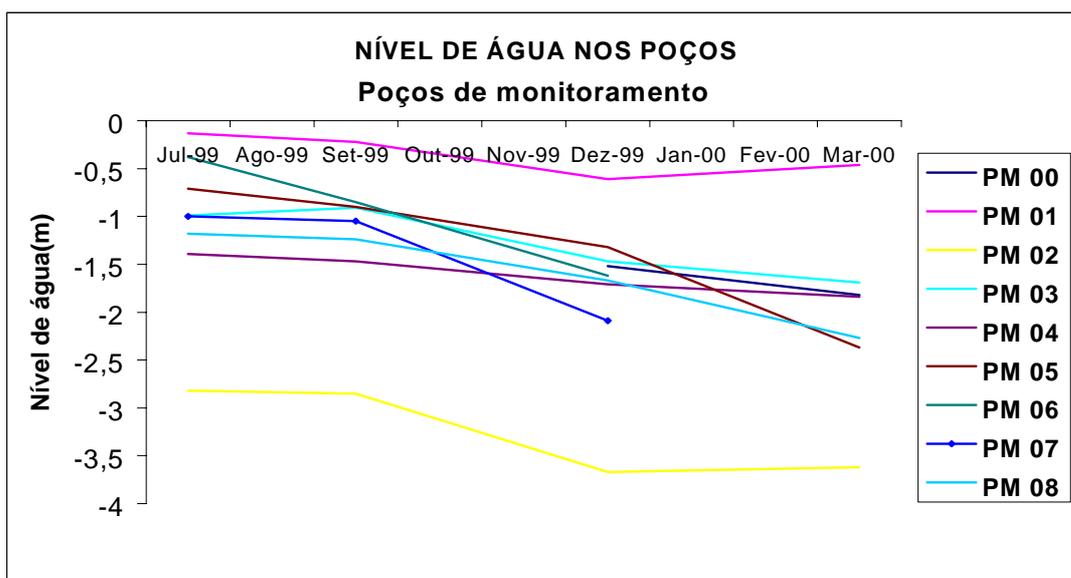


Figura 29: Variações do nível de água em cada poço no período de amostragem

A Tabela 20 e a Figura 30 mostram dados sobre a precipitação pluviométrica média anual (mm) da região. Os dados foram fornecidos pelo Serviço de Meteorologia da Secretaria Municipal do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de São Leopoldo (RS) e obtidos na Estação de Observação Meteorológica José Soares Lima, em São Leopoldo, no período de 1987 a 1999.

Observa-se na Figura 30, que o período chuvoso corresponde aos meses de junho a outubro e ao mês de janeiro e o período de estiagem corresponde aos meses de março e maio.

Tabela 20: Precipitação média anual para a região

MÊS	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
PP (mm)	172,5	113,8	88,3	134,1	86,5	163,6	160,2	134,5	154,6	163,9	118,8	110,7

PP = precipitação

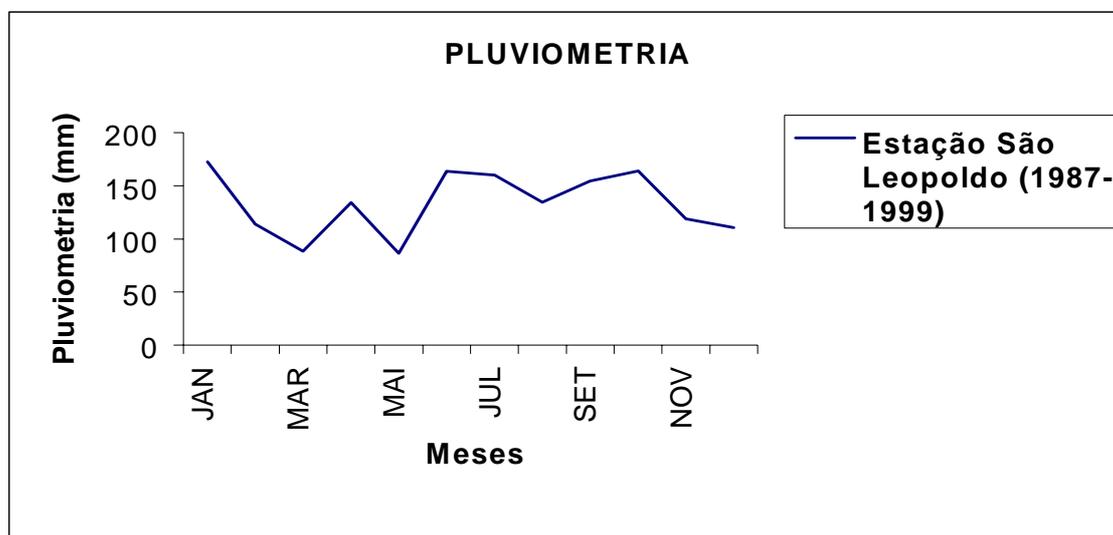


Figura 30: Precipitação média anual para a região

Comparando as Figuras 28 e 30, verifica-se que os níveis mais baixos de água nos poços de monitoramento ocorreram nas medições relativas ao mês de março de 2000 e os níveis mais elevados nas medições relativas aos meses de julho e setembro de 1999, correspondendo, respectivamente, aos períodos de mais baixa e mais alta precipitação pluviométrica na região.

Na Tabela 21 observam-se os valores dos níveis potenciométricos dos poços de monitoramento do aquífero freático.

Tabela 21: Níveis Potenciométricos dos poços de monitoramento

POÇO	COTA TOPOG. (m)	NÍVEL POTENCIOMÉTRICO			
		Julho/99	Setembro/99	Dezembro/99	Março/00
PM 00	36,000	*	*	34,480	34,180
PM 01	32,476	32,346	32,256	31,866	32,016
PM 02	33,294	30,474	30,444	29,624	29,674
PM 03	28,193	27,203	27,283	26,723	26,503
PM 04	23,855	22,465	22,385	22,145	22,015
PM 05	18,063	17,353	17,163	16,743	15,693
PM 06	24,027	23,647	23,177	22,407	*
PM 07	28,121	27,121	27,071	26,031	*
PM 08	33,084	31,904	31,844	31,414	30,814

* Não foi possível calcular

Nas Tabelas 22 e 23 são apresentados dados relativos às cotas topográficas e aos níveis potenciométricos dos pontos e poços de monitoramento marcados nos eixos AA' e BB' da Figura 11.

Tabela 22: Níveis potenciométricos e cotas topográficas no eixo AA'

PONTO	COTA TOPOG. (m)	DISTÂNCIA (m)	NÍVEL POTENCIOMÉTRICO			
			Julho/99	Setembro/99	Dezembro/99	Março/00
A	26,7	0	*	*	*	*
A1	30	116	*	*	*	*
A2	35	153	*	*	*	*
A3	35	218	*	*	*	*
PM 02	33,294	236	30,474	30,444	29,624	29,674
A4	30	260	*	*	*	*
A5	30	280	*	*	*	*
A6	30	316	*	*	*	*
A7	30	322	*	*	*	*
A8	25	542	*	*	*	*
PM 04	23,855	552	22,465	22,385	22,145	22,015
A9	20	594	*	*	*	*
PM 05	18,063	612	17,353	17,163	16,743	15,693
A'	15,000	654	*	*	*	*

*Não existe poço de monitoramento no local

22 Tabela 23: Níveis potenciométricos e cotas topográficas no eixo BB'

PONTO	COTA TOPOG. (m)	DISTÂNCIA (m)	NÍVEL POTENCIOMÉTRICO			
			Julho/99	Setembro/99	Dezembro/99	Março/00
B	35,000	0	*	*	*	*
PM 08	33,084	34	31,904	31,844	31,414	30,814
B1	30	118	*	*	*	*
PM 07	28,121	150	27,121	27,071	26,031	*
B2	25	220	*	*	*	*
PM 06	24,027	234	23,647	23,177	22,407	*
B3	20	282	*	*	*	*
B'	15,000	404	*	*	*	*

*Não existe poço de monitoramento no local

Nas Figuras 31 e 32, observa-se que o aquífero freático acompanha a topografia do terreno, no sentido do Arroio Estância Velha, em cujas imediações encontra-se localizado o PM 05.

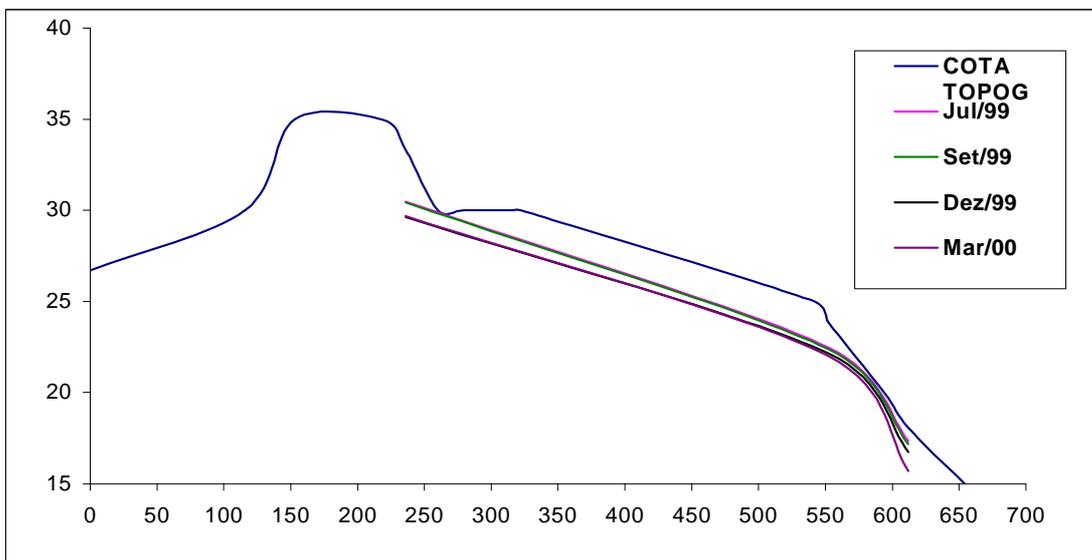


Figura 31: Nível potenciométrico no eixo AA'

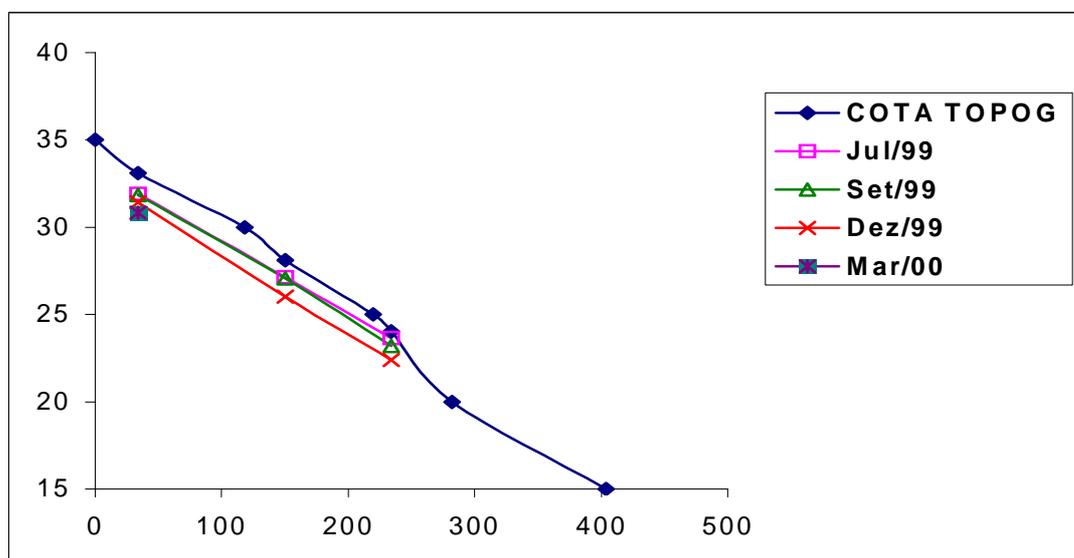


Figura 32: Nível potenciométrico no eixo BB'

6.3 Aplicação dos métodos estatísticos

6.3.1 Estatística descritiva

Nas Tabelas 24 a 39 podem ser visualizados os resultados obtidos nas análises das águas coletadas nos 9 poços de monitoramento, nas 4 amostragens realizadas no período de julho de 1999 a março de 2000.

Tabela 24: Resultados do monitoramento de águas subterrâneas analisados em campo – Julho/99
 Datas: 30.06.99, 01.07.99 e 20.07.99

Parâmetro Unidade	Condutiv* * ($\mu\text{S/cm}$)	TDS * * (mg/L)	Eh * (mV)	pH*	OD** (mg/L)	Temp.** °C
PM 00	33,1	15,0	368	4,70	2,1	20,1
PM 01	64,1	30,0	349	4,78	4,9	18,0
PM 02	83,7	38,0	397	5,00	2,4	19,1
PM 03	2240	1010	398	4,63	4,8	19,0
PM 04	1367	615	176	5,88	5,9	17,1
PM 05	2290	1033	153	5,71	6,0	17,0
PM 06	341	153	237	5,81	3,4	15,1
PM 07	193	87,0	279	6,07	1,7	16,1
PM 08	448	202	313	5,10	3,6	17,0

* Medições realizadas na superfície

** Medições realizadas a meia profundidade da coluna de água no poço de monitoramento

Tabela 25: Resultados do monitoramento de águas subterrâneas analisados em campo – Setembro/99
 Datas: 28.09.99 e 29.09.99

Parâmetro Unidade	Condutiv ** ($\mu\text{S/cm}$)	TDS ** (mg/L)	Eh * (mV)	pH*	OD** (mg/L)	Temp.** °C
PM 00	28,7	14,0	271	5,19	1,1	20,1
PM 01	53,5	24,0	204	5,10	3,1	18,2
PM 02	95,9	43,0	233	5,20	0,7	19,2
PM 03	1851	833	300	4,50	3,3	18,4
PM 04	1276	576	137	5,20	1,1	19,1
PM 05	2430	1094	85,2	5,98	0,9	17,6
PM 06	443	20	308	5,47	3,8	17,4
PM 07	154	70,0	99,4	6,02	1,0	17,8
PM 08	391	175	213	5,10	3,2	17,4

* Medições realizadas na superfície

** Medições realizadas a meia profundidade da coluna de água no poço de monitoramento

Tabela 26: Resultados do monitoramento de águas subterrâneas analisados em campo – Dezembro/99

Datas: 28.12.99 e 29.12.99

Parâmetro Unidade	Condutiv* * ($\mu\text{S/cm}$)	TDS* * (mg/L)	Eh * (mV)	pH*	OD** (mg/L)	Temp.** °C
PM 00	31,3	14,0	224	5,21	2,2	20,3
PM 01	61,1	31,0	219	5,00	2,8	20,5
PM 02	103	52,0	226	4,68	1,1	20,0
PM 03	1097	561	223	5,00	3,6	19,3
PM 04	1428	684	199	5,31	2,0	22,2
PM 05	3380	1710	174	5,93	1,2	20,6
PM 06	355	171	216	6,15	2,1	21,2
PM 07	143	70,0	214	6,40	1,3	21,6
PM 08	368	179	217	4,80	1,8	21,9

* Medições realizadas na superfície

** Medições realizadas a meia profundidade da coluna de água no poço de monitoramento

Tabela 27: Resultados do monitoramento de águas subterrâneas analisados em campo – Março/00

Datas: 29.03.00 e 30.03.00

Parâmetro Unidade	Condutiv ** ($\mu\text{S/cm}$)	TDS ** (mg/L)	Eh * (mV)	pH*	OD** (mg/L)	Temp.** °C
PM 00	31,5	15,0	168	5,50	2,9	21,7
PM 01	65,1	31,0	169	5,20	3,7	22,3
PM 02	143	70,0	162	5,00	1,6	20,9
PM 03	596	293	163	4,90	3,0	21,0
PM 04	1716	777	145	4,90	3,6	24,9
PM 05	6610	3093	91,0	6,20	1,9	21,0
PM 06	37,8	19,0	219	5,60	5,7	19,8
PM 07	55,0	27,0	278	7,20	7,1	21,4
PM 08	360	173	146	5,20	2,4	22,1

* Medições realizadas na superfície

** Medições realizadas a meia profundidade da coluna de água no poço de monitoramento

Tabela 28: Resultados do monitoramento de águas subterrâneas analisados em laboratório – Julho/99

Datas de coleta: 30.06.99, 01.07.99 e 20.07.99**

Parâmetro Unidade	DQO (mg/L)	Alcalinidade (mg/LCaCO ₃)	Turbidez (NTU)	SST (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)
PM 00	<5	3,60	22	69	3,41	5,31	0,800
PM 01	6	2,60	13	<10	10,2	2,07	1,71
PM 02	6	3,10	5,0	<10	10,4	13,8	0,720
PM 03	45	4,60	9,0	17	468	19,5	45,0
PM 04	17	20,1	50	75	62,0	3,36	12,0
PM 05	55,0	75,2	15	15	218	440	192
PM 06	8	24,2	9,0	121	74,7	0,490	5,84
PM 07	6	56,6	27	<10	11,9	0,550	2,44
PM 08	19	<0,500	6,0	<10	79,2	11,3	18,4

** coleta de amostras realizada a meia profundidade da coluna de água no poço de monitoramento

Tabela 29: Resultados do monitoramento de águas subterrâneas analisados em laboratório – Setembro/99

Datas de coleta: 28.09.99 e 29.09.99**

Parâmetro Unidade	DQO (mg/L)	Alcalinidade (mg/LCaCO ₃)	Turbidez (NTU)	SST (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)
PM 00	<5	5,20	10	15	3,60	0,800	<1,00
PM 01	<5	2,60	13	<10	10,2	0,700	1,00
PM 02	<5	4,10	6,0	<10	7,40	42,5	<1,00
PM 03	41	5,50	13	17	617	6,40	31,0***
PM 04	68,0	27,3	125	78	316***	0,800	39,0
PM 05	55,0	99,4	28	<10	296	193	356
PM 06	12	8,20	12	15	125***	5,40	14,0
PM 07	7	33,0	20	13	24,6	0,100	2,00
PM 08	22	5,20	96	548	9,60	♦	3,40

♦ não analisado

** coleta de amostras realizada a meia profundidade da coluna de água no poço de monitoramento

*** parâmetros determinados através da físico-química

Tabela 30: Resultados do monitoramento de águas subterrâneas analisados em laboratório – Dezembro/99

Datas de coleta: 28.12.99 e 29.12.99**

Parâmetro Unidade	DQO (mg/L)	Alcalinidade (mg/LCaCO ₃)	Turbidez (NTU)	SST (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)
PM 00	<5	1,00	32	39	3,00	3,00	0,700
PM 01	31	2,00	154	56	12,0	0,700	1,00
PM 02	<5	6,20	29	42	10,5	34,0	<0,500
PM 03	40	4,10	19	11	334	13,0	19,0
PM 04	72,0	28,0	167	224	380	1,20	38,0
PM 05	88,0	101	26	14	20,0	86,4	415
PM 06	184	53,7	87	75	86,5	30,0	4,00
PM 07	<5	43,6	47	<10	23,0	<0,500	1,50
PM 08	23	3,60	23	26	109	10,4	1,20

** coleta de amostras realizada a meia profundidade da coluna de água no poço de monitoramento

Tabela 31: Resultados do monitoramento de águas subterrâneas analisados em laboratório – Março/00

Datas de coleta: 29.03.00 e 30.03.00**

Parâmetro Unidade	DQO (mg/L)	Alcalinidade (mg/LCaCO ₃)	Turbidez (NTU)	SST (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)
PM 00	<5	1,30	11	18	3,20	9,00	0,600
PM 01	<5	0,500	8	<10	16,5	1,60	2,30
PM 02	<5	4,10	17	18	20,0	36,0	0,500
PM 03	7	5,20	6	<10	174	27,4	26,6
PM 04	116	54,1	129	160	509	0,700	27,5
PM 05	70,0	360	39	17	2550	21,8	113
PM 06	20	39,2	♦	467	♦	4,00	♦
PM 07	20	43,3	102	235	♦	5,00	2,20
PM 08	13	1,30	4	<10	108	12,0	0,500

♦ não analisado

** coleta de amostras realizada a meia profundidade da coluna de água no poço de monitoramento

Tabela 32: Metais dissolvidos em águas subterrâneas – Julho/99

Datas: 30.06.99, 01.07.99 e 20.07.99

Parâmetro	Cd	Cu	Pb	Ni	Zn	Fe ^T	Mn	Cr ^T	Na	K	Ca	Mg
Unidade	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
L.D.	0,002	0,006	0,018	0,009	0,001	0,009	0,004	0,020	0,100	0,100	0,100	0,500
PM 00	nd	nd	nd	nd	0,058	0,023	0,013	nd	2,50	0,565	1,04	0,806
PM 01	nd	nd	nd	nd	0,081	0,021	0,300	nd	4,55	0,884	2,67	1,24
PM 02	nd	nd	nd	nd	0,032	0,213	0,410	nd	9,06	0,180	1,42	1,96
PM 03	nd	0,018	0,038	0,018	0,300	0,905	0,960	nd	272	7,25	28,8	37,9
PM 04	nd	nd	nd	nd	0,081	14,1	0,285	nd	29,6	3,71	5,90	5,39
PM 05	nd	0,010	nd	0,016	0,212	4,90	3,12	0,039	163	14,8	47,9	21,4
PM 06	nd	nd	nd	nd	0,052	0,084	0,510	nd	29,5	2,09	12,6	6,29
PM 07	nd	nd	nd	nd	0,050	0,017	0,141	nd	10,8	3,08	10,5	2,42
PM 08	nd	nd	0,046	nd	0,037	0,032	0,093	nd	50,3	1,93	7,36	6,44

nd – não detectado

L.D. – Limite de Detecção

Tabela 33: Metais dissolvidos em águas subterrâneas – Setembro/99

Datas: 28.09.99 e 29.09.99

Parâmetro	Cd	Cu	Pb	Ni	Zn	Fe ^T	Mn	Cr ^T	Na	K	Ca	Mg
Unidade	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)
L.D.	0,002	0,006	0,018	0,009	0,001	0,009	0,004	0,020	0,100	0,100	0,100	0,500
PM 00	nd	nd	nd	nd	0,010	0,021	0,016	nd	4,00	0,473	0,85	0,590
PM 01	nd	nd	nd	nd	0,134	0,020	0,149	nd	4,12	0,834	2,58	0,800
PM 02	nd	nd	nd	nd	0,016	0,135	0,620	nd	9,20	0,131	1,80	2,50
PM 03	0,003	0,044	0,031	0,011	0,730	1,50	0,134	nd	264	6,53	44,0	23,0
PM 04	nd	nd	nd	nd	0,198	83,8	1,43	nd	98,4	5,73	13,3	12,5
PM 05	nd	nd	nd	nd	0,073	9,79	6,05	0,053	175	7,02	30,3	9,00
PM 06	nd	nd	nd	nd	0,154	0,076	0,172	nd	43,6	1,35	16,2	6,00
PM 07	nd	nd	nd	nd	0,090	0,009	0,126	nd	9,20	3,50	10,6	2,00
PM 08	nd	nd	nd	nd	0,046	0,033	0,086	nd	55,6	2,03	9,60	4,00

nd – não detectado

L.D. – Limite de Detecção

Tabela 34: Metais dissolvidos em águas subterrâneas – Dezembro/99

Datas: 28.12.99 e 29.12.99

Parâmetro	Cd	Cu	Pb	Ni	Zn	Fe ^T	Mn	Cr ^T	Na	K	Ca	Mg
Unidade	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
L.D.	0,002	0,006	0,018	0,009	0,001	0,009	0,004	0,020	0,100	0,100	0,100	0,500
PM 00	nd	nd	nd	nd	0,109	0,020	0,012	nd	2,23	0,875	1,22	0,998
PM 01	nd	nd	nd	nd	0,025	0,076	0,090	nd	4,18	0,938	3,53	0,470
PM 02	nd	nd	nd	nd	0,068	0,142	0,170	nd	10,4	0,153	2,55	4,61
PM 03	0,004	0,016	nd	0,010	◆	0,658	0,100	nd	165	8,75	20,7	15,2
PM 04	0,004	nd	nd	nd	0,162	113	1,43	nd	113	6,34	12,6	15,6
PM 05	0,004	nd	nd	nd	0,148	24,6	6,70	0,072	312	9,35	32,7	14,7
PM 06	nd	nd	nd	nd	0,122	0,225	0,146	nd	28,3	1,69	25,4	4,23
PM 07	nd	nd	nd	nd	0,030	2,06	0,096	nd	7,41	3,64	9,64	1,93
PM 08	nd	nd	nd	nd	0,036	0,232	0,085	nd	46,4	2,05	7,25	4,56

nd – não detectado

L.D. – Limite de Detecção

◆ não analisado

Tabela 35: Metais dissolvidos em água subterrânea – Março/00

Datas: 29.03.00 e 30.03.00

Parâmetro	Cd	Cu	Pb	Ni	Zn	Fe ^T	Mn	Cr ^T	Na	K	Ca	Mg
Unidade	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
L.D.	0,002	0,006	0,018	0,009	0,001	0,009	0,004	0,020	0,100	0,100	0,100	0,500
PM 00	nd	nd	nd	nd	0,013	0,015	0,014	nd	2,50	1,14	1,05	2,00
PM 01	nd	nd	nd	nd	0,030	0,246	0,172	nd	4,90	1,05	3,68	1,52
PM 02	nd	nd	nd	nd	0,021	0,164	0,850	nd	13,3	0,149	3,17	5,21
PM 03	0,003	nd	nd	nd	0,016	0,118	0,158	nd	73,0	6,88	12,5	9,51
PM 04	0,004	0,013	nd	nd	0,066	155	1,70	nd	95,0	6,28	16,9	23,2
PM 05	0,010	0,008	nd	nd	0,017	400	45,6	0,019	640	27,0	131	91,4
PM 06	0,003	nd	nd	nd	0,005	0,261	0,008	nd	7,70	2,34	1,29	0,940
PM 07	nd	nd	nd	nd	0,005	0,114	0,011	nd	5,30	3,12	3,39	1,35
PM 08	nd	nd	nd	nd	0,017	0,093	0,089	nd	44,0	1,93	7,11	5,36

nd – não detectado

L.D. – Limite de Detecção

As determinações relativas à concentração de metais totais, constantes das Tabelas 40 a 43 foram realizadas objetivando verificar a potencialidade de contaminação futura.

Tabela 36: Metais totais em água subterrânea – Julho/99

Datas: 30.06.99, 01.07.99 e 20.07.99

Parâmetro	Cd	Cu	Pb	Ni	Zn	Fe ^T	Mn	Cr ^T	Na	K	Ca	Mg
Unidade	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
L.D.	0,002	0,006	0,018	0,009	0,001	0,009	0,004	0,020	0,100	0,100	0,100	0,500
PM 00	nd	0,011	nd	nd	0,097	3,17	0,020	nd	2,60	0,857	1,49	1,07
PM 01	nd	0,009	nd	nd	0,106	0,375	0,300	nd	4,56	0,884	3,64	1,24
PM 02	nd	0,008	nd	nd	0,032	0,776	0,410	nd	9,08	0,215	1,43	1,96
PM 03	0,004	0,025	0,051	0,018	0,310	1,73	0,980	nd	287	7,97	32,2	39,4
PM 04	0,003	nd	nd	nd	0,111	21,4	0,315	nd	30,0	4,44	5,93	4,65
PM 05	0,004	0,022	0,023	0,016	0,212	5,70	3,20	0,040	175,0	15,80	50,1	21,5
PM 06	nd	0,007	nd	nd	0,077	0,511	0,520	nd	29,9	2,20	15,5	7,05
PM 07	nd	0,011	nd	nd	0,061	5,10	0,150	nd	10,8	3,31	12,8	2,63
PM 08	nd	0,009	0,058	nd	0,063	0,219	0,093	nd	75,6	1,95	8,97	6,44

nd – não detectado

L.D. – Limite de Detecção

Tabela 37: Metais totais em água subterrâneas – Setembro/99

Datas: 28.09.99 e 29.09.99

Parâmetro	Cd	Cu	Pb	Ni	Zn	Fe ^T	Mn	Cr ^T	Na	K	Ca	Mg
Unidade	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)
L.D.	0,002	0,006	0,018	0,009	0,001	0,009	0,004	0,020	0,100	0,100	0,100	0,500
PM 00	Nd	nd	nd	nd	0,120	0,331	0,016	nd	4,00	0,534	0,92	0,740
PM 01	Nd	nd	nd	nd	0,153	0,248	0,149	nd	4,12	0,893	3,15	0,920
PM 02	Nd	nd	nd	nd	0,016	0,810	0,620	nd	12,8	0,156	1,88	3,10
PM 03	0,003	0,079	0,098	0,011	0,870	3,72	0,665	nd	264	6,67	44,0	23,2
PM 04	Nd	0,008	0,019	nd	0,198	112	1,43	nd	111	6,10	17,6	13,0
PM 05	Nd	nd	nd	nd	0,122	12,0	6,15	0,056	190	7,26	40,8	9,50
PM 06	Nd	nd	nd	nd	0,156	0,175	0,205	nd	45,6	1,43	16,2	6,00
PM 07	Nd	0,008	nd	nd	0,090	3,08	0,130	nd	9,20	3,60	10,6	2,40
PM 08	Nd	nd	nd	nd	0,069	0,217	0,086	nd	57,6	2,03	9,60	4,00

nd – não detectado

L.D. – Limite de Detecção

Tabela 38: Metais totais em águas subterrâneas – Dezembro/99

Datas: 28.12.99 e 29.12.99

Parâmetro	Cd	Cu	Pb	Ni	Zn	Fe ^T	Mn	Cr ^T	Na	K	Ca	Mg
Unidade	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
L.D.	0,002	0,006	0,018	0,009	0,001	0,009	0,004	0,020	0,100	0,100	0,100	0,500
PM 00	nd	nd	nd	nd	0,117	0,528	0,015	nd	2,25	1,04	1,23	0,998
PM 01	nd	nd	nd	nd	0,042	0,474	0,105	nd	4,42	1,08	3,68	1,12
PM 02	nd	0,014	nd	nd	0,073	3,34	0,670	nd	10,4	0,227	4,42	4,61
PM 03	0,004	0,016	nd	0,010	0,155	1,48	0,100	nd	167	9,33	20,9	18,4
PM 04	0,004	0,008	nd	nd	0,177	114	1,43	nd	113	6,63	14,3	16,2
PM 05	0,004	0,007	nd	nd	0,155	27,3	6,90	0,076	312	9,76	32,7	16,3
PM 06	0,004	0,310	0,081	0,009	0,400	24,8	0,285	0,062	38,1	9,94	29,7	9,15
PM 07	nd	nd	0,022	nd	0,038	9,00	0,099	nd	7,41	3,38	9,64	1,93
PM 08	nd	nd	nd	nd	0,053	0,562	0,085	nd	50,4	2,11	7,38	5,01

nd – não detectado

L.D. – Limite de Detecção

Tabela 39: Metais totais em águas subterrâneas – Março/00

Datas: 29.03.00 e 30.03.00

Parâmetro	Cd	Cu	Pb	Ni	Zn	Fe ^T	Mn	Cr ^T	Na	K	Ca	Mg
Unidade	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
L.D.	0,002	0,006	0,018	0,009	0,001	0,009	0,004	0,020	0,100	0,100	0,100	0,500
PM 00	0,003	nd	nd	nd	0,080	1,46	0,024	nd	3,30	1,67	1,33	2,01
PM 01	nd	nd	nd	nd	0,035	0,282	0,240	nd	5,00	1,06	3,81	1,52
PM 02	nd	nd	nd	nd	0,026	1,27	0,860	nd	14,1	0,193	3,59	5,21
PM 03	0,003	nd	nd	nd	0,024	0,303	0,163	nd	78,0	7,02	12,6	9,51
PM 04	0,004	0,018	nd	nd	0,066	156	1,70	nd	95,0	6,32	16,9	23,7
PM 05	0,010	0,012	nd	nd	0,017	421	45,6	0,025	650	27,0	131	97,6
PM 06	0,005	0,027	0,057	0,055	0,168	51,5	0,440	0,020	10,6	10,6	14,8	8,77
PM 07	0,003	0,010	0,098	0,009	0,060	7,40	0,129	nd	6,00	4,55	5,55	2,07
PM 08	nd	nd	nd	nd	0,037	0,218	0,091	nd	45,0	1,93	7,11	6,21

nd – não detectado

L.D. – Limite de Detecção

Em 29.06.2000 foi realizada uma amostragem no PM 05, objetivando verificar se existia cromo na forma hexavalente, já que em todas as análises realizadas foi determinada a concentração de cromo total. Os resultados das análises encontram-se na Tabela 40, onde observa-se que todo o cromo está presente na forma trivalente.

Tabela 40: Parâmetros de monitoramento de águas subterrâneas analisados em campo e laboratório – Junho/00

Data: 29.06.2000

Parâmetro	pH	Condutividade	TDS	Eh	Cr ⁺⁶ dissolv	Cr ^{Total}	Cr ^T dissolv
Unidade		(µS/cm)	(mg/L)	(mV)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
PM 05	5,10	2400	1100	169	nd	0,090	0,076

nd não detectado

As Figuras 33 e 34 mostram os valores de condutividade e sólidos dissolvidos totais (TDS) nos 9 poços amostrados. Os valores de condutividade variaram na faixa de 28,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ até 6610 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e as concentrações de TDS variaram na faixa de 14,0 mg/L até 3093 mg/L.

Não há padrão de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde e pela Organização Mundial da Saúde (CETESB, 1994) para o parâmetro condutividade. Na legislação da Alemanha (CETESB, 1994), o padrão de potabilidade é de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e, conforme CUSTÓDIO & LLAMAS (1983), a condutividade de águas doces varia de 100 a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Em todos os pontos amostrados e em todas as campanhas foram observados valores superiores àqueles encontrados no ponto controle para os parâmetros TDS e condutividade, com valores bastante elevados nos poços PM 03, PM 04 e, principalmente, no PM 05, o que nos permite afirmar que o conteúdo de íons dissolvidos aumentou e correlaciona-se com o aumento do grau de contaminação dos poços. Este fato pode ser confirmado através da observação das Figuras 43, 44, 45, 47 e 48, 49 e 50, 51, 52, 53, 54 e 55, que apresentam, respectivamente as concentrações de cloretos, sulfatos, nitratos, ferro, manganês, cromo, sódio, magnésio, potássio e cálcio.

Na Figura 34 é salientado o padrão de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde (CETESB, 1994) para o parâmetro TDS, observando-se resultados superiores aos referidos padrões em todas as amostragens realizadas no poço PM 05 e leve ultrapassagem no PM 03 em julho de 1999.

Observa-se que o PM 05 apresentou valores muito elevados para TDS e condutividade no mês de março de 2000, bem como para os íons cloreto, ferro, manganês, sódio, magnésio, potássio e cálcio (Figuras 43, 47, 49, 52, 53, 54 e 55). Esse mês corresponde ao período de estiagem e talvez possa haver uma contribuição do arroio Estância Velha na qualidade do água do poço PM 05 nesta época do ano.

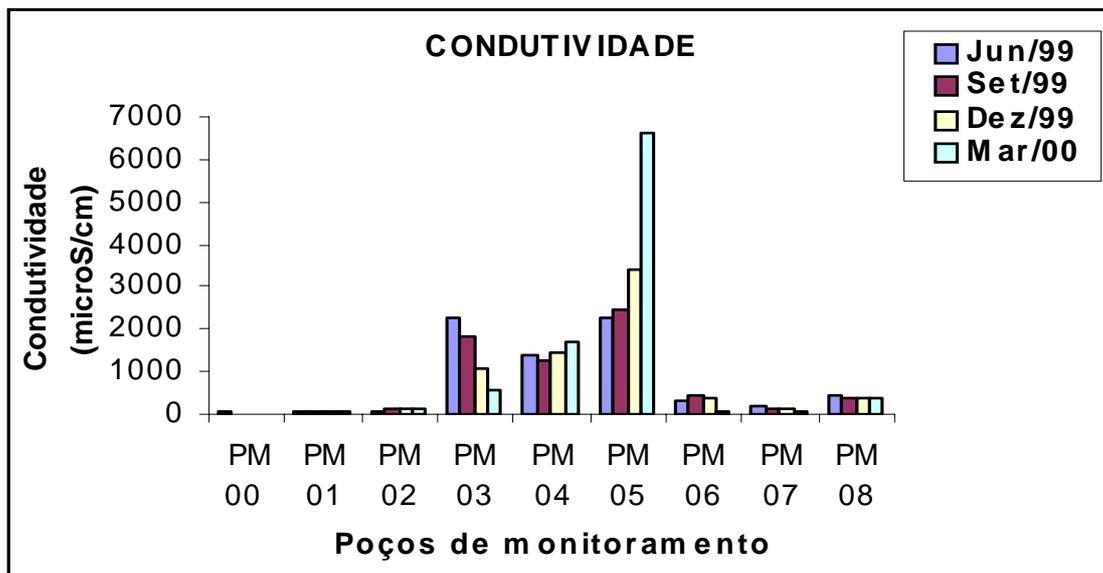


Figura 33: Valores de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

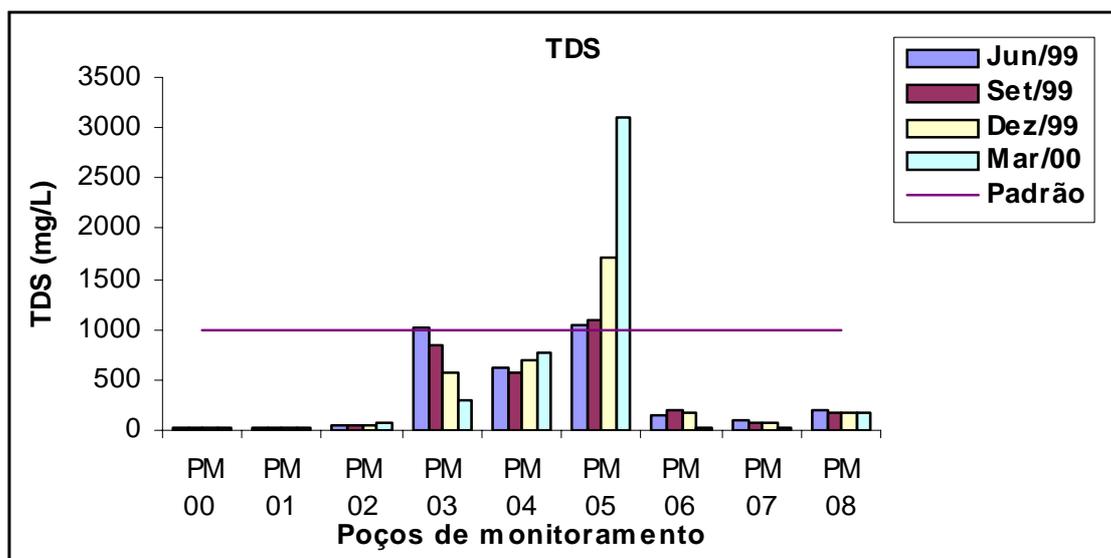


Figura 34: Concentrações de TDS (mg/L)

Na Figura 35 observa-se os valores de Eh, que variaram de 85,2 mV a 398 mV, apresentando caráter oxidante em todos os poços. Os valores mais baixos foram observados nos poços PM 04 e PM 05 e as amostragens do mês de março, que

correspondem ao período de estiagem, apresentaram os mais baixos valores de Eh para todos os pontos, com exceção do PM 07.

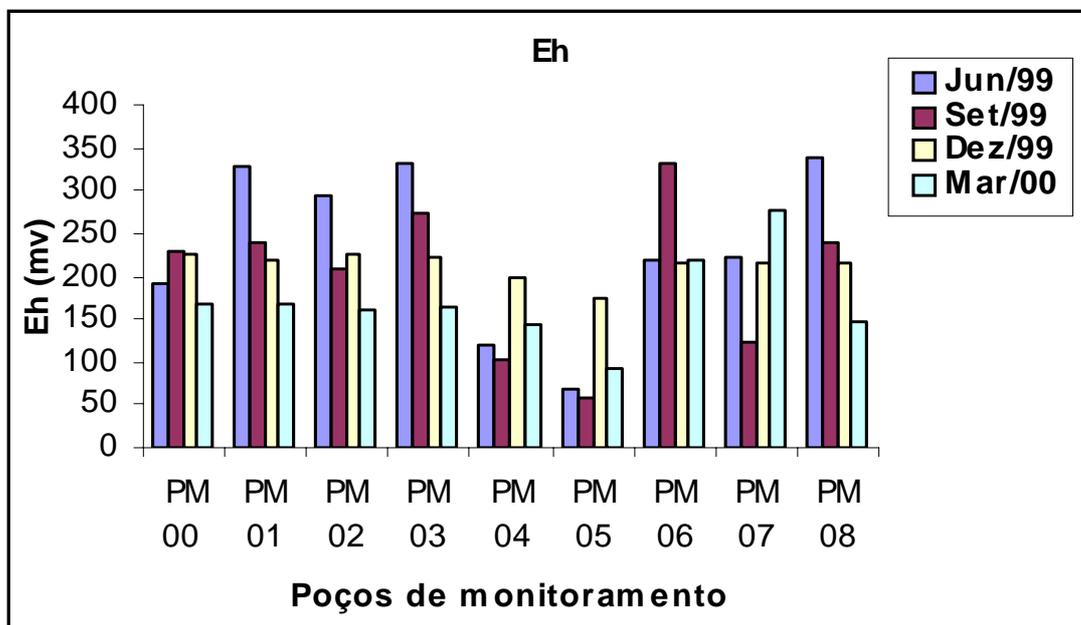


Figura 35: Valores de Eh (mV)

Na Figura 36 é apresentado o resultado dos valores de pH, observando-se que o caráter ácido foi mantido em todos os poços amostrados, com exceção do PM 07 em março de 2000, que apresentou pH de 7,2. O pH nos demais poços variou entre 4,50 e 6,40, não tendo sido observadas significativas variações temporais em cada poço amostrado.

Os valores de pH medidos não se enquadram na faixa de pH recomendada pelo Ministério da Saúde e pela OMS (CETESB, 1994) para águas destinadas ao abastecimento público, porém são compatíveis com os valores encontrados no ponto controle. Os valores de pH ácidos favorecem a lixiviação dos metais, concentrando-os dissolvidos na fase aquosa.

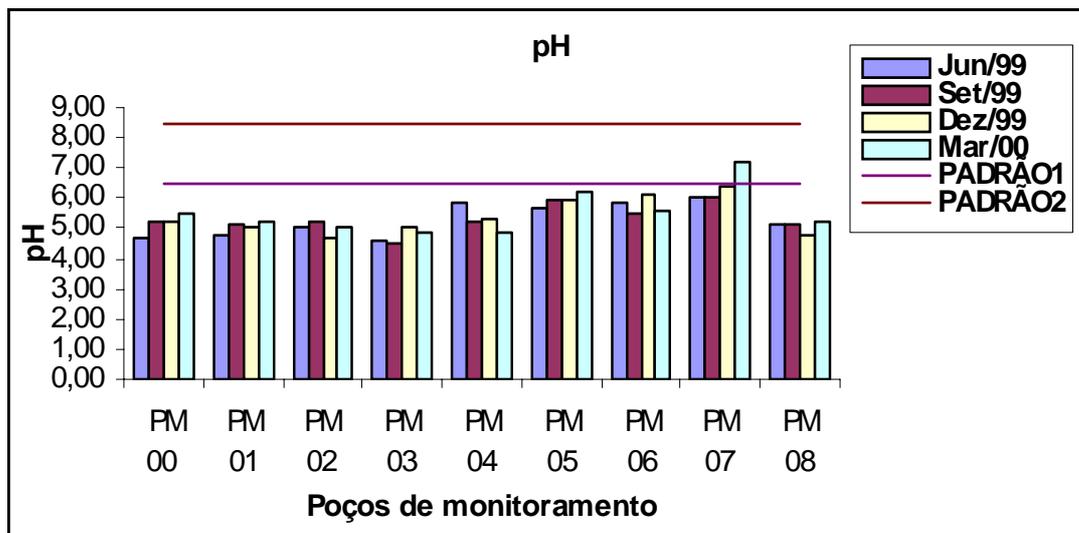


Figura 36: Valores de pH

As concentrações de OD podem ser visualizadas na Figura 37 e variaram entre 0,7 mg/L e 7,1 mg/L. Quase todos os valores medidos encontram-se na faixa entre 1,0 e 5,0 mg/L, típica de águas subterrâneas, conforme CUSTÓDIO & LLAMAS (1983). Não foi possível estabelecer uma correlação entre os valores de Eh e OD nos diferentes pontos amostrados. Os baixos teores de OD em alguns poços podem estar relacionados ao consumo elevado dessa substância nas reações de decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos depositados na UTRESA.

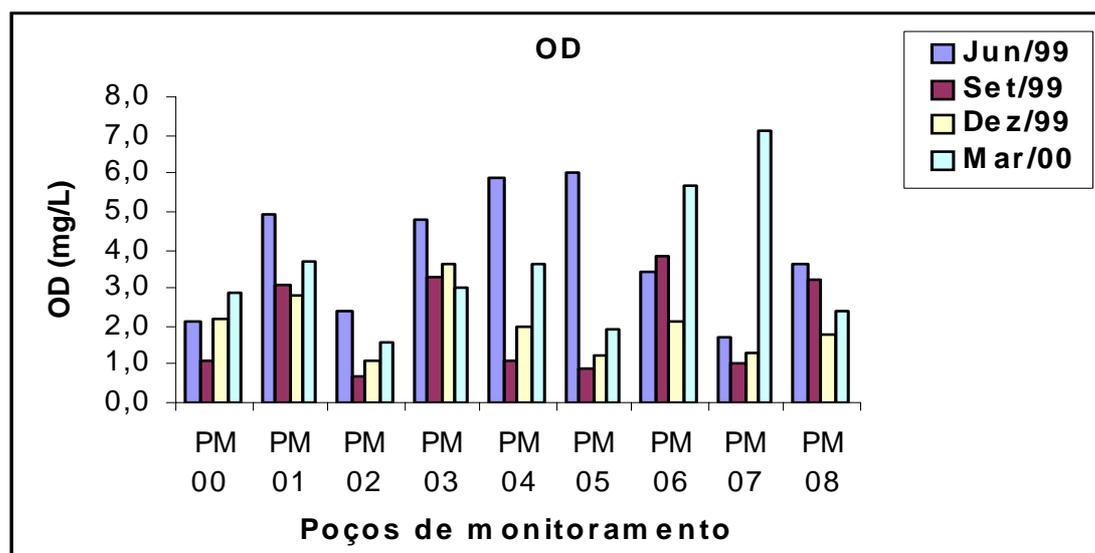


Figura 37: Concentrações de OD (mg/L)

A Figura 38 apresenta o resultado das medidas de temperatura, observando-se nitidamente que as amostragens de julho e setembro representam os meses mais frios e as amostragens de dezembro e março representam os meses mais quentes.

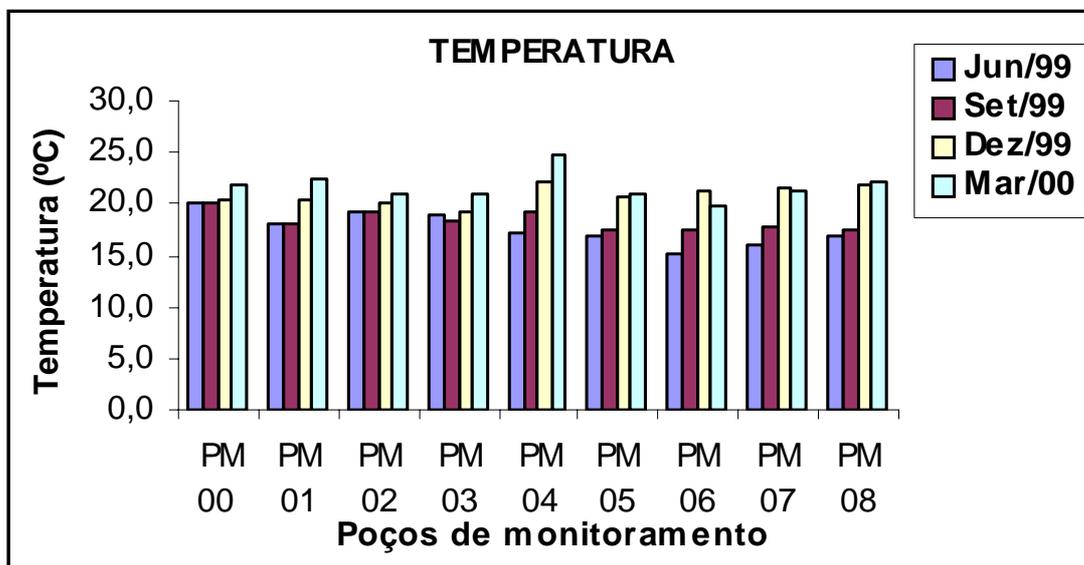


Figura 38: Valores de temperatura (° C)

Nos gráficos a seguir, os resultados “nd” ou “<” das Tabelas 28 a 39 foram substituídos pela metade do valor relativo ao limite de detecção.

A Figura 39 mostra os valores de DQO, cujas concentrações variaram de valores inferiores a 5 mg/L até 184 mg/L. De acordo com CUSTÓDIO & LLAMAS (1997), valores superiores a 10 mg/L podem ser um claro indício de contaminação.

Observa-se que os poços PM 03, PM 04 e PM 05 apresentaram valores bastante superiores aos do ponto controle e superiores a 10 mg/L em todas as amostragens, sugerindo sua contaminação. Os poços PM 06, PM 07 e PM 08 também apresentaram concentrações superiores ao ponto controle.

Na Figura 40 observam-se os valores de alcalinidade, que variaram de 1,00 até 360 mg/L da CaCO_3 . Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos e a distribuição dessa três formas é função do pH. Os valores

mais elevados de alcalinidade observados nos poços PM 04, PM 05, PM 06 e PM 07 demonstram que as concentrações de CaCO_3 foram suficientes para elevar o pH, conforme pode ser verificado na Figura 36. A alcalinidade não tem significado sanitário para a água potável.

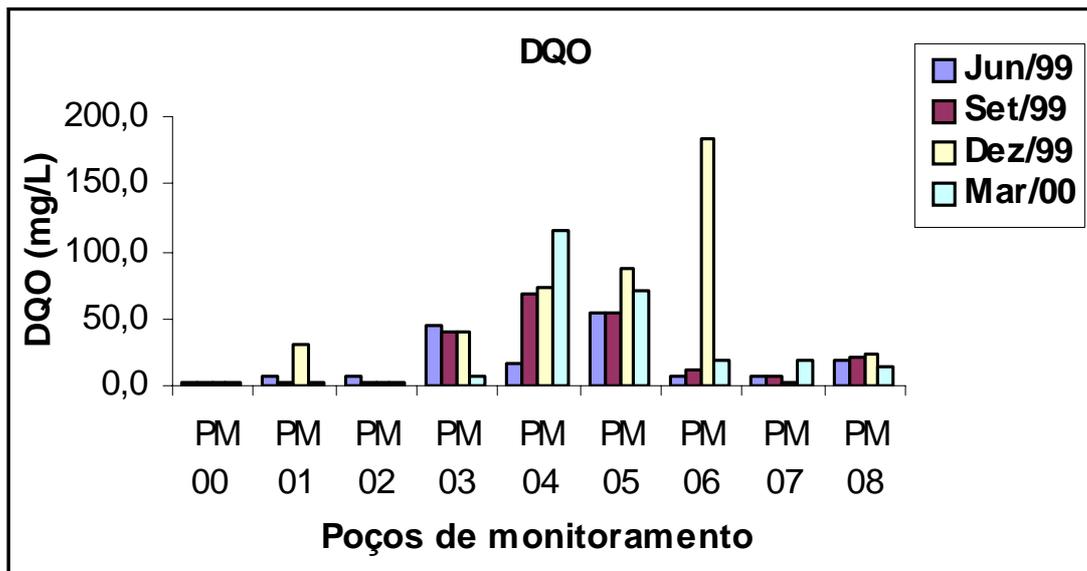


Figura 39: Concentrações de DQO (mg/L)

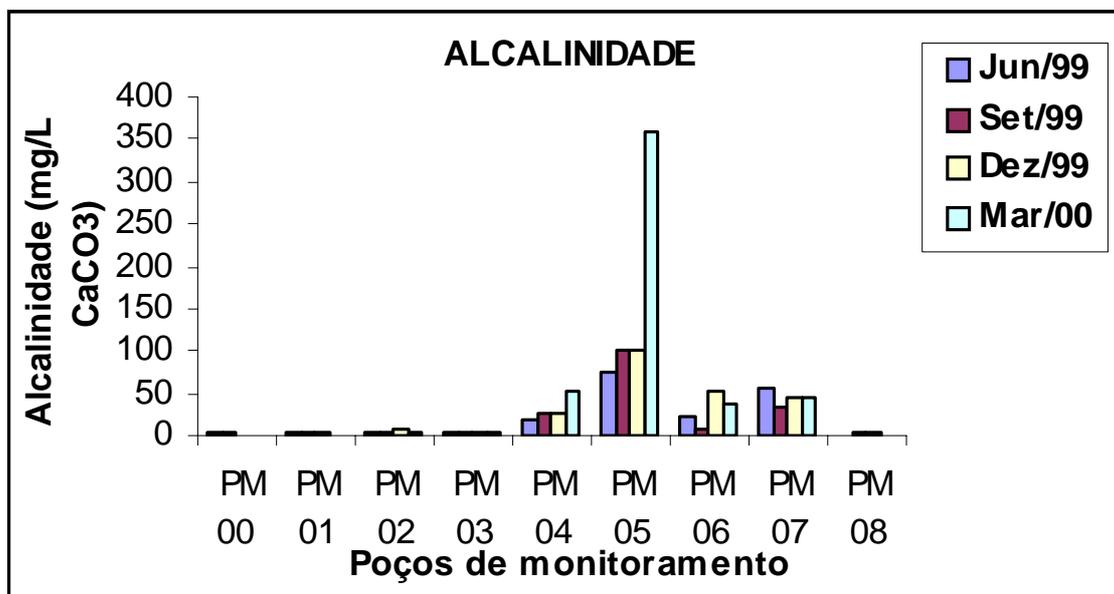


Figura 40: Valores de alcalinidade (mg/L CaCO_3)

Nas Figuras 41 e 42 observam-se os valores de turbidez e sólidos suspensos totais (SST). De acordo com CUSTÓDIO & LLAMAS (1983), a turbidez e o teor de sólidos suspensos das águas subterrâneas é, em geral, menor do que 1 mg/L. Os elevados valores encontrados devem-se, provavelmente, ao precário estado de conservação dos poços.

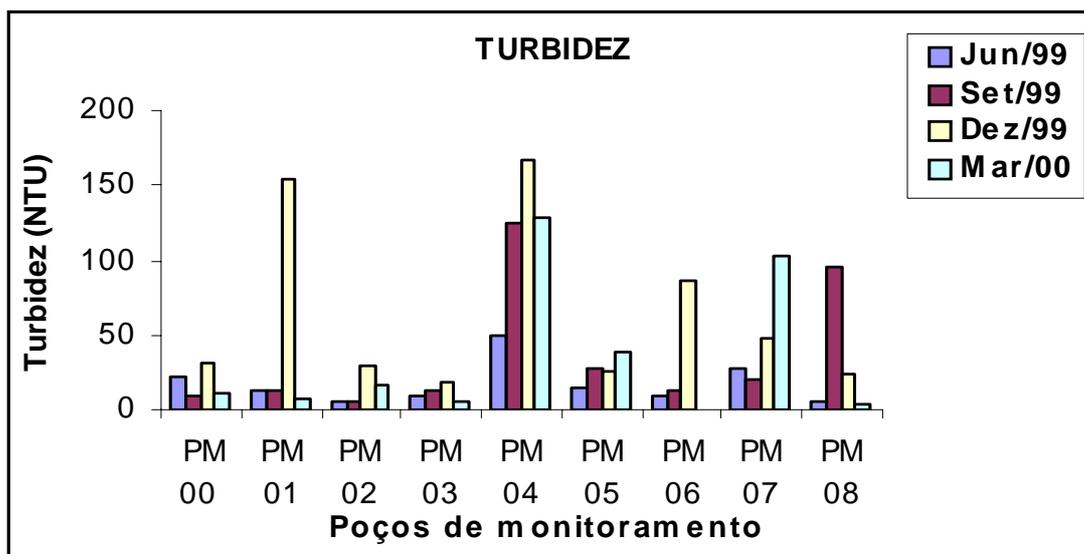


Figura 41: Valores de turbidez (NTU)

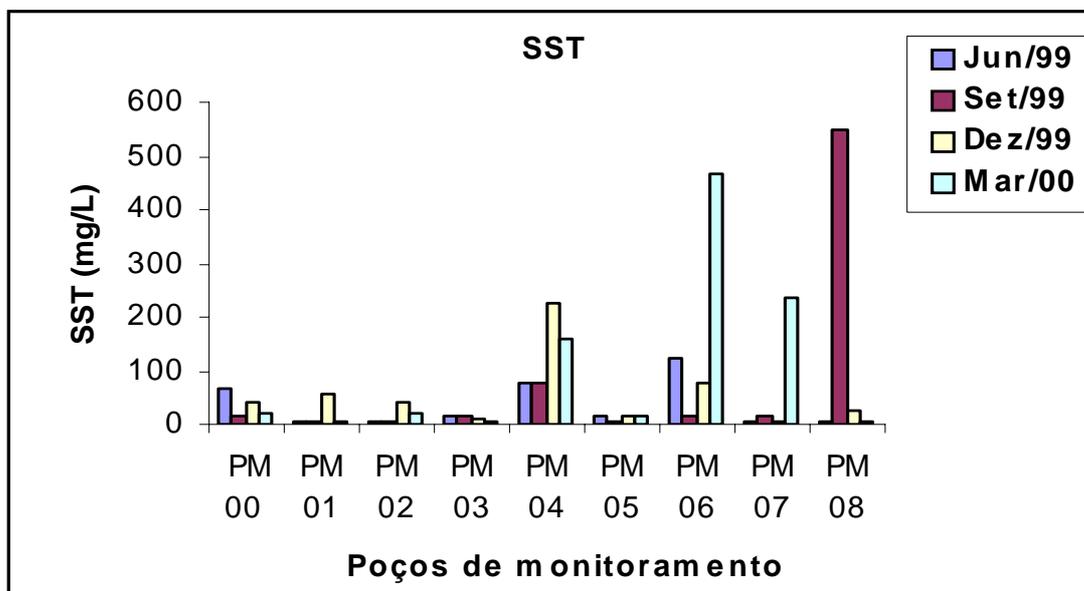


Figura 42: Concentrações de SST (mg/L)

A Figura 43 apresenta os resultados obtidos para o parâmetro cloreto, sendo salientado o padrão de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde e pela OMS (CETESB, 1994). Os valores variaram de 3,00 até 2550 mg/L, observando-se resultados superiores ao referido padrão e ao ponto controle nos poços PM 03, PM 04 e PM 05.

O cloreto de sódio é utilizado como conservante de peles nos curtumes e está presente no lodo e nos demais resíduos depositados na UTRESA.

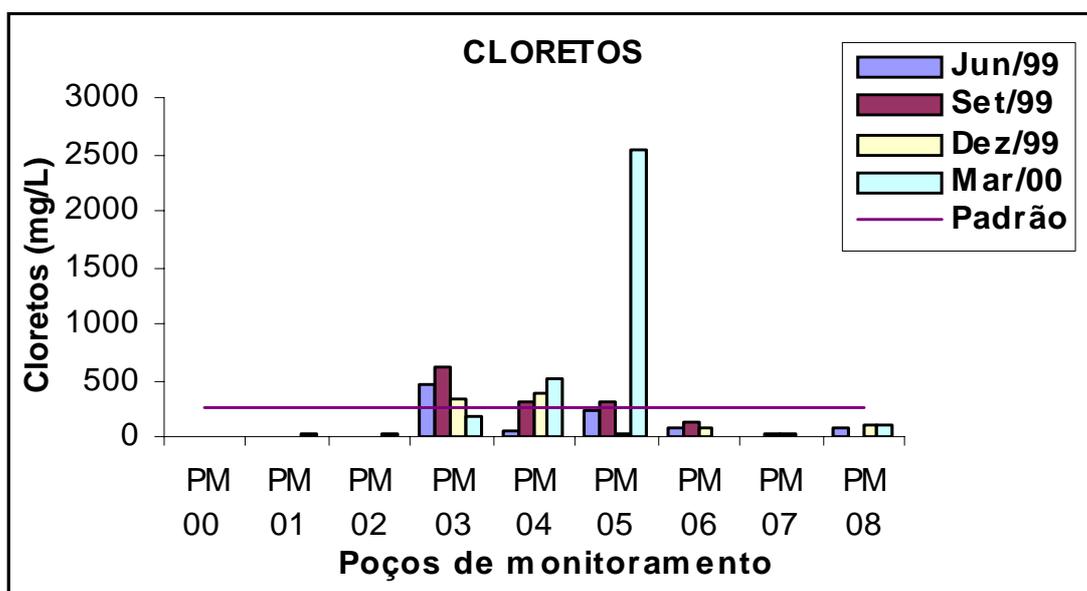


Figura 43: Concentrações de cloretos (mg/L)

A Figura 44 apresenta os resultados das determinações de sulfatos, que variaram de valores não detectados pelo método de análise até 415 mg/L.

Observam-se valores superiores ao ponto controle nos poços PM 03 e PM 04 e muito superiores no poço PM 05, onde o padrão de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde e pela OMS (CETESB, 1994) foi ultrapassado em dezembro de 1999.

O sulfato de cromo e de amônia e o sulfeto de sódio são insumos utilizados no processo de curtimento, encontrando-se presentes nos lodos formados nos sistemas de tratamento de efluentes, nas aparas e farelos de couro depositados na UTRESA.

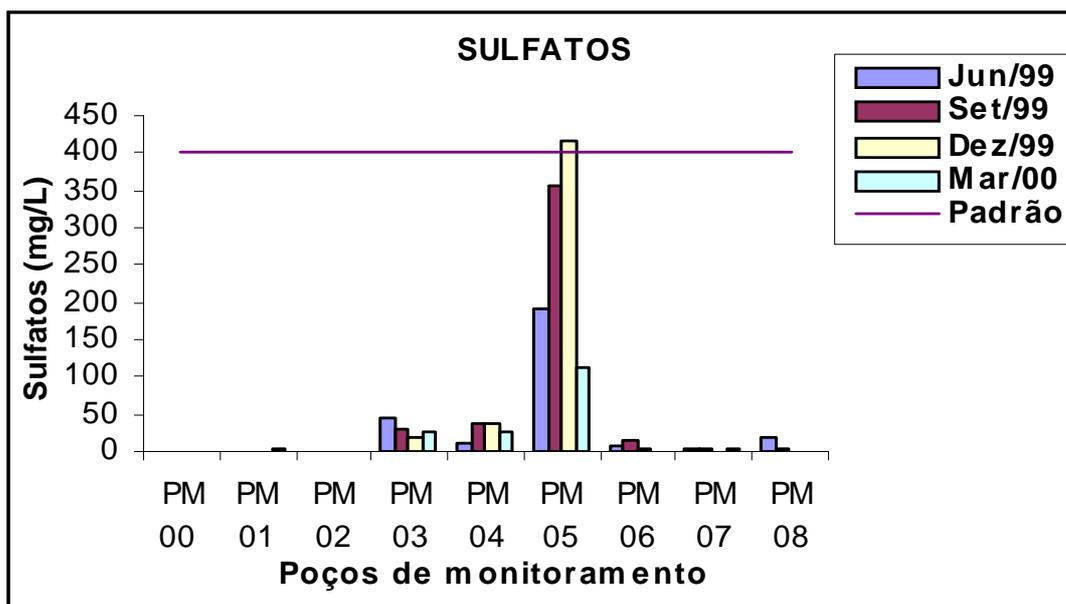


Figura 44:Concentrações de sulfatos (mg/L)

As Figuras 45 e 46 mostram as concentrações de nitrato, que variaram de valores não detectados pelo método de análise até 440 mg/L.

O padrão de potabilidade foi ultrapassado nos poços PM 02, PM 03, PM 06 e PM 08, onde também foram encontrados valores superiores ao ponto controle, principalmente no PM 05.

Conforme CETESB (1998), a elevação do teor de nitratos na água subterrânea indica influência de fontes de contaminação orgânica. O PM 05, localizado na região de cota topográfica mais baixa na área da UTRESA, sofre influência de toda a área da Central, tendo apresentado os valores mais elevados no período de maior índice pluviométrico, ou seja, nos meses de julho e setembro de 1999.

Cabe ressaltar que o nitrato é uma substância bastante persistente na água e que o consumo de água com teores acima do permitido constitui um risco para crianças com menos de seis meses, através da doença conhecida como cianose, caracterizada pela dificuldade do sangue para transportar oxigênio.

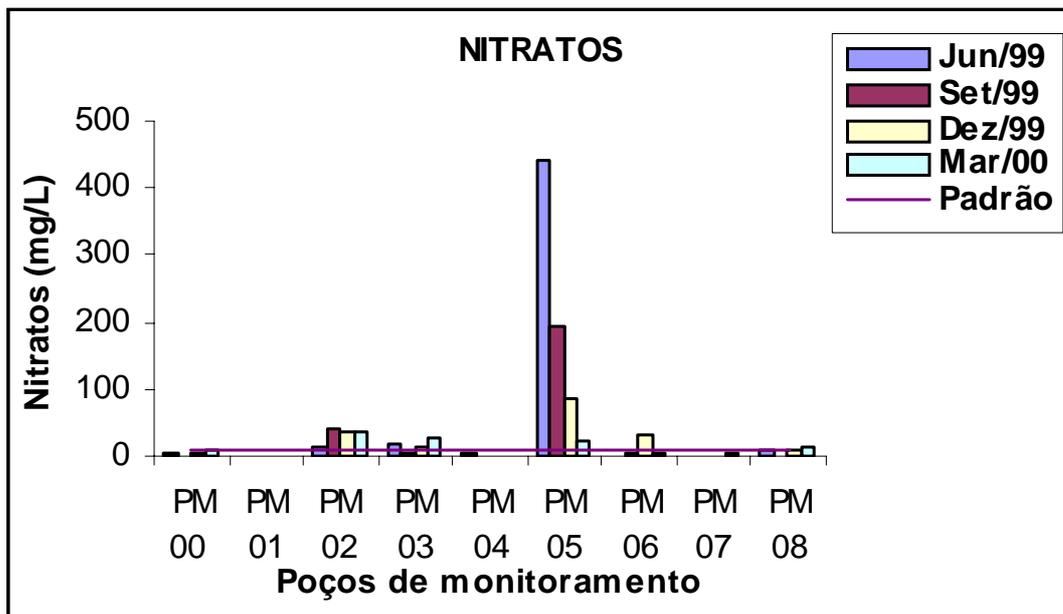


Figura 45: Concentrações de nitratos (mg/L)

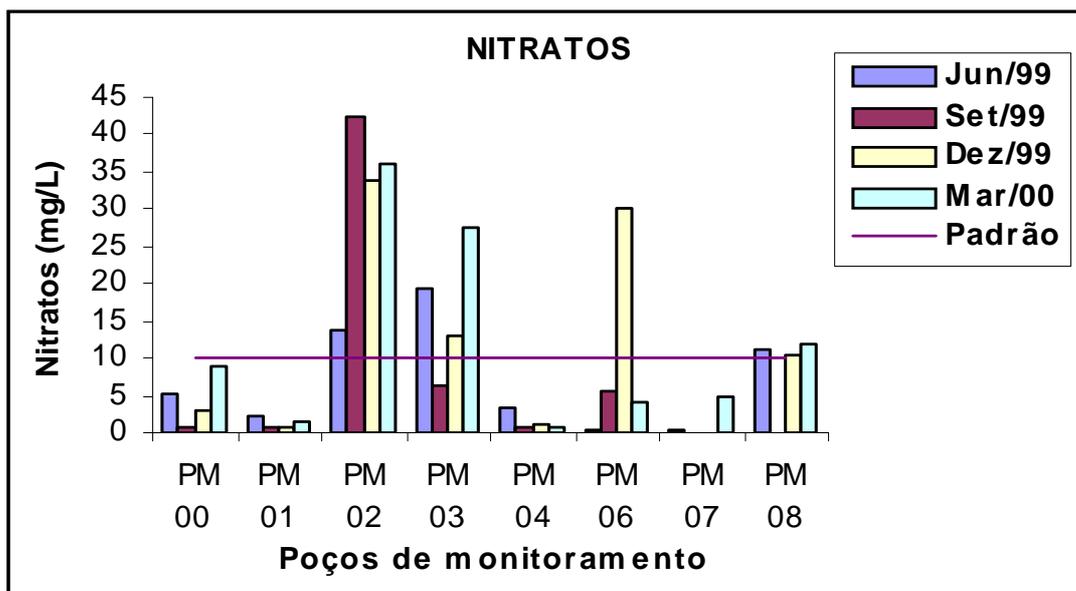


Figura 46: Concentrações de nitratos (mg/L)

As Figuras 47 a 60 apresentam os resultados das análises de metais dissolvidos analisados.

Nas Figuras 47 e 48 são apresentados os resultados obtidos para o parâmetro ferro dissolvido, que variaram na faixa de 0,009 mg/L a 400 mg/L. O padrão de

potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde e pela OMS (CETESB, 1994) foi ultrapassado nos poços PM 03, PM 04 e PM 05, onde foram observados valores bastante superiores ao ponto controle, principalmente nos poços PM 04 e PM 05.

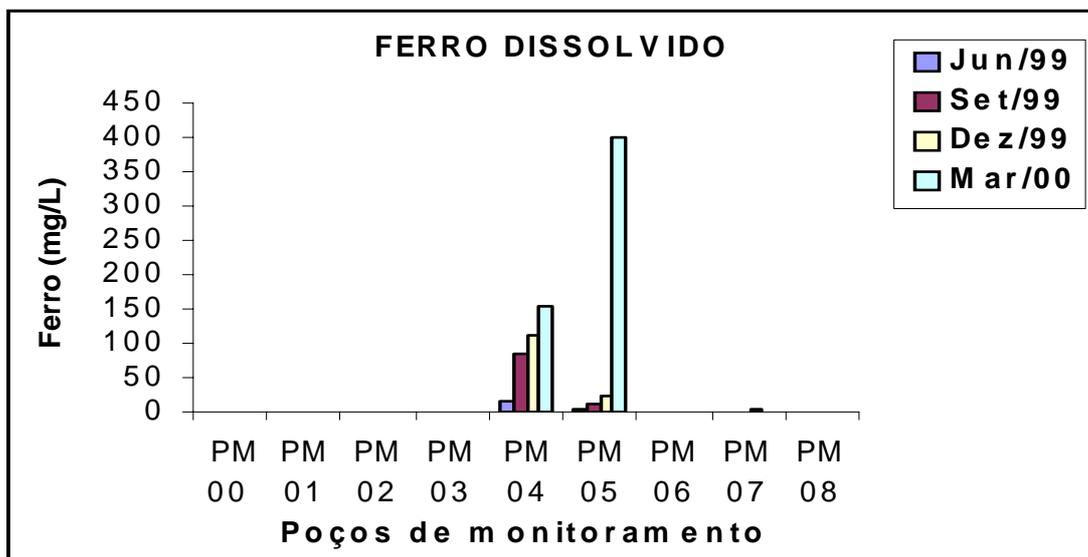


Figura 47: Concentrações de ferro dissolvido (mg/L)

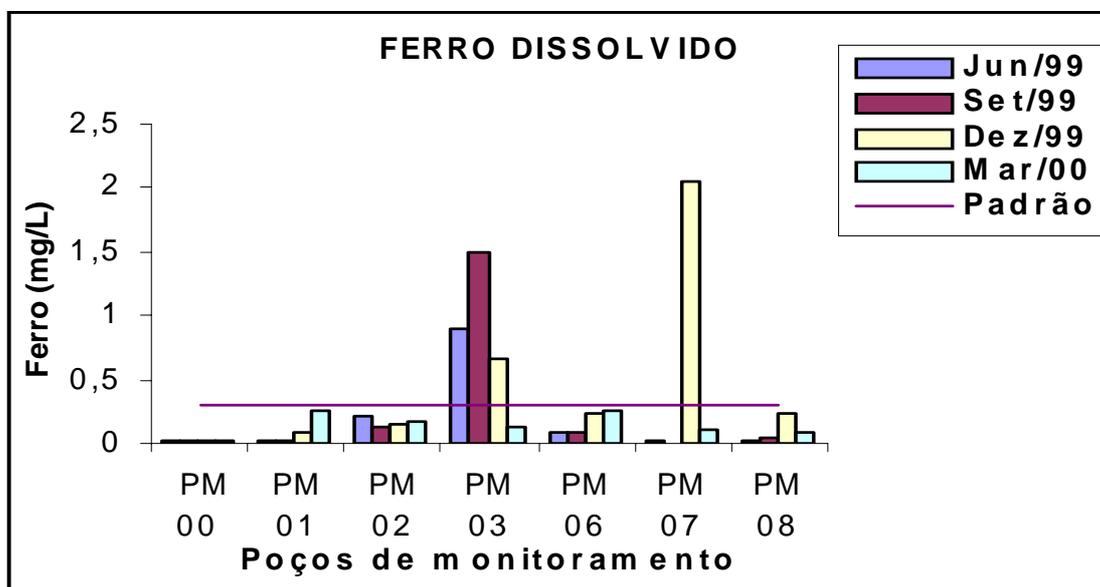


Figura 48: Concentrações de ferro dissolvido (mg/L)

Nas figuras 49 e 50 são apresentados os resultados obtidos para o parâmetro manganês dissolvido, que variaram na faixa de 0,011 a 45,6 mg/L. O manganês

apresentou valores superiores ao padrão de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde e pela OMS (CETESB, 1994), bem como ao ponto controle em todos os pontos amostrados, observando-se variação espacial e temporal semelhante ao ferro.

O comportamento do ferro e do manganês é controlado por fenômenos de oxidação-redução, que são especialmente importantes em relação a sua solubilização.

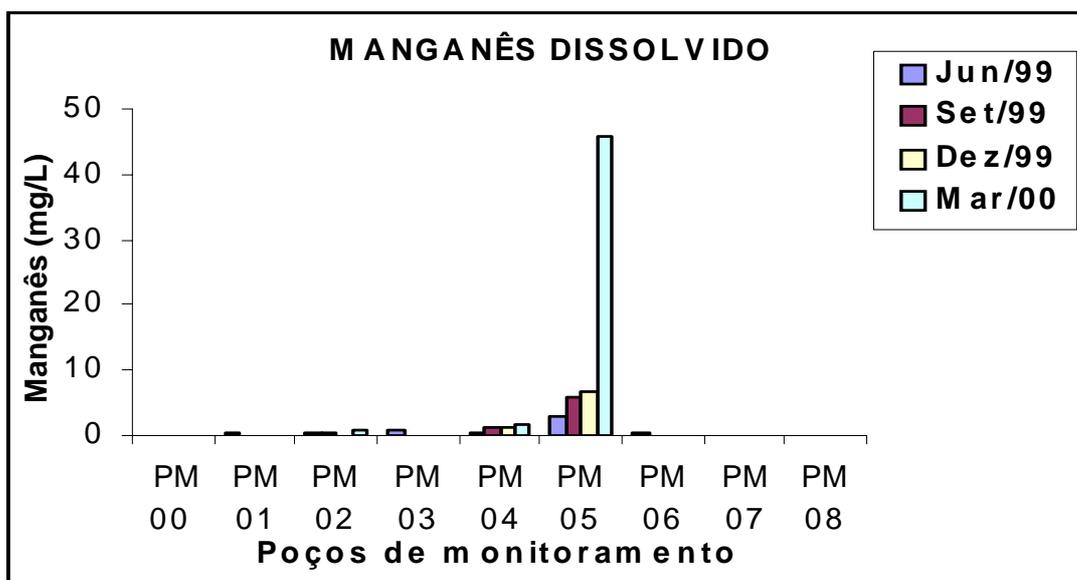


Figura 49: Concentrações de manganês dissolvido (mg/L)

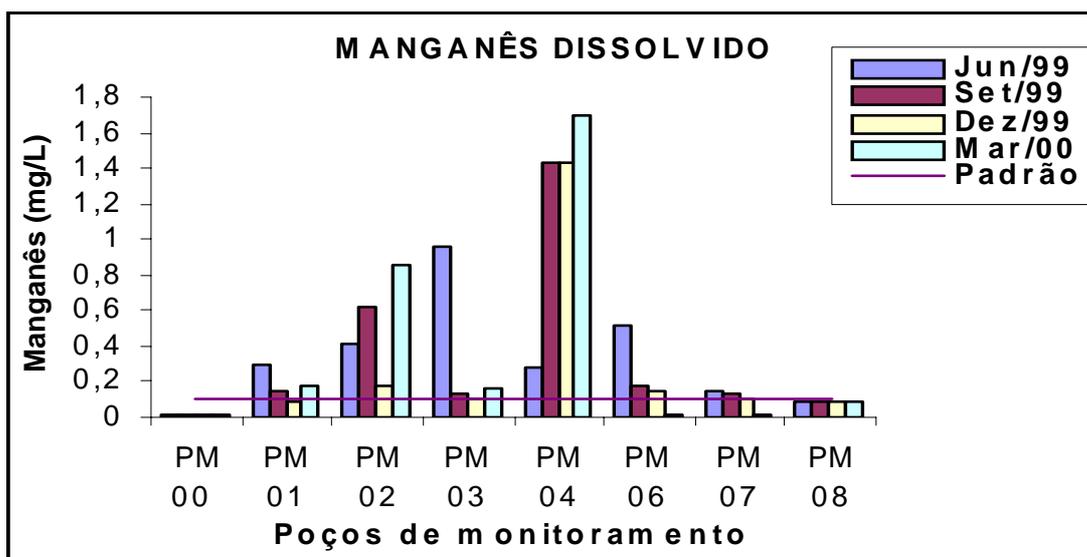


Figura 50: Concentrações de manganês dissolvido (mg/L)

A Figura 51 apresenta os resultados dos valores obtidos para o parâmetro cromo dissolvido. A presença de cromo ocorreu somente no poço PM 05. O cromo é o insumo utilizado no curtimento das peles pela maioria dos curtumes, estando presente no lodo dos sistemas de tratamento de efluentes, aparas e farelo de couro que estão depositados na UTRESA.

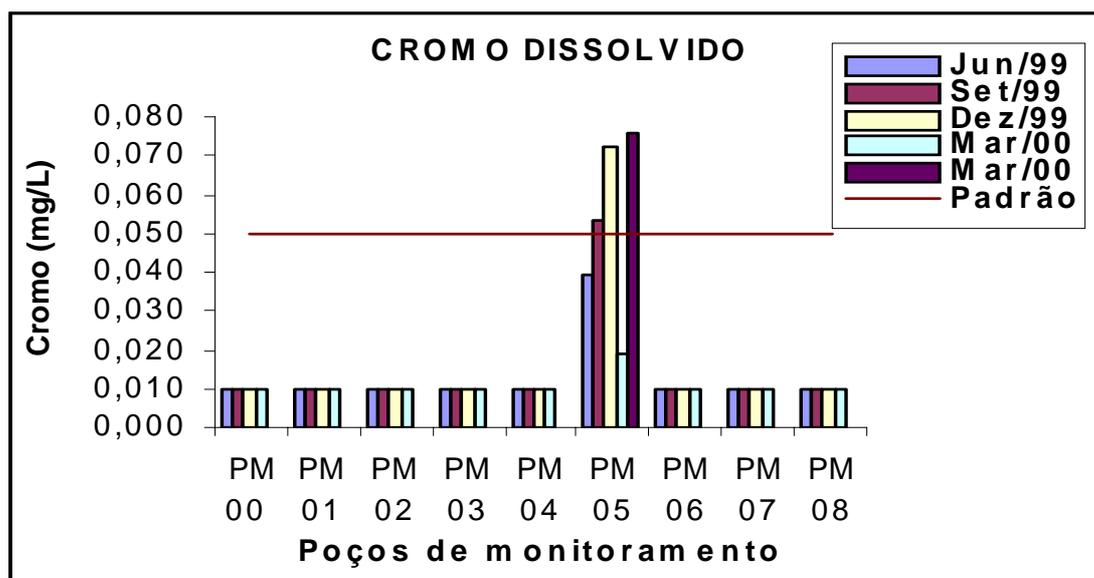


Figura 51: Concentrações de cromo dissolvido (mg/L)

Em três das cinco amostragens realizadas no poço PM 05, o padrão de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde e pela OMS (CETESB, 1994) para o parâmetro cromo foi ultrapassado.

Nas Figuras 52 e 53 são apresentadas, respectivamente, as concentrações de sódio, que variaram na faixa de 2,23 a 640 mg/L e de magnésio, que variaram na faixa de 0,470 até 91,4 mg/L. Nas Figuras 54 e 55 são apresentadas, respectivamente, as concentrações de potássio, que variaram na faixa de 0,149 a 27,0 mg/L e de cálcio, que variaram na faixa de 0,85 a 131 mg/L.

Quando comparados ao ponto controle, observa-se que os valores mais elevados para os parâmetros sódio, magnésio, potássio e cálcio ocorreram nos poços

PM 03, PM 04 e PM 05, observando-se a mesma variação temporal para os parâmetros citados.

Não há padrões de potabilidade estabelecidos para os parâmetros magnésio, cálcio e potássio. Quanto ao sódio, o padrão de potabilidade da OMS (CETESB, 1994) foi ultrapassado nos poços PM 03 e PM 05.

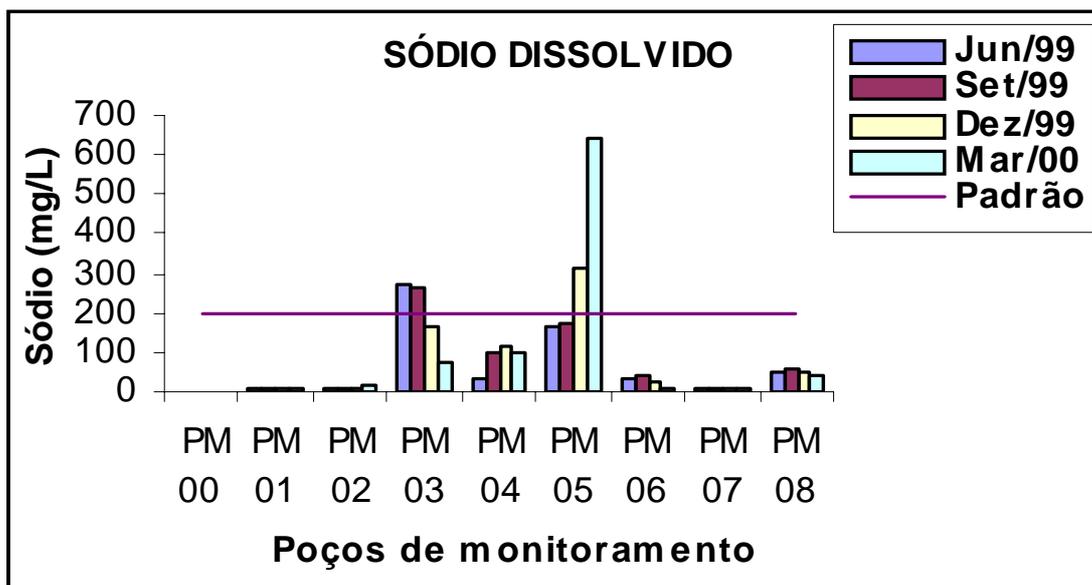


Figura 52: Concentrações de sódio dissolvido (mg/L)

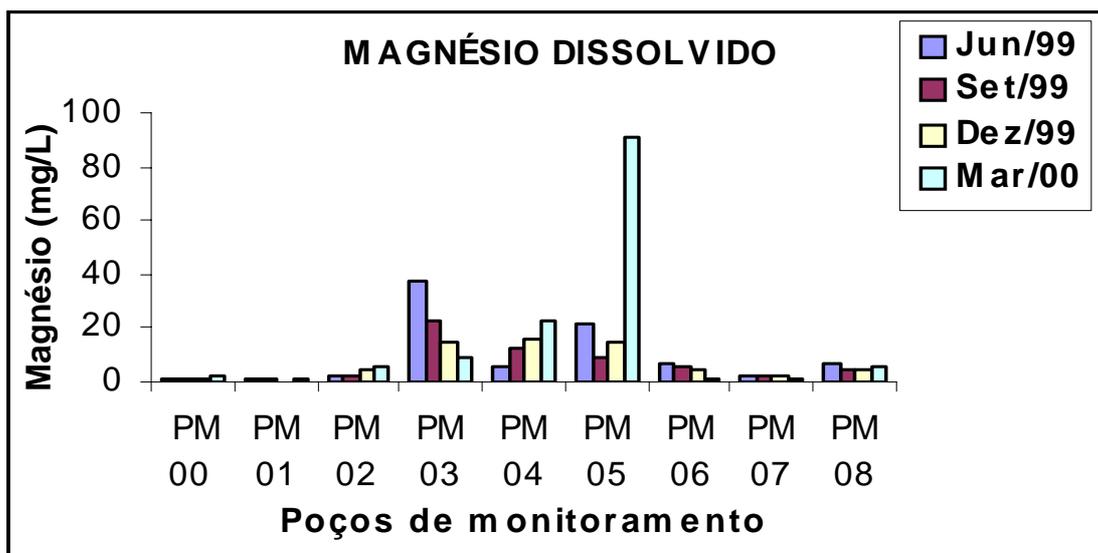


Figura 53: Concentrações de magnésio dissolvido (mg/L)

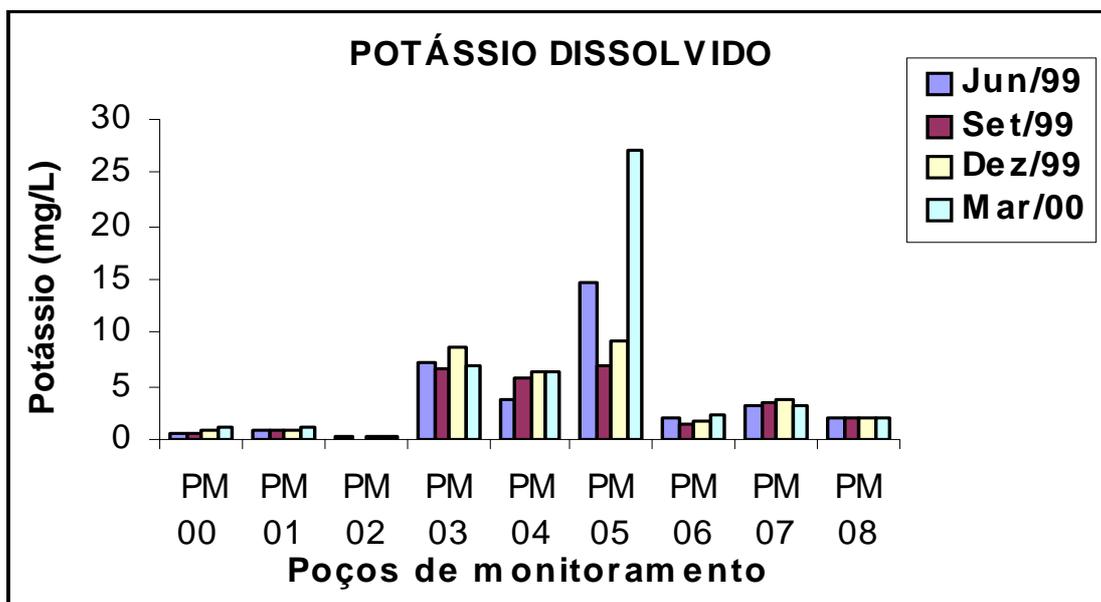


Figura 54: Concentrações de potássio dissolvido (mg/L)

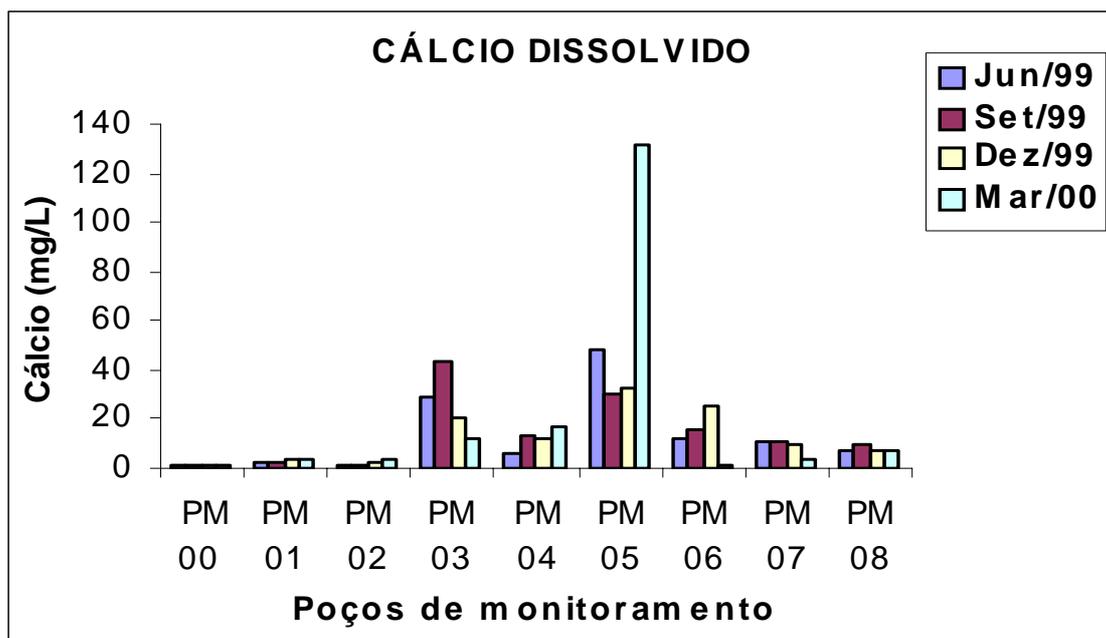


Figura 55: Concentrações de cálcio dissolvido (mg/L)

Na figura 56 são apresentados os resultados obtidos para o parâmetro cádmio, que variaram de valores não detectados até 0,010 mg/L. Este último valor ocorreu em março de 2000, no poço PM 05 e representa a única ultrapassagem do padrão de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde (CETESB, 1994).

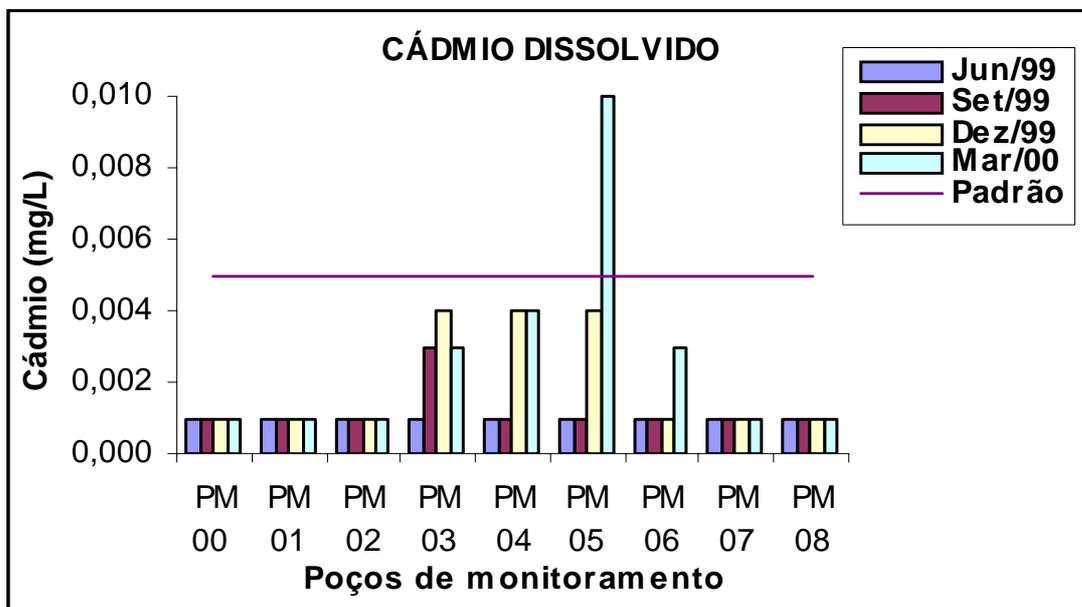


Figura 56: Concentrações de cádmio dissolvido (mg/L)

As Figuras 57, 58 e 59 apresentam os resultados para os parâmetros cobre, chumbo e zinco, que apresentaram, respectivamente, valores máximos de 0,044, 0,046 e 0,730 mg/L. Todos os valores obtidos para os parâmetros chumbo e zinco encontram-se abaixo dos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde (CETESB, 1994).

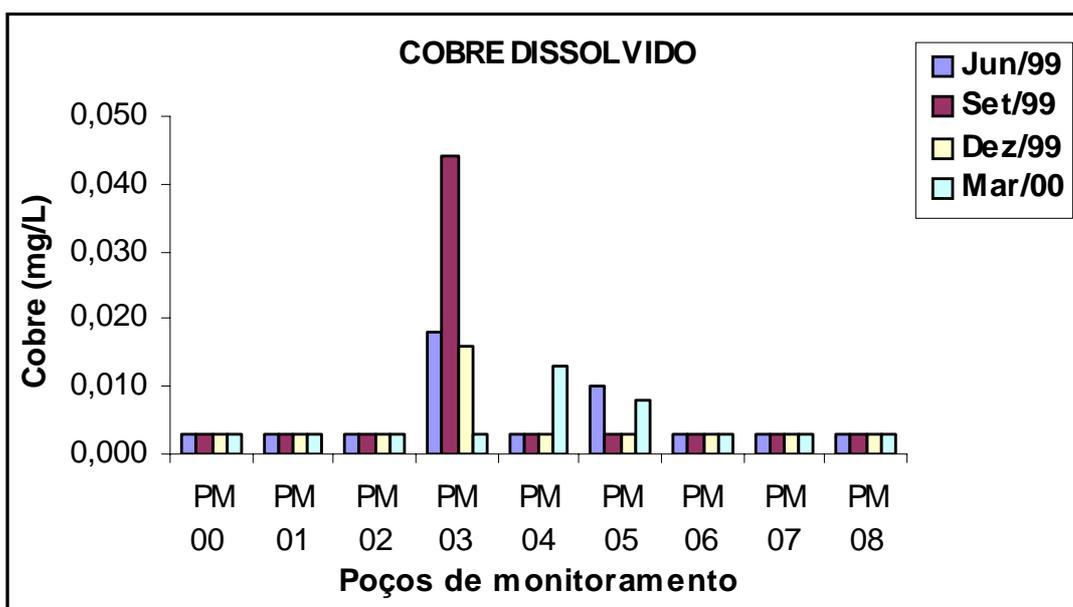


Figura 57: Concentrações de cobre dissolvido (mg/L)

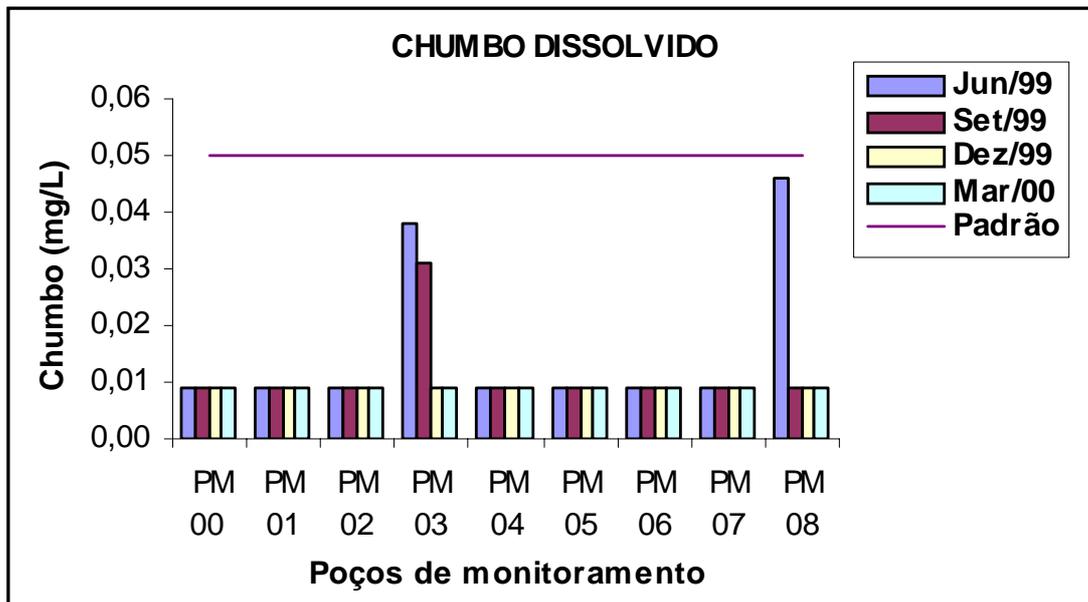


Figura 58: Concentrações de chumbo dissolvido (mg/L)

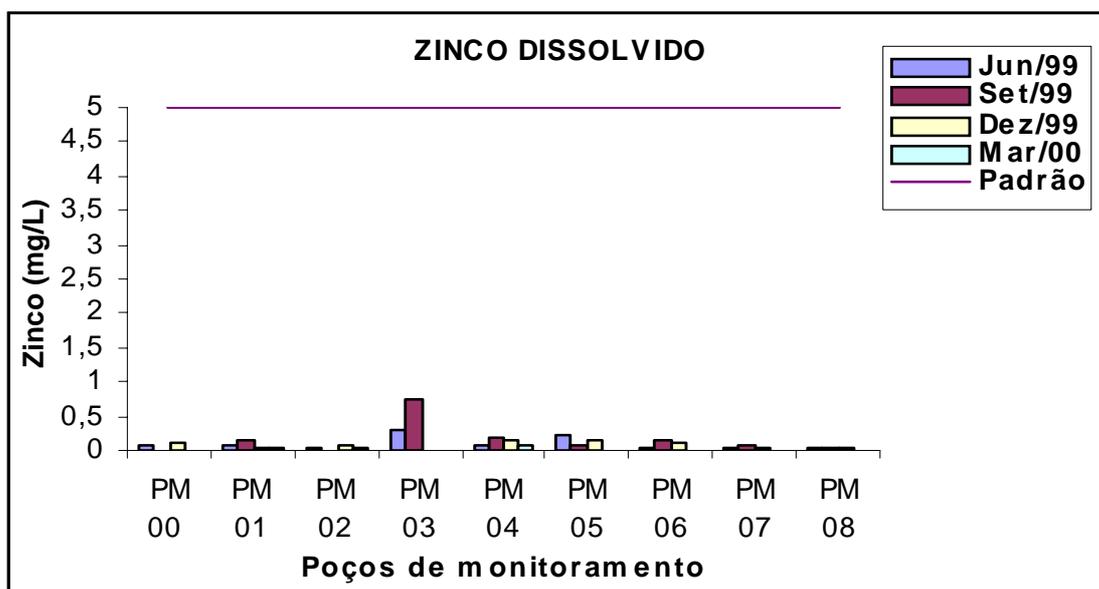


Figura 59: Concentrações de zinco dissolvido (mg/L)

A Figura 60 apresenta os resultados das análises relativas ao parâmetro níquel, cujo valor máximo foi de 0,018 mg/L.

Não há padrões de potabilidade estabelecidos para níquel, tendo sido observados baixos teores de níquel nos poços PM 03 e PM 05 na amostragem de julho de 1995 e valores não detectados as demais amostragens.

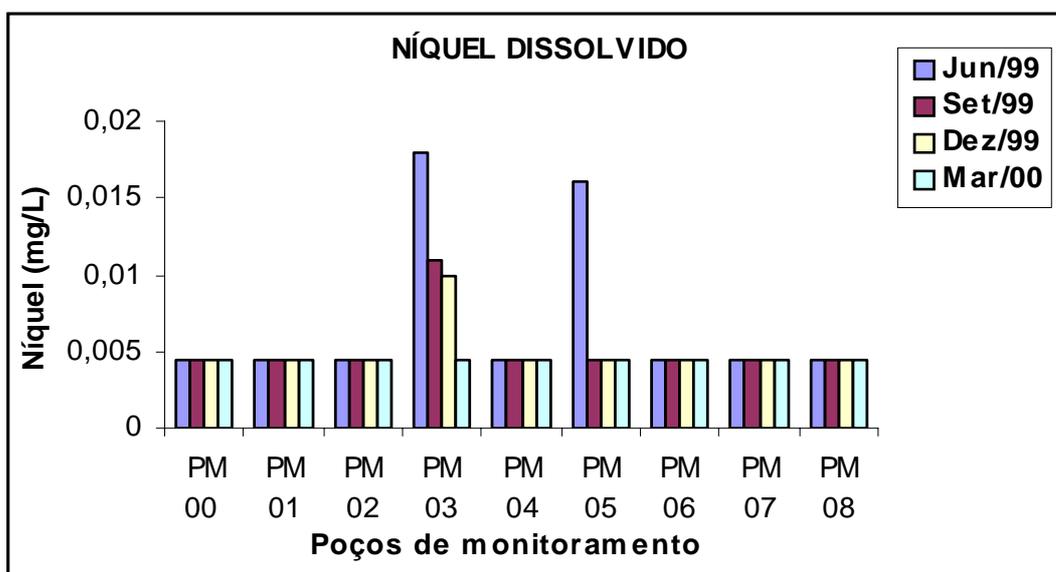


Figura 60 : Concentrações de níquel dissolvido (mg/L)

Observa-se que somente os poços de monitoramento PM 03, PM 04 e PM 05 apresentaram valores muito superiores ao ponto controle (PM 00) para todos os parâmetros determinados no monitoramento. Os demais poços estão sofrendo influência, em diferentes graus, da disposição inadequada dos resíduos na área da UTRESA, alterando a qualidade das águas subterrâneas do aquífero livre.

Salienta-se a contaminação do poço PM 05 por cromo, nitrato e sulfato e do poço PM 03 por zinco, níquel, cobre e chumbo.

A Tabela 41 mostra as médias, mínimos, máximos e desvios-padrão correspondentes ao conjunto de dados obtidos nos nove poços de monitoramento da UTRESA para cada parâmetro determinado, podendo ser observada a grande variabilidade dos dados obtidos, o que indica diferentes graus de contaminação dos poços, em função de sua localização na área da Central.

Tabela 41: Estatística descritiva para os todos os dados de monitoramento nos nove poços da UTRESA, no período de junho de 1999 a março de 2000

PARÂMETRO	N	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Cd Diss (mg/L)	36	0,002	0,001	0,01	0,002
Cu Diss (mg/L)	36	0,006	0,003	0,044	0,008
Pb Diss (mg/L)	36	0,011	0,009	0,046	0,008
Ni Diss (mg/L)	36	0,005	0,0045	0,018	0,0032
Zn Diss (mg/L)	35	0,093	0,005	0,730	0,130
Fe Diss (mg/L)	36	22,6	0,009	400	73,0
Mn Diss (mg/L)	36	2,00	0,008	45,6	7,63
Cr Diss (mg/L)	36	0,014	0,010	0,076	0,013
Na Diss (mg/L)	36	78,0	2,23	640	127
K Diss (mg/L)	36	4,05	0,131	27	5,13
Ca Diss (mg/L)	36	15,1	0,847	131	23,3
Mg Diss (mg/L)	36	9,64	0,47	91,4	16,3
Condutiv(μS/cm)	36	843,4	28,7	6610	1313
TDS (mg/L)	36	388,9	14	3093	619,3
Eh (mV)	36	220,10	85,2	398	79,1
PH	36	5,38	4,50	7,20	0,59
OD (mg/L)	36	2,9	0,7	7,1	1,6
Temperatura (°C)	36	19,6	15,1	24,9	2,09
DQO (mg/L)	36	29,9	2,5	184	38,9
Alcalinid (mg/L)	36	31,5	0,025	360	62,8
Turbidez (NTU)	35	39,4	4	167	45,6
SST (mg/L)	36	68	5	548	123
Cloretos (mg/L)	34	193	3	2550	448
Sulfatos (mg/L)	35	40,58	0,25	414,7	95,5
Nitratos (mg/L)	35	29,8	0,025	440	79,5

6.3.2 Estatística “t” de Student

Na Tabela 42 são apresentados os resultados da comparação estatística entre t^* Student e t crítico, para todos os poços amostrados em comparação ao ponto controle (PM 00).

Os valores de t crítico foram calculados tomando como base quatro amostragens para cada ponto, o que não foi possível para os parâmetros cloretos na comparação dos poços PM 06 e PM 07 com o ponto controle, para sulfatos na comparação do PM 06 e para zinco na comparação com o PM 03, por terem sido realizadas três amostragens.

Os valores não apresentados para cádmio, cobre, chumbo e níquel indicam que não houve variação da média nos pontos amostrados em relação a média do ponto controle.

Observa-se que se t^* for igual ou maior que t crítico, é possível concluir que houve aumento significativo do parâmetro no poço comparado.

TABELA 42: Tratamento estatístico dos parâmetros de monitoramento através da distribuição “t” de Student

POÇOS	Ca Diss	Cu Diss	Pb Diss	Mn Diss	Zn Diss	Fe Diss	Mg Diss	Cr Diss	Na Diss	K Diss	Ca Diss
PM00 PM 01	t* tárbitico	- -	- -	- -	0,579 2,353	1,329 2,353	3,705 2,353	- -	3,093 2,353	1,026 2,353	7,033 2,353
PM00 PM 02	t* tárbitico	- -	- -	- -	-0,509 2,353	6,121 2,353	3,433 2,353	- -	7,228 2,353	-3,999 2,353	3,008 2,353
PM00 PM 03	t* tárbitico	2,782 2,353	2,009 2,353	1,700 2,353	2,300 2,353	2,706 2,353	1,561 2,353	- -	4,060 2,353	12,879 2,353	3,791 2,353
PM00 PM 04	t* tárbitico	1,732 2,353	1,000 2,353	- -	- -	3,088 2,353	3,799 2,353	- -	4,376 2,353	7,476 2,353	4,852 2,353
PM00 PM 05	t* tárbitico	1,414 2,353	1,686 2,353	- -	1,000 2,353	1,134 2,353	1,519 2,353	3,195 2,353	2,878 2,353	3,087 2,353	2,494 2,353
PM00 PM 06	t* tárbitico	1,000 2,353	- -	- -	- -	2,973 2,353	1,832 2,353	- -	3,305 2,353	4,149 2,353	2,574 2,353
PM00 PM 07	t* tárbitico	- -	- -	- -	-0,064 2,353	1,057 2,353	1,052 2,353	- -	4,290 2,353	4,298 2,353	12,481 2,353
PM00 PM 08	t* tárbitico	- -	- -	1,000 2,353	- -	1,632 2,353	37,446 2,353	- -	18,04 2,353	7,855 2,353	11,373 2,353

* não calculado

TABELA 42. Tratamento estatístico dos parâmetros de monitoramento através da distribuição “t” de Student (continuação)

POÇOS	Mg Diss	Conduz	TDS	pH	OD	DQO	Alcalin	Cloratos	Sulfatos	Nitratos
t*	-0,294	6,934	6,666	-0,689	2,609	1,162	-0,764	5,997	2,658	-1,826
PM 00 PM 01	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353
t*	2,907	6,433	5,620	-0,910	-1,200	1,000	1,344	3,201	-1,361	4,206
PM 00 PM 02	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353
t*	3,295	3,800	4,127	-1,939	2,956	3,488	1,989	4,180	5,447	2,499
PM 00 PM 03	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353
t*	3,530	16,844	15,897	0,654	0,964	3,247	3,934	3,336	4,541	-1,619
PM 00 PM 04	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353
t*	1,715	3,586	3,568	4,150	0,342	8,225	2,320	1,289	3,827	1,966
PM 00 PM 05	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353
t*	2,576	2,965	3,015	2,729	2,014	1,252	2,904	*	*	0,780
PM 00 PM 06	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	*	*	2,353
t*	4,333	2,165	3,517	3,684	3,988	0,468	1,664	*	6,59	-1,460
PM 00 PM 07	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	*	2,353	2,353
t*	6,496	15,990	19,822	-0,534	1,233	7,444	-0,160	3,135	1,238	*
PM 00 PM 08	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	2,353	*

* não calculado

6.3.3 Análise fatorial

A Tabela 43 apresenta a matriz de correlação de Pearson, obtida com os dados do monitoramento realizado e as substituições citadas no item 5.5.

Analisando a matriz de correlação, foram excluídos do processamento da análise fatorial os seguintes parâmetros:

- OD e temperatura, pois apresentaram baixa correlação com as demais variáveis analisadas;
- SST e turbidez, pois não é esperada correlação destes parâmetros com os parâmetros na forma dissolvida, o que pode ser confirmado pela observação da matriz de correlação;
- o parâmetro Eh, que não pode ser usado, porque não foi possível determiná-lo a meia profundidade da coluna de água nos poços de monitoramento nos meses de dezembro de 1999 e março de 2000. Os resultados desta determinação seriam mais representativos, uma vez que não houve aeração da amostra. De qualquer forma, conclui-se que o ambiente é oxidante, o que também é comprovado com os resultados de OD;
- o parâmetro cádmio, por apresentar variabilidade com resultados não detectados ou muito próximos ao limite de detecção em quase todas as determinações, excetuando o PM 05 na amostragem realizada em março de 2000, que apresentou resultado de 0,010 mg/L.

Dessa forma, das vinte e cinco variáveis analisadas, foram selecionadas dezenove para a determinação do IQAs.

Tabela 43 Matriz de correlação de Pearson para as variáveis estudadas nos poços de monitoramento da UTRESA no período de junho de 1988 a março de 2000

Variáveis	Od	Ou	Po	Ni	Pb	Ni	Zn	Fe	Mn	Cr	Na	K	Ca	Mg	Cond	TDS	Eh	pH	OD	Temp	DQO	Alcal	Tubo	SST	Cloro	Sulfato	Nitrato		
Od																													
Ou																													
Po																													
Ni																													
Zn																													
Fe																													
Mn																													
Cr																													
Na																													
K																													
Ca																													
Mg																													
Cond																													
TDS																													
Eh																													
pH																													
OD																													
Temp																													
DQO																													
Alcal																													
Tubo																													
SST																													
Cloro																													
Sulfato																													
Nitrato																													

Cond= condutividade
 Alcal = alcalinidade
 Tubo = turbidez
 Temp = temperatura

*** Correlação altamente significativa (p<0,000)
 ** Correlação significativa (0,005<p<0,000)
 * Correlação pouco significativa (0,05<p<0,005)

As Tabelas 44, 45 e 46 demonstram os resultados da aplicação da análise fatorial, através do método dos componentes principais, a partir da matriz de correlação.

A análise da matriz de cargas fatoriais (Tabela 44) indica que os dados foram sintetizados em três eixos principais que explicam aproximadamente 52% da variância total. Observa-se que a separação das informações em categorias distintas obedece a um critério de associação entre os parâmetros, sugerindo que variáveis relevantes no mesmo eixo podem indicar uma origem comum. Assim, foram obtidos três diferentes índices de qualidade para caracterizar cada poço de monitoramento, sendo cada um deles associado a uma fonte potencial de contribuição para os elementos presentes.

Na Tabela 45, são mostrados os coeficientes dos escores fatoriais, correspondentes ao peso de cada variável no cálculo dos índices de qualidade e na Tabela 46 estão relacionados os índices obtidos em cada unidade amostral.

Tabela 44: Matriz de cargas fatoriais obtida para os poços de monitoramento da UTRESA, no período de junho de 1999 a março de 2000

PARÂMETRO	FATOR 1	FATOR 2	FATOR 3
Cu	0,328002	-0,83625	-0,15132
Pb	0,086157	-0,69248	-0,1571
Ni	0,278837	-0,77512	0,197642
Zn	0,242252	-0,84457	0,041407
Fe	0,823999	0,285028	-0,4047
Mn	0,890243	0,305588	-0,25049
Cr	0,467309	0,082228	0,822875
Na	0,961213	-0,16997	-0,04301
K	0,957648	-0,01292	0,018464
Ca	0,971278	-0,03895	-0,08984
Mg	0,935046	-0,09843	-0,28732
Condutividade	0,961532	0,107522	0,077486
TDS	0,980071	-0,02458	0,064957
PH	0,245643	0,541867	0,272631
DQO	0,494115	-0,06328	0,190075
Alcalinidade	0,907808	0,36259	-0,05451
Cloretos	0,904937	0,031312	-0,40478
Sulfatos	0,558693	0,039362	0,758751
Nitratos	0,329924	-0,13838	0,734574
Variância explicada pelo modelo	9,853628	3,177547	2,487618
Proporção total da variância	0,518612	0,167239	0,130927

Tabela 45: Coeficientes dos escores fatoriais obtidos para os poços de monitoramento da UTRESA, no período de junho de 1999 a março de 2000

PARÂMETRO	FATOR 1	FATOR 2	FATOR 3
Cu	0,033287	-0,26317	-0,06083
Pb	0,008744	-0,21793	-0,06315
Ni	0,028298	-0,24394	0,07945
Zn	0,024585	-0,26579	0,016645
Fe	0,083624	0,089701	-0,16269
Mn	0,090347	0,096171	-0,10069
Cr	0,047425	0,025878	0,330788
Na	0,097549	-0,05349	-0,01729
K	0,097187	-0,00406	0,007422
Ca	0,098571	-0,01226	-0,03612
Mg	0,094894	-0,03098	-0,1155
Condutividade	0,097581	0,033838	0,031149
TDS	0,099463	-0,00774	0,026112
PH	0,024929	0,17053	0,109595
DQO	0,050145	-0,01992	0,076408
Alcalinidade	0,092129	0,11411	-0,02191
Cloretos	0,091838	0,009854	-0,16272
Sulfatos	0,056699	0,012387	0,305011
Nitratos	0,033482	-0,04355	0,295292

Tabela 46: Escores fatoriais ou índices de qualidade obtidos para os poços de monitoramento da UTRESA, no período de junho de 1999 a março de 2000

UNIDADE AMOSTRAL	LOCAL	DATA	IQA ₁	IQA ₂	IQA ₃
1	PM 00	Jun/99	-0,62266	0,059153	-0,27395
2	PM 01	Jun/99	-0,58606	0,034571	-0,2685
3	PM 02	Jun/99	-0,58767	0,193585	-0,19927
4	PM 03	Jun/99	0,662822	-2,9898	-0,45105
5	PM 04	Jun/99	-0,16332	0,401188	-0,03876
6	PM 05	Jun/99	1,294651	-1,20091	2,982357
7	PM 06	Jun/99	-0,34189	0,414815	-0,14534
8	PM 07	Jun/99	-0,35481	0,559692	-0,06682
9	PM 08	Jun/99	-0,34181	-0,78012	-0,43207
10	PM 00	Set/99	-0,614	0,304964	-0,20663
11	PM 01	Set/99	-0,57573	0,018717	-0,21196
12	PM 02	Set/99	-0,56581	0,273482	-0,06966
13	PM 03	Set/99	0,854684	-4,01836	-0,78218
14	PM 04	Set/99	0,219432	0,011239	-0,3106
15	PM 05	Set/99	1,018315	0,607358	2,761724
16	PM 06	Set/99	-0,3155	0,06533	-0,15277
17	PM 07	Set/99	-0,38154	0,419724	-0,06637
18	PM 08	Set/99	-0,39836	0,163664	-0,16178
19	PM 00	Dez/99	-0,58913	0,096657	-0,18202
20	PM 01	Dez/99	-0,55939	0,199079	-0,18698
21	PM 02	Dez/99	-0,56437	0,014065	-0,20377
22	PM 03	Dez/99	0,258958	-0,97675	-0,23291
23	PM 04	Dez/99	0,336514	0,144076	-0,39175
24	PM 05	Dez/99	1,464122	0,494057	3,147313
25	PM 06	Dez/99	0,003331	0,309042	0,3625
26	PM 07	Dez/99	-0,36994	0,678006	-0,01958
27	PM 08	Dez/99	-0,40899	0,100426	-0,2634
28	PM 00	Mar/00	-0,58174	0,373866	-0,12507
29	PM 01	Mar/00	-0,57591	0,256927	-0,20769
30	PM 02	Mar/00	-0,5377	0,205581	-0,15792
31	PM 03	Mar/00	-0,19129	0,155247	-0,18674
32	PM 04	Mar/00	0,595801	-0,04317	-0,712
33	PM 05	Mar/00	4,764063	1,767475	-2,4238
34	PM 06	Mar/00	-0,45627	0,484098	-0,1076
35	PM 07	Mar/00	-0,3751	0,948625	0,196972
36	PM 08	Mar/00	-0,4137	0,254395	-0,21194

No primeiro eixo, que expressa cerca de 52% da informação contida nos dados, estão altamente correlacionadas as variáveis Fe, Mn, Na, K, Ca, Mg, condutividade, TDS, alcalinidade, cloreto, que sugere a contribuição das características geoquímicas locais, acrescida da contribuição da lixiviação dos resíduos depositados na Central.

A Figura 61, mostra a variação espaço-temporal do IQ_1 para as diferentes unidades amostrais, sendo os valores mais altos observados no PM 05 indicativos de uma pior qualidade ambiental.

No segundo eixo, que reflete o segundo índice de qualidade (IQ_2) e que explica 17% da variabilidade dos dados, tiveram maior expressão as variáveis Cu, Pb, Ni e Zn. Estes parâmetros estão altamente correlacionados e indicam uma possível contribuição das células III, do terminal de resíduos do município no PM 03 e de toda a Central nos PM 04 e PM 05. Observa-se, também, que a presença de metais varia inversamente aos valores de pH.

A Figura 62 mostra a variação espaço-temporal do IQ_2 para as diferentes unidades amostrais. Salienta-se que o índice foi multiplicado por -1 , para que valores mais altos sejam indicativos de uma pior qualidade.

O terceiro eixo, correspondente ao terceiro índice de qualidade (IQ_3) reflete 13% das informações contidas nos dados. Foram mais relevantes neste eixo as variáveis cromo, nitrato e sulfato.

A Figura 63 indica a variação espacial e temporal do IQ_3 , mostrando o maior comprometimento do PM 05 em relação a estas variáveis. A presença de cromo e sulfato reflete um dos principais insumos utilizados no processo de curtimento que é o sulfato de cromo. A presença de nitrato é decorrente da degradação dos resíduos orgânicos depositados na UTRESA.

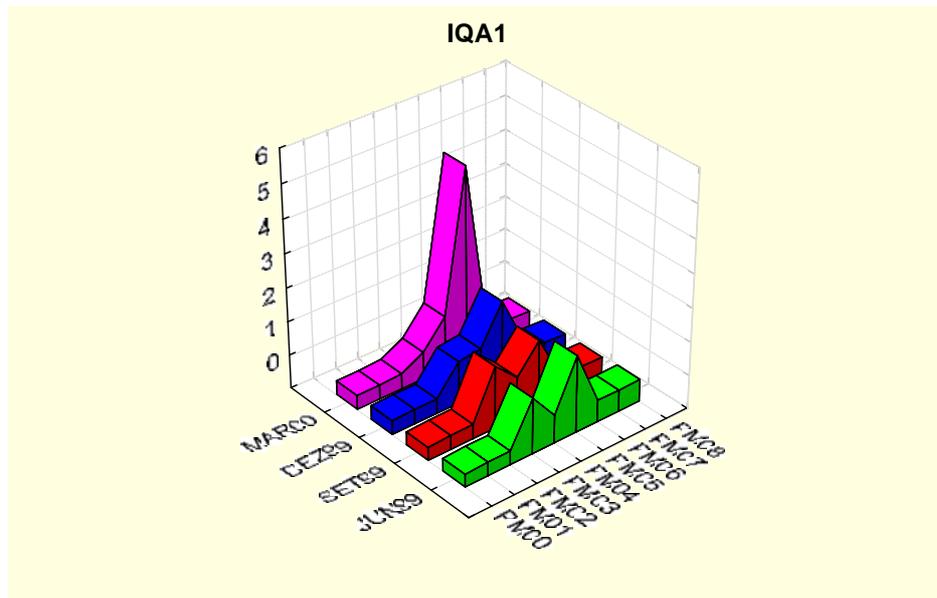


Figura 61: Variação espacial e temporal do primeiro índice de qualidade (IQA₁) dos poços de monitoramento da UTRESA, no período de junho/1999 a março/2000

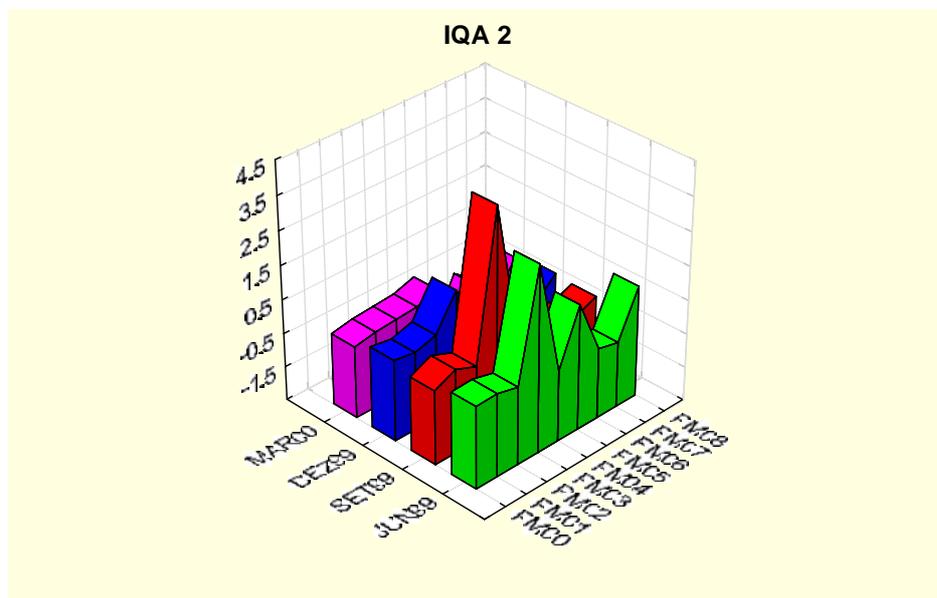


Figura 62: Variação espacial e temporal do segundo índice de qualidade (IQA₂) dos poços de monitoramento da UTRESA, no período de junho/1999 a março/2000

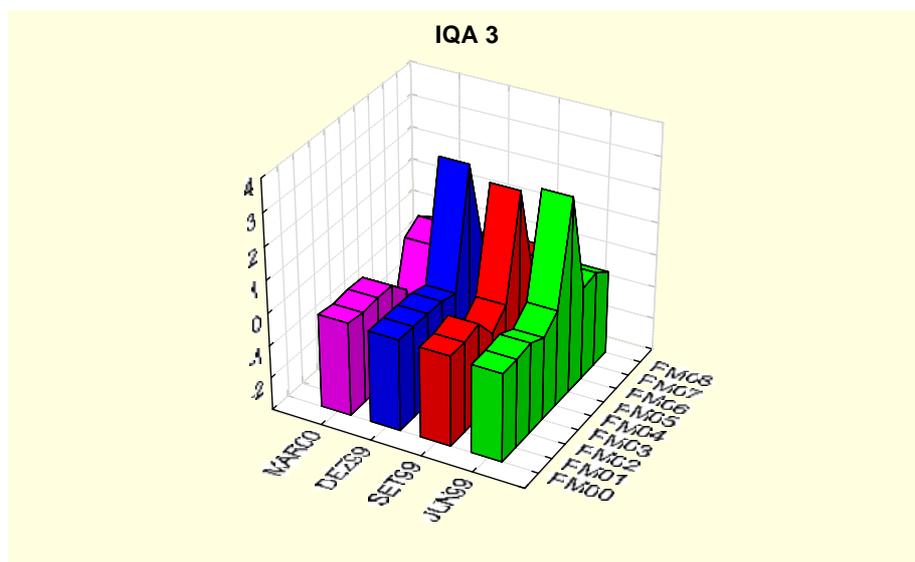


Figura 63: Variação espacial e temporal do terceiro índice de qualidade (IQA_3) dos poços de monitoramento da UTRESA, no período de junho/1999 a março/2000

As Figuras 64 e 65 são uma síntese do comportamento assumido pelas variáveis analisadas nos poços de monitoramento da UTRESA, representando, respectivamente, a dispersão tridimensional de comparação, em função dos diferentes valores encontrados para os três índices de qualidade e bidimensional, em função dos valores encontrados para o IQA_1 e IQA_2 . Nos gráficos observa-se a separação das unidades amostrais em relação às diferentes variáveis que as caracterizam, o que permite estabelecer relações com as possíveis fontes de contribuição naturais ou oriundas das disposição de resíduos da UTRESA.

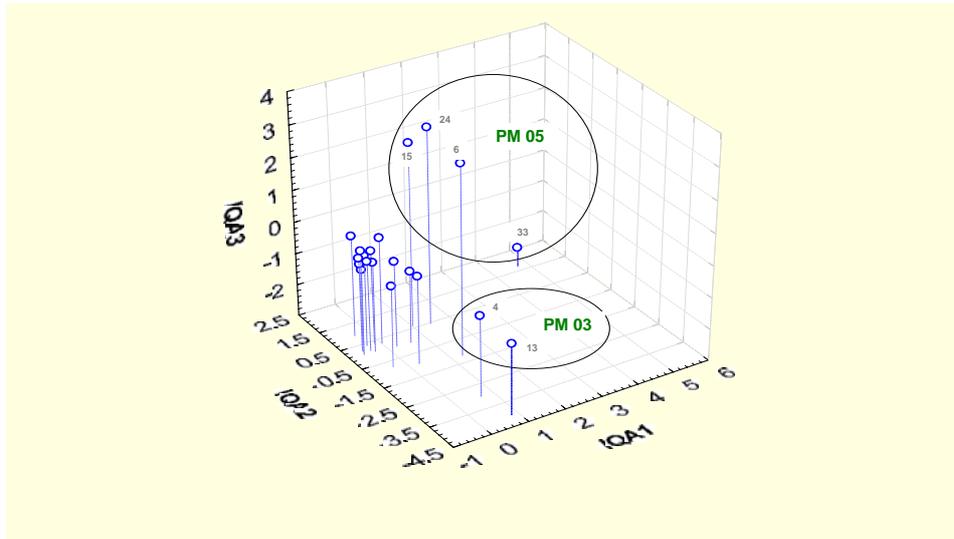


Figura 64: Dispersão tridimensional das unidades amostrais de acordo com os escores fatoriais ou índices de qualidade (IQA_1 , IQA_2 e IQA_3) dos poços de monitoramento da UTRESA, no período de junho/1999 a março/2000

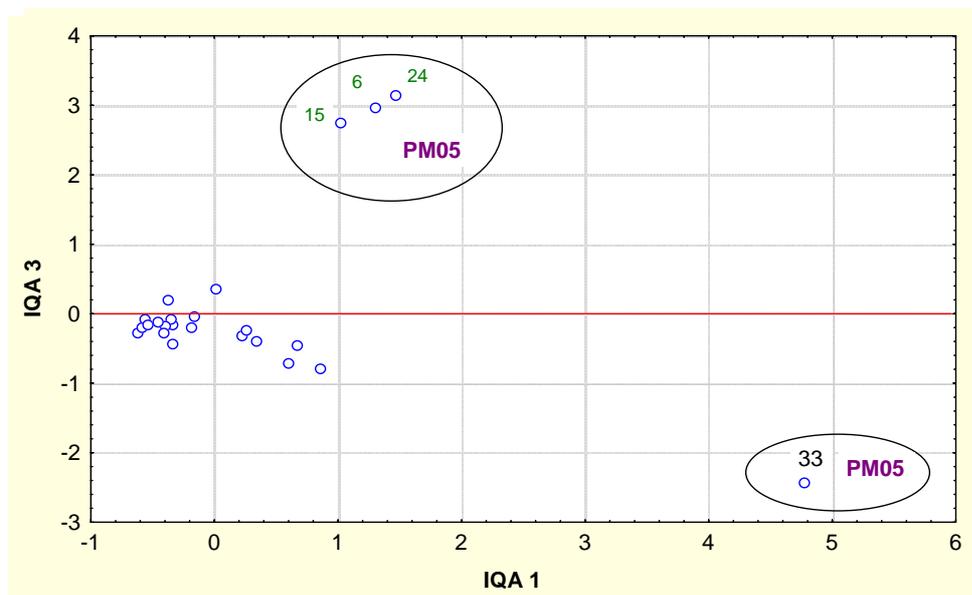


Figura 65: Dispersão bidimensional das unidades amostrais de acordo com os escores fatoriais ou índices de qualidade (IQA_1 e IQA_3) dos poços de monitoramento da UTRESA, no período de junho/1999 a março/2000

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A UTRESA foi a primeira Central de resíduos do Estado e a única em funcionamento, por muito tempo. Observou-se, através da quantificação dos resíduos existentes, que a quantidade depositada nas valas e células apresentou um aumento considerável desde o início de sua operação.

Presentemente, existem diversas Centrais de recebimento de resíduos operando no Estado e também, muitas empresas construíram seus próprios aterros. Este fato deve acarretar uma mudança nesta tendência de aumento, associado ao fato de que a reciclagem e recuperação dos resíduos nas empresas tem aumentado nos últimos anos.

Na avaliação da contaminação das águas subterrâneas na área de influência da UTRESA pode-se verificar que:

- todos os poços monitorados apresentaram concentrações alteradas em relação ao ponto controle para os seguintes parâmetros: TDS, sódio, cálcio, magnésio, ferro, manganês, cloretos, zinco, DQO, OD, bem como para os valores de condutividade, pH e Eh;
- os padrões de potabilidade foram ultrapassados para o parâmetro cloreto, nos poços PM 03, PM 04 e PM 05; para o parâmetro ferro nos poços PM 03 e PM 07; para o parâmetro manganês em todos os poços, com exceção do PM 08; para sódio nos poços PM 03 e PM 05 e para SDT nos poços PM 03 e PM 05.
- o poço de monitoramento PM 05, localizado no ponto de cota topográfica mais baixa da UTRESA e no sentido do fluxo das águas subterrâneas em direção ao arroio Estância Velha, apresenta-se contaminado com cromo e sulfato, que representam os insumos empregados no processo de curtimento pelas empresas do ramo de couros e peles e por nitrato, que resulta da degradação da matéria orgânica depositada na

UTRESA, apresentando valores superiores aos padrões de potabilidade da água recomendados pelo Ministério da Saúde (CETESB, 1994);

- o parâmetro nitrato também apresentou valores superiores ao padrão de potabilidade nos poços PM 02, PM 03, PM 06 e PM 08, bem como superiores ao ponto controle;
- os altos teores de sulfato e cloreto no PM 05 contribuem para aumentar a mobilidade do cromo trivalente, o que pode explicar sua elevada concentração no PM 05;
- o tratamento estatístico indica que os parâmetros condutividade e SDT estão mais bem correlacionados com as características geoquímicas locais, acrescidos da contribuição da lixiviação dos resíduos depositados na Central;
- observou-se a presença de níquel, chumbo, zinco (concentrações abaixo dos padrões de potabilidade) e cobre no poço de monitoramento PM 03, que pode ser explicada por insumos empregados no processo de acabamento de couro e também pela vasta gama de resíduos dos mais diversos processos industriais depositados na UTRESA;
- o número de poços de monitoramento mostrou-se suficiente para avaliar a qualidade das águas subterrâneas na área de estudo;
- os parâmetros inorgânicos prioritários para controle das águas subterrâneas nas imediações de um aterro de resíduos de curtumes são: TDS, condutividade, cromo total dissolvido, cloreto, sódio, ferro, manganês, sulfato e nitrato;
- a caracterização inicial das águas subterrâneas deve ser realizada com frequência trimestral e a medição realizada a meia profundidade da coluna de água dos poços mostrou-se satisfatória.

Os objetivos desse trabalho foram alcançados, no que tange ao SIGECORS da FEPAM, propiciando esclarecimentos técnicos, gerando procedimentos de amostragem e de avaliação de dados de monitoramento das águas subterrâneas.

8 RECOMENDAÇÕES

Considerando as observações e resultados do presente trabalho, recomenda-se:

- que seja realizado um diagnóstico ambiental, com a utilização de métodos geofísicos e modelagem matemática na área da Central, identificando o avanço e a configuração da pluma de contaminação, bem como as possíveis conseqüências de efeitos negativos nos recursos hídricos, a fim de propor métodos e tecnologias adequadas para a intervenção em área potencialmente contaminada;
- as águas subterrâneas no entorno de todas as Centrais de disposição de resíduos sólidos de curtumes devem ser monitoradas, caracterizando-se, também, os poluentes orgânicos.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMAZARRAY, M.T.R. de. *Principais poluentes tóxicos da água e seus efeitos*. In: Curso de especialização em projetos de tratamento de resíduos industriais. Escola Politécnica - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1991. 9p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19 ed. Washington, 1108p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. *Coletânea da legislação e regulamentação sobre o uso e preservação das águas subterrâneas no estado de São Paulo*. Boletim Nº 2. São Paulo, 1992. 66p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Apresentação de projeto de aterros de resíduos sólidos industriais perigosos: NBR 8418*. Rio de Janeiro, 1984. 17p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Resíduos sólidos: classificação: NBR 10004*. Rio de Janeiro, 1987. 63p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Lixiviação de resíduos: NBR 10005*. Rio de Janeiro, 1987. 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Solubilização de resíduos: NBR 10006*. Rio de Janeiro, 1987. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Amostragem de resíduos: NBR 10007*. Rio de Janeiro, 1987. 25p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Aterro de resíduos perigosos – critérios para projeto, construção e operação: NBR 10157*. Rio de Janeiro, 1987. 22p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Construção de poços de monitoramento e amostragem: NBR 13895*. Rio de Janeiro, 1997. 21p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação: NBR 13896*. Rio de Janeiro, 1997. 12p.

BAGCHI, A. *Design, construction and monitoring of sanitary landfill*. United States of America: Wiley-Interscience 1990. 284p.

BARCELONA, M. J.; GIBB, J. P.; HELFRICH, J. A.; GARSKE, E.E Practical guide for groundwater sampling. In: FOSTER, S. & GOMES, D.C. *Monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas: una evaluación de métodos e costos*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Meio Ambiente – CEPIS, 1989.

BINOTTO, R.B. *Avaliação do grau de contaminação das águas subterráneas em áreas de influência de resíduos do processamento de carvão*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia , Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 184p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria N.º 36. Estabelece normas e os padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano, a serem observados em todo o território nacional. *Diário Oficial da União* , Brasília, 23 jan. 1990.

CARRÉ, M.C.; VULLIERMET, A.; VULLIERMET, B. *Environment and tannery*. Lyon, France: Centre Technique du Cur, 1994. 170p.

CASARINI, D.C.P. Proposta de valores de referência de qualidade e intervenção para solos e águas subterráneas no estado de São Paulo. In: II Seminário Internacional sobre qualidade de solos e águas subterráneas, 14 mar. 2000, São Paulo. *Anais*. São Paulo : CETESB , 2000. 7p.

CETESB. *Compilação de padrões ambientais*. São Paulo : CETESB, 1994.

CETESB. *Relatório de qualidade das águas subterráneas do estado de São Paulo: 1997*. São Paulo:CETESB, 1998. 106p.

CLEARY, R. *Hidrologia de águas subterrâneas*. In: Engenharia Hidrológica. RAMOS *et al*. Rio de Janeiro: ABRH:UFRJ. 1989. 404p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução n.20 de 18 de jun. 1986. *Diário Oficial da União*, Brasília, 30 jul. 1986.

CORSEUIL, H.X. *As condições redox e a eficiência da biodegradação*. In: Curso sobre contaminação de solos e águas subterrâneas por compostos orgânicos. Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura - CREA. Porto Alegre, 27 a 29 out, 1999.

CTCCA - CENTRO TECNOLÓGICO DO COURO, CALÇADOS E AFINS. *A fabricação do couro*. Novo Hamburgo: CTCCA ; SEBRAE, 1994. 44p. (Série Couro Calçados e Afins, v. 1)

CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R. *Hidrologia Subterrânea*. Barcelona: Omega S. A., 1983. 2v. 2359p.

LUCA, S. J. de. *Seminário sobre contaminação das águas subsuperficiais e subterrâneas por resíduos sólidos industriais*. Fundação Estadual de Proteção Ambiental. Porto Alegre, 1996.

ELLERT, N., GREENHOUSE, J.; MONIER-WILLIAMS, M. A Geofísica no Estudo da Poluição da Água Subterrânea. *Ambiente*. CETESB, São Paulo, v.2 (2), p.94-100, 1988.

ESTEVES, F. de A. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência / FINEP, 1988. 575 p.

FEITOSA, F.A.C., MANOEL Fº, J. *Hidrogeologia. Conceitos e Aplicações*. 2ºed. CPRM: Serviço geológico da Brasil, 1997. 391p.

FEPAM. *Laudos de composição química e de lixiviação de resíduos de curtumes. Processos administrativos de curtumes*, Fundação Estadual de Proteção Ambiental, Porto Alegre, 1991.

FEPAM. Determinação físico-química de águas naturais e residuárias. Rio Grande do Sul. 1998. (Normalizações Técnicas FQ-01, FQ-05, FQ-08, FQ-11, FQ-18 e FQ-23).

FISH, J. Laudo biológico da área da UTRESA. *Processo administrativo nº 01679-20.00/91.5*. FEPAM/RS, Porto Alegre, 1991.

FOSTER, S. ; GOMES, D.C. *Monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas: una evaluación de métodos e costos*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio Ambiente – CEPIS, 1989.

FOSTER, S. & HIRATA, R. *Determinação do risco de contaminação das águas subterráneas: um método baseado em dados existentes*. Boletim Nº 10. São Paulo: Instituto Geológico, 1993.

FÖRSTNER, U. ; WITTMANN, G. T.W. *Metal Pollution in the aquatic environment*. Berlin: Springer-Verlag , 1981. 486 p.

HAUSMAN, A. *Acta Geológica Leopoldensia. Série mapas Nº 2. Províncias Hidrogeológicas do estado do Rio Grande do Sul – RS*. São Leopoldo: UNISINOS, 1995. 127p.

HASSUDA, S. *Estratégias de proteção e gestão das águas subterráneas*. In: Apostilas do Curso de Pós-graduação Especialização em Ciências da Terra e Meio Ambiente. Universidade do Vale do rio dos Sinos, Centro de Ciências Tecnológicas. 1996.

HEATH, R.C. United States Geological Survey Water Supply Paper 2220. In: *Hidrologia básica de água subterrânea*. Tradução de: Mário Wrege e Paul Potter. Porto Alegre, 1983. 84 p.

HIRATA, R.C.A., BASTOS, C.R.A., ROCHA, G. A. *Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterráneas no estado de São Paulo* .vol. I e II. São Paulo: Instituto Geológico:CETESB, 1997.

KRIEGER, E.I.F.; PAZ, A.M.A.S.; RIBAS, M.L.O.; JOHNSON, D.B.; VILLAS-BÔAS, M.P. O órgão ambiental do estado do Rio Grande do Sul e as indústrias do ramo de couros ,

peles e produtos similares. In: XXII Congresso da União Internacional dos Químicos e Técnicos da Indústria do Couro, 16 a 20 nov. 1993. *Anais*, v.2, p.283, 1993. 607p.

MORAES, B.S. *Caracterização físico-química dos percolados gerados na disposição de serragens de couros “wet-blue” e aparas de couros acabados e semi-acabados em células de aterros sanitários*. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

ORLÓCI, L., KENKEL, N.C., ORLÓCI, M. *Data analysis in population and community ecology*. University of Hawaii, Honolulu / New Mexico State University, Las Cruces: 1987, 211p. v.1

PEDROSO, A.G. Estudo Hidrogeológico da UTRESA – Usina de Tratamento de Resíduos S/A – Estância Velha. *Processo administrativo nº 3362-20.67/96-2*, FEPAM/RS, Porto Alegre, 1997.

PROTEGER. *Programa Técnico para o gerenciamento da região metropolitana de porto Alegre – Projeto cartas temáticas do município de Estância Velha*. CPRM, METROPLAN. 1994.

PILLAR, V.D.P. *Variações espaciais e temporais na vegetação; métodos analíticos*. Departamento de Botânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998.

RIBAS, M.L.O.; KRIEGER, E.I.F., MARKS, M.I.; PAZ, A. M. A. S.; ESPINOZA, M.W. Atuação da Fundação Estadual de Proteção Ambiental – Fepam / RS nas indústrias do ramo de couros peles e produtos similares. In: IX Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 9 a 14 abr. 2000, Porto Seguro. *Anais*. p.241, 2000. 260p.

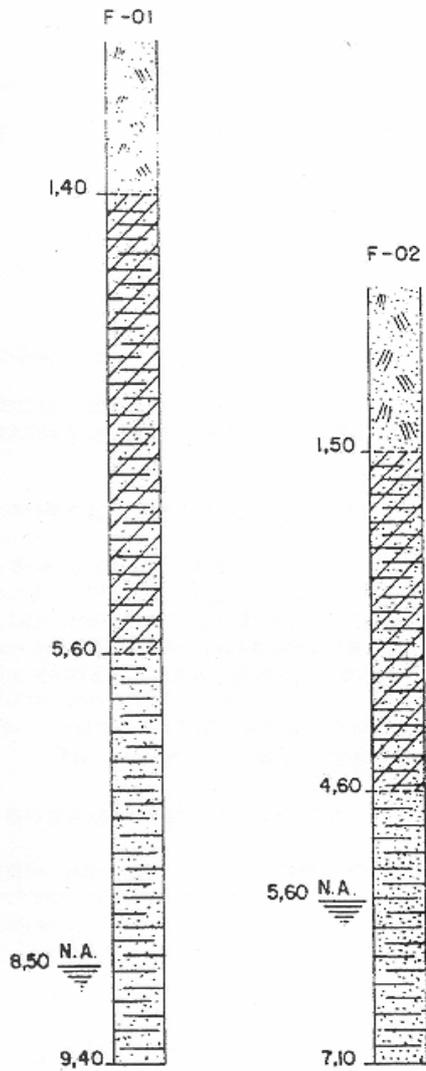
ROCCA, A.C.C.; IACOVONE, A.M.M.B.; BARROTTI, A.J.; CASARINI, D.C.P. *Resíduos sólidos industriais*. São Paulo : CETESB, 1993. 233p.

RODRIGUES, M.L.K. *Diagnóstico da poluição por elementos-traço no sedimento da bacia hidrográfica do rio Caí (RS)*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Biociências - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

SCHNACK, P.J. Projeto de aterro de resíduos industriais perigosos da UTRESA – Usina de Tratamento de Resíduos S/A de Estância Velha/RS. *Processo administrativo nº 01679-20.00/91.5*. FEPAM / RS , Porto Alegre, 1991.

SCHÜNEMANN, A.M.C.; PAZ, A.M.A.S.; KRIEGER, E.I.F.; RIBAS,M.L.O.; COBALCHINI, M.; DUTRA, V.T.; SORNBERGER, W. Reciclo dos banhos de calceiro e oxidação dos sulfetos contidos nos efluentes de curtumes. In: XII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20 a 25 nov. Camboriú. *Anais* , p.247, 1983. 332p.

USEPA. *Low stress (low flow) purging and sampling procedure for the collection of ground water samples from monitoring wells*. United States of America: Environmental Protection Agency-Region I, 30 jul. 1996.



CONVENÇÕES

FUROS



SOLO ARENOSO, FINO, FRIÁVEL, MARRON-CLARO, COM POUCA MATÉRIA ORGÂNICA.

COLÚVIO ARGILO-ARENOSO, COMPACTO, MARRON-AVERMELHADO.

SAPRÓLITO SÍLTICO-ARENOSO, PLÁSTICO A COMPACTO, CORES VARIADAS.

ANEXO 01
ESCALA 1:50

PJS GEOLOGIA LTDA
CONSULTORIA E SERVIÇOS

Anexo B: Dados Climatológicos



PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO LEOPOLDO
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Média mensal:

JAN=172,5 mm; FEV=113,9 mm; MAR=88,3 mm; ABR=134,1 mm;
MAI=88,5 mm; JUN=183,6 mm; JUL=180,2 mm; AGO=134,5 mm;
SET=154,6 mm; OUT=163,9 mm; NOV=118,8 mm; DEZ=110,7 mm;

Média anual: 1601,6 mm

Máxima mm/hora= 43,9 mm (13/11/1995)

Máxima mm/dia=113,7 mm (28/7/1995)

UMIDADE RELATIVA DO AR

Média anual: 76%

Menor índice registrado: 19%

Maior índice registrado: 100%

Mês mais seco: dezembro, com 69%

Mês mais úmido: junho, com 84%

Média mensal (%):

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
71	73	74	78	85	82	80	77	77	73	69	69

PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Média anual: 1011,7 hPa (hectopascals) (Normal=1013,2 hPa)

Mínima: 989,5 hPa

Máxima: 1037,0 hPa

São Leopoldo, 16 de agosto de 2000

Eugênio Jacckel Hackbart
Meteorologista CREA RS n.42.376
Chefe do Serviço de Meteorologia - SEMMAM

LICENÇA DE OPERAÇÃO

LO N° 2324/2000-DL

A Fundação Estadual de Proteção Ambiental, criada pela Lei Estadual n° 9.077 de 04/06/90 e com seus Estatutos aprovados pelo Decreto n° 33.765, de 28/12/90, registrada no Ofício do Registro Oficial em 01/02/91, no uso das atribuições que lhe confere a Lei n° 6.938, de 31/08/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto n° 99.274, de 06/06/90 e com base nos autos do processo administrativo n° 00515-05.67/00-7, expede a presente LICENÇA DE OPERAÇÃO que autoriza a:

EMPREENDIMENTO: 4497, **CODRAM:** 3110,10
EMPREENDEDOR: UTRESA – USINA DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS S/A,
ENDEREÇO: Rua Estrada do Terminal, 1545 - Bairro Campo Grande Industrial,
MUNICÍPIO: Estância Velha – RS,

a promover a operação relativa

à atividade de: **CENTRAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS CLASSES I e II**, com uma área total de **29,95 ha**, para um volume total de resíduos recebidos de **10.000 m³/mês**,

localizada: na Estrada do Terminal, 1545 - Bairro Campo Grande Industrial, no município de Estância Velha,

Com as condições e restrições:

1-Condições Gerais

- 1.01-a presente licença refere-se à operação da Central, compreendendo as **valas I, II, III, IV (módulos I e II), V (módulos I e II - norte e sul), Área VI (pavilhão de estocagem e vala de disposição final) e Área Calçadista (pavilhão de triagem, enfardamento e estocagem provisória e vala de disposição final)**, bem como as **atividades de: reaproveitamento de aparas e retalhos de couro, produção de cloreto de alumínio, comercialização de produtos químicos, recuperação de graxas de resíduo do pré-descarne, produção de blocos de concreto com incorporação de EVA moído e unidade de triagem de plásticos, papéis, tonéis e sucatas recicláveis;**
- 1.02-a Central deverá manter permanentemente no local um **operador** com formação mínima de técnico de nível médio, com conhecimento de resíduos sólidos e efluentes líquidos, que deverá acompanhar toda a movimentação de resíduos na área, devendo apresentar, até **15.06.2000**, a **ART** (Anotação de Responsabilidade Técnica) do mesmo;
- 1.03-o responsável técnico pela operação da Central deverá apresentar **laudo descrevendo a situação do aterro** com a periodicidade **trimestral**, contemplando os volumes e tipos de resíduos recebido nas diferentes unidades da Central, frequência, volume de percolado, serviços efetuados no período, percentual de ocupação das valas em operação, inspeções de drenagens e relatórios fotográficos de todas as unidades licenciadas e outros aspectos julgados relevantes para a avaliação da operação da mesma;
- 1.04-a Central deverá apresentar até **15.06.2000**, a **ART** (Anotação de Responsabilidade Técnica) do responsável técnico pela operação da Central;
- 1.05-a Central deverá manter no local, à disposição da fiscalização da FEPAM o **"Registro de Operação"**, onde constem todas as atividades desenvolvidas na área, de acordo com o item 07 da NBR N.º 10.157, da ABNT;

- 1.06-a Central deverá preencher o “**Registro de Recebimento - RSI**”, discriminando todos os tipos e quantidades de resíduos e produtos recebidos por fonte geradora, e encaminhá-lo à FEPAM com periodicidade **mensal**, devendo constar o destino dado ao mesmo dentro da Central;
- 1.07-o **percolado**, oriundo das valas de disposição final dos resíduos sólidos industriais, deverá ser encaminhado para tratamento nas empresas que estejam atendendo aos padrões de emissão, sem que acarrete prejuízo na eficiência das ETEs, devendo ser acompanhado dos respectivos Manifestos de Transportes de Resíduos - MTR , e com a ciência dos responsáveis técnicos pela operação das mesmas e ser informado à FEPAM, **mensalmente**, os volumes encaminhados para cada empresa, anexo ao “Registro de Recebimento - RSI”;
- 1.08-os **resíduos a serem transportados** para a Central, bem como o **percolado** a ser tratado nas ETEs dos curtumes deverão atender a NBR n.º 13221 da ABNT, devendo as empresas transportadoras serem licenciadas junto à FEPAM, conforme Lei 7873/83;
- 1.09-caso a Central opte por implantar um sistema de tratamento de percolado, deverá ser apresentado à FEPAM, **previamente a sua instalação**, o projeto correspondente, acompanhado das plantas necessárias, memorial descritivo, ART do responsável técnico e cronograma de implantação;
- 1.10-a Central deverá informar no “Registro de Recebimento – RSI”, a **relação dos números dos MTR** emitidos durante o mês, visando ao atendimento do Artigo 12, parágrafo 3º do Decreto Estadual n.º 38.356, **referente ao transporte do percolado** a ser tratado nas empresas;
- 1.11-a Central somente poderá receber resíduos acompanhados do respectivo Manifesto de Transportes de Resíduos - MTR, conforme Portaria FEPAM n.º 47-95/98, publicada no DOE em 29/12/98, de acordo com o Art. 12 do Decreto Estadual nº 38.356, de 01/04/98;
- 1.12-a Central deverá realizar análises dos parâmetros listados a seguir, preencher as "**Planilhas de Monitoramento de Águas Subterrâneas e Superficiais**" e encaminhá-las à FEPAM com a periodicidade **trimestral**; os parâmetros a serem monitorados são: pH, temperatura, alcalinidade ou acidez total, sulfatos, nitratos, cloretos, dureza, condutividade elétrica, turbidez, sólidos totais, sólidos suspensos totais e sólidos dissolvidos totais, DQO, alumínio, bário, cádmio, chumbo, cromo total, níquel, ferro, manganês, cobre, mercúrio, zinco, vanádio, arsênio, fenóis e sulfetos;
- 1.13-a Central deverá encaminhar, junto com as planilhas de águas subterrâneas, **laudo de amostragem**, contemplando: equipamentos de amostragem utilizados, operação de renovação da água dos poços de monitoramento, técnica de coleta, limpeza dos frascos e manuseio e preservação das amostras, conforme recomenda a NBR 13895 - Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem;
- 1.14-a Central deverá apresentar até **02/09/2000**, o "**Relatório Anual de Resíduos Sólidos**" de acordo com o item 7.3 da NBR N°10.157;
- 1.15-a Central deverá apresentar até **02./09/2000**, o **relatório fotográfico** atual e representativo da operação do aterro;
- 1.16-a Central deverá apresentar até **02/09/2000**, o **tratamento estatístico** dos resultados das análises físico-químicas efetuadas com o lençol freático, conforme recomenda a NBR 10.157 da ABNT, com a respectiva interpretação;
- 1.17-a Central deverá apresentar até **15.06.2000**, cópia do **Manual de Operação da Central**, acompanhado de declaração de ciência do mesmo por parte do responsável pelas empresas usuárias, devendo estar incluído neste, entre outros aspectos: treinamento periódico do pessoal envolvido, com mão de obra permanente ou contratada, acompanhamento e análise expedita dos drenos testemunhos, plano de prevenção contra incêndios e ações emergências e até **31.12.2000** atualização do manual, considerando as alterações das unidades em uso na Central ;
- 1.18-a Central deverá apresentar até **15.06.2000** nova **planta baixa** da área da Central, contemplando a localização das diversas atividades e valas licenciadas na presente Licença,

bem como a localização dos poços de monitoramento e canalizações das drenagens pluviais e de percolado;

- 1.19-a Central deverá apresentar até **15.06.2000** **mapa equipotenciométrico atualizado**, contemplando todos os poços de monitoramento e seus respectivos perfis de sondagem;
- 1.20-a Central deverá apresentar até **15.06.2000**, cópia dos acordos operacionais referentes às empresas denominadas de “pequeno porte”, não integrantes do seu quadro acionário ou declaração das Prefeituras Municipais envolvidas, relacionando as empresas credenciadas por município, para destinação final dos resíduos na Central, observando o tipo de resíduo gerado, os volumes e a vala a que se destinam;
- 1.21-a Central deverá apresentar à FEPAM até **31.12.2000**, relatório contemplando o **planejamento da Central** para os próximos (2) dois anos.
- 1.22-a Central **não poderá receber resíduos de empresas não constantes da presente licença**;
- 1.23-a Central poderá receber **lâmpadas fluorescentes**, desde que sejam estocadas de forma íntegra e acondicionadas em caixas de papelão, e que a FEPAM seja informada previamente sobre o local e a forma de recebimento e de disposição das mesmas, bem como de destino a ser dado;
- 1.24-a Central **não poderá receber resíduos contendo óleo, provenientes de postos de gasolina e similares, resíduos têxteis contaminados (panos e estopas) e resíduos de tintas e pigmentos, com exceção dos oriundos das usuárias do ramo de curtimento**;
- 1.25-as embalagens recebidas para comercialização não poderão conter resíduos;
- 1.26-a área de armazenamento de resíduos e produtos, destinados à comercialização deverá ser sinalizada, impermeabilizada e dotada de sistema de drenagem e contenção de derramamentos e/ou vazamentos até **30.06.2000**;
- 1.27-todas as vias internas à área da Central deverão ter cobertura com pedra britada até **31.07.2000**;
- 1.28-qualquer ampliação da área da Central deverá ser objeto de solicitação de licenciamento prévio a esta Fundação;
- 1.29-a Central deverá solicitar **autorização prévia** à FEPAM, para disposição de qualquer resíduo que não esteja especificado nesta Licença nas valas da Central;
- 1.30-a Central deverá solicitar **autorização prévia** à FEPAM, para o recebimento de resíduos de empresas que não constem da presente Licença;
- 1.31-qualquer obra a ser executada na Central deverá ser precedida da solicitação da respectiva **Licença de Instalação**, com a apresentação dos documentos e projetos em conformidade com as Normas Técnicas em vigor, sob pena de aplicação das penalidades previstas na legislação em vigor à Central e a todas as empresas usuárias da mesma;
- 1.32-a operação da Central ora licenciada pressupõe a adoção de um **sistema de gerenciamento de resíduos nas fontes geradoras**, assegurando a segregação dos mesmos nos locais de origem;
- 1.33-a Central deverá dar **ciência às empresas** que utilizam seus serviços quanto a presente Licença de Operação, encaminhando a FEPAM, até **15.06.2000**, a cópia da declaração desta ciência por parte das mesmas;
- 1.34-a Central deverá apresentar declaração de ciência da presente licença por parte de todas as empresas terceirizadas que atuam nesta área, especificando as atividades de atuação, até **15.06.2000**;
- 01.35-deverá ser solicitada autorização à FEPAM para envio de resíduos a outro Estado, caso a Central opte por esta alternativa.
- 1.36-a empresa deverá contratar uma auditoria ambiental independente, para avaliar sua operação em relação às condições e restrições constantes na presente L.O., devendo ser encaminhado à FEPAM, semestralmente, relatório elaborado pela auditoria acompanhado da respectiva ART;

2-Condições Específicas

2.1-Referentes às valas I e II

- 2.1.1-o selamento da superfície total deverá ser refeito com argila compactada até **31.08.2000**, com a colocação da geomembrana até **31.10.2000** e a recomposição da cobertura vegetal até **30.12.2000**;
- 2.1.2-os taludes das valas deverão ser recompostos com argila compactada até **31.08.2000** e recobertos com gramíneas em leivas até **31.12.2000**;
- 2.1.3-o sistema de drenagem de águas pluviais superficiais, utilizando calhas de cimento deverá ser implantado até **31.10.2000**, devendo os pontos de descarga serem construídos de forma a evitar processos erosivos;
- 2.1.4-a recomposição da rede externa de coleta de percolado, para assegurar a condução do mesmo à lagoa de percolado, deverá estar concluída até **31.08.2000**.

2.2-Referentes à vala III

- 2.2.1-a **capacidade máxima** de recebimento de resíduos da vala é de **3.000 m³/mês**;
- 2.2.2-**os seguintes resíduos poderão ser dispostos na vala: aparas e retalhos de couro, resíduos de varrição, resíduo plástico (filmes e pequenas embalagens), resíduos de papel e papelão contaminados, resíduos de PU, fibra de vidro e isopor**;
- 2.2.3-o selamento da superfície do módulo atual da vala, com argila compactada, deverá ser realizado até **30.11.2000**;
- 2.2.4-o sistema de drenagem de águas pluviais superficiais, utilizando calhas de cimento deverá ser implantado até **31.12.2000**, devendo os pontos de descarga serem construídos de forma a evitar processos erosivos;
- 2.2.5-a Central deverá implantar até **31.10.2000** o **módulo final da vala**, com capacidade para receber 500 m³/mês dos resíduos relacionados no item 02.02.02 e vida útil de 2 anos, devendo ser impermeabilizada com geomembrana de, no mínimo, 1,5 mm de espessura em PEAD, possuir dreno testemunho, drenagem de percolado e telhado de cobertura;
- 2.2.6-a Central deverá solicitar até **31.12.2000** a **Licença de Instalação** para nova vala de disposição dos resíduos citados no item 02.02.02, com a apresentação de projeto conforme Normas Técnicas da ABNT, acompanhado da ART dos respectivos técnicos e cronograma de implantação;
- 2.2.7-a Central está autorizada a receber os resíduos das empresas listadas no **anexo 1** para encaminhamento à vala III.

2.3-Referentes à vala IV

- 2.3.1-a **capacidade máxima** de recebimento de resíduos da vala é de **100 m³/mês**;
- 2.3.2-**os seguintes resíduos poderão ser dispostos na vala: fuligem e cinzas da caldeira, sais de têmpera e lodo galvânico**;
- 2.3.3-o selamento da superfície total do **módulo I** deverá ser realizado, com argila compactada, até **31.05.2000**;
- 2.3.4-o **módulo II** deverá ser impermeabilizado com geomembrana até **15.06.2000**, sendo vedada a disposição de resíduos neste módulo antes da conclusão da referida impermeabilização;
- 2.3.5-a Central deverá comunicar quando o **módulo II** encontrar-se com 50% da capacidade ocupada às empresas geradoras dos resíduos recebidos no mesmo, a previsão de suspensão de recebimento, encaminhando cópia da referida comunicação a esta Fundação, simultaneamente.
- 2.3.6-a Central está autorizada a receber os resíduos das empresas listadas no **anexo 2** para encaminhamento à vala IV;

2.4-Referentes à vala V

- 2.4.1-a **capacidade máxima** de recebimento de resíduos no módulo II (sul) da vala é de **1.500 m³/mês**;

- 2.4.2-esta vala poderá receber lodo de ETEs de curtumes e resíduos de tintas e pigmentos de empresas deste ramo industrial, bem como lodo proveniente de empresas com características compatíveis com o lodo de curtime;
- 2.4.3-o lodo a ser disposto nesta vala deverá ter um teor de umidade inferior a 70%;
- 2.4.4-o selamento da superfície total do **módulo I (sul e norte) da célula V** com argila compactada deverá ser realizado até **30.06.2000**, com a colocação da geomembrana até **31.10.2000** e a recomposição da cobertura vegetal até **31.12.2000**;
- 2.4.5-o sistema de drenagem superficial do **módulo I (sul e norte)** das valas deverá ser implantado até **31.10.2000**;
- 2.4.6-o selamento do **módulo II (norte)**, com argila, deverá estar concluído até **31.12.2000** e com geomembrana, até **31.01.2001**;
- 2.4.7-deverá ser apresentado, até **15.06.2000**, o **Laudo Técnico** de execução das obras de instalação da geomembrana, em conformidade com o “Manual de instalação e controle de qualidade para geomembranas de PEAD”;
- 2.4.8-deverão ser apresentados , até **15.06.2000**, os resultados obtidos na(s) sondagem(s) realizadas junto ao módulo I (sul), para identificação do nível do lençol freático nesta área, juntamente com planta onde o perfil de solo obtido e o perfil da célula estejam identificados, bem como a ART do responsável técnico pela mesma;
- 2.4.9-a Central está autorizada a receber os resíduos das empresas listadas no **anexo 3** para encaminhamento ao **módulo I (sul)** ;
- 2.5-Referentes à Área VI**
- 2.5.1-a **capacidade máxima** de recebimento de resíduos da vala é de **2.000 m³/mês**;
- 2.5.2-esta área destina-se ao recebimento de farelo e pó de couro curtido ao cromo;
- 2.5.3-a Central deverá realizar e manter a cobertura direta do farelo enfardado e estocado na **vala VI**, utilizando manta impermeável removível, mantendo apenas parte da área em operação (recebimento de resíduos), minimizando a geração de percolato;
- 2.5.4-a Central deverá apresentar até **15.06.2000**, projeto completo do que encontra-se efetivamente implantado como **vala VI**, conforme Normas Técnicas da ABNT, com as respectivas plantas e memorial descritivo , com informações acerca do comprometimento desta e vida útil remanescente da mesma;
- 2.5.5-a Central deverá apresentar até **15.06.2000**, projeto completo do **pavilhão de estocagem**, com plantas, memorial descritivo e cronograma de conclusão da implantação de no máximo 60 (sessenta) dias e demais itens, em conformidade com as Normas Técnicas da ABNT, juntamente com a(s) ART (s) do (s) responsáveis técnico(s) pelo mesmo, bem como do(s) responsáveis pela implantação;
- 2.5.6-a Central deverá solicitar até **31.12.2000** a **Licença de Instalação** relativa ao novo pavilhão para estocagem de resíduos, com apresentação do projeto completo, conforme Normas Técnicas da ABNT, ART do responsável Técnico e cronograma de implantação;
- 2.5.7-a Central está autorizada a receber os resíduos das empresas listadas no **anexo 4** para encaminhamento à **área VI** ;
- 2.6-Referente à Área Calçadista**
- 2.6.1-a **capacidade máxima** de recebimento de resíduos da vala é de **2.000 m³/mês**;
- 2.6.2-**os seguintes resíduos, provenientes das indústrias calçadistas, poderão ser recebidos no Pavilhão de Triagem e Enfardamento para posterior disposição na vala : aparas e retalhos de couro, tecidos naturais e sintéticos, aparas de solados sintéticos (PVC, PU e EVA), pó de lixamento, aparas de contraforte, espumas, acessórios plásticos e metálicos, resinas curadas, papel e papelão**;
- 2.6.3-todo o resíduo recebido nesta área deverá ser prensado e enfardado a partir de **30.06.2000**;
- 2.6.4-a Central deverá apresentar até **15.06.2000**, projeto completo do pavilhão de triagem implantado e de sua ampliação, com as respectivas plantas e memorial descritivo e demais itens, em conformidade com as Normas Técnicas da ABNT, juntamente com a(s) ART (s) do

- (s) responsáveis técnico(s) pelo mesmo, bem como do(s) responsável (is) pela implantação e cronograma de implantação;
- 2.6.5-a Central deverá apresentar até **15.06.2000**, projeto completo da **vala S2**, com as respectivas plantas e memorial descritivo e demais itens, em conformidade com as Normas Técnicas da ABNT, juntamente com a(s) ART (s) do (s) responsáveis técnico(s) pela mesma, bem como do(s) responsável (is) pela implantação, prevendo a completa cobertura dos resíduos a serem dispostos;
- 2.6.6-o selamento da superfície da **vala S1** com argila compactada deverá ser realizado até **30.07.2000**, quando passará a ser utilizada a **vala S2**;
- 2.6.7-a Central está autorizada a receber os resíduos das empresas listadas no **anexo 5** para encaminhamento à **Área Calçadista**;

Com vistas à renovação da LICENÇA DE OPERAÇÃO, o empreendedor deverá apresentar:

- 1-requerimento solicitando a renovação da Licença de Operação;
- 2-cópia desta licença;
- 3-comprovante do pagamento dos custos dos Serviços de Licenciamento Ambiental, conforme Resolução N° 01/95-CONS. ADM., publicada no DOE em 01/09/95.

Esta Licença só é válida para as condições contidas acima e pelo período de 1 (um) ano a contar da presente data. Porém, caso algum prazo estabelecido nesta Licença for descumprido, automaticamente perderá sua validade. Este documento perderá a validade caso os dados fornecidos pelo empreendedor não correspondam à realidade.

A presente Licença não dispensa nem substitui quaisquer alvarás ou certidões de qualquer natureza exigidos pela legislação Federal, Estadual ou Municipal.

Esta licença deverá estar disponível no local da atividade licenciada para efeito de fiscalização.

ALERTAMOS QUE: esta Licença será revisada pela FEPAM, possibilitando-se o seu ajustamento ao novo Sistema de Licenciamento Ambiental, disciplinado pela Resolução CONAMA N° 237, de 19/12/97, publicada no D.O.U, em 22/12/97, conforme Edital desta Fundação publicado no D.O.E., em 05/01/98.

Porto Alegre, 08 de maio de 2000.

Nilvo L. Alves da Silva
Diretor-Presidente da FEPAM.

FEPAM - DIV. LICENCIAMENTO
DATA: 08/05/2000
ASS:

RCS/teg.

fepam®.

Titulo da Dissertação: Avaliação da Contaminação das Águas Subterrâneas na Área de Influência da Usina de Tratamento de Resíduos S/A - UTRESA, em Estância Velha (RS)

Autor: Elizabeth Ibi Frimm Krieger

Orientador: Profa. Dra. Maria Tereza Raya Rodrigues

Esta dissertação tem uma estrutura clássica composta de nove capítulos e três anexos contendo as partes essenciais de uma dissertação de mestrado, apresentando os objetivos, trazendo uma revisão bibliográfica sobre o tema estudado, descrevendo o caso escolhido para estudo, descrevendo o material e método, apresentando os resultados, discussões e conclusões.

Atividades Experimentais, Metodologia e Solução do Problema Proposto.

O trabalho apresentado é perfeitamente adequado para uma dissertação de mestrado. A autora mostrou que tem uma visão específica sobre a problemática da disposição inadequada de resíduos sólidos e seus impactos na qualidade das águas subterrâneas, apesar deste último tema tenha sido pouco explorado.

Observa-se que a autora desenvolveu toda a parte experimental - muito bem, com todo rigor técnico e científico, cuidando de todos os procedimentos que este tipo de trabalho requer, desde o planejamento experimental, rotina de amostragem, instalação dos poços de monitoramento, coleta de amostras, medidas analíticas de campo, análises laboratoriais até a interpretação estatística dos dados, apresentação e discussão dos resultados.

A metodologia utilizada para executar os dois objetivos propostos é perfeitamente adequada tanto para avaliar a contaminação das águas subterrâneas em uma aterro de resíduos sólidos, assim como para a levantamento e o subsídio de informações para o gerenciamento deste sistema, tendo portanto solucionado o problema proposto.

Análise e Aproveitamento dos Resultados

Os resultados foram muito bem interpretados, tendo a autora aplicado de forma adequada, uma interpretação estatística que lhe proporcionou a possibilidade de avaliar uma grande número de informações em um assunto complexo com inúmeras variáveis.

Entretanto, as conclusões foram apresentadas em duas páginas, quando outros aspectos poderiam ser concluídos. Uma questão importante, neste tipo de problemática de aterros de resíduos sólidos, são a definição dos parâmetros mínimos prioritários a serem monitorados e a frequência adequada de amostragem. Esta decisão tem que ser tomada considerando a proteção do meio ambiente assim como os custos e a utilização das informações obtidas. Com estes dados, a autora poderia ter chegado a esta e outras conclusões, dando importante contribuição nesta problemática.

A autora deveria ter levantado o uso da água no entorno da área da utessa, assim como localizado os possíveis poços de abastecimento neste local. Se somente os recursos hídricos superficiais são utilizados, estes também deveriam ter sido monitorados. O bem a proteger em um caso de contaminação, devem ser identificados e monitorados sendo que esta informação é importante para subsidiar as ações de intervenção, emergenciais e de longo prazo, no local.

Uma informação prioritária em avaliação da qualidade das águas subterrâneas é a caracterização geológica e hidrogeológica da área, identificando-se os sistemas aquíferos e suas características, o que não foi apresentado.

Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica aborda os seguintes temas: classificação dos resíduos sólidos, aterros de resíduos sólidos industriais, processo produtivo de curtume, caracterização quali e quantitativa dos resíduos de curtume e águas subterrâneas.

Neste capítulo a autora efetuou uma descrição didática dos temas abordados, nos moldes de uma apostila tendo baseado-se em referências básicas para o assunto resíduos sólidos, como Rocco et al., (1993) não tendo entretanto, consultado outras publicações importantes internacionais recentes, nem efetuado uma avaliação cronológica para inserir o seu tema específico.

Da mesma maneira, para o assunto águas subterrâneas, as publicações consultadas são básicas, entretanto a referência mais citada é uma apostila de Hassuda (1996), que utiliza várias outras importantes referências como Hirata (vários anos), cujo autor não está referenciado. Em relação ao tema águas subterrâneas, algumas figuras são colocadas como de autoria de Hassuda quando na verdade são de Ramos et al. (1989) onde o autor do capítulo sobre águas subterrâneas, desta referência que deve ser citado é Clearly, R.

Desta forma, o número total de publicações consultadas foi reduzido e muito repetitivo, não apresentando as publicações atuais em uma assunto que teve muitas publicações recentemente, em função da grande demanda atual pelo recurso hídrico subterrâneo.

Só para citar as mais importantes, deveria ter sido consultado Feltosa, F.A. C. Hidrogeologia, Conceitos e Aplicações 2ª Ed. CPRM, 2000, 391p. Serviço Geológico do Brasil. Esta referência apresenta um capítulo específico para hidrogeoquímica e qualidade das águas subterrâneas, com comparações e discussões importantes. Outra referência recente é IG.CETESB, DAEE, Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo, 1997, Vol I e II.

A autora, também poderia ter consultado os boletins técnicos da ABAS referentes à Boletim no 2: Coletânea da Legislação e Regulamentação sobre o Uso e Preservação das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo, Boletim no 3: Diagnóstico do Setor Hidrogeologia PADCT-MCT e Boletim no 4: Temos Hidrogeológicos Básicos. A ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas tem um núcleo no rio Grande do Sul tendo como presidente neste Estado o Sr. Mario Wrege, IPH, Fone: 51.330.2727, email: wrege@acion.ufrs.br.

No capítulo recomendações, a autora recomenda que seja realizado um diagnóstico ambiental neste local, afim de propor métodos e tecnologias adequadas para a recuperação da área contaminada.

A forma de efetuar esta colocação, demonstra que a autora ainda não teve a oportunidade de conhecer a problemática de áreas contaminadas. Antes de definir-se uma área como contaminada, além de se efetuar investigações preliminares (informações do histórico da área) e detalhadas (análises de solos e águas), o que a autora efetuou, se faz necessário efetuar-se uma investigação confirmatória onde deverão ser levantadas todas as vias de exposição efetuando-se uma avaliação de risco, o que não foi realizado. Desta forma, sugere-se que na recomendação substitua-se recuperação da área contaminada, por intervenção em áreas potencialmente contaminada.

Apresentação Geral

Tendo examinado a dissertação de mestrado da candidata Elizabeth Ibi Fimm Krieger, considero que o tema selecionado é atual e de extrema importância para o meio ambiente, para a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos e para as atividades profissionais executada pela candidata. Esta dissertação foi apresentado de forma consistente, com uma linguagem clara e adequada, utilizando de forma apropriada as figuras e gráficos apresentados. Recomendo que a candidata publique em um curto prazo, estes resultados, em uma revista nacional referenciada, considerando a carência de informações sobre este assunto e a importância das conclusões obtidas.

São Paulo, 12 de novembro de 2000.



Prof. Dra. Dorothy Carmen Pinatti Casarini

Dep. De Geologia Ambiental e Sedimentar- USP- São Paulo

CETESB- Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental.

P. Alegre, 16 de Novembro de 2000

PARECER

A dissertação versou sobre o diagnóstico das condições de qualidade dos recursos hídricos sub-superficiais na área de influência direta de uma central de tratamento e disposição final de resíduos sólidos industriais, com predominância de aportes da indústria curtumeira e calçadista. O trabalho mostrou que foram empregados métodos adequados de pesquisa de campo, analíticos e estatísticos. Poderia haver alguma discussão sobre o emprego da Análise dos Componentes Principais. O estudo contrastou os dados primários com dados secundários de outros ambientes como esperado de uma disseertação de mestrado. Foram recomendadas uma série de intervenções e aprimoramentos na operação da central, pois os resultados apontam a contaminação dos lençóis subterrâneos, impedindo os seus usos mais nobres e preponderantes. Estão de parabéns a candidata e a orientadora pelo trabalho realizado.


Prof. Sérgio João de Luca

PARECER - Dissertação de Mestrado de Elizabeth Ibi F. Krieger

De forma geral, a dissertação encontra-se bem escrita, onde o autor foi capaz de identificar e caracterizar o problema, definir objetivos relativo ao problema, propor metodologia para alcançar os objetivos e interpretar os resultados obtidos, versando o tema em questão.

Todavia, a parte referente a revisão bibliográfica foi repetitiva, cujo número total de publicações consultadas foi muito reduzido. Faltou citar referências mais atualizadas internacional como nacional.

Faltou por parte da autora apresentar dados hidrogeológicos e com isto relacionar estes dados com os de caracterização dos resíduos para avaliar a migração dos contaminantes. Diante disso sugere-se que em um próximo trabalho seja incluído a parte de hidrogeologia.

Quanto as figuras, especialmente, os gráficos apresentaram problemas quanto as escalas, não encontrando-se na forma adequada.

Recomenda-se que a autora publique os resultados em uma revista científica referenciada, pelo fato deste assunto ser de grande importância e ter poucos trabalhos, principalmente a nível Nacional.

Porto Alegre 16 de Novembro de 2000


Dra. Elba Calestro Teixeira

Gerencia de programas

FEPAM