



**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

EDUARDO WESTRUP ROSS

**ESTUDOS DE MECANISMOS DE MIGRAÇÃO DE POLUENTES PELA
DISPOSIÇÃO DE CINZAS DE CARVÃO MINERAL**

CRICIÚMA, NOVEMBRO DE 2007



**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

EDUARDO WESTRUP ROSS

**ESTUDOS DE MECANISMOS DE MIGRAÇÃO DE POLUENTES PELA
DISPOSIÇÃO DE CINZAS DE CARVÃO MINERAL**

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado à obtenção do grau de Engenheiro Ambiental e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense.

CRICIÚMA, NOVEMBRO DE 2007



**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

EDUARDO WESTRUP ROSS

**ESTUDOS DE MECANISMOS DE MIGRAÇÃO DE POLUENTES PELA
DISPOSIÇÃO DE CINZAS DE CARVÃO MINERAL**

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado à obtenção do grau de Engenheiro Ambiental e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense.

Criciúma – SC, 23 de novembro de 2007.

Prof. Dr. Carlyle Torres Bezerra de Menezes
Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Msc. Clóvis Norberto Savi
Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Eduardo de Oliveira Nosse
Universidade do Extremo Sul Catarinense

DEDICATÓRIAS

Dedico este trabalho principalmente aos meus pais, José Macedo Ross e Eliete Maria Westrup Ross, por terem me proporcionado o estudo, pelo apoio, carinho, cuidado, atenção, amor e exemplo de vida, e a minha irmã, Cristine Westrup Ross, por estar sempre ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente o Prof. Carlyle Torres Bezerra de Menezes pela atenção e colaboração na orientação deste trabalho; não esquecendo dos demais professores que fizeram parte da minha graduação; a todos meus colegas de sala de aula e aos demais amigos pela amizade, companheirismo e apoio nesta importante etapa de minha vida.

EPÍGRAFE

*A primeira lei da natureza é a tolerância - já que
temos todos uma porção de erros e fraquezas.*

Autor : Voltaire

RESUMO

Depósitos de resíduos oriundos de processos industriais necessitam de cuidados antes, durante e após a interrupção das atividades de deposição. Os possíveis contaminantes existentes nos resíduos constituem o maior problema ambiental, pois em condições específicas podem causar a contaminação das águas subterrâneas existentes nestas áreas. O presente estudo buscou investigar os mecanismos de migração dos poluentes contidos em cinzas de carvão mineral dispostas de forma inadequada no solo. Essas cinzas, provenientes de processos de combustão em fornalhas de leito fluidizado, apresentaram entre os seus constituintes, concentrações acima dos limites de solubilização da Norma NBR 10.004 / 2004: arsênio ($0,011 \text{ mg.L}^{-1}$), fluoretos ($1,6 \text{ mg.L}^{-1}$) e sulfatos (1462 mg.L^{-1}). O subsolo da área de estudo é caracterizado pela presença de texturas fortemente argilosas, que favorecem processos de adsorção dos componentes do resíduo. Os trabalhos de investigação das águas subterrâneas realizados também apresentaram resultados que apontam para a necessidade de uma maior investigação com vistas à possibilidade de remediação dessa área. Para a comparação dos resultados foram utilizadas listas de padrões da Holanda, CETESB e CONAMA, que apesar de serem específicas para qualidade de águas subterrâneas não representam as condições reais do solo e da geologia local.

Palavras-chave: Áreas degradadas. Cinzas de carvão mineral. Água subterrânea. Migração de poluentes.

ABSTRACT

Deposits of residues originating from of industrial processes need cares, before, during and after the interruption of the deposition activities. The possible existent pollutants in the residues constitute the largest environmental problem, because in specific conditions these can cause the contamination of the existent underground waters in these areas. The present study looked for to investigate the mechanisms of migration of the pollutant ones contained in ashes of mineral coal disposed inadequately in the soil. Those ashes, coming of combustion processes in fluidized bed furnaces, presented among their components, concentrations higher the solubilization limits of NBR 10.004 / 2004: arsenic ($0,011 \text{ mg.L}^{-1}$), fluoride ($1,6 \text{ mg.L}^{-1}$) and sulphate (1462 mg.L^{-1}). The area's subsoil is characterized by the presence of textures strongly loamy, which favor processes of adsorption of the residue's components. The works of investigation of the underground waters accomplished presented also results that indicate for the need of a larger investigation with views to the possibility of remediation of this area. For the comparison of the results indexes of quality of underground waters were used, indexes from Holland, CETESB and CONAMA, that in spite of they be specific for quality of underground waters, don't represent the real conditions of the soil and of the local geology.

Key-words: Degraded areas. Ashes of mineral coal. Underground waters. Migration of pollutant.

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

IPAT – Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas da Universidade do Extremo Sul Catarinense

NBR – Normas Brasileiras

PEBD – Polietileno de baixa densidade

PEAD – Polietileno de alta densidade

PMC – Prefeitura Municipal de Criciúma

S/D – Sem denominação

USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América

VROM – Ministério de Planejamento Territorial e Meio Ambiente da Holanda

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Água doce da hidrosfera.....	19
Tabela 02: Classificação dos solos segundo a granulometria das partículas.....	24
Tabela 03: Valores selecionados de porosidade, rendimento específico e retenção específica.....	26
Tabela 04: Valores típicos de permeabilidade e condutividade hidráulica para materiais inconsolidados.....	27
Tabela 05: Velocidade de movimento e distribuição da água.....	32
Tabela 06: Classificação das águas segunda a dureza.....	35
Tabela 07: Classificação das águas segundo os sólidos dissolvidos totais.....	41
Tabela 08: Análise química da cinza obtida a partir da queima de carvão mineral em fornalha de leito fluidizado.....	53
Tabela 09: Análise química da cinza obtidas em queima direta em uma usina termoelétrica.....	54
Tabela 10: Características principais do carvão mineral tipo CE – 4.500.....	56
Tabela 11: Padrões de qualidade de água subterrânea utilizadas.....	67
Tabela 12: Resultados obtidos no ensaio de massa bruta para corrosividade da amostra de cinza da fornalha.....	69
Tabela 13: Resultados obtidos no ensaio de massa bruta para reatividade da amostra de cinza da fornalha.	70
Tabela 14: Resultados obtidos no ensaio de lixiviação.....	71
Tabela 15: Resultados obtidos no ensaio de solubilização.....	72
Tabela 16: Resultados dos trabalhos de sondagem realizados no ponto 01 da área de estudo.....	73
Tabela 17: Resultados dos trabalhos de sondagem realizados no ponto 02 da área de estudo.....	74
Tabela 18: Resultados dos parâmetros de água subterrânea analisados.....	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Ensaio laboratoriais realizados com a amostra de cinzas.....	60
Quadro 02: Parâmetros analisados, metodologia de análise laboratorial, concentração mínima detectável e local de realização das análises de água subterrânea.....	64
Quadro 03: Dados dos pontos de coleta de água subterrânea.....	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: As cinco partes fundamentais do sistema ambiental: ar, água, solo, sedimento, biota.....	18
Figura 02: Ciclo hidrológico.....	21
Figura 03: Distribuição das fases líquida e gasosa no solo.....	22
Figura 04: Mecanismos físicos de mistura mecânica em escala microscópica.....	29
Figura 05: Mecanismos de tortuosidade em escala microscópica.....	29
Figura 06: Visita de reconhecimento à área de estudo.....	42
Figura 07: Poço piezométrico (PZ-02).....	44
Figura 08: Localização do município de Criciúma.....	45
Figura 09: Área representativa do estudo de caso.....	46
Figura 10: Representação da área de deposição do resíduo de cinza.....	46
Figura 11: Pilha de cinza depositada na área de estudo.....	47
Figura 12: (A) Início das operações de deposição de cinzas na área de estudo (B) Situação atual da área de estudo.....	48
Figura 13: Camadas de argila dispostas na área de estudo no início das atividades de deposição.....	49
Figura 14: Pilhas de cinza depositadas na área de estudo no início das atividades.....	49
Figura 15: Croqui detalhado da área.....	50
Figura 16: Fornalha de leito fluidizado a carvão mineral.....	52
Figura 17: Aterros de cinzas localizados no entorno de uma usina termoeletrica localizada na região Sul de Santa Catarina.....	53
Figura 18: Fluxograma do processo de queima de carvão mineral em uma fornalha de leito fluidizado.....	55
Figura 19: Exemplos de ciclones.....	57
Figura 20: Ponto de coleta das amostras de cinzas.....	58
Figura 21: Amostras de solo e subsolo da área de estudo.....	62
Figura 22: Atividades de limpeza e coleta das amostras de água nos piezômetros 1, 2 e 3.....	63
Figura 23: Relação entre porosidade e retenção específica segundo HEATH, 1982.....	75

Figura 24: Valores de pH obtidos na área de estudo.....	79
Figura 25: Valores de dureza obtidos na área de estudo.....	80
Figura 26: Valores referentes ao parâmetro sódio (Na) obtidos na área de estudo.....	81
Figura 27: Valores obtidos para o parâmetro alumínio (Al) na área de estudo.....	82
Figura 28: Diagrama de solubilidade de metais.....	83
Figura 29: Valores encontrados para o arsênio (As) na área de estudo.....	84
Figura 30: Valores obtidos para o parâmetro ferro total (Fe)	86
Figura 31: Valores encontrados para manganês total (Mn).....	87
Figura 32: Valores das análises do parâmetro zinco (Zn).....	88
Figura 33: Valores obtidos para o parâmetro fluoretos.....	89
Figura 34: Valores encontrados para sulfatos na área de estudo.....	90
Figura 35: Valores de sólidos dissolvidos totais obtidos nas amostras de água subterrânea da área de estudo.....	91

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO / JUSTIFICATIVA	15
2. OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 O SISTEMA AMBIENTAL	18
3.2 ÁGUA SUBTERRÂNEA	19
3.2.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	21
3.2.2 DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	22
3.2.2.1 Zona não saturada	22
3.2.2.2 Zona saturada	23
3.2.2.3 Franja capilar	23
3.3 GEOLOGIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	24
3.3.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	25
3.3.1.1 Porosidade total	25
3.3.1.2 Porosidade efetiva	25
3.3.1.3 Rendimento específico e retenção específica	26
3.3.1.4 Condutividade hidráulica	26
3.4 TRANSPORTE DE CONTAMINANTES NOS SOLOS	27
3.4.1 MECANISMOS DE TRANSPORTE FÍSICOS	28
3.4.1.1 Advecção	28
3.4.1.2 Dispersão	28
3.4.2 MECANISMOS DE TRANSPORTE QUÍMICOS	30
3.4.2.1 Adsorção	30
3.4.2.2 Troca iônica	30
3.4.2.3 Absorção	31
3.5 MOBILIDADE DE METAIS PESADOS	31
3.6 CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	32
3.7 FONTES DE CONTAMINAÇÃO DO SOLO E DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	33
3.8 PROPRIEDADES E CONSTITUINTES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ABORDADOS NO PRESENTE ESTUDO	34
3.8.1 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)	34
3.8.2 DUREZA TOTAL	35
3.8.3 SÓDIO (Na)	35
3.8.4 CÁLCIO (Ca)	36
3.8.5 ALUMÍNIO (Al)	36
3.8.6 ARSÊNIO (As)	36
3.8.7 CÁDMIO (Cd)	38
3.8.8 CHUMBO (Pb)	38
3.8.9 COBRE (Cu)	38
3.8.10 FERRO (Fe)	39
3.8.11 MANGANÊS (Mn)	39
3.8.12 ZINCO (Zn)	40
3.8.13 FLUORETOS (F ⁻)	40

3.8.14 SULFATOS (SO_4)	40
3.8.15 SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	41
4. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	42
5. IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA	45
6. HISTÓRICO DA ÁREA	48
7. DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO	51
8. MÉTODOS DE ANÁLISE.....	58
8.1 CINZAS.....	58
8.2 INVESTIGAÇÃO DE SOLO E SUBSOLO	61
8.3 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	62
8.4 CLASSIFICAÇÃO E ENQUADRAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS..	65
9. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	69
9.1 AVALIAÇÃO DO RESÍDUO DE CINZAS.....	69
9.1.1 ENSAIO DE MASSA BRUTA	69
9.1.2 ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO	70
9.1.3 ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO	71
9.2 HIDROGEOLOGIA DA ÁREA.....	73
9.3 AVALIAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	77
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
REFERÊNCIAS.....	93
ANEXO A – ANÁLISE: RESÍDUO DE CINZAS.....	97
ANEXO B – SONDAGENS	106
ANEXO C – ANÁLISES DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	109

1. INTRODUÇÃO / JUSTIFICATIVA

Em virtude dos crescentes problemas de escassez d'água, a necessidade de se conservar as águas subterrâneas como fonte de abastecimento, se tornou tão importante quanto a proteção destinada às águas superficiais.

Paralelamente a esta nova abordagem, depósitos de resíduos, originados de processos industriais, necessitam de cuidados antes, durante e após a interrupção das atividades de deposição. Os possíveis contaminantes existentes nos resíduos constituem o maior problema ambiental, pois em condições específicas, podem causar a contaminação das águas subterrâneas existentes nestas áreas. Quando a qualidade da água é afetada, os usos atuais e futuros destas reservas podem ser comprometidos dependendo do grau de contaminação existente.

Um plano de recuperação de uma determinada área contaminada deve levar em conta, ações planejadas e executadas de forma ordenada. No caso das águas subterrâneas, as características do solo e da geologia local devem ser levadas em consideração devido a estas interferirem significativamente no comportamento dos constituintes existentes nos resíduos.

No Brasil, a inexistência de padrões próprios para qualidade das águas subterrâneas em muitas regiões, leva em muitos casos, a comparações equivocadas de resultados obtidos com listas de padrões direcionados as águas superficiais, como a Resolução CONAMA 357/05. Esta atitude pode conduzir a conclusões distorcidas em referência a qualidade das águas subterrâneas.

Diante do pressuposto, faz-se necessário avaliar a real influência dos resíduos, sobre as condições da água subterrânea e até que ponto as mesmas sofrem interferências relacionadas às condições ambientais locais (solo, água, geologia).

A região Sul de Santa Catarina é reconhecida como um importante pólo industrial, sobretudo em função da produção de materiais cerâmicos, embalagens, equipamentos para indústria metal-mecânica, etc. Por outro lado, ao longo dos anos um grande passivo ambiental ficou acumulado, tanto em decorrência da extração de matérias primas minerais, quanto ao lançamento de efluentes atmosféricos, pela disposição desordenada de resíduos sólidos e efluentes líquidos industriais produzidos pelas empresas. A área objeto do presente estudo corresponde a um

antigo depósito de cinzas provenientes da combustão de carvão mineral em fornalhas industriais. Neste trabalho buscou-se avaliar as possíveis formas de contaminação das águas subterrâneas em decorrência da possível infiltração dos principais constituintes das cinzas típicas de carvão mineral da região e os mecanismos de migração dos poluentes, entre os quais sulfatos, fluoretos e metais como ferro, manganês, chumbo, zinco, cádmio, alumínio, arsênio entre outros.

2. OBJETIVOS

São os propósitos desta investigação tanto em âmbito geral como específico.

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterização de poluentes constituintes de cinzas de carvão mineral e estudo dos mecanismos de contaminação da água subterrânea em decorrência da disposição desordenada destes resíduos sólidos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar um estudo de caracterização de uma área de disposição de cinzas de carvão mineral;
- Caracterizar o processo produtivo de uma fornalha industrial, com vista à identificação do processo responsável pela geração do resíduo;
- Caracterizar as cinzas de carvão mineral e os principais constituintes;
- Caracterizar as cinzas e classificar este tipo de resíduo conforme a Norma ABNT NBR 10.004 / 2004;
- Estudar os mecanismos de contaminação da água subterrânea;
- Avaliar os instrumentos normativos e de controle da qualidade das águas subterrâneas (Listagem Holandesa, lista de valores orientados da CETESB para águas subterrâneas e proposta de resolução CONAMA para enquadramento das águas subterrâneas).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O SISTEMA AMBIENTAL

Para efeito de simplificação e melhor compreensão dos mecanismos de interação entre os vários ecossistemas, definiu-se o conceito de sistema ambiental (Figura 01), como a integração de cinco compartimentos ambientais fundamentais, quais sejam: atmosfera, água, solo, sedimento e biota (animais e plantas). (PERIN, 2005).

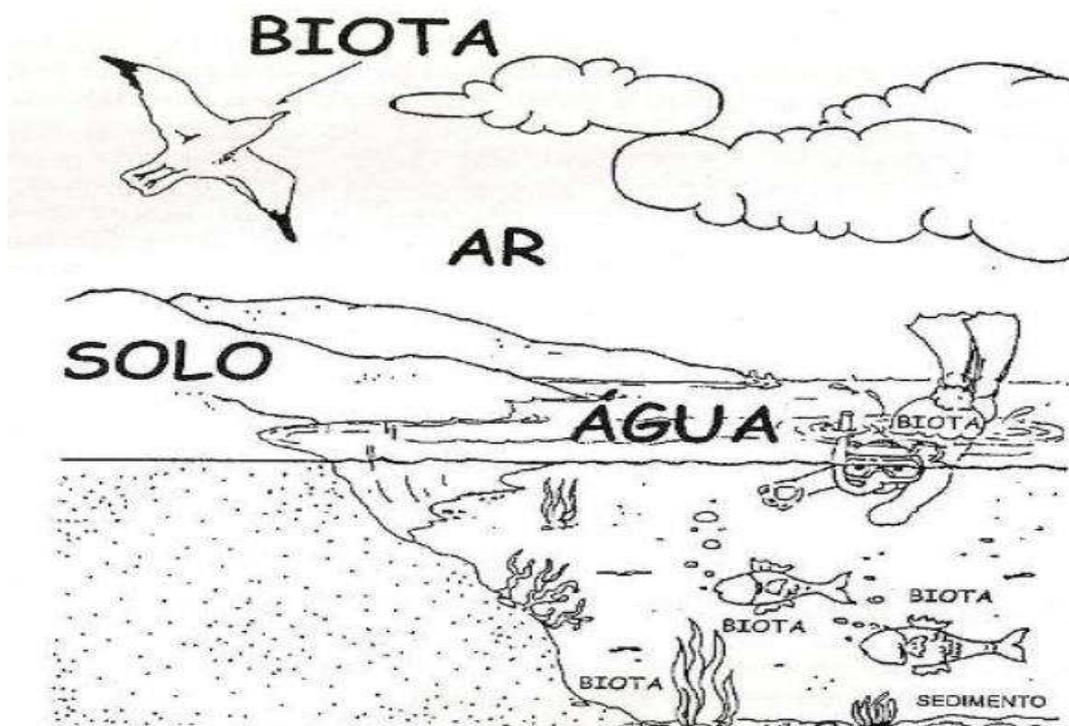


Figura 01: As cinco partes fundamentais do sistema ambiental: ar, água, solo, sedimento, biota. Fonte: Adaptado de Perin, 2005.

A interatividade entre os compartimentos é imensa. Um composto químico emitido em qualquer compartimento (atmosfera, solo, água, sedimento ou biota), deverá se dispersar por todos os outros, com tempo e modo diversos, dependendo das características de reatividade de cada composto (PERIN *op cit*, 2005).

Propagado por diferentes vias (ar, as águas subterrâneas e superficiais e o próprio solo), o contaminante acaba alterando suas características naturais e

originando impactos negativos que podem acarretar riscos aos bens naturais existentes na área afetada (CETESB, 1999).

O destino de um composto químico em um compartimento ambiental poderá ocorrer segundo dois fatores principais (PERIN, 2005):

- Estrutura molecular e atômica: que determina as características como solubilidade em água.
- Natureza do ambiente onde se encontra o composto: temperatura, velocidade do ar, velocidade da água, porosidade do meio, polaridade dos compostos e das interfases, etc.

3.2 ÁGUA SUBTERRÂNEA

“A água subterrânea é uma solução diluída de inúmeros elementos e compostos sólidos, líquidos ou gasosos em proporções diversas, provenientes do ar, dos solos e das rochas e do contato com atividades humanas” (FEITOSA; FILHO, 1997, p. 109).

A maioria das aberturas abaixo da superfície contém água e a importância desta água para a humanidade pode ser demonstrada pela comparação de seu volume com os volumes de água existentes em outras partes da hidrosfera (Tabela 01) (HEATH, 1982).

Tabela 01: Distribuição da massa de água no planeta. Fonte: Braga, 2002.

Partes da hidrosfera	Área (10 ⁶ Km ²)	Volume (10 ⁶ Km ³)
Oceanos	361,3	1338,0
Água subterrânea	134,8	23,4
Calotas polares	16,2	24,1
Rios	14,88	0,002
Lagos	2,06	0,176
Atmosfera	0,013	0,001

A importância da água subterrânea pode ser medida em termos de números de poços artesianos perfurados no mundo. Segundo dados da UNESCO milhões de poços artesianos são perfurados para abastecimento de mais de 50% da população do planeta e para irrigação de milhares de áreas para fornecimento de alimento (FEITOSA; FILHO, 1997).

No Brasil, a falta de controle na utilização da água subterrânea, não permite a geração de estimativas precisas quanto ao uso da água subterrânea (FEITOSA; FILHO *op cit*, 1997).

Segundo o mesmo autor, em 1991, dados obtidos pelo IBGE já afirmavam que 61% dos brasileiros eram abastecidos por fontes ligadas a água subterrânea, como poços artesianos, nascentes, etc.

Na Europa, segundo fontes do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo), 75% dos sistemas públicos de abastecimento se utilizam da água subterrânea, chegando à 90% em países como Dinamarca, Suécia, Bélgica, Alemanha e Áustria.

As águas subterrâneas encontradas nos sistemas aquíferos, são águas armazenadas que se acumularam ao longo de milhares de anos e se encontram na sua maioria em condições naturais, numa situação de quase equilíbrio. Esse acúmulo se deve principalmente ao lento movimento das águas no subsolo (FEITOSA; FILHO, 1997).

Estas reservas são resultantes de processos relacionados ao ciclo hidrológico (Figura 02), o qual é controlado por fatores tais como: força da gravidade, tipo e densidade da cobertura vegetal, umidade, temperatura do ar, ventos, índice de insolação, que influenciam diretamente a atmosfera e as superfícies líquidas (rios, lagos, oceanos, etc.) (FILHO *apud* SILVA, 2002).

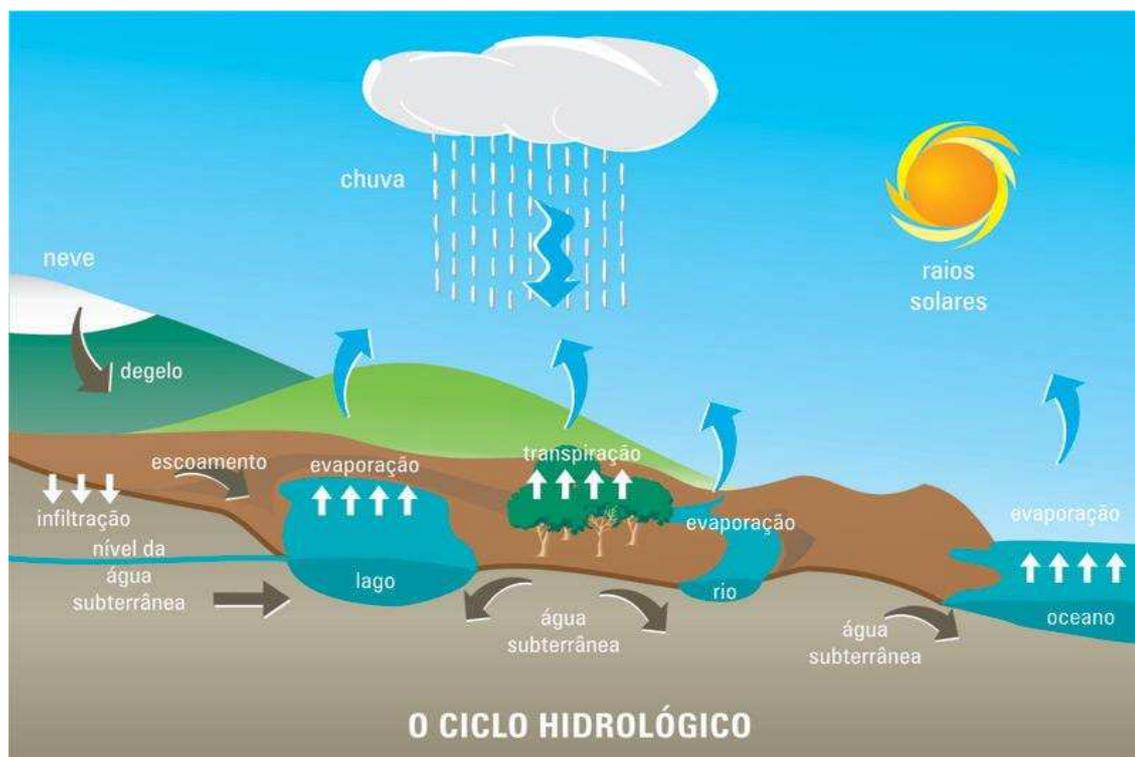


Figura 02: Ciclo hidrológico. Fonte: <http://www.sg-guarani.org>

As águas de superfície (lagos, represas, rios, entre outras formas de ocorrência) e as águas subterrâneas, não são necessariamente recursos independentes. Em muitos casos podem existir ligações entre corpos de água superficial e reservas de água subterrânea (FEITOSA; FILHO, 1997, p. 07).

Atualmente, a importância das águas subterrâneas como fonte de abastecimento doméstico, industrial e agrícola pode ser comparada a importância das águas de superfície. Em muitos estados brasileiros, como Rio de Janeiro e São Paulo, muitas indústrias abastecem seus processos apenas com água proveniente do subsolo. (ZIMBRES, 2007).

3.2.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Em Vias gerais, as águas subterrâneas ocorrem em áreas extensas e possuem características que a diferenciam das águas superficiais (FEITOSA; FILHO, 1997).

De acordo com o mesmo autor, isto se dá, pois enquanto que o fluxo de águas superficiais sofre a interferência de flutuações climáticas, como em períodos de estiagem ou de cheias, as influências climáticas produzidas sobre o fluxo das

águas subterrâneas são muito pequenas, devido a isso, há uma grande demanda por águas no subsolo em épocas de estiagem. Isto se deve principalmente ao fato de que as águas subterrâneas, por possuírem uma maior proteção, estão quase sempre preservadas da evaporação direta.

3.2.2 DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As águas subterrâneas estão contidas em subsuperfície, no solo e nas formações geológicas (SILVA, 2002).

A água contida no solo e nas formações geológicas é dividida ao longo da vertical basicamente em duas zonas horizontais, a não saturada e a saturada (Figura 03), conforme a proporção relativa do espaço poroso ocupado dividido pela água com a fase gasosa (FEITOSA; FILHO, 1997).

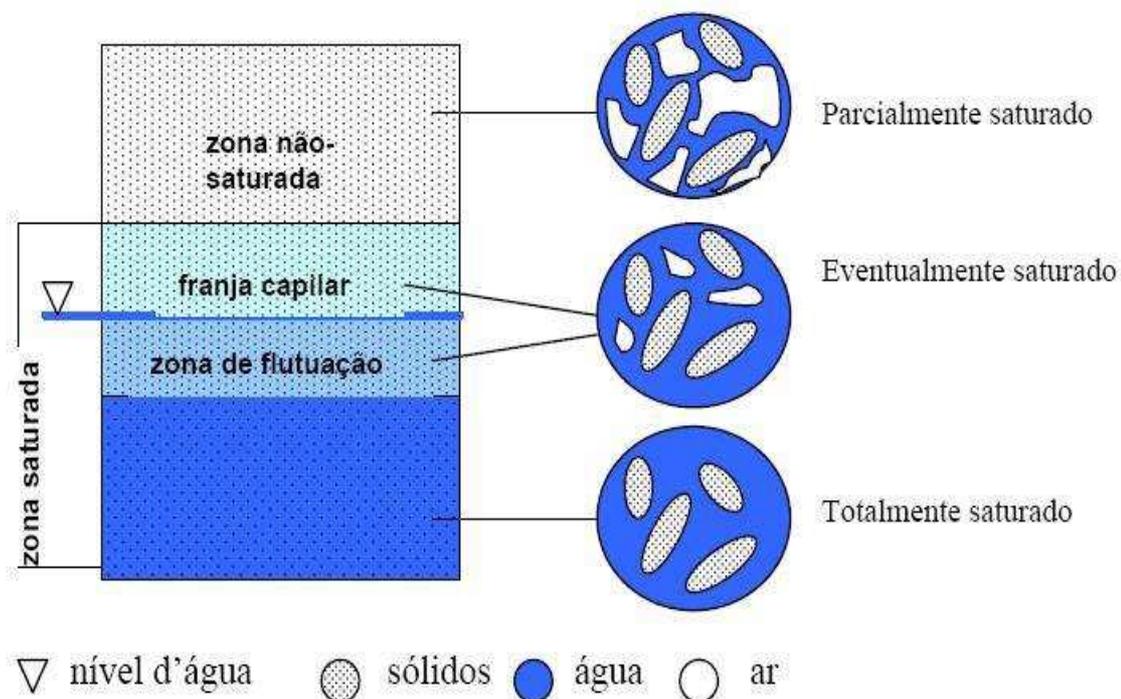


Figura 03: Distribuição das fases líquida e gasosa no solo. Fonte: Silva, 2002

3.2.2.1 Zona não saturada

A zona não saturada situa-se entre a superfície freática (nível d'água) e a superfície do terreno e apresenta água e gases nos espaços intergranulares. A água

nesta região apresenta pressão negativa devido ao potencial de sucção (CLEARY *apud* SILVA, 2002).

3.2.2.2 Zona saturada

“A zona saturada encontra-se abaixo da superfície freática e apresenta água na totalidade dos poros do solo, num estado de pressão positiva” (FILHO *apud* SILVA, 2002, p. 13).

A zona saturada corresponde aos conhecidos aquíferos subterrâneos que podem ser caracterizados em função do grau de porosidade, dimensão e interconexões dos poros que a constituem, fatores que permitem a movimentação das águas com menor ou maior facilidade (AZEVEDO; ALBUQUERQUE FILHO *apud* SILVA, 2002).

As formações permeáveis, como as areias e os arenitos, são exemplos de aquíferos. Em formações impermeáveis, como as camadas de argila, a água, até mesmo em quantidades significativas, pode ser incapaz de ser transmitida em condições naturais. Essas formações com água retida são chamadas de aquílude (FEITOSA; FILHO, 1997).

Os aquíferos podem ser apresentados na forma livre na qual seu limite superior de saturação fica em contato com o ar, próximo à superfície e sobre uma camada impermeável ou semipermeável, e na forma confinada, envolvidos por materiais relativamente impermeáveis (camadas confinantes) que retardam a percolação a penetração da água e apresentam pressões mais elevadas que a pressão atmosférica (FILHO *apud* SILVA, 2002).

Conforme SILVA (2002, p. 19) “A recarga dos aquíferos ocorre pela infiltração d’água no solo em pontos de recarga ou pela migração lenta através da camada confinante”.

3.2.2.3 Franja capilar

“A franja capilar separa a zona não saturada da zona saturada e apresenta espessura variável, variando de alguns centímetros para materiais grosseiros tais como cascalhos, até atingir alguns metros em texturas mais argilosas” (CLEARY *apud* SILVA, 2002, p. 12).

Em um cascalho fino a ascensão capilar não passa de 1 cm, enquanto que em um silte pode atingir mais de 2 metros (FEITOSA; FILHO, 1997).

Próximo à superfície freática ou nível de água, os poros dos materiais existentes na franja capilar encontram-se praticamente preenchidos com água. Já nas partes mais superiores, somente as partículas menores se encontram saturadas (FEITOSA; FILHO, 1997).

3.3 GEOLOGIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os solos são materiais resultantes de dois processos geológicos. O primeiro é o intemperismo, ação do clima, tempo, relevo, organismos, entre outros, que origina os solos residuais, e o segundo processo é a erosão, seguida do transporte e deposição de materiais superficiais, que resulta na formação dos solos transportados (CASAGRANDE *apud* SILVA, 2002).

Os tipos de solo são distinguidos através do tamanho dos grãos que o compõe, ou seja, segundo a sua classificação textural ou granulométrica (SILVA, 2002).

A ABNT por meio da norma técnica NBR 6502, classifica os solos, segundo a sua granulometria, conforme descrito na Tabela 02.

Tabela 02: Classificação dos solos segundo a granulometria das partículas. Fonte: ABNT, 1995

Material	Diâmetro da partícula (mm)
Argila	< 0,005
Silte	0,005 – 0,05
Areia fina	0,05 – 0,42
Areia média	0,42 – 2,0
Areia grossa	2,0 – 4,8
Pedregulho	4,8 – 76

Quanto maior o tamanho médio dos grãos do solo, maior a permeabilidade, pois os vazios entre as partículas são relativamente maiores.

Quanto maior for à variação do tamanho das partículas do solo, menor é a permeabilidade. Sendo assim, os grãos pequenos ocupam os espaços vazios entre os grãos maiores (CABRAL *apud* SILVA, 2002).

Amostras com um tamanho de grão predominante, apresentam maiores índices de permeabilidade (CABRAL *apud* SILVA *op cit*, 2002).

3.3.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

As propriedades que mais influem no comportamento dos poluentes eventualmente presentes no solo, estão relacionadas à porosidade, permeabilidade e condutividade hidráulica presentes (SILVA, 2002).

3.3.1.1 Porosidade total

A relação entre as aberturas (vazios) e o volume total de um solo ou rocha, é definida como porosidade. A porosidade depende do tamanho e formato das partículas, bem como do arranjo e dos tamanhos destas partículas (HEATH, 1982).

Conforme Heath (1982, p. 08): “A porosidade é um dado importante para a compreensão da hidrologia de águas subterrâneas, porque indica-nos a máxima quantidade de água que uma rocha pode conter quando está saturada”.

Segundo Perin (2005), um dos principais indicadores de qualidade (física) do solo é a porosidade. A porosidade é que determina o volume de água que o solo pode reter, a profundidade que as raízes das plantas podem atingir, os movimentos da água, do ar, dos elementos nutritivos e dos contaminantes.

Solos com partículas de formas mais irregulares e de tamanhos variáveis, tendem a ter uma porosidade total menor que a de solos contendo partículas regulares e de mesmo tamanho (GUINGUER *apud* SILVA, 2002).

3.3.1.2 Porosidade efetiva

Corresponde ao volume de água realmente drenado por gravidade nos poros de uma fração de solo ou de uma rocha (SILVA, 2002).

Guinguer *apud* Silva (2002, p. 14) destaca que “apesar das argilas e de alguns solos orgânicos apresentarem uma porosidade total elevada, os vazios intergranulares e a porosidade efetiva destes solos são menores, comparados a tipos litológicos mais grosseiros”.

3.3.1.3 Rendimento específico e retenção específica

Basicamente, Heath (1982) define rendimento específico como à quantidade de água que está disponível para uso humano e retenção específica como a quantidade de água que está retida na rocha.

Na Tabela 03 são apresentados alguns valores relacionados à porosidade, rendimento específico e retenção específica de certos materiais.

Tabela 03: Valores selecionados de porosidade, rendimento específico e retenção específica. Fonte: Heath, 1982.

Material	Porosidade	Rendimento específico	Retenção específica
Solo	55	40	15
Argila	50	2	48
Areia	25	22	3
Cascalho	20	19	1
Carbonato	20	18	2
Arenito	11	6	5
Basalto	11	8	3
Granito	0,1	0,09	0,01

3.3.1.4 Condutividade hidráulica

Aqüíferos transmitem água das áreas de recarga para as áreas de descarga porque funcionam como condutos porosos, transportadores de água (HEATH, 1982).

A condutividade hidráulica é uma propriedade do solo que está relacionada diretamente a porosidade do meio, a distribuição dos grãos e as

características (condutividade, viscosidade, peso específico, etc.) do fluido que o atravessa (SILVA, 2002).

Quanto mais permeável o material geológico, maior o valor da condutividade hidráulica do solo e maior a movimentação da água pelo subsolo, conforme demonstra a Tabela 04 (CLEARY *apud* SILVA, 2002).

Tabela 04: Valores típicos de permeabilidade e condutividade hidráulica para materiais inconsolidados. Fonte: Fetter *apud* Silva, 2002

Material	Condutividade hidráulica (cm/s)
Argila	$10^{-9} - 10^{-6}$
Silte; Silte arenoso	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia argilosa	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia siltosa; Areia fina	$10^{-5} - 10^{-3}$
Cascalho	$10^{-2} - 10^0$

3.4 TRANSPORTE DE CONTAMINANTES NOS SOLOS

De acordo com Demuelenaere (2004, p. 30) “Os processos de acumulação e transporte de contaminantes através do solo dependem da natureza do contaminante e do tipo do solo em questão”.

Segundo Sánchez (2001, p. 133) “O risco ambiental decorrente da presença de poluentes no solo depende não somente da concentração de substâncias nocivas, mas também de sua mobilidade”.

Para Heath (1982, p. 24) “[...] a circulação da água subterrânea, principal agente transportador de contaminantes, ocorre normalmente através dos aquíferos mais rasos. O movimento torna-se mais letárgico à medida que a profundidade aumenta”.

A mobilidade pode variar em função da textura do solo, ou seja, do tamanho das partículas que o formam, e da quantidade de matéria orgânica presente no solo (SÁNCHEZ, 2001).

“Nos meios porosos existentes nos solos existem vários mecanismos que tendem a evitar ou retardar a migração de muitas substâncias da superfície do solo ou do interior do próprio solo para zonas mais profundas do subsolo” (FEITOSA; FILHO, 1997, p. 23).

Conforme Sánchez (2001), solos com texturas argilosas (alta quantidade de argila) e concentrações de matéria orgânica maiores, tendem a reter mais poluentes, permanecendo confinados a uma área restrita.

Os mecanismos de transporte de contaminantes em meios porosos do solo podem ser baseados em dois tipos de processos. Os processos físicos envolvem os fenômenos da advecção e dispersão hidrodinâmica, enquanto os processos químicos englobam as diversas reações químicas que podem ocorrer entre a solução contaminada e o solo (DEMUELENAERE, 2004).

3.4.1 MECANISMOS DE TRANSPORTE FÍSICOS

3.4.1.2 Advecção

Na advecção o poluente é carregado pela água em movimento através dos espaçamentos existentes nos tipos de solos e nas fraturas dos materiais rochosos (DEMUELENAERE, 2004, p. 31).

Nesse processo de transporte que não interage com o meio poroso do solo, a frente de contaminação move-se a uma velocidade igual ao fluido percolante, geralmente a água (DEMUELENAERE *op cit*, 2004, p. 31).

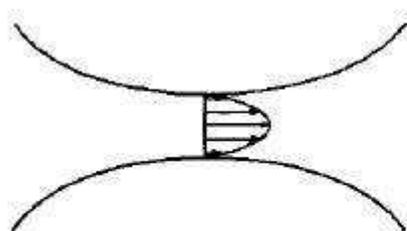
3.4.1.3 Dispersão

De acordo com Freeze; Cherry *apud* Demuelenaere (2004, p. 32) “Este mecanismo é responsável pelo espalhamento do poluente no meio poroso”.

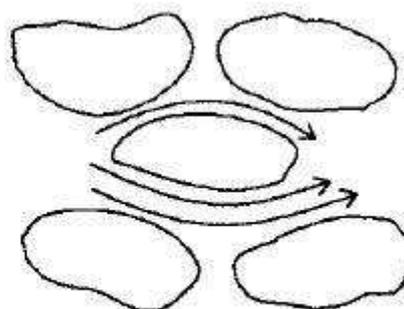
O resultado deste espalhamento faz com que o contaminante ocupe um volume maior do que se ocorresse apenas advecção. Com isso o pico de concentração decresce, enquanto a frente de contaminação se move mais rápido (FREEZE; CHERRY *apud* DEMUELENAERE, 2004, p. 32).

Três fatores influenciam na velocidade do fluido na dispersão (SCHNEIDER, 2006):

- Fricção com os poros (Figura 04 – A): as moléculas que estão mais próximas dos grãos têm maior atrito, portanto, movem-se mais lentamente;
- Tamanho do poro (Figura 04 – B): com a diferença na área superficial de contato entre o fluido e a superfície rugosa, a velocidade será maior ou menor;
- Tortuosidade (Figura 05): comprimento variável da rota de fluxo.

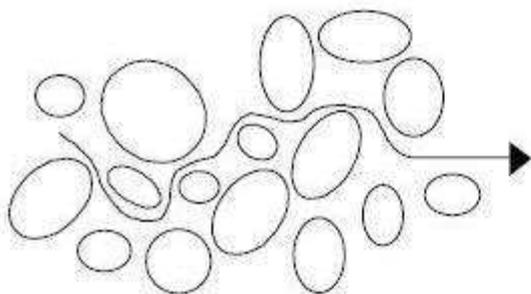


(a)

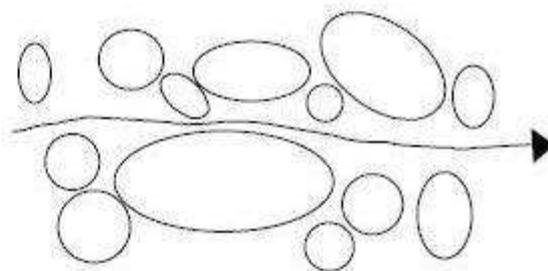


(b)

Figura 04: Mecanismos físicos de mistura mecânica em escala microscópica. Fonte: DEMUELENAERE, 2004



**Tortuosidade Alta,
Velocidade Baixa**



**Tortuosidade Baixa,
Velocidade Alta**

Figura 05: Mecanismos de tortuosidade em escala microscópica. Fonte: SCHNEIDER, 2006

3.4.2 MECANISMOS DE TRANSPORTE QUÍMICOS

3.4.2.1 Adsorção

A adsorção pode ser compreendida como a concentração de uma entidade química (íon ou molécula) em uma interface, que por definição é uma região não homogênea entre duas fases da matéria, quais sejam: sólido-líquido, sólido-gás, sólido-sólido, líquido-líquido e líquido-gás (ATKINS, 1999).

Em um sistema sólido-líquido, o processo de adsorção resulta da separação do soluto (constituente dissolvido) e a sua concentração na superfície de um sólido, até que seja estabelecido um equilíbrio dinâmico na interface (ATKINS *op cit*, 1999).

Para Demuelenaere (2004, p. 35) “As reações químicas mais relevantes nos problemas geotécnicos relativos à disposição de resíduos são as de adsorção de íons e moléculas na superfície das partículas de solo”.

Essas substâncias dissolvidas poderiam se mover facilmente com a água, caso não fossem retidas ou retardadas pela adsorção (HEATH, 1982).

Todavia, os processos de adsorção e trocas iônicas existentes nas camadas de solo que armazenam as águas, principalmente em materiais argilosos, são capazes de remover contaminantes dissolvidos, servindo como filtros e evitando a penetração destes até os aquíferos (FEITOSA; FILHO, 1997).

3.4.2.2 Troca Iônica

As trocas iônicas ocorrem quando há disponibilidade de algum elemento em solução que seja preferencialmente adsorvido (ATKINS, 1999).

As trocas iônicas são divididas em catiônicas e aniônicas. A troca catiônica é o processo no qual cátions são atraídos para a região mais próxima a superfície de minerais de argila carregados negativamente, e aí permanecem retidos por forças eletrostáticas (FEITOSA; FILHO, 1997).

“A troca aniônica ocorre em locais positivamente carregados em óxidos de ferro e alumínio nas arestas de argilas minerais” (FEITOSA; FILHO *op cit*, 1997, p. 127).

3.4.2.3 Absorção

Segundo Feitosa; Filho (1997, p. 127) “A absorção ocorre quando as partículas do aquífero são porosas, de modo que o soluto pode se difundir dentro das mesmas[...]”.

3.5 MOBILIDADE DE METAIS PESADOS

Para Malavolta *apud* Macêdo (2002, p. 135) “a expressão metal pesado, se aplica a elementos que tem peso específico maior que 5 g/cm³ ou que possuem número atômico maior que 20”.

Na lista de metais pesados estão incluídos com uma maior frequência os seguintes elementos: Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Co, Ni, V, Al, Ag, Cd, Cr, Hg e Pb. Muitos autores questionam a presença de elementos não-metálicos, como o arsênio e o selênio, entre os elementos considerados metais pesados, entretanto as suas características são fortemente ligadas aos metais pesados (MACÊDO, 2002).

Os metais pesados podem acarretar sérios danos à saúde e ao ambiente em geral pelo fato de os mesmos apresentarem efeitos bioacumulativos (MACÊDO, 2002).

Os resíduos contendo metais pesados possuem alto poder de contaminação e, com facilidade, atingem os lençóis freáticos ou mesmo reservatórios e rios, que são utilizadas como fontes de abastecimento d'água ou são reservas estratégicas para o abastecimento futuro (OLIVEIRA *et al*, 2006).

Geralmente, os metais pesados se acumulam na camada superior do solo, pois os materiais húmicos e argilas têm uma grande afinidade pelos cátions de metais pesados, de maneira que o extraem da água que passa através deles por meio de processos de troca iônica. (BAIRD, 2002)

Os solos com baixa capacidade de troca catiônica favorecem uma mobilidade maior dos íons de metais na água (DOUGY E VOLK *apud* DEMUELENAERE, 2004).

O mais importante processo químico a influenciar o comportamento e a biodisponibilidade de metais em solos esta associado à adsorção de metais da fase líquida na fase sólida. Esses processos controlam a concentração de íons metálicos e seus complexos na solução do solo e exercem grande influência no seu acúmulo em plantas (ROCHA *et al*, 2004, p. 111).

A capacidade de adsorção dos solos é influenciada pelo pH da solução do meio. Normalmente, a adsorção de metais, aumenta com a elevação do pH no meio (DEMUELENAERE, 2004).

“Para o pH igual ou abaixo de 4, há favorecimento da mobilidade, enquanto que em pH maiores a tendência é favorecer a retenção dos metais no solo” (FARIAS *apud* DEMUELENAERE, 2004, p. 48).

3.6 CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Devido à lenta circulação das águas subterrâneas (Tabela 05), a capacidade de adsorção e trocas iônicas existentes nas camadas de solo que armazenam as águas, e ao reduzido tamanho dos canalículos existentes no subsolo, uma contaminação em um aquífero pode levar muito tempo até manifestar-se claramente (FEITOSA; FILHO, 1997).

Tabela 05: Velocidade de movimento e distribuição da água. Fonte: HEATH, 1982.

Local	Velocidade (Km/dia)
Atmosfera	100
Superfície	10
Gelo	0,001
Subterrânea	0,00001

No entanto, uma vez poluídas ou contaminadas, as águas subterrâneas demandam um elevado dispêndio de recursos financeiros e humanos para sua remediação, o que de modo geral é atingido ao final de vários anos (CETESB, 2007).

De um modo geral as águas subterrâneas podem sofrer contaminação direta, sem diluição, quando o poluente atinge diretamente o aquífero através de

poços abandonados e/ou com deficiências construtivas, e contaminação indireta (com diluição), quando o poluente atinge o aquífero após passar por alterações a partir do ponto de origem (FEITOSA; FILHO, 1997).

Exemplos de contaminações indiretas de aquíferos são apresentados a seguir: (FEITOSA; FILHO *op cit*, 1997)

- Intrusão de águas salinas;
- Infiltrações através da zona não saturada a partir de fossas sépticas;
- Infiltrações através da zona não saturada de irrigações praticadas com águas residuais;
- Infiltrações através da zona não saturada a partir de águas de chuvas penetrantes em depósitos de lixo, rejeitos de exploração mineral ou resíduos industriais.

3.7 FONTES DE CONTAMINAÇÃO DO SOLO E DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A maioria das atividades humanas geram substâncias, resíduos e/ou efluentes com potencial para contaminar os diferentes compartimentos do meio ambiente, principalmente a água, o solo e o ar. As áreas contaminadas e os problemas gerados devido à existência destas são gerados na sua grande maioria a partir de uma enorme quantidade de tipos de fontes potenciais de contaminação (CETESB, 1999):

De acordo com Fetter *apud* CETESB (1999, p. 05) [...] as fontes de contaminação das águas subterrâneas que podem ser consideradas também como fontes de contaminação do solo, são classificadas em seis categorias:

- 1ª Categoria: fontes projetadas para descarga de substâncias no subsolo, incluindo tanques sépticos e fossas negras; poços de injeção de substâncias perigosas, águas salgadas da exploração de petróleo; aplicação de efluentes municipais ou industriais no solo, lodos de tratamento de água utilizados como fertilizantes, resíduos oleosos de refinarias.
- 2ª Categoria: fontes projetadas para armazenar, tratar e/ou dispor substâncias no solo, na qual estão incluídas as áreas de disposição de resíduos (aterros sanitários e industriais, lixões, botas-fora, etc.); lagoas de armazenamento e tratamento de vários tipos de efluentes industriais; depósitos ou pilhas de resíduos de mineração; tanques de armazenamento de substâncias, aéreos ou subterrâneos.
- 3ª Categoria: fontes projetadas para reter substâncias durante o seu transporte, como oleodutos, tubulações para o transporte de esgoto e efluentes industriais; transporte de substâncias químicas, como combustíveis por meio de caminhões e trens.

- 4ª Categoria: fontes utilizadas para descarregar substâncias como consequência de atividades planejadas, na qual estão incluídas a irrigação ou fertirrigação de lavouras, aplicação de pesticidas e fertilizantes na lavoura; percolação de poluentes atmosféricos.
- 5ª Categoria: fontes que funcionam como um caminho preferencial para que os contaminantes entrem em um aquífero, como, por exemplo, poços de produção de petróleo e poços de monitoramento com falhas de construção e projeto.
- 6ª Categoria: fontes naturais ou fenômenos naturais associados às atividades humanas (Ex: interação entre águas subterrâneas e superficiais contaminadas, intrusão salina); contaminação do solo e das águas subterrâneas ocasionada pelos gases de processos produtivos, ou outras fontes de poluição atmosférica (por exemplo, veículos automotivos), quando estes, contendo substâncias perigosas de alta toxicidade, podem ser lançados à atmosfera e se infiltrarem no solo, carregados pelas águas de chuva.

3.8 PROPRIEDADES E CONSTITUINTES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ABORDADOS NO PRESENTE ESTUDO

As propriedades físicas, químicas e microbiológicas da água são traduzidas em termos de parâmetros que permitem classificá-las quanto à sua qualidade e apontar a presença e a concentração de substâncias tóxicas, sendo possível sua comparação com padrões e valores orientadores estabelecidos conforme o uso (CETESB, 2007).

3.8.1 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) consiste na medida da concentração de íons H^+ na água. O balanço dos íons hidrogênio (H^+) e hidróxido (OH^-) determinam as características da água ácida ou básica. Na água pura onde os íons H^+ estão em equilíbrio com os íons OH^- o pH é neutro, acusando valor igual a 7. Os principais fatores que determinam o pH da água são o gás carbônico dissolvido e a alcalinidade (ZIMBRES, 2007).

O pH da água é a medida de sua característica reativa. Em águas corrosivas com valores de pH abaixo de 4, verifica-se a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados ou a solubilidade de nutrientes. Valores altos

de pH situam-se acima de 8,5 e tendem a formar depósitos. O pH afeta o tratamento e o uso da água (HEATH, 1998).

Para Feitosa; Filho (1997, p. 90) “A maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5”.

3.8.2 DUREZA TOTAL

Zimbres (2007) define dureza como a dificuldade de uma água em dissolver (fazer espuma) sabão pelo efeito do cálcio, magnésio e outros elementos como ferro, manganês, cobres, etc.

“Em geral usa-se o teor de cálcio e magnésio de uma água, expresso em teores de carbonato de cálcio, para definir a dureza (CaCO_3)” (FEITOSA; FILHO, 1997, p. 88).

O excesso de dureza na água, afeta a potabilidade da água e a sua adequabilidade para usos industriais, principalmente indústrias de papel e têxteis (HEATH, 1998).

Tabela 06: Classificação das águas segunda a dureza. Fonte: HEATH, 1998.

Teor de CaCO_3 (mg.L^{-1})	Tipo
0 - 60	Mole
61 - 120	Moderadamente dura
121 - 180	Dura
Maior que 181	Muito dura

3.8.3 SÓDIO (Na)

O sódio é um dos metais alcalinos mais importantes e abundantes nas águas subterrâneas. Esse elemento está presente em todas as águas, predominando em algumas, devido principalmente a sua distribuição ampla nos minerais fonte e a solubilidade elevada e difícil precipitação da maioria dos seus compostos químicos em solução (FEITOSA; FILHO, 1997).

Segundo Zimbres (2007) nas águas subterrâneas o teor de sódio varia entre 0,1 e 100 mg.L^{-1} .

Concentrações acima de 20.170 mg.L^{-1} podem afetar a saúde humana e valores a partir de 69 mg.L^{-1} são prejudiciais às plantas por reduzir a permeabilidade do solo (HEATH, 1982).

3.8.4 CÁLCIO (Ca)

O cálcio é o elemento mais abundante existente na maioria das águas e rochas do planeta Terra. As maiores fontes de cálcio para as águas subterrâneas se encontram nas rochas ígneas. (FEITOSA; FILHO, 1997).

De acordo com Zimbres (2007) o teor de cálcio nas águas subterrâneas varia, de uma forma geral, de 10 a 100 mg.L^{-1} .

No corpo humano o cálcio tem a principal função de manter a estrutura óssea saudável, além de atuar em outros mecanismos, como na coagulação do sangue e nas contrações musculares. (FEITOSA; FILHO, 1997).

3.8.5 ALUMÍNIO (Al)

O alumínio é um elemento abundante no território brasileiro e está presente em muitos processos industriais. É considerado um dos principais constituintes de partículas originadas da combustão de carvão (CETESB, 2007).

Na água, o alumínio é complexado e influenciado pelo pH, temperatura e a presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes (CETESB *op cit*, 2007).

Nas palavras de Baird (2002, p. 477) “O alumínio é muito mais solúvel em águas ligeiramente ácidas do que naquelas em que os valores de pH não caem abaixo de 6 ou 7”.

O aumento da concentração de alumínio pode estar associado com o período de chuvas e, portanto, com a alta turbidez das amostras. (CETESB, 2007)

3.8.6 ARSÊNIO (As)

Muitos compostos contendo arsênio, como o óxido de arsênio As_2O_3 , foram amplamente utilizados como veneno no tempo dos antigos romanos até a

Idade Média. Antes da era moderna, os compostos de arsênio foram amplamente utilizados como pesticidas, até a chegada dos compostos orgânicos (BAIRD, 2002).

Apesar de ser considerado um metal pesado, o arsênio é um semi-metal, porém muito tóxico, cuja intoxicação crônica tem como sintomas precoces a formação de feridas na pele que não cicatrizam. Nos estágios mais avançados, a intoxicação por arsênio pode causar gangrena, câncer de pele e danos a órgãos vitais (MACÊDO, 2002).

As fontes mais comuns de arsênio para o meio ambiente são resultantes do contínuo uso de seus compostos como pesticidas e de sua emissão durante a mineração, a fundição de ouro, chumbo, cobre e níquel [...], da produção de ferro e da combustão do carvão da qual é um contaminante (BAIRD, 2002).

A principal fonte de arsênio para o corpo humano, vem do consumo de água subterrânea e do consumo de alimentos onde existem níveis secundários de arsênio. Apesar de todos os problemas que a ingestão em excesso de arsênio pode acarretar, uma quantidade traço desse elemento é essencial para a boa saúde humana. (BAIRD, 2002)

O arsênio é carcinogênico para os seres humanos e segundo Brown *et al*, *apud* Macêdo (2002, p. 139) “Existe a previsão de que, dentro de poucos anos, um em cada dez casos de câncer seja relacionado com o arsênio.”

Conforme Feitosa; Filho (1997, p. 94) “Nas águas subterrâneas, as concentrações de arsênio são comumente abaixo de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ”.

Muito perigoso à saúde pública, a ingestão de 100 mg envenena seriamente o organismo humano, sendo que seu limite de aceitação é de $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ na maioria dos padrões relacionados à potabilidade (FEITOSA; FILHO, 1997).

O arsênio está presente na água natural de vários países, como na China, Índia, México, Chile, Argentina. Os argentinos precisam tratar sua água para proteger seus habitantes do risco de intoxicação. Estima-se que 7% dos adultos morram envenenados por arsênio na Argentina (SUPER INTERESSANTE *apud* MACÊDO, 2002).

3.8.7 CÁDMIO (Cd)

Elemento presente nas águas naturais em pequenas concentrações, geralmente inferiores a $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$. Com fontes antrópicas da liberação de cádmio têm-se os combustíveis fósseis, pigmentos, baterias, soldas, equipamentos eletrônicos, lubrificantes, acessórios fotográficos, defensivos químicos, corrosão de tubos galvanizados e refinarias de minérios. Consiste num metal de elevado potencial tóxico, acumulando-se nos organismos aquáticos, podendo chegar ao homem através da cadeia alimentar. Sua ingestão provoca disfunção renal, hipertensão, arterosclerose, inibição no crescimento, doenças crônicas em idosos e câncer (ZIMBRES, 2007).

Baird (2002) relata que a combustão de carvão é uma fonte significativa de cádmio ao meio ambiente.

3.8.8 CHUMBO (Pb)

Nas palavras de Zimbres (2007), o chumbo geralmente não está presente nas águas naturais, mas pode apresentar sérios problemas de intoxicação, pela facilidade de introdução no meio ambiente através de processos e produtos humanos, tais como, encanamentos, soldas, plásticos, tintas, pigmentos e metalurgia.

Segundo Mathess *apud* Feitosa; Filho (1997, p. 94) “As águas subterrâneas têm quantidade média em torno de $2 \times 10^{-5} \text{ mg.L}^{-1}$ ”.

3.8.9 COBRE (Cu)

Consiste num metal que a sua ausência ou excesso prejudica a saúde do homem, ausência causa anemia, perda de pigmentação dos cabelos, aumenta a inibição e propicia perda de elasticidade arterial. O cobre é altamente tóxico para crianças e adultos com problemas de metabolismo (SPRINGWAY, 2004 *apud* MACÊDO, 2002).

Segundo Feitosa; Filho (1997, p. 94) “O cobre tem baixa solubilidade e ocorre nas águas subterrâneas com teores inferiores a $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$ ”.

Uma concentração de 20 mg.L^{-1} de cobre por dia na água causa intoxicações humanas com lesões no fígado. Já concentrações de 5 mg.L^{-1} confere gosto a água tornado-a desagradável ao paladar (CETESB, 2007).

3.8.10 FERRO (Fe)

Suas fontes são constituídas por minerais escuros que contém ferro, magnetita, biotita, pirita, piroxênios e anfibólios. Em função de suas afinidades geoquímicas geralmente é acompanhado pelo manganês. A formação de compostos solúveis como hidróxidos, ocorre no estado ferroso Fe^{+2} no qual em ambientes oxidantes passa a Fe^{+3} formando o hidróxido férrico, que é insolúvel em valores baixos de pH, precipitando e favorecendo ao tingimento da água (ZIMBRES, 2007).

Feitosa; Filho (1997, p. 91) relatam que “o ferro pode estar presente com baixos teores ($< 0,3 \text{ mg.L}^{-1}$) em quase todas as águas e ocorre sobre diversas formas químicas, frequentemente, associado ao manganês”.

“O alto teor de ferro na água subterrânea pode estar ligado à ocorrência de ferrobactérias ou mesmo a corrosão do revestimento ou filtro do poço” (FEITOSA; FILHO *op cit*, 1997, p. 92).

O uso de substâncias orgânicas emulsificantes e polifosfatos nos processos de perfuração e desenvolvimento dos poços criam condições para que as ferrobactérias, naturalmente ocorrente nos aquíferos, proliferem com mais facilidade, fazendo-se necessário uma boa limpeza no processo de acabamento dos poços (ZIMBRES, 2007).

A presença de ferro em excesso, pode causar problemas referentes ao abastecimento doméstico e industrial (FEITOSA; FILHO, 1997).

3.8.11 MANGANÊS (Mn)

O comportamento do manganês nas águas é muito semelhante ao do ferro em seus aspectos os mais diversos, sendo que a sua ocorrência é mais rara. O manganês desenvolve coloração negra na água, podendo-se se apresentar nos estados de oxidação Mn^{+2} (forma mais solúvel) e Mn^{+4} (forma menos solúvel) (CETESB, 2007).

De acordo com Feitosa; Filho (1997, p. 93) “o manganês [...] está presente com baixos teores ($< 0,2 \text{ mg.L}^{-1}$) em quase todas as águas naturais”.

3.8.12 ZINCO (Zn)

Entre os metais pesados, o zinco é o mais solúvel. Normalmente, a sua concentração, encontra-se abaixo de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ nas águas subterrâneas (MATHESS *apud* FEITOSA; FILHO, 1997)

A ocorrência no meio ambiente ocorre por processos naturais e antrópicos, como a produção de zinco primário, combustão de madeira, incineração de resíduos, produção de ferro e aço e efluentes domésticos (CETESB, 2006).

3.8.13 FLUORETOS (F^-)

De um modo geral, os fluoretos são encontrados em pequenas concentrações nas águas subterrâneas, possuem solubilidade limitada e pouco contribuem para a alcalinidade da água (FEITOSA; FILHO, 1997).

Os benefícios da aplicação de fluoreto em águas para a prevenção da cárie dentária são inquestionáveis, por outro lado, acima de certas dosagens o fluoreto provoca a fluorose dentária, ou seja, o mosqueamento (disformidade dos dentes) do esmalte dos dentes. O flúor é benéfico somente em concentrações até $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$ (CETESB, 2007).

O fluoreto se manifesta muito mais pelas contribuições oriundas de fontes naturais, que podem ocorrer em níveis tóxicos, do que de fontes produzidas pelo homem (FEITOSA; FILHO, 1997).

3.8.14 SULFATOS (SO_4^{2-})

São sais moderadamente solúveis a muito solúveis, originam-se da oxidação do enxofre presente em rochas como a pirita (FeS_2), e da lixiviação de compostos sulfatados tais como a gipsita e a anidrita (FEITOSA; FILHO, 1997).

As águas subterrâneas apresentam geralmente teores de sulfato inferiores a 100 mg.L^{-1} . O excesso de sulfato nas águas subterrâneas (acima de

400 mg.L⁻¹) pode causar efeitos laxativos (BATALHA; PARLATORE *apud* FEITOSA; FILHO, 1997).

3.8.15 SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS

O teor de sólidos dissolvidos na água representa a concentração de todo o material dissolvido na água, seja ou não volátil (FEITOSA; FILHO, 1997).

Conforme Heath (1998, p. 65): “Águas contendo menos que 500 mg.L⁻¹ são preferenciais para uso doméstico e para muitos processos industriais”.

Tabela 07: Classificação das águas segundo os sólidos dissolvidos totais. Fonte: HEATH, 1998.

Teor de Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L⁻¹)	Tipo
Inferior a 1.000	Doce
1.000 - 3.000	Salina leve
3.000 - 10.000	Salina moderada
10.000 - 35.000	Muito salina
Maior que 35.000	Salmoura

4. METODOLOGIA DA PESQUISA

A primeira etapa do presente trabalho foi destinada à realização da pesquisa bibliográfica. O referencial teórico serviu como fundamento na avaliação do comportamento dos contaminantes nas condições geológicas locais e para efeito de comparação com padrões de água subterrânea existentes, bem como para subsidiar a análise dos resultados e discussão.

Os trabalhos de investigação seguiram as etapas do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB (2005), que tem como objetivo principal uniformizar as ações para solucionar os problemas gerados em áreas contaminadas.

Na segunda etapa, a área foi identificada por meio de análises a fotografias aéreas. O local de disposição de resíduos foi delimitado e os dados mais relevantes do entorno da área foram levantados em um croqui com o auxílio do *software autocad map*.

Após a identificação da área, uma visita foi realizada a mesma (Figura 06), com a finalidade de conhecer a realidade do local e coletar informações úteis que pudessem ser aproveitadas nas demais etapas.



Figura 06: Visita de reconhecimento à área de estudo. Fonte: Rosso, D., 2007

A avaliação preliminar, terceira etapa a ser realizada, foi destinada principalmente a realização de um diagnóstico inicial da área de estudo.

Primeiramente, foi levantado o histórico da área, a partir da busca de informações, tais como, de que forma ocorreu a ocupação da área, formas em que o resíduo foi disposto no local e quais métodos e mecanismos de produção foram responsáveis pela geração do resíduo. Os instrumentos de coleta de dados escolhidos foram: entrevistas com agricultores da região e trabalhadores locais, e pesquisas a trabalhos científicos relacionados à combustão de carvão e a acervos fotográficos históricos.

Finalizado o histórico da área, foi realizada a etapa de avaliação preliminar, com o estudo sobre as características do solo e subsolo da área.

Os dados pedológicos, que de acordo com Caputo (1996) são referentes ao estudo das camadas superficiais da crosta terrestre, foram obtidos mediante as sondagens realizadas na área para fim de estudos de fundações.

Uma investigação de subsolo através de sondagens pode levar a caracterização de um padrão até certo ponto previsível da distribuição geológica e delimitação das zonas aquíferas de uma área. (FEITOSA; FILHO, 1997)

A execução de sondagens consiste de um modo geral, na abertura de um furo no solo. Esta perfuração é feita por meio de ferramentas ou de máquinas que vão provocando a degradação parcial, ou total do terreno, permitindo a extração de amostras representativas das diferentes camadas de solo e subsolo atravessadas. (CAPUTO, 1996)

Com o intuito de acrescentar informações aos resultados das sondagens, fez-se o uso do mapa pedológico referente ao plano diretor de Criciúma do ano 2007, elaborado pelo IPAT – Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas da Universidade do Extremo Sul Catarinense.

Uma coleta das cinzas foi realizada com o objetivo de analisar seus principais constituintes e avaliar os possíveis riscos das mesmas ao meio ambiente.

Na seqüência dos trabalhos foi necessário um diagnóstico mais detalhado da área com visitas periódicas a campo, registros fotográficos *in loco* e descrição das condições gerais da área de estudo.

Basicamente, a última etapa, fundamentou-se na avaliação das águas subterrâneas da área, e para isso o plano de amostragem abordou os pontos de

coleta, os parâmetros a serem analisados e os valores limites das concentrações dos constituintes da água.

A avaliação da qualidade das águas subterrâneas da área de estudo foi realizada em três piezômetros já existentes na área, conforme FIG. 07. Os piezômetros foram codificados com as letras PZ, seguido de um número de identificação, assim sendo, o ponto branco, localizado as margens da BR-101 foi identificado como PZ-01 e os piezômetros localizados na área de estudo foram identificados como PZ-02 e PZ-03.



FIGURA 07: Poço piezométrico (PZ-02). Fonte: Ross, E., 2007

Posteriormente, para realizar a avaliação dos resultados, foram utilizadas as referências dos autores citados (CETESB, FEITOSA & FILHO, HEATH, ZIMBRES) e listas de padrões específicos existentes para qualidade de águas subterrâneas.

5. IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA

O presente estudo de caso foi desenvolvido em uma antiga área de deposição de cinzas de carvão mineral situada no sul do município de Criciúma, estado de Santa Catarina (Figura 08).

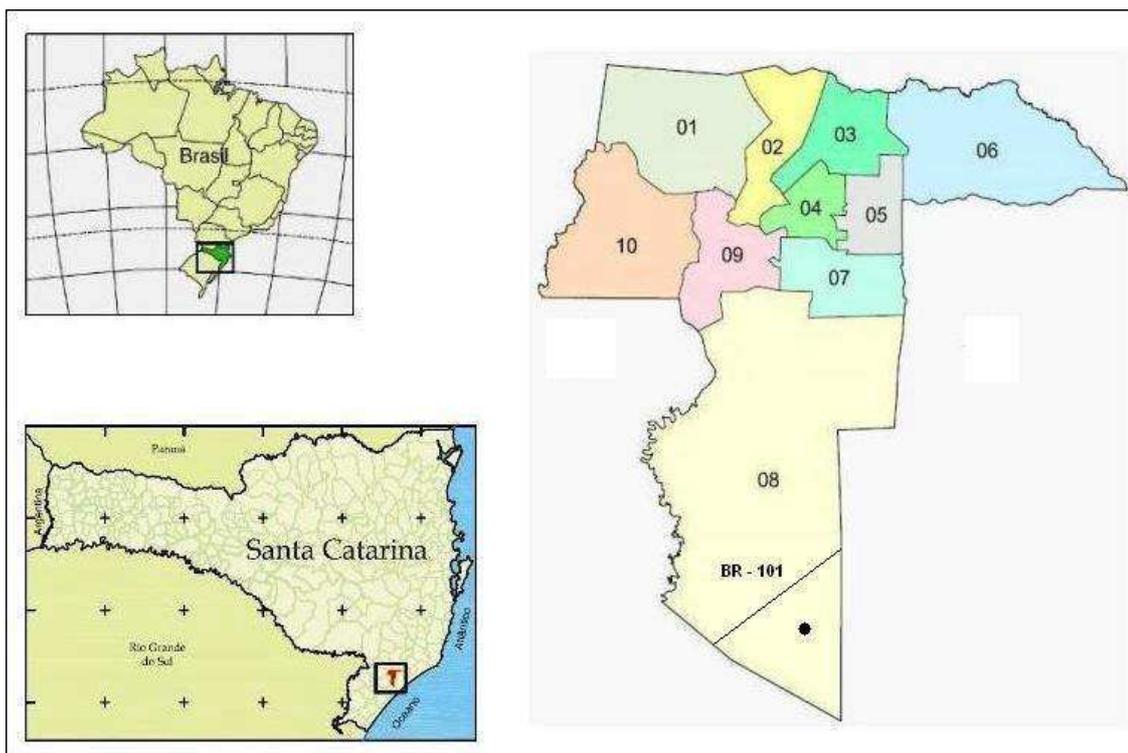


Figura 08: Localização do município de Criciúma. Fonte: IPAT, 2007

Assim como a mineração, a disposição de resíduos sólidos industriais é uma atividade preocupante e que requer cuidados no momento em que as atividades de deposição são interrompidas. Estes locais não podem ser simplesmente abandonados, porque comportam riscos que podem acarretar efeitos negativos ao ambiente e a população local. (SÁNCHEZ, 2001)

No entorno da área de estudo (Figura 09) são observadas lagoas naturais, um córrego, áreas de irrigação de arroz e áreas conservadas de vegetação nativa.



Figura 09: Área representativa do estudo de caso. Fonte: PMC – Prefeitura Municipal de Criciúma, 2003.

Na análise da imagem abaixo (Figura 10), a área utilizada como depósito do resíduo pode ser visualizada na parte mais clara da fotografia.



Figura 10: Representação da área de deposição do resíduo de cinza. Fonte: PMC, 2007.

As pilhas de resíduo encontram-se depositadas no local de maneira irregular e em determinados pontos chegam a atingir 6 metros de altura.

Em alguns locais, conforme figura 11 é evidente a movimentação das pilhas através de processos de erosão. Isto se deu devido à maneira em que as pilhas foram dispostas, em taludes inclinados e sem proverem de sistemas de contenção adequados. Essas movimentações acabam carregando o material e deslocando as pilhas, soterrando assim a vegetação rasteira que se desenvolveu no local.



Figura 11: Pilha de cinza depositada na área de estudo. Fonte: Ross, E., 2007.

6. HISTÓRICO DA ÁREA

A deposição de cinzas de carvão mineral na área em estudo teve início na segunda metade da década de 80, mais precisamente no ano de 1987. A área foi utilizada como destino final deste resíduo durante 20 anos (Figura 12). Em meados de 2007 as atividades de deposição foram interrompidas e as cinzas passaram a ser destinadas a aterros industriais ou, dependendo de sua umidade, a indústrias de produção de cimento de Santa Catarina.



Figura 12: (A) Início das operações de deposição de cinzas na área de estudo. Fonte: S/D, 1988
(B) Situação atual da área de estudo. Fonte: Ross, E., 2007

Para que a área tivesse condições de armazenar a quantidade de cinza depositada, foi necessário que a vegetação do local, já composta naquela época principalmente por eucaliptos (*Eucalyptus sp*), espécie exótica encontrada na região, fosse suprimida. Essa vegetação pode ser evidenciada na figura 14.

Na época, o terreno precisou ser preparado antes do início dos trabalhos de deposição. Vias de acesso foram construídas com o objetivo de facilitar a entrada de máquinas e caminhões no local, o solo foi aplainado para possibilitar a circulação das máquinas no interior do aterro, frações de argila foram utilizadas para cobrir o solo e criar barreiras de proteção (Figura 13), provavelmente com o objetivo de evitar o deslocamento das pilhas e minimizar o contato das mesmas com a vegetação e os corpos hídricos locais.



Figura 13: Camadas de argila dispostas na área de estudo no início das atividades de deposição. Fonte: S/D, 1988

Na área, o resíduo era disposto ao ar livre, em pilhas não uniformes (Figura 14). O resíduo era depositado sobre a superfície do terreno e não eram realizados trabalhos de recobrimento operacional com material argiloso.



Figura 14: Pilhas de cinza depositadas na área de estudo no início das atividades. Fonte: S/D, 1988

Em 2001 foram instalados dois poços piezométricos ao redor do aterro para monitoramento das águas subterrâneas. No mesmo ano, um poço foi instalado

as margens da BR-101 representando um ponto em branco para efeito de comparação com os resultados de análises obtidas nos poços localizados próximos ao aterro. Os mesmos foram utilizados para as coletas de água subterrânea realizadas no presente estudo e estão evidenciados abaixo no croqui detalhado da área em questão (Figura 15).

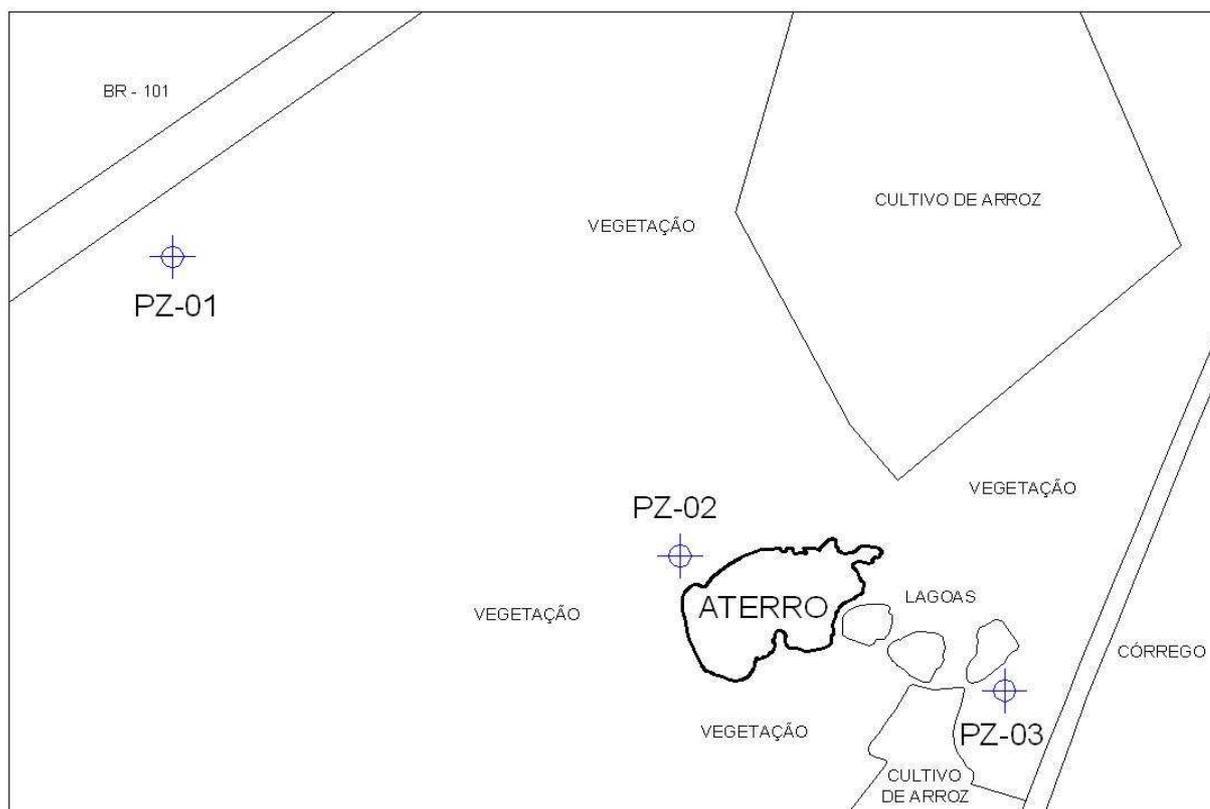


Figura 15: Croqui detalhado da área. Fonte: Ross, E., 2007.

7. DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

No Brasil, principalmente na região Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), muitos processos industriais foram e ainda são responsáveis pela geração de cinzas devido à utilização de carvão mineral como principal recurso energético (MÜLLER, 1987).

O carvão mineral é um recurso energético não-renovável, abundante no Brasil, composto por uma complexa e variada mistura de componentes orgânicos sólidos, fossilizados ao longo de milhões de anos (SOUZA, 1999).

No Brasil os carvões minerais são betuminosos e sub-betuminosos com teores altos de cinza e enxofre. As fases de exploração e utilização do carvão devem ser cercadas de cuidados. É importante a utilização de tecnologias adequadas de modo a minimizar os impactos ambientais resultantes de sua extração, beneficiamento e queima (COSTA, 2005).

As principais técnicas utilizadas para o aproveitamento energético do carvão e que geram quantidades consideráveis de cinzas segundo Müller (1987), estão relacionadas com a combustão direta do carvão em fornos, fornalhas e caldeiras, e são as seguintes:

- Combustão em grelhas: o carvão é queimado sobre grelhas, formando um leito fixo, por onde passa o ar de combustão. É caracterizado por sua queima lenta (MÜLLER, 1987).
- Combustão em forma pulverizada: a combustão se processa com maior velocidade do que na técnica anterior e a queima se dá em grandes caldeiras. Há uma mistura interna com o ar necessário, havendo uma queima mais instantânea (MÜLLER *op cit*, 1987).
- Combustão em leito fluidizado: a tecnologia de combustão em leito fluidizado baseia-se na utilização de um leito de partículas inertes de capacidade térmica elevada, um exemplo a areia, juntamente com partículas combustíveis fósseis (carvão mineral). É utilizada na maioria dos casos em fornalhas industriais (Figura 16) (COSTA, 2005).



Figura 16: Fornalha de leito fluidizado a carvão mineral. Fonte: ICON, 2007

No geral, as vantagens da combustão em leito fluidizado se resumem à eficiência verificada na queima do carvão, com um controle maior da poluição ambiental (MÜLLER, 1987).

A utilização das mesmas é particularmente adequada, pois trouxe benefícios como à possibilidade de minimização e controle *in loco* de emissões de material particulado e gases poluentes (CO, CO₂, NO_x, SO_x), redução de custos, bem como melhorias nos equipamentos (COSTA, 2005).

De acordo com Müller (1987) o uso desta tecnologia no Sul do Brasil, se dá principalmente em fornos e fornalhas nas indústrias de cimento, vidro, cerâmica, alimentícia, têxtil, papel e celulose, além de terem sido impulsionadoras de locomotivas e embarcações pluviais.

Todos estes processos geram cinzas e processos de geração de eletricidade através de termoelétricas também são consideradas fontes importantes deste resíduo.

A geração de cinzas independe do uso de leito fluidizado, inclusive esse processo permite uma combustão mais completa do carvão mineral, gerando uma quantidade menor de cinzas do que o processo convencional de combustão em leito

fixo. Entretanto a inconveniência de cinzas serem depositadas em áreas de aterro sem controle (Figura 17), perdurou por muitos anos.



Figura 17: Aterros de cinzas localizados no entorno de uma usina termoeletrica localizada na região Sul de Santa Catarina. Fonte: Milioli, 1999

Atualmente, as cinzas não são mais visadas como um grave problema, uma vez que em função de sua constituição ser composta em grande parte por sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) (Tabelas 08 e 09), as cinzas podem ser utilizadas como insumo na indústria de cimento por possuírem uma excelente atividade pozolânica (SOUZA, 1999). No entanto, deve-se buscar investigar a presença de possíveis compostos tóxicos, que poderiam mesmo estando associados em pequenas concentrações, e contribuir para a toxicidade dos resíduos gerados. Dessa forma, ensaios ecotoxicológicos seriam necessários para caracterização desses resíduos.

Tabela 08: Análise química da cinza obtida a partir da queima de carvão mineral em fornalha de leito fluidizado. Fonte: Souza, 1999

Compostos	Percentual em massa
SiO_2	56,43 %
Al_2O_3	28,05 %

TABELA 09: Análise química da cinza obtidas em queima direta em uma usina termoelétrica.
Fonte: Souza, 1999

Compostos	Percentual em massa
SiO ₂	54,76 %
Al ₂ O ₃	28,3 %

Contudo, para que as cinzas sejam utilizadas como insumo na produção de cimento, as mesmas não podem possuir índices de umidade elevados.

Esse retorno econômico fez com que empresas que utilizam fornalhas a carvão, investissem em pesquisas e sistemas de retirada de cinzas a seco, possibilitando assim a comercialização do resíduo gerado. Além da rentabilidade financeira esta tecnologia também gera um impacto ambiental positivo, pois evita que as cinzas sejam depositadas em aterros.

A figura 18 representa um fluxograma típico de uma fornalha industrial de leito fluidizado que funciona com a retirada de cinza por via úmida, processo alvo deste estudo de caso. Este processo, juntamente com o processo de geração de eletricidade em caldeiras de termoelétricas, são as principais fontes geradoras de cinzas de carvão mineral.

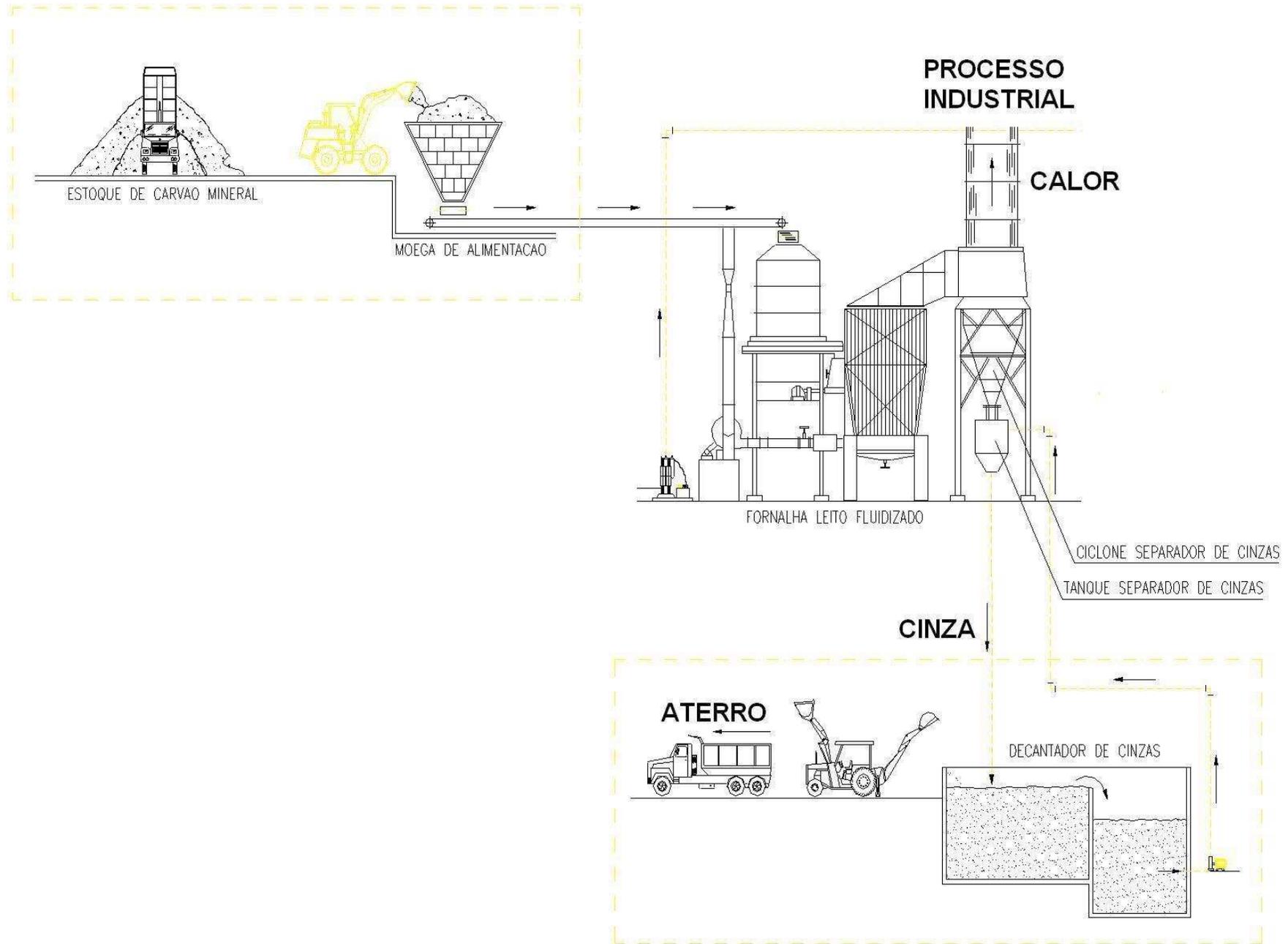


Figura 18: Fluxograma do processo de queima de carvão mineral em uma fornalha de leito fluidizado. Fonte: Ross, E., 2007.

O processo tem início através da retirada de carvão do estoque e posterior alimentação na moega.

Geralmente, o carvão utilizado neste processo, é do tipo CE 4.500 (Tabela 10), que possui as seguintes características (MÜLLER, 1987):

Tabela 10: Características principais do carvão mineral tipo CE – 4.500. Fonte: Müller, 1987

Características	Carvão: CE - 4.500
Poder calorífero superior	4.500 Kcal/Kg
Umidade – Total máximo	10 %
Teor de cinza máximo	43%
Teor de enxofre máximo	3,5 %

Após a etapa de alimentação o carvão é descarregado em correias transportadoras e segue para silos onde é armazenado. Um mecanismo controlador de velocidade denominado *varimot*, controla a saída de carvão dos silos e conseqüentemente a entrada do mesmo na fornalha de leito fluidizado. O funcionamento do *varimot* é controlado por um operador que com o auxílio de um painel digital pode alterar a sua velocidade de rotação conforme a necessidade.

Geralmente, para que a temperatura atenda o processo industrial, o operador deve controlar o *varimot* de maneira que a entrada de carvão no sistema, não altere significamente a variação da temperatura no interior da fornalha. Esse procedimento deve ser bem executado, pois qualquer descuido na operação pode ocasionar um maior consumo de carvão, gerando assim uma maior quantidade de cinzas.

Na maior parte dos processos industriais, uma fornalha de leito fluidizado necessita operar a uma temperatura em torno de 780°C a 840°C. O processo de queima na fornalha, alvo deste estudo, é baseado na combustão em leito fluidizado borbulhante.

Neste tipo de combustão, o leito da fornalha é composto de areia e a combustão do carvão é resultado da queima do mesmo em suspensão em uma corrente gasosa, perfeitamente distribuída sobre a base do leito, com velocidade suficiente e controlada para manter a suspensão do combustível sem promover seu arraste (ICON, 2007).

A estabilidade do leito é mantida com a formação de bolhas e canais preferenciais para os gases, que aumentam a eficiência de queima do carvão, e assim, toda a geração de calor é canalizada, pois não existem saídas para a atmosfera (TECNOLOGIA DE FLUIDIZAÇÃO, 2007).

O material particulado presente no vapor é retido em um ciclone através de um movimento cinético e retirado periodicamente para que evite sua emissão na atmosfera e não afete o processo industrial.

Um ciclone (Figura 19) é constituído de um vaso com parte em formato cilíndrico e parte em formato cônico, dotado usualmente de uma abertura de entrada e duas aberturas de saída. A abertura de entrada é responsável pela alimentação de calor (gases e material particulado), uma das aberturas de saída é responsável pela liberação de calor e a outra por descarregar as partículas finas resultantes da queima do carvão mineral (CHAVES, 1996).

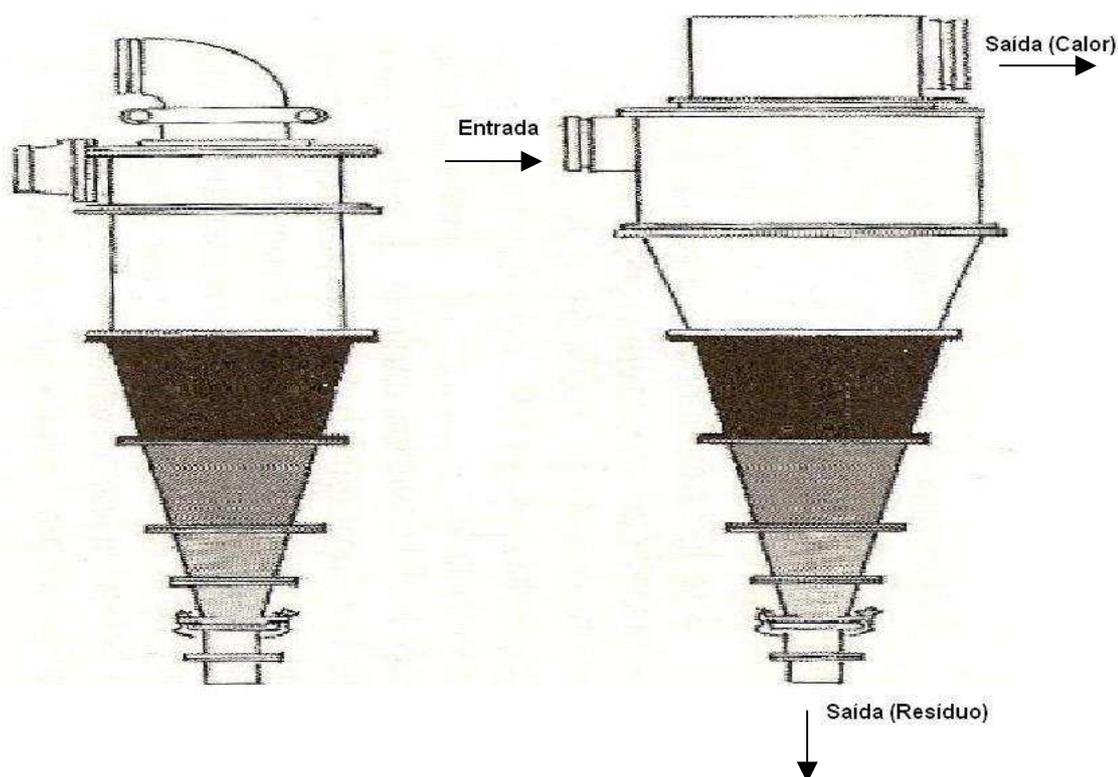


Figura 19: Exemplos de ciclones. Fonte: CHAVES, 1996.

Após a captação no ciclone, as partículas sólidas são suspensas em água e direcionadas a um canaleta que encaminha o efluente gerado a um tanque de decantação, onde o material sólido após decantar é retirado com o auxílio de máquinas retro-escavadeiras. Este material sólido corresponde as cinzas depositadas no aterro, alvo do presente estudo.

8. MÉTODOS DE ANÁLISE

8.1 CINZAS

Para realizar uma amostragem o mais representativa possível, a amostra foi coletada *in loco*, diretamente da área onde se encontrava depositada. A alternativa de realizar a coleta no tanque de cinza, no ponto de decantação do efluente foi descartada devido à alta umidade em que o resíduo se encontrava e por não representar a situação real de acondicionamento do resíduo.

O resíduo foi coletado de uma parte mais plana das pilhas (FIG. 20). Foram retiradas quatro amostras, obtidas através de um processo de amostragem em pontos e profundidades diferentes em uma mesma seção da área de estudo.



Figura 20: Ponto de coleta das amostras de cinzas. Fonte: ROSS, 2007

Os trabalhos de coleta e armazenagem da amostra seguiram a orientação da norma ABNT NBR 10.007 / 2004.

Uma pequena pá de aço inoxidável, semelhante a uma pá de jardineiro, foi utilizada como amostrador para coletar a amostra. A seleção do amostrador se baseou no fato da cinza ser um material granular e se encontrar num estado parcialmente seco, não aparentando representar riscos de corrosividade ou inflamabilidade ao entrar em contato com a superfície do amostrador.

Antes do início da coleta, a lâmina da pá foi verificada e o amostrador foi inteiramente limpo para evitar que algum outro material interferisse no resultado das análises. O responsável pela coleta utilizou luvas de látex nas mãos para evitar o contato direto com o material coletado.

Devido a cinza se encontrar exposta ao ar livre sem nenhuma cobertura de solo ou de vegetação, não foi necessário à utilização de enxada ou picareta para retirada da amostra do resíduo. A pá foi introduzida diretamente na cinza, de onde se retirou um volume suficiente para os trabalhos de análise. As cinzas foram retiradas de profundidades entre 10 a 30 cm. Esse procedimento foi realizado nos quatro pontos de amostragem.

As amostras retiradas dos quatro pontos foram depositadas primeiramente em um saco de Polietileno de baixa densidade (PEBD), posteriormente foram homogeneizadas até se obter a melhor mistura possível do material e armazenadas em um frasco de polietileno de alta densidade (PEAD).

O técnico de amostragem, responsável pela coleta, identificou a amostra preenchendo uma ficha com todos os dados de coleta (nome do responsável, data e hora, número da amostra, descrição do local, origem da amostra, observações, etc).

Após encerrada a etapa de coleta, a amostra de cinza foi encaminhada ao Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT) localizado no município de Criciúma.

Chegando ao IPAT, as características físico-químicas do resíduo foram analisadas e todos os cuidados quanto à preservação e armazenagem da amostra conforme o Anexo "A" da norma ABNT NBR 10.007 / 2004 foram tomados.

As seguintes características do resíduo foram observadas:

- Aspecto: sólido
- Coloração: cinza
- Odor: inodoro (ausência de odor / cheiro)
- Umidade a 105°C: 34,84%

- Densidade: 1,21 g/cm³
- Líquidos livres: ausente

As análises químicas foram realizadas no laboratório de solos e fertilizantes do IPAT utilizando os métodos USEPA - SW 846 (*Test Methods for evaluating solid waste – Physical / Chemical methods*) seguindo todas as etapas descritas nas normas:

- ABNT NBR 10004 (2004) – Classificação de Resíduos Sólidos
- ABNT NBR 10005 (2004) – Ensaio de Lixiviação
- ABNT NBR 10006 (2004) – Ensaio de Solubilização

No total, foram realizados três ensaios com a amostra de cinzas coletada, conforme descrito no Quadro 01, onde também se descrevem o método de análise e onde a análise foi realizada.

Quadro 01: Ensaios laboratoriais realizados com a amostra de cinzas. Fonte: ROSS, 2007.

Ensaio	Método de análise	Laboratório
Ensaio de massa bruta: corrosividade e reatividade	USEPA - SW 846	IPAT ¹
Ensaio de lixiviação	USEPA - SW 846	IPAT ¹
Ensaio de solubilização	USEPA - SW 846	IPAT ¹

¹ Laboratório de Análises de Solo e Fertilizantes do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT)

O ensaio de massa bruta, primeiro teste realizado, englobou duas características, corrosividade e reatividade.

A corrosividade, fortemente ligada ao pH, expressa o poder da amostra, *in natura* ou em solução com água ou outra substância, em corroer materiais rígidos como o aço. A reatividade expressa principalmente a facilidade da amostra em reagir violentamente com a água, ser capaz de produzir reações explosivas e gerar gases, vapores e fumos tóxicos em quantidades suficientes para provocar danos à saúde pública (ABNT, 2004).

O ensaio de lixiviação visa obter um extrato lixiviado do resíduo sólido, com o objetivo de diferenciar os resíduos classificados pela NBR 10.004 / 2004 como classe I (Perigoso) e classe II (Não-perigoso).

No processo de lixiviação a amostra de resíduo é exposta a ação de ácidos como o ácido clorídrico (HCl) e o ácido nítrico (HNO₃) para determinar a capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas para o meio extrator (água) (ABNT, 2004).

No ensaio de solubilização, o potencial que os constituintes da amostra têm em se solubilizarem em água, foi avaliado. Posteriormente os resultados foram comparados aos limites impostos pelo anexo G da norma NBR 10.004 / 2004

Os resíduos Classe II-A podem apresentar propriedades características dos resíduos perigosos, tais como combustibilidade e a capacidade de se solubilizarem na água, já os resíduos Classe II-B apresentam um potencial relativamente baixo de causarem danos ao meio ambiente, devido a seus constituintes não solubilizarem à concentrações que demonstrem riscos a qualidade da água. (ABNT, 2004)

8.2 INVESTIGAÇÃO DE SOLO E SUBSOLO

No total, foram realizados dois furos de sondagem à percussão na área, SP01 e SP02, totalizando 17,70 metros de sondagem em solo.

A sondagem a percussão objetiva obter a resistência à penetração de um amostrador, através de golpes sucessivos no solo (CAPUTO, 1996).

O amostrador utilizado para os trabalhos, possui as seguintes características:

- Tipo: *Raimond 2*
- Diâmetro interno: 34,9 mm
- Diâmetro externo: 50,8 mm

A penetração no solo é obtida através da queda de um peso de 65 Kg em queda livre de 75 cm de altura. O amostrador fornece a indicação da compactidade dos solos arenosos e siltosos e a consistência dos solos argilosos, além de coletar amostras das estruturas geológicas encontradas no subsolo.

A classificação das camadas foi realizada de acordo com a Norma NBR 6502 / 1995, que aborda análises granulométricas de rochas e solos e a

consistência das mesmas foram qualificadas segundo Caputo (1996), em muito mole, mole, média, rija, muito rija e dura.

As amostras de solo e subsolo coletadas pelo amostrador nas sondagens realizadas nos dois pontos são ilustradas na Figura 21.



Figura 21: Amostras de solo e subsolo da área de estudo. Fonte: Ross, E., 2007

8.3 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Para avaliar o grau de comprometimento das águas subterrâneas, as amostras coletadas na área de estudo foram submetidas a análises seguindo orientações contidas no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB (1999).

O plano de amostragem levou em consideração as principais propriedades e constituintes das águas subterrâneas citados por Feitosa; Filho (1997), elementos importantes presentes no carvão mineral e os constituintes das cinzas, capazes de se solubilizarem em água descritos no teste de solubilização.

Para a interpretação dos resultados foram selecionados os seguintes indicadores: dureza, pH, sólidos totais, sólidos totais dissolvidos, sódio, cálcio, ferro, cádmio, chumbo, cobre, manganês e zinco. A esses indicadores foram acrescentados arsênio, fluoreto e sulfato por serem constituintes importantes das águas subterrâneas segundo Feitosa; Filho (1997) e por possuírem a capacidade de solubilizar na água, segundo os limites estabelecidos pelo anexo G (Solubilização) da norma ABNT NBR 10.004 / 2004. O alumínio foi inserido nas análises, por ser considerado um constituinte característico dos solos da região.

Os trabalhos de limpeza dos poços, coleta, armazenamento e preservação das amostras seguiram as orientações da norma para amostragem e monitoramento de águas subterrâneas estabelecida pela CETESB (1988), que aborda o planejamento de redes de monitoramento de águas subterrâneas no estado de São Paulo. As coletas foram realizadas no dia 12 de setembro de 2007 após limpeza dos piezômetros no dia anterior (Figura 22). Um *bayler* foi o instrumento utilizado para coletar as amostras.



Figura 22: Atividades de limpeza e coleta das amostras de água nos piezômetros 1, 2 e 3. Fonte: Ross, E., 2007.

Totalizando, foram analisados 16 parâmetros físicos e químicos (Quadro 02) com métodos de análise adequados às suas finalidades.

Quadro 02: Parâmetros analisados, metodologia de análise laboratorial, concentração mínima detectável e local de realização das análises de água subterrânea. Fonte: IPAT, 2007.

Parâmetro	Método de análise	Mínimo detectável	Local
pH (21°C)	Potenciométrico	0,1	Realizado em campo
Dureza Total	Titulométrico	1,0 mg.L ⁻¹ de CaCO ₃	IPAT ¹
Sódio	Absorção atômica / Chama	0,01 mg.L ⁻¹	IPAT ¹
Cálcio	Absorção atômica / Chama	0,01 mg.L ⁻¹	IPAT ¹
Fluoretos	Colorimétrico	0,1 mg.L ⁻¹	IPAT ¹
Sulfatos	Turbidimétrico	5,0 mg.L ⁻¹	IPAT ¹
Alumínio	Absorção atômica / Chama	0,1 mg.L ⁻¹	IPAT ¹
Arsênio	Absorção atômica / Forno de grafite	0,001 mg.L ⁻¹	IPAT ¹
Cádmio	Absorção atômica / Chama	0,01 mg.L ⁻¹	IPAT ¹
Chumbo	Absorção atômica / Chama	0,05 mg.L ⁻¹	IPAT ¹
Cobre Total	Absorção atômica / Chama	0,01 mg.L ⁻¹	IPAT ¹
Ferro Total	Absorção atômica / Chama	0,02 mg.L ⁻¹	IPAT ¹
Manganês Total	Absorção atômica / Chama	0,01 mg.L ⁻¹	IPAT ¹
Zinco	Absorção atômica / Chama	0,01 mg.L ⁻¹	IPAT ¹
Sólidos totais	Gravimétrico	1,0 mg.L ⁻¹	IPAT ¹
Sólidos dissolvidos	Gravimétrico	1,0 mg.L ⁻¹	IPAT ¹

¹ Laboratório de análises de águas e efluentes industriais do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT)

No momento da coleta foram registrados os horários das coletas, as condições climáticas, os dados de temperatura do ar e da amostra, e o nível estático dos poços (Quadro 03).

Quadro 03: Dados dos pontos de coleta de água subterrânea. Fonte: IPAT, 2007

Ponto de coleta	Data	Horário	Condição climática	Temperatura do ar	Temperatura da amostra	Nível estático
PZ-01	12/09/07	11:20	Tempo bom	28 °C	21 °C	0 m
PZ-02	12/09/07	09:45	Tempo bom	26 °C	18,5 °C	2,3 m
PZ-03	12/09/07	09:30	Tempo bom	25 °C	18,5 °C	2 m

O piezômetro PZ-01 apresentou transbordamento em seu nível estático. Mesmo com a limpeza do poço (esgotamento) no dia anterior a coleta, não foi possível completar o esvaziamento do mesmo. Os demais piezômetros, PZ-02 e PZ-03 apresentaram nível estático satisfatórios.

8.4 CLASSIFICAÇÃO E ENQUADRAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Para avaliação das amostras de água subterrânea, buscou-se comparar os resultados obtidos, com valores orientados de qualidade de águas subterrâneas contidos em listas de padrões definidas especificamente para este compartimento ambiental.

Nas palavras de Casirini (2007), listas de padrões para qualidade de águas superficiais, como as encontradas na Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, não podem ser utilizadas para enquadramento das águas subterrâneas em razão das diferenças fundamentais entre águas superficiais e subterrâneas, tais como condições de acondicionamento e exposição às condições atmosféricas.

No Brasil não existem listas com parâmetros exclusivos para qualidade de águas subterrâneas expressas para todo território. A CETESB, baseada em listas internacionais e nas características do solo e da água encontradas no estado de São Paulo, criou sua própria lista em 23 de novembro de 2005, porém alguns

cuidados devem ser tomados em casos de comparações com análises de águas subterrâneas de outras regiões.

A CETESB se baseou principalmente em uma metodologia empregada na Holanda para essa finalidade. A Listagem Holandesa, como é conhecida, surgiu em 1994 como uma nova proposta de valores de qualidade do solo e de água subterrânea, a partir do conceito de multifuncionalidade do solo, estabelecido em 1987, por meio da promulgação da Lei de Proteção do Solo (*Soil Protection Act*) pelo governo federal holandês, o Ministério de Planejamento Territorial e Meio Ambiente da Holanda (VROM) (CETESB, 1999).

Atualmente, a Listagem Holandesa é utilizada no mundo todo como referência para estudos envolvendo águas subterrâneas.

Deste modo, o presente trabalho utilizou a lista de valores orientados da CETESB de 2005, como padrão para comparação com os resultados obtidos nas amostras de água subterrânea. A listagem holandesa também foi empregada, por atender procedimento da CETESB e ser uma referência internacional.

Os resultados obtidos foram comparados aos valores de intervenção de ambas as listas de padrões citadas acima. Para a listagem holandesa, utilizaram-se os padrões referentes a solos com mais de 25% de argila e 10% de matéria orgânica.

Uma proposta nacional referente ao enquadramento das águas subterrâneas se encontra atualmente em processo de discussão no Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. O conselho considerou que pelo fato das águas subterrâneas possuírem características físicas, químicas e biológicas intrínsecas, com variações hidrogeoquímicas definidas, era necessário que as suas classes de qualidade fossem pautadas nessas especificidades.

Essa proposta de padrão foi mais uma lista utilizada neste trabalho, entretanto muitos dos padrões utilizados nesta proposta, são baseados em listas internacionais empregadas para qualidade de águas superficiais e portarias para potabilidade d'água como a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004.

Apesar de toda evolução das listas de parâmetros para avaliação das águas subterrâneas, estas são elaboradas a partir de avaliações de risco genéricas, em que normalmente são utilizados cenários com características ambientais distintas

e parâmetros mais restritivos. A utilização das mesmas não fornece totalmente, uma resposta definitiva quanto à existência de risco decorrente da poluição da água subterrânea, em uma área específica (CETESB, 1999).

Tabela 11: Padrões de qualidade de água subterrânea utilizadas.

Parâmetros	CETESB (mg.L⁻¹)	Listagem Holandesa (mg.L⁻¹)	Proposta CONAMA - 27/09/2007 (mg.L⁻¹) Consumo humano (a)
pH	-	-	-
Dureza total	-	-	-
Sódio	-	-	200
Cálcio	-	-	-
Alumínio	0,2	-	0,2
Arsênio	0,01	0,06	0,01
Cádmio	0,005	0,006	0,005
Chumbo	0,01	0,075	0,01
Cobre total	2	0,075	2
Ferro total	0,3	-	0,3
Manganês total	0,4	-	0,1
Zinco	5	0,8	5
Fluoretos	-	-	1,5
Sulfatos	-	-	250
Sólidos totais	-	-	-
Sólidos dissolvidos	-	-	1000

Obs.: (a) Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, 25/03/2004.

Para comparação do pH, que não possui padrão estabelecido nas três listas mencionadas acima, foi utilizado padrões da Resolução CONAMA nº 357/05 para águas superficiais doces classe II, que indica um limite para pH entre 6,0 e 9,0.

Segundo esta resolução, as águas superficiais classe II são destinadas:

- a) Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) À proteção das comunidades aquáticas;
- c) À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho;

- d) À irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
- e) À aqüicultura e à atividade de pesca.

Para o parâmetro dureza total, foi utilizada a Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde e para o cálcio aplicou-se apenas as referências dos autores citados na revisão bibliográfica.

O parâmetro sólidos totais não foi avaliado por não possuir padrão específico em nenhuma das listas, considerando também as listas de padrões para águas superficiais.

9. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A interpretação dos resultados das análises realizadas nas amostras coletadas é de fundamental importância para avaliar as condições de risco a contaminação da área (CETESB, 1999).

9.1 AVALIAÇÃO DO RESÍDUO DE CINZAS

A Norma NBR 10.004, utilizada como fonte para comparação dos resultados obtidos nas análises, tem por objetivo classificar os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente (ABNT, 2004).

9.1.1 ENSAIO DE MASSA BRUTA

O resultado encontrado no teste de corrosividade está representado no Tabela 12, que também apresenta os limites máximo e mínimo exigidos pela NBR 10.004 / 2004 para efeito de comparação.

Tabela 12: Resultados obtidos no ensaio de massa bruta para corrosividade da amostra de cinza da fornalha. Fonte: IPAT, 2007.

TESTE DE CORROSIVIDADE		
Parâmetro	Resultado	Limite
pH em água	8,0	>2,0 ou <12,5

A amostra de resíduo apresentou pH igual a 8,0 em sua mistura com a água na proporção de 1:1 em peso, não ultrapassando os limites estabelecidos pela NBR 10.004 / 2004, portanto o resíduo não pode ser considerado corrosivo.

No teste de reatividade os seguintes dados foram obtidos:

Tabela 13: Resultados obtidos no ensaio de massa bruta para reatividade da amostra de cinza da fornalha. Fonte: IPAT, 2007.

TESTE DE REATIVIDADE		
Parâmetros	Resultado (mg. Kg⁻¹)	Limite liberável por Kg de resíduo
Ácido Cianídrico (HCN)	NA ¹	250 mg de HCN
Ácido Sulfídrico (H ₂ S)	24,03	500 mg de H ₂ S

¹ NA = Não Analisado

Os resultados do teste de reatividade na amostra de resíduo, apresentaram o íon sulfeto (S²⁻) abaixo do limite segundo a NBR 10.004 / 2004. O íon cianeto (CN⁻) não foi analisado devido a não ser característico de amostras de resíduos provenientes de carvão mineral.

Sendo assim, os resultados obtidos demonstram que a cinza não possui características de reagir de forma violenta e imediata com água ou outros compostos.

Avaliando os valores obtidos no ensaio de massa bruta (Tabelas 12 e 13) pode-se afirmar que o resíduo das cinzas dispostos na área de estudo não apresenta resultados que o possam caracterizar como resíduo classe I (Perigoso).

9.1.2 ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO

Após o ensaio de massa, foi realizado o ensaio de lixiviação para determinar o nível de toxicidade da amostra, bem como verificar se o mesmo pode ser classificado como classe II (Resíduo não-perigoso).

Na tabela 14 são apresentados os resultados dos parâmetros analisados no ensaio de lixiviação e seus respectivos limites de acordo com Anexo G da Norma NBR 10.004 / 2004.

Tabela 14: Resultados obtidos no ensaio de lixiviação. Fonte: IPAT, 2007.

Parâmetro	Resultado (mg.L⁻¹)	Limite máximo no lixiviado (mg.L⁻¹)
Arsênio	0,005	1,0
Bário	0,5	70,0
Cádmio	< 0,01	0,5
Chumbo	<0,05	1,0
Cromo Total	< 0,02	5,0
Fluoreto	0,2	150,0
Mercúrio	< 0,001	0,1
Prata	< 0,01	5,0
Selênio	< 0,001	1,0

Analisando a tabela 14, pode-se observar que os parâmetros analisados no extrato da amostra, obtidos segundo a NBR 10.005 / 2004, não ultrapassaram os limites máximos permitidos pela Norma NBR 10004 / 2004, ficando todos, sem exceção, muito abaixo dos limites estabelecidos pela norma.

9.1.3 ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO

Classificado o resíduo como Classe II (Não-perigoso), o ensaio de solubilização teve como objetivo diferenciar a classificação do resíduo em classe II-A (Não Inerte) e classe II-B (Inerte).

Os resultados das análises do ensaio de solubilização com a amostra de cinza da fornalha, estão expressos na tabela 15.

Tabela 15: Resultados obtidos no ensaio de solubilização. Fonte: IPAT, 2007.

Parâmetro	Resultado (mg.L ⁻¹)	Limite máximo no extrato (mg.L ⁻¹)
Alumínio	0,2	0,2
Arsênio	0,011	0,01
Bário	<0,5	0,7
Cádmio	<0,0001	0,005
Chumbo	0,002	0,01
Cloreto	1,8	250,0
Cobre	<0,01	2,0
Cromo Total	< 0,02	0,05
Ferro	0,1	0,3
Fluoreto	1,6	1,5
Manganês	<0,01	0,1
Mercúrio	<0,001	0,001
Sódio	22,86	200,0
Sulfato (expresso em SO ₄)	1462,0	250,0
Zinco	<0,01	5,0

Os parâmetros analisados arsênio, fluoreto e sulfato ultrapassaram os limites máximos permitidos, constantes no Anexo G da norma NBR 10004 / 2004.

Portanto, considerando os resultados obtidos no decorrer dos ensaios de massa bruta, lixiviação e solubilização, o resíduo (cinza da fornalha) foi classificado como Classe II A – Não Inerte, segundo a Norma NBR 10004 / 2004.

A análise de solubilização atribuiu às cinzas a característica de ao entrar em contato com a água, solubilizar os seguintes constituintes: arsênio, fluoreto e sulfato, e dessa forma potencialmente alterar os padrões de qualidade da água para consumo humano e a proteção do meio ambiente.

O alumínio ficou muito próximo do limite imposto pela norma, deste modo deve-se também dar atenção especial e este elemento.

9.2 HIDROGEOLOGIA DA ÁREA

As características pedológicas da área apresentam a presença marcante de argilas e a presença de silte nas camadas inferiores, conforme os resultados obtidos nos pontos de sondagem SP01 e SP02 (Tabelas 16 e 17).

Tabela 16: Resultados dos trabalhos de sondagem realizados no ponto 01 da área de estudo. Fonte: SAVI, 2007.

SONDAGEM – SP 01	
Profundidade da camada (m)	Classificação do material
3,1	Cinzas de carvão mineral, cor cinza escura a preta, de consistência muito mole.
4,0	Cinzas de carvão mineral, cor cinza escura a preta, de consistência muito mole.
5,0	Argila arenosa, cor cinza clara, de consistência dura.
7,2	Argila arenosa, cor marrom clara, de consistência dura a mole.
7,7	Argila siltosa, cor esverdeada, de consistência mole.
7,9	Argila siltosa, cor amarelada, de consistência mole à dura.

Tabela 17: Resultados dos trabalhos de sondagem realizados no ponto 02 da área de estudo. Fonte: SAVI, 2007.

SONDAGEM – SP 02	
Profundidade da camada (m)	Classificação do material
3,10	Cinzas de carvão mineral, cor cinza escura a preta, de consistência mole à moderada.
7,80	Cinzas de carvão mineral, cor cinza escura a preta, de consistência mole à moderada.
8,80	Argila arenosa, cor marrom de consistência mole à moderada.
9,50	Argila siltosa, cor esverdeada, de consistência mole à rija.
9,80	Argila siltosa, cor amarelada, de consistência rija a dura.

Ao analisar os resultados das sondagens, pôde-se constatar a existência do resíduo de cinzas nos dois pontos onde foram feitos os furos à percussão.

A presença marcante de argila nos resultados obtidos através das sondagens é confirmada por estudos pedológicos realizados pelo IPAT no Sul do município de Criciúma para elaboração dos mapas pedológicos do plano diretor 2007 do município. Os estudos indicam a presença de texturas fortemente argilosas, às margens da BR-101, caracterizadas pelo tipo de solo existente na região, cambissolo háplico alumínico.

O tipo de solo encontrado na área se enquadra nas características gerais dos cambissolos existentes nos estados do Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), apresentando caracteristicamente altos teores de matéria orgânica, como também, altos teores de alumínio (Al^{+3}) (RESENDE; CURI; SANTANA, 1988).

Levando em consideração os índices granulométricos das partículas do solo segundo a Norma NBR 6502 / 1995, as partículas de argila e silte possuem diâmetros muito pequenos, menores que 0,005 mm nas argilas e menos de 0,05 mm no caso dos siltes. Esta característica conforme VARGAS (1978) atribui aos solos da região uma forte compactação e elevada resistência, que dificulta a infiltração de líquidos no local.

A forte compactação das partículas no local pode ser evidenciada nos pontos de sondagem SP01 e SP02, onde a formação encontrada sempre atinge níveis de consistência rija e dura.

Devido a estruturas com partículas menores e fortemente agregadas possuírem taxas de permeabilidade mais baixas, pode-se assegurar que nas condições pedológicas locais, a infiltração e a percolação de líquidos possuem níveis baixos, encontrando sérias dificuldades para atingir as águas subterrâneas mais profundas.

A argila, material predominante encontrado na área de estudo, também favorece a retenção dos líquidos percolados. Isso se deve as argilas possuírem uma porosidade efetiva baixa, apesar da porosidade total destes materiais ser considerada alta, em torno de 50%, conforme figura 23. Com níveis de porosidade efetiva menores, os líquidos sofrem menos atração da gravidade, ficando em maior parte retidos nos poros das partículas, por isso os níveis de retenção específica das argilas são consideravelmente elevados.

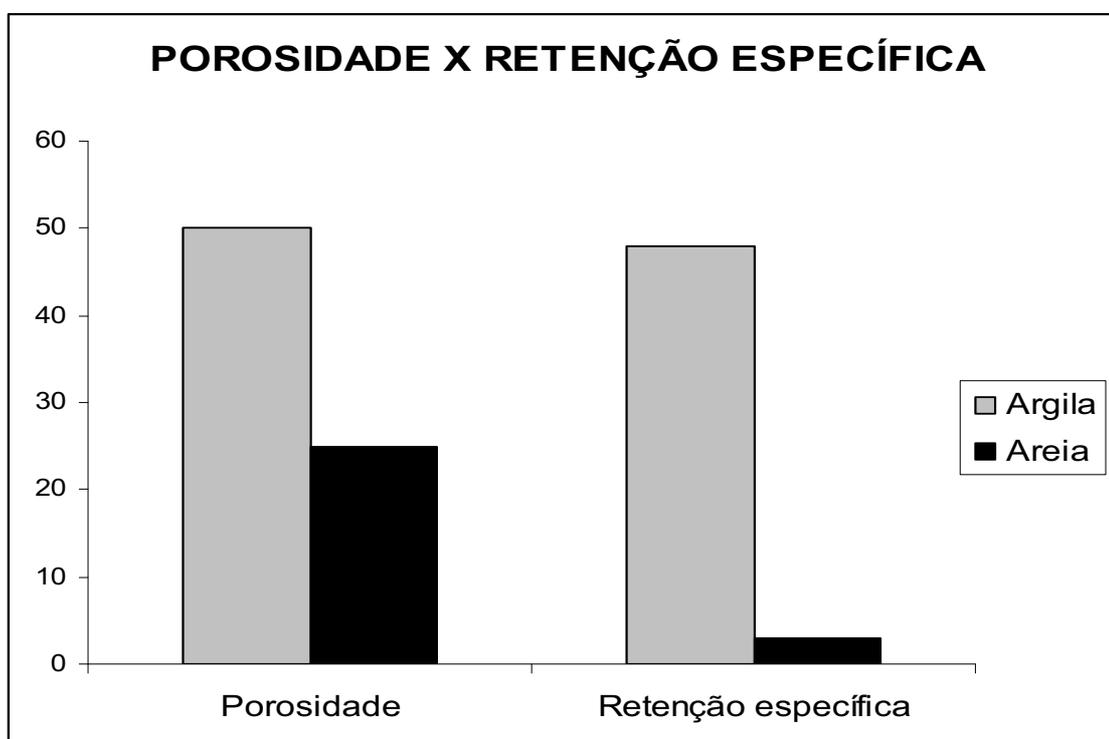


Figura 23: Relação entre porosidade e retenção específica segundo Heath, 1982. Fonte: Ross, E., 2007.

As características das argilas presentes na área induzem a considerar que as águas que infiltram na área de aterro, por permanecerem em maior tempo

retidas nas partículas de argila, possibilitam uma maior interação entre os constituintes das cinzas com as mesmas. Esta interação se dá principalmente por processos de adsorção e trocas iônicas envolvendo principalmente metais carregados positivamente (cátions) e elementos carregados negativamente (ânions), tais como os fluoretos e sulfatos presentes nas cinzas.

Outro fator importante a ser destacado, corresponde aos valores de condutividade hidráulica relacionados com a argila e o silte presentes na área. Por possuírem baixas taxas de permeabilidade, os materiais em questão, apresentam valores de condutividade hidráulica baixos. Isso demonstra a dificuldade que água subterrânea tem em penetrar no solo, se movimentar de uma zona a outra, e atingir o aquífero ou as áreas de recarga dos aquíferos.

Em função deste dado, caso em algum ponto da área em questão, a água se encontre contaminada, está permanecerá confinada, devido às dificuldades de transmissão e condutividade no subsolo, levando um considerável período de tempo para movimentar seus constituintes.

9.3 AVALIAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Os parâmetros analisados com os respectivos resultados obtidos em setembro de 2007 encontram-se descritos na Tabela 18.

Tabela 18: Resultados dos parâmetros de água subterrânea analisados. Fonte: IPAT, 2007.

Parâmetros	Piezômetros monitorados		
	PZ-01	PZ-02	PZ-03
pH ¹	7,2	5,2	7,1
Temperatura (°C)	21	18,5	18,5
Dureza total (mg.L ⁻¹ de CaCO ₃)	158	44	33
Sódio (mg.L ⁻¹)	29,75	22,64	97,14
Cálcio (mg.L ⁻¹)	31,56	4,41	7,15
Alumínio (mg.L ⁻¹)	< 0,1	0,6	< 0,1
Arsênio (mg.L ⁻¹)	0,001	< 0,001	< 0,001
Cádmio (mg.L ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Chumbo (mg.L ⁻¹)	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Cobre total (mg.L ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ferro total (mg.L ⁻¹)	1,05	0,22	0,08
Manganês total (mg.L ⁻¹)	0,43	0,11	0,05
Zinco (mg.L ⁻¹)	0,02	0,05	0,04
Fluoretos (mg.L ⁻¹)	0,1	< 0,1	0,2
Sulfatos (mg.L ⁻¹)	52	66	32
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	309	170	338
Sólidos dissolvidos (mg.L ⁻¹)	260	150	295

¹ Sem unidade (Adimensional)

A discussão dos resultados foi realizada para cada parâmetro ou conjunto de indicadores de qualidade da água analisado, e serão apresentados a seguir:

I) Potencial hidrogeniônico (pH)

Os valores de pH obtidos em dois pontos situados na área de estudo (PZ-01 e PZ-03) não apresentaram valor em desacordo com a norma ambiental vigente para avaliação de águas subterrâneas no Brasil (Resolução CONAMA nº 357/05).

Registra-se a redução significativa do pH no ponto PZ-02 (5,2) como demonstrado na Figura 24.

O fato do ponto PZ-01 apresentar pH dentro dos limites da resolução pode ser explicado pela distância do ponto em relação ao aterro de cinzas. O PZ-03, localizado próximo ao aterro, também apresentou valor dentro dos limites, provavelmente pelo fato das cinzas possuírem características de neutralidade (pH = 8,0) ao entrar em contato com as águas.

Já no ponto PZ-02, também situado próximo a área, a mesma observação não pode ser aplicada. O pH do solo da região e as culturas de arroz próximas a área podem ter influenciado no resultado, porém mesmo com o PZ-02 apresentando valor inferior ao estabelecido pela resolução, que leva em consideração valores para águas superficiais, este valor se encontra próximo aos limites comumente encontrados em águas subterrâneas (entre 5,5 e 8,5) descrito por Feitosa; Filho (1997).

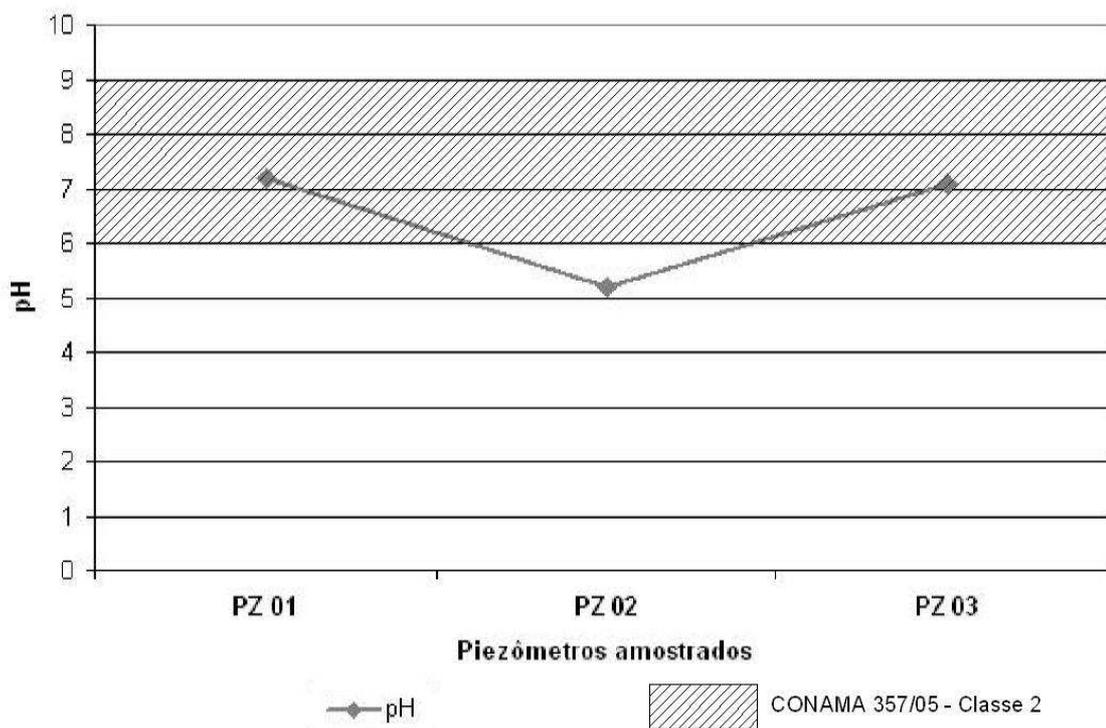


Figura 24: Valores de pH obtidos na área de estudo.

II) Dureza Total

Em todos os pontos, os valores de dureza (CaCO_3) ficaram dentro dos limites estabelecidos pela Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde para potabilidade da água, conforme figura 25.

Um dado relevante se dá pelo fato do valor encontrado no PZ-01, ponto em branco, distante do aterro, ficar acima dos pontos localizados próximos ao aterro. De acordo com a classificação de Heath (1988) para dureza da água, as águas do PZ-01 são consideradas duras e dos pontos PZ-02 e PZ-03 consideradas moles.

Quanto ao parâmetro dureza, as águas dos três pontos são adequadas tanto para o consumo humano, como para o uso agrícola e industrial.

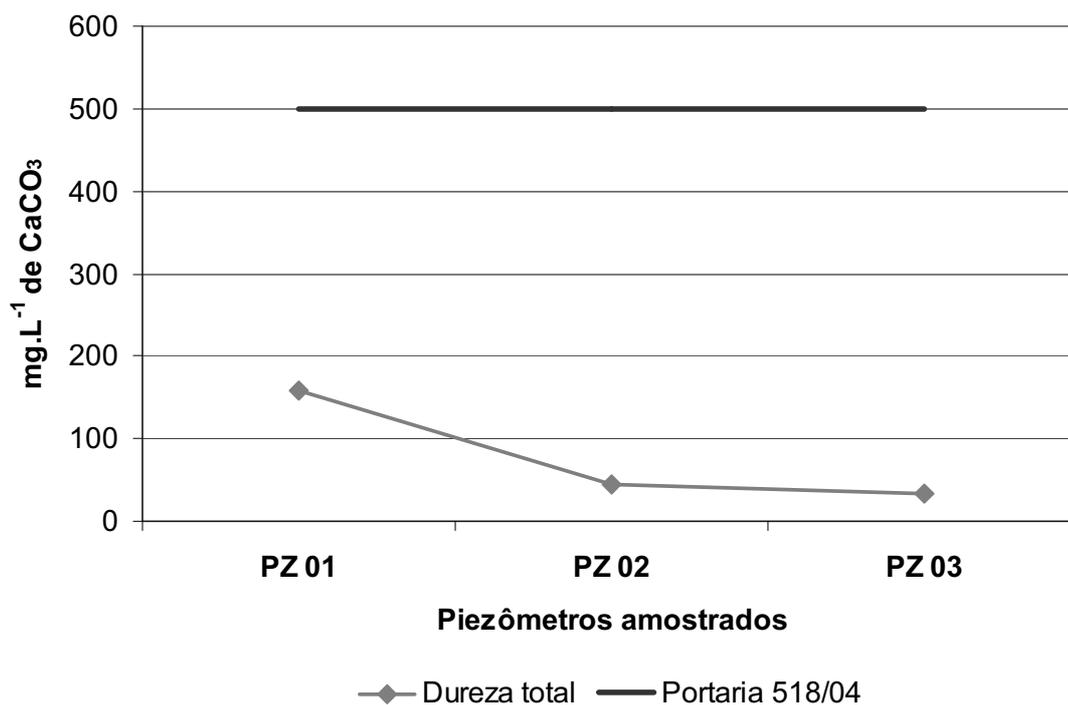


Figura 25: Valores de dureza obtidos na área de estudo.

III) Sódio e Cálcio

Para o parâmetro sódio, os resultados obtidos em todos os pontos, ficaram abaixo do limite estabelecido pela proposta de Resolução CONAMA de 27 de setembro de 2007 para enquadramento das águas subterrâneas. Este limite (200 mg.L⁻¹) foi inteiramente baseado na Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde, conforme figura 26.

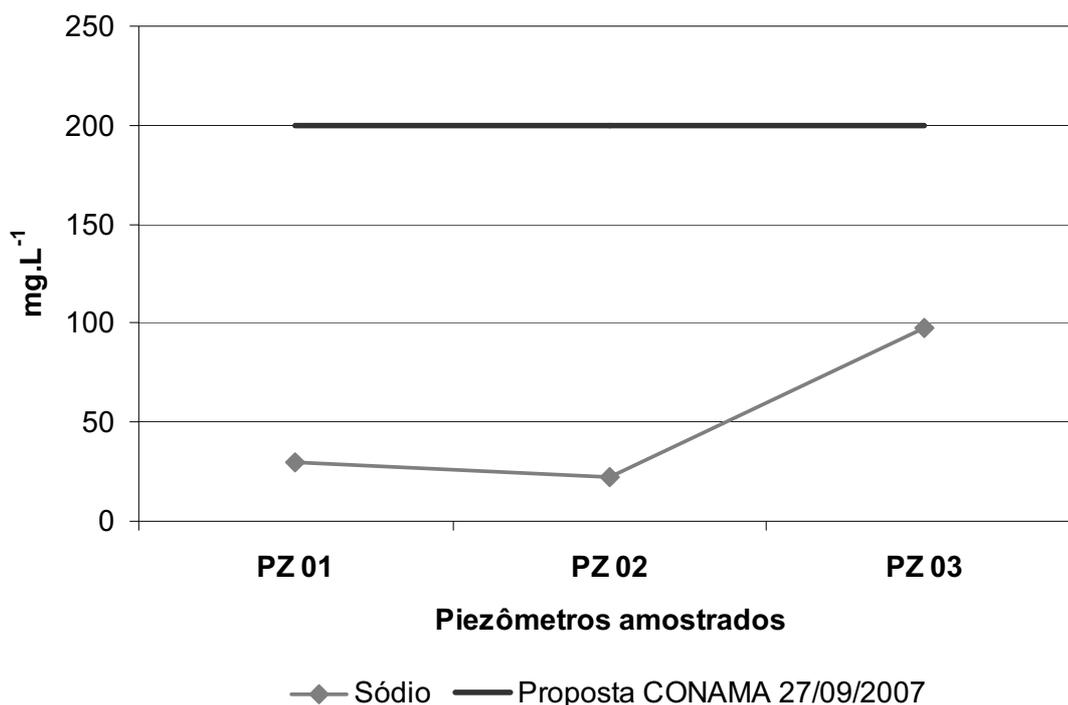


Figura 26: Valores referentes ao parâmetro sódio (Na) obtidos na área de estudo.

Quanto ao cálcio, nenhuma das listas de padrões utilizadas no presente estudo, abordaram este parâmetro. Contudo, os resultados obtidos nos três pontos ficaram dentro da normalidade para águas subterrâneas, abaixo de 100 mg. L⁻¹, de acordo com Zimbres (2007).

IV) Alumínio

Nos piezômetros 01 e 03, a presença deste elemento se encontra abaixo dos limites estabelecidos pela lista de padrões para água subterrânea da CETESB e pela proposta do CONAMA.

O valor obtido no ponto PZ-02 (0,6 mg.L⁻¹), está em desacordo com ambas as listas, fato este que pode ser explicado pela presença marcante de alumínio nas cinzas na forma de alumina (Al₂SO₃).

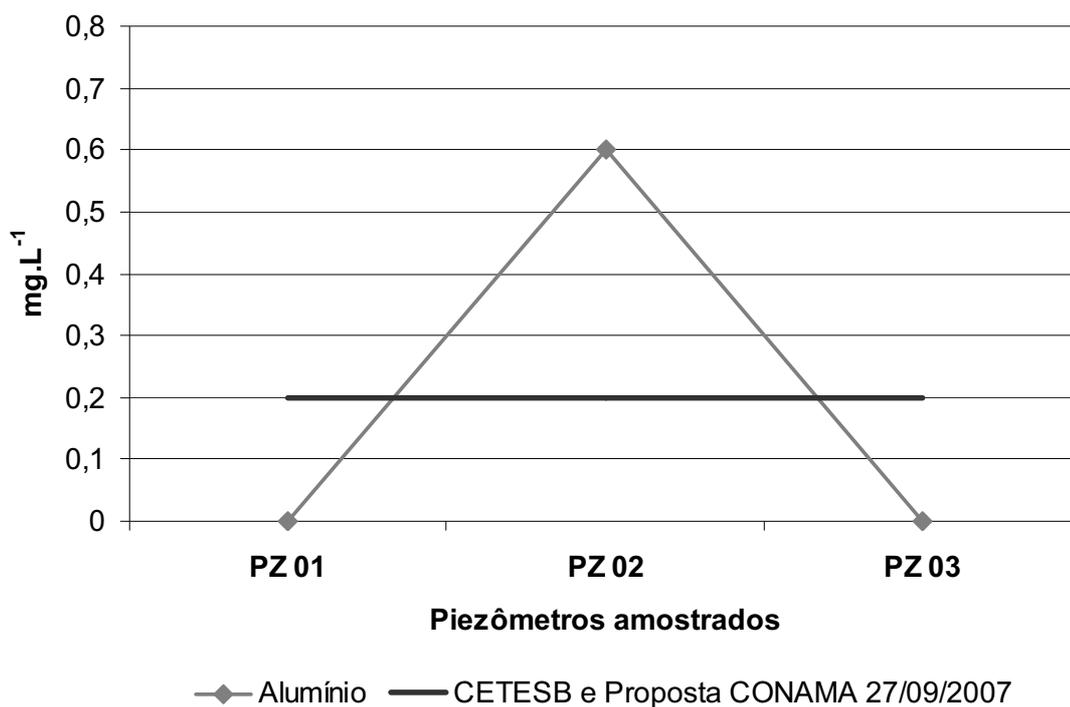


Figura 27: Valores obtidos para o parâmetro alumínio (Al) na área de estudo.

Porém deve-se ressaltar que a presença de alumínio na forma de Al^{+3} nos solos da área de estudo, conforme citado por Resende; Curi; Santana (1988), combinado com o valor de pH encontrado em PZ-02 (5,2), podem exercer influência nas águas subterrâneas locais, pois de acordo com Baird (2002) em águas com índices de pH inferiores a 6, a solubilidade do alumínio contido em rochas e solos aos quais a água está em contato, aumenta consideravelmente (Figura 28).

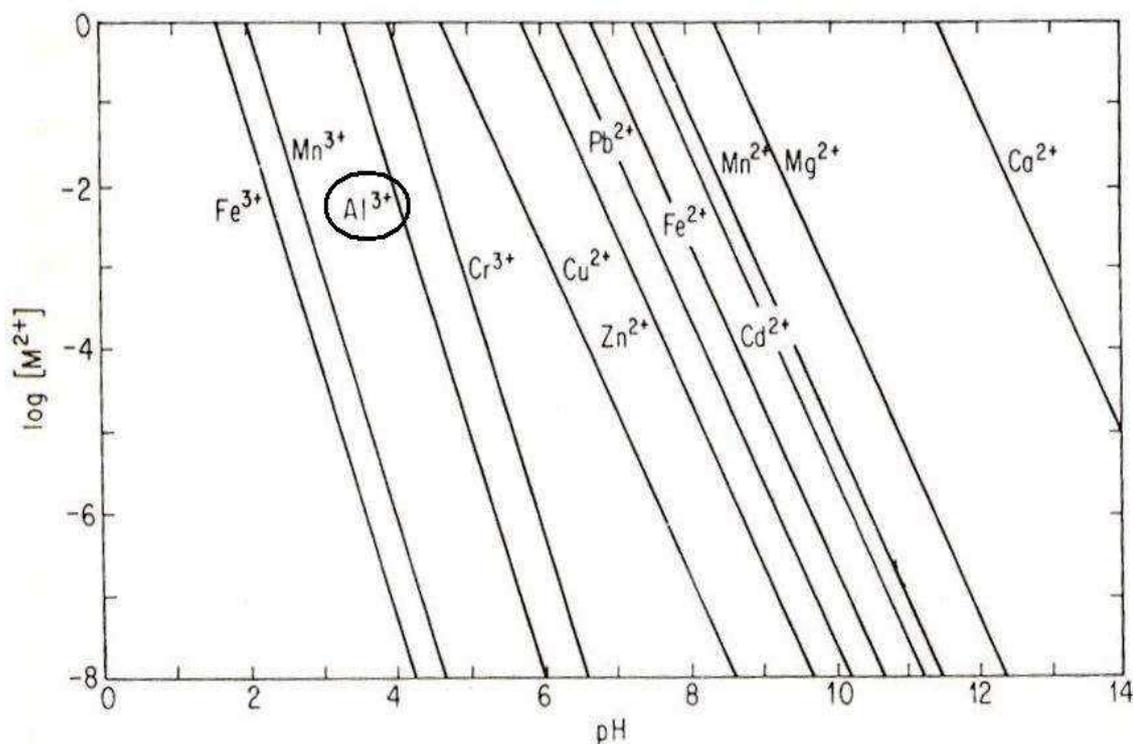


Figura 28: Diagrama de solubilidade de metais. Fonte: Sawyer; Mccarty (1978)

V) Arsênio

A distribuição desse elemento nos três pontos analisados se mostrou muito abaixo dos limites fixados pelas listas de padrões utilizadas no presente trabalho (Figura 29).

O arsênio solubilizado na água acumulada no solo, elemento que apresentou resultado acima do limite da Norma NBR 10.004 / 2004 no ensaio de solubilização, tem uma maior tendência de se fixar na matéria orgânica e na argila presente no solo.

Isso se dá principalmente pelo arsênio ser considerado um metal pesado, distribuído em formas catiônicas, como As^{+3} e As^{+5} , que estabelecem uma forte interação com materiais húmicos, extraindo-o da água que infiltra por meio de processos de troca iônica. (BAIRD, 2002).

Isso ocorre principalmente devido ao fato do arsênio, que se apresenta nas formas catiônicas As^{+3} e As^{+5} , estabelecerem uma forte interação com a matéria húmica, em função de mecanismos de adsorção, removendo-o da água por troca catiônica (BAIRD *op cit.*, 2002).

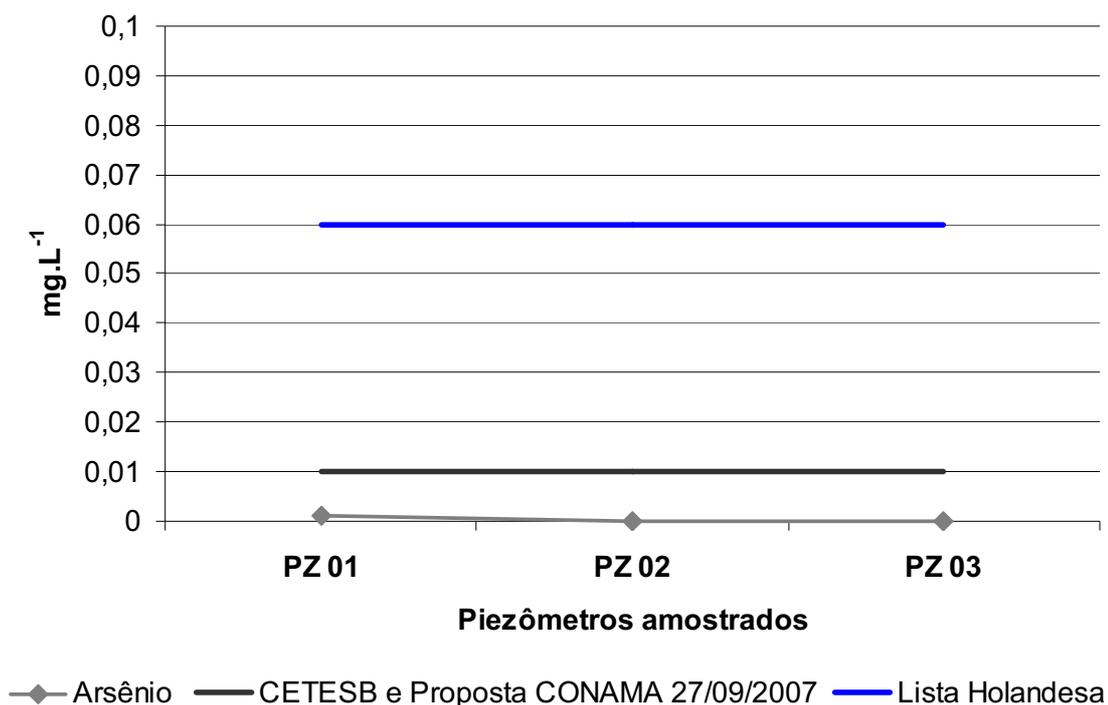


Figura 29: Valores encontrados para o arsênio (As) na área de estudo.

VI) Cádmio, Chumbo, Cobre

Para estes parâmetros, todas as análises realizadas apresentaram os valores abaixo do mínimo detectável para cada parâmetro.

A respeito dos elementos cádmio e chumbo os valores mínimos detectáveis 0,01 e 0,05 mg.L⁻¹ respectivamente, ficam acima dos limites estabelecidos pelas normas, CETESB e proposta CONAMA que atribuem a estes elementos limites de 0,005 e 0,01 mg.L⁻¹. Possivelmente as amostras precisam passar por análises que determinem quantitativamente os valores com maior precisão e exatidão, atribuindo mínimos detectáveis menores.

Comparado com a lista holandesa, o cádmio também possui valor limite (0,006 mg.L⁻¹) inferior ao mínimo detectável, porém o chumbo apresenta resultado abaixo do limite imposto pela lista que é de 0,075 mg.L⁻¹.

VII) Ferro total

Comumente encontrado nas águas superficiais da região carbonífera do Sul de Santa Catarina, devido a atividades de drenagem ácida, o ferro é um elemento característico da composição do carvão mineral, apresentando uma concentração significativa no valor de 7956 mg.Kg^{-1} de acordo com Bender *apud* Nesi (2006).

A presença do ferro nos pontos amostrados próximos ao aterro (PZ-02 e PZ-03), não foi significativa, conforme Figura 30. Nos dois pontos, os valores encontrados não ultrapassaram o limite de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ imposto pelas normas.

Segundo FEITOSA; FILHO (1997) estes dois pontos se enquadram nos valores típicos de ferro presentes na maioria das águas subterrâneas, abaixo de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$.

Curiosamente, o ponto afastado do aterro, PZ-01, apresentou um nível de concentração superior aos outros dois pontos ($1,05 \text{ mg.L}^{-1}$).

Alguns fatores externos podem ter contribuído para a elevação da concentração de ferro no primeiro ponto. Os resultados sugerem que uma espécie de corrosão no revestimento, do filtro ou da tampa do poço, pode ter interferido no resultado final da análise.

A falta de técnicas adequadas de limpeza e acabamento do poço podem ser outros motivos de acordo com Zimbres (2007). Caso houvesse a utilização de substâncias orgânicas emulsificantes e polifosfatos nos processos de perfuração e desenvolvimento dos poços, estas podem ter auxiliado na proliferação de ferrobactérias, interferindo deste modo na amostra coletada.

As características naturais do solo e o início de prospecções minerárias na região ou vestígios de antigas prospecções, podem também serem as causas do nível acima do limite em uma área afastada do aterro.

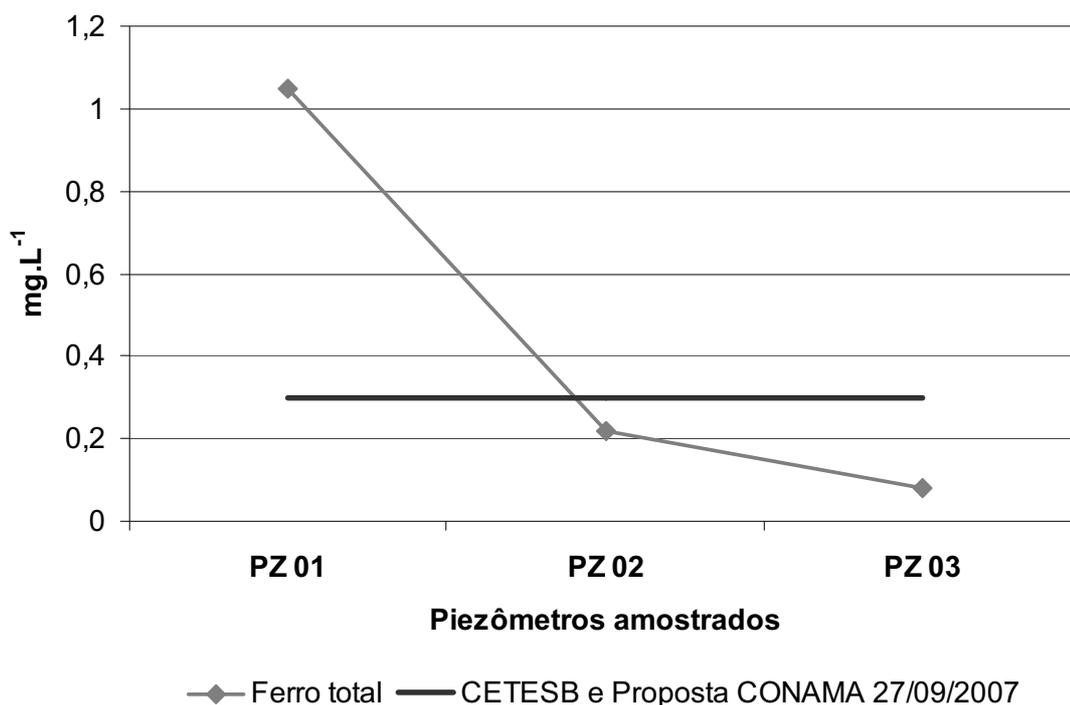


Figura 30: Valores obtidos para o parâmetro ferro total (Fe).

VIII) Manganês total

O manganês também é um elemento que está associado ao carvão mineral, mais precisamente na ordem de 60 mg.L^{-1} (BENDER *apud* NESI, 2006).

De acordo com a CETESB (2007), esse elemento analisado, possui um comportamento nas águas muito semelhante ao do ferro, isto pode explicar a presença de manganês acima do limite em alguns pontos amostrados.

Os dois padrões utilizados para comparação dos resultados possuem valores diferentes. A lista da CETESB, aplica um valor de $0,4 \text{ mg.L}^{-1}$ para as análises de manganês. A proposta do CONAMA, que pode vir a ser referência nacional, apresenta um valor de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$, abaixo do valor imposto pela lista da CETESB.

Mais uma vez, o primeiro piezômetro (PZ-01) apresentou um valor superior às duas listas de padrões (Figura 31). O motivo deste índice estar acima dos limites pode estar ligado ao solo local possuir em suas características naturais, a presença de manganês.

O ponto PZ-02 apresentou um resultado abaixo do limite imposto pela CETESB, porém ficou $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ acima do limite apresentado pela proposta de resolução CONAMA.

O PZ-03 apresentou resultado satisfatório, ficando abaixo dos limites das duas listas de padrões.

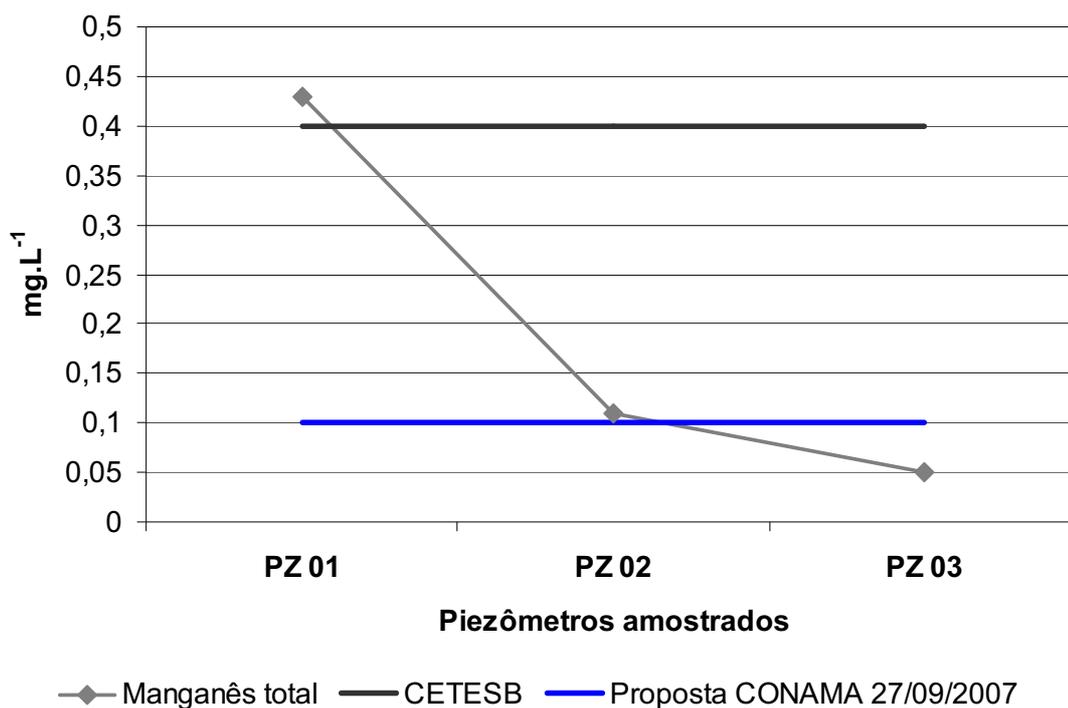


Figura 31: Valores encontrados para manganês total (Mn).

IX) Zinco

Como no item anterior, existem dois limites diferentes para o parâmetro zinco de acordo com a figura 32, porém neste caso, os resultados encontrados em todos os pontos amostrados, estão de acordo com os limites estabelecidos.

É importante ressaltar que o zinco também é um elemento presente no carvão mineral, com concentração em torno de 65 mg.Kg^{-1} conforme Bender *apud* Nesi (2006).

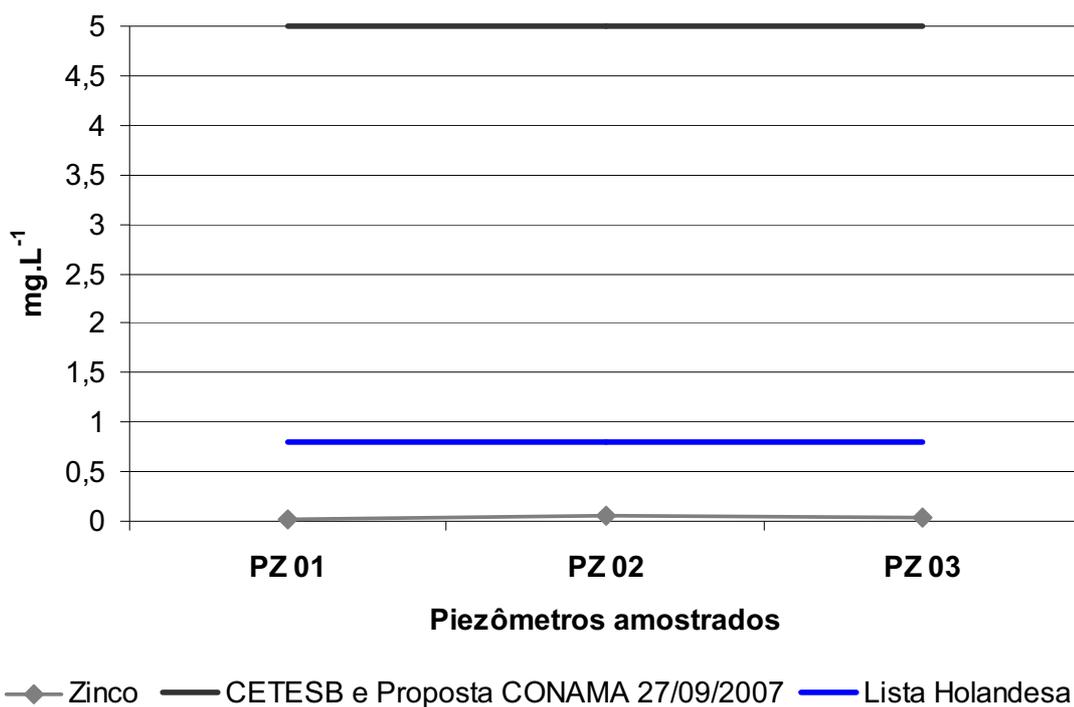


Figura 32: Valores das análises do parâmetro zinco (Zn).

IX) Fluoretos e Sulfatos

O padrão estabelecido pela proposta de resolução CONAMA, 1,5 mg.L⁻¹, está de acordo com a indicação da CETESB para concentrações benéficas de flúor em águas naturais. Os pontos de amostragem apresentaram concentrações de fluoretos com valores inferiores ao padrão citado, como mostra a figura 33.

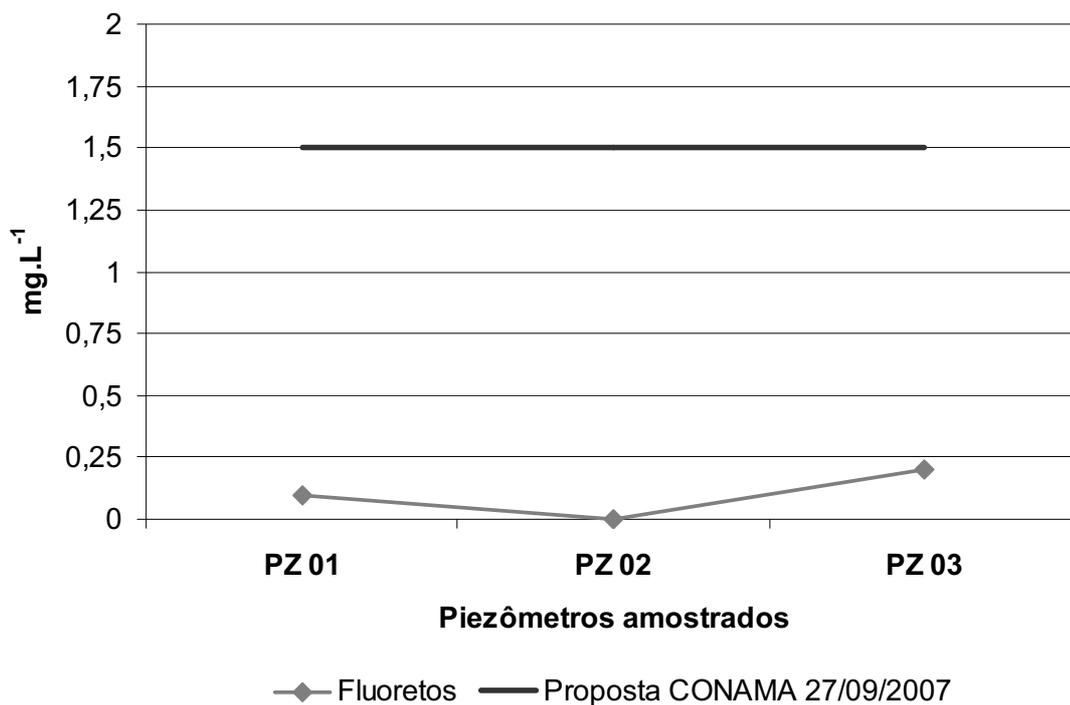


Figura 33: Valores obtidos para o parâmetro fluoretos.

As concentrações em sulfatos também se mostraram muito abaixo do limite estabelecido pela proposta CONAMA (250 mg.L^{-1}), que é idêntico ao valor presente na Resolução CONAMA nº 357/05 e na Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde (Figura 34).

O segundo piezômetro apresentou uma concentração levemente superior aos demais pontos, provavelmente por estar situado um pouco mais próximo ao aterro.

Esses resultados podem ser creditados ao fato de os sulfatos estarem associado, via de regra, aos efluentes da indústria de carvão mineral.

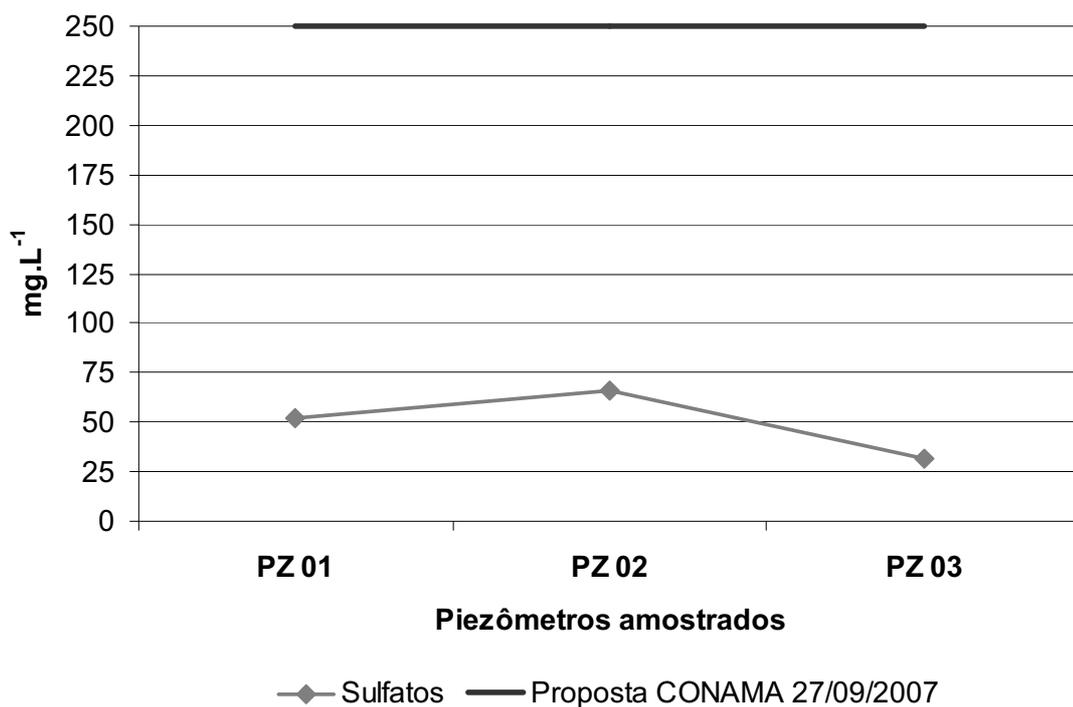


Figura 34: Valores encontrados para sulfatos na área de estudo.

X) Sólidos dissolvidos totais

Nas análises de sólidos dissolvidos totais, as concentrações resultantes dos três piezômetros, ficaram bem abaixo do limite proposto para a resolução CONAMA referente ao enquadramento das águas subterrâneas (Figura 35).

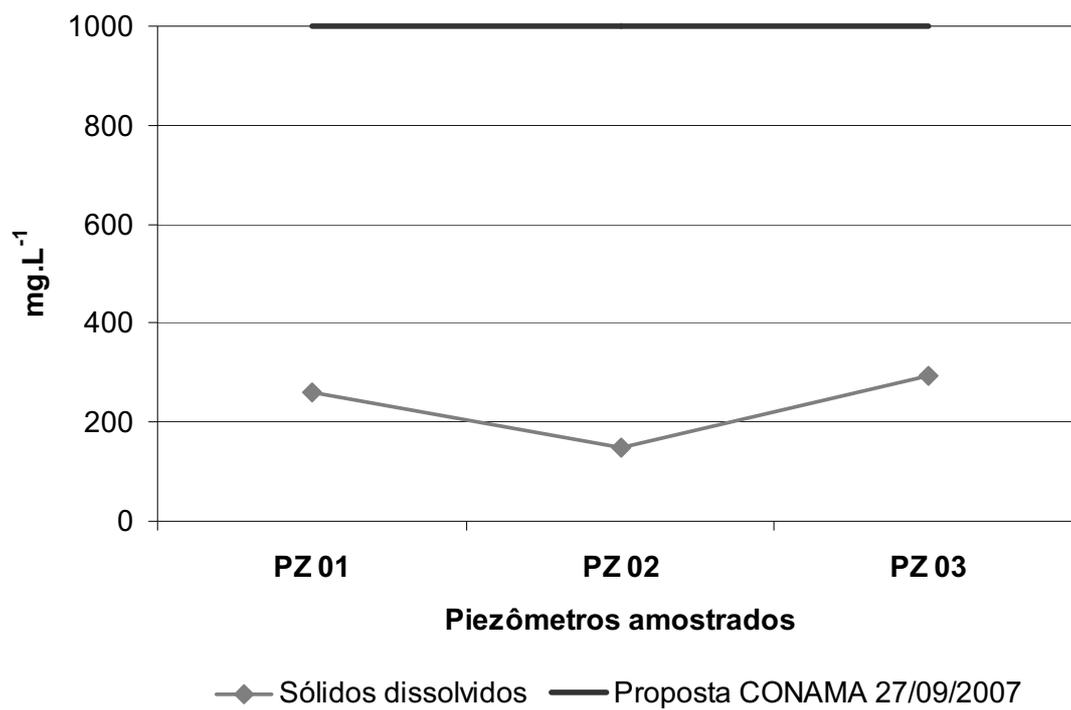


Figura 35: Valores de sólidos dissolvidos totais obtidos nas amostras de água subterrânea da área de estudo.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos estudos realizados, pode-se considerar que os resultados obtidos na avaliação das águas subterrâneas da área, não chegaram a ser determinantes para definir o grau de contaminação da água. Fatores como a possível corrosão do revestimento da tubulação dos poços piezométricos e as condições naturais do solo, podem ter influenciado diretamente nos resultados das análises.

As condições naturais do solo devem ser caracterizadas, devido à possibilidade de amostras de solo apresentarem altas concentrações de alguns constituintes, mesmo quando retiradas de pontos que não sofram influência da disposição do resíduo.

Análises de solo retiradas do local de deposição das cinzas podem também constatar a presença de alguns constituintes, como os metais, em concentrações superiores as encontradas nas águas subterrâneas, pelo fato dos mesmos possuírem mais afinidade por materiais argilosos através de processos de adsorção e trocas iônicas.

As listas utilizadas no presente estudo, representam valores orientadores ótimos para avaliação da qualidade de águas subterrâneas, porém não correspondem à realidade própria do local. A listagem holandesa é baseada em condições geológicas da Holanda, a lista da CETESB faz referência a valores orientadores definidos para o Estado de São Paulo representando as diversas características ambientais existentes deste Estado, e a proposta do CONAMA é baseada totalmente na Portaria nº 518 do Ministério da Saúde.

Nenhuma destas listas de padrões leva em consideração as condições do solo e da geologia do local ou mesmo do Estado de Santa Catarina. Valores estrangeiros e de outros estados para águas subterrâneas, não caracterizam de forma ideal as condições reais da área. Deste modo faz-se necessário a definição de parâmetros regionais adequados para investigações de águas subterrâneas.

O monitoramento da área deve ser estendido, por meio da adição de novos pontos de monitoramento e novas amostragens devem ser realizadas, para constatar se os resultados que se apresentaram acima dos parâmetros, são casos isolados ou confirmam uma possível contaminação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004 – Resíduos sólidos: Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502 – Análise Granulométrica: Rochas e Solos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ATKINS, P. W. **Físico-química. 6.ed. Volume 3**. Rio de Janeiro: LTC, 1999. 159 p.

BAIRD, Colin. **Química Ambiental. 2ª ed.** Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.

BRAGA, Benedito *et al.* **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305 p.

BRASIL, CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 17 de março de 2005.

BRASIL, CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Versão Final da Proposta de Resolução aprovada pela Câmara Técnica**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília: 24ª Reunião da Câmara Técnica de Controle e Qualidade Ambiental, 26 e 27 de setembro de 2005.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 518, de 25 de março de 2004**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 25 de março de 2004.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações: Fundamentos**. Volume 1. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 234 p.

CASARINI, Dorothy Carmen Pinatti. **Classificação e enquadramento das águas subterrâneas**. São Paulo: CETESB - Divisão de Qualidade de Solos, Águas Subterrâneas e Vegetação, 2007. 09 p.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.
Águas subterrâneas.

Disponível na internet, no endereço:

http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/agua_sub/importancia.asp

Acessado no dia 24 de Setembro de 2007.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.
Lista holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea – Valores STI.

Disponível na internet, no endereço:

http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/anexos/download/6530.pdf

Acessado no dia 24 de Setembro de 2007.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.

Solo – Áreas contaminadas. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas. Atualizado em 1999.

Disponível na internet, no endereço:

http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/manual.asp

Acessado no dia 08 de Agosto de 2007.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.

Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005.

Disponível na internet, no endereço:

http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf

Acessado no dia 01 de Outubro de 2007.

CHAVES, Arthur Pinto. **Teoria e prática do tratamento de minérios. Volume 1.** São Paulo: Signus, 1996-1999. 235 p.

COSTA, Manoel Carlos Diniz. **Emissões poluentes na combustão em leitos fluidizados de carvão mineral.** São Carlos: USP, 2005. 114 p.

CRICIÚMA – PLANO DIRETOR PARTICIPATIVO

Mapas temáticos físico-territoriais – Mapa pedológico (IPAT, 2007)

Disponível na internet, no endereço:

<http://www.unesc.net/~pdp/pdf/PDP2007FIS13-20-103.pdf>

Acessado no dia 09 de Setembro de 2007.

DEMUELENAERE, Rafael Gerard de Almeida. **Caracterização de Propriedades de Transporte de metais Pesados em Solos Residuais do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2004. 94 p.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO

Água subterrânea, uma riqueza de São Paulo.

Disponível na internet, no endereço: <http://www.daee.sp.gov.br>

Acessado no dia 23 de Setembro de 2007.

FEITOSA, Fernando Antonio Carneiro; FILHO, João Manoel. **HIDROGEOLOGIA: Conceitos e Aplicações.** Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997. 412 p.

GUIA AVANÇADO SOBRE ÁGUA SUBTERRÂNEAZIMBRES, Eurico. **Química da água subterrânea.**

Disponível na internet, no endereço:

<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/quimica.htm>

Acessado no dia 03 de Novembro de 2007

HEATH, Ralph C. **Hidrologia básica de água subterrânea.** Tradução do U. S. Geological Survey Water Supply Paper 2220. Porto Alegre: UFRGS, 1982. 85 p.**ICON MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS****Produtos – Fornalha de leite fluidizado**

Disponível na internet, no endereço:

http://www.iconmaq.com.br/maquinas/pr_energetico_01.html

Acessado no dia 04 de Setembro de 2007.

MACÊDO, Jorge Antonio Barros de. **Introdução à química ambiental: Química & Meio Ambiente & Sociedade.** Juiz de Fora: CRQ-MG, 2002. 487 p.MILIOLI, Geraldo. **Abordagem ecossistêmica para a mineração: uma perspectiva comparativa para Brasil e Canadá.** Florianópolis: UFSC, 1999. 387.MÜLLER, Alberto Antônio. **Perfil analítico do carvão. 2ª edição.** Porto Alegre: Departamento Nacional de Produção Mineral, 1987. 140 p.NESI, Marcos. **Diagnóstico das águas superficiais da Microbacia do Rio Rocinha, Lauro Müller – SC.** Criciúma: UNESC – Departamento de Engenharia Ambiental, 2006. 124 p.OLIVEIRA, Débora Monteiro de *et al.* **Fitorremediação: o estado da arte.** Rio de Janeiro: CETEM / MCT, 2006. 34 p.PERIN, Guido. **Ecotoxicologia integrada quantitativa.** Joinville: UNIVILLE, 2005. 356p.**PROGETO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI****Ciclo Hidrológico**Disponível na internet, no endereço: <http://www.sg-guarani.org>

Acessado no dia 23 de Setembro de 2007.

RESENDE, Mauro; CURI, Nilton; SANTANA, Derli Prudente. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações.** Brasília: MEC, 1988. 83 p.ROCHA, Julio Cesar; ROSA, André Henrique; CARDOSO, Arnaldo Alves. **Introdução à química ambiental.** Porto Alegre: Bookman, 2004. 154 p.SAWYER, Clair N; MCCARTY, Mary. **Chemistry for environmental engineering.** Tókyo: McGraw-Hill Book Company, 1978. 532 p.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Desengenharia: O passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. 254p.

SCHNEIDER, Márcio R. **Remediação de Áreas Impactadas**. Florianópolis: UFSC, 2006. 54p.

SILVA, José Ângelo Ferreira da. **Sistematização e avaliação de técnicas de investigação aplicadas à caracterização e diagnóstico de área contaminada por hidrocarbonetos de petróleo**. Rio Claro: UNESP, 2002. 138 p.

SOUZA, Jane de. **Reaproveitamento da cinza gerada a partir da queima de carvão mineral em fornalha de leito fluidizado**. Criciúma, SC: UNESC, 1999. 39 p.

TECNOLOGIA DE FLUIDIZAÇÃO

Descrição do leito fluidizado

Disponível na internet, no endereço: <http://www.fluidizacao.com.br>

Acessado no dia 04 de Setembro de 2007.

VARGAS, Milton. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: Ed. McGraw-Hill do Brasil, 1978. 509 p.

ANEXO A – ANÁLISE: RESÍDUO DE CINZAS



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT
Laboratório de Análises de Solo e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 275/2007

**ANÁLISES DE CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS**
(SEGUNDO ABNT NBR 10004:2004)

AMOSTRA: Resíduo - Cinza da Fornoalha (S-221/20853)

CLASSIFICAÇÃO: RESÍDUO CLASSE IIA- NÃO INERTE



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT
Laboratório de Análises de Solo e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 275/2007

Página 1 de 7

ANÁLISE SOLICITADA: Caracterização de Resíduo segundo ABNT / NBR 10004/2004

Requerido: **Eduardo Westrup Ross**

Endereço:

Telefone:

Atividade da empresa:

Interessado: **Eduardo Westrup Ross**

REALIZADO POR: Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnologias – IPAT/UNESC

Endereço: Rodovia Jorge Lacerda, km 4,5 – Bairro Sangão – Criciúma – Santa Catarina.

Telefone: (48) 3443 – 0037

CEP: 88805 – 350

Caixa Postal: 3167

CRQ: 0992 - 13ª Região – SC

DADOS DA AMOSTRA

Amostra: Resíduo – Cinza da Fornalha

Origem do Resíduo: Resíduo industrial resultante de partículas finas da fornalha

Descrição da amostra: sólido cinza e inodoro composto por moinha de carvão mineral

Nº da amostra no laboratório: 221 (20853)

Ponto de coleta: Aterro

Número da ficha de coleta: 25/2007

Hora da Coleta: 10:30h

Data da coleta: 16/05/2007

Data entrada laboratório: 16/05/2007

Coletor: Válter Luis Felzman e Renan Rozeng de Souza - IPAT

Metodologia: As metodologias utilizadas pelo Laboratório de Solos são baseadas “SW 846-3050B (USEPA 1986, *Test Method for Evaluating Solid Waste Report Number SW-846*, Washington, DC” e as referências:

Norma NBR 10004 da ABNT – Classificação de Resíduos Sólidos

Norma NBR 10005 da ABNT – Ensaio de Lixiviação

Norma NBR 10006 da ABNT – Ensaio de Solubilização

Norma NBR 10007 da ABNT – Amostragem de Resíduos



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT
Laboratório de Análises de Solo e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 275/2007

Página 2 de 7

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO RESÍDUO

Aspecto: sólido (Terra)
Coloração: cinza
Odor: inodoro
Umidade a 105°C: 34,84%
Densidade: 1,21 g/cm³
Líquidos Livres: ausente



Figura 01: Pilha de cinza localizada no aterro. Fonte: ROSS, E.W.



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT
Laboratório de Análises de Solo e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 275/2007

Página 3 de 7

RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS

1. ENSAIO NA MASSA BRUTA

1.1 CORROSIVIDADE

PARÂMETRO	RESULTADO	LIMITE	L.Q.
pH em água (1:1)	8,0	>2 ou <12,5	0,1

1.2 REATIVIDADE

PARÂMETROS	RESULTADOS (mg/kg)	LIMITE LIBERAVEL POR Kg DE RESÍDUO	L.Q.
Ácido Cianídrico (HCN)	NA	250mg de HCN	0,05
Ácido Sulfídrico (H ₂ S)	24,03	500mg de H ₂ S	0,05



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT
Laboratório de Análises de Solo e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 275/2007

Página 4 de 7

2. ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO

INORGÂNICOS

Parâmetros	Resultados (mg/L)	Limite Máximo no Lixiviado (mg/L)	L.Q.
Arsênio	0,005	1,0	0,001*
Bário	0,5	70,0	0,5
Cádmio	< 0,01	0,5	0,01
Chumbo	<0,05	1,0	0,05
Cromo Total	< 0,02	5,0	0,02
Fluoreto	0,2	150,0	0,1
Mercúrio	< 0,001	0,1	0,001**
Prata	< 0,01	5,0	0,01
Selênio	< 0,001	1,0	0,001*

DADOS DO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO

Teor de sólidos secos (%)	65,16
Solução Extratora Nº	1
pH Inicial	8,1
pH Final	5,1
Tempo de Lixiviação (Hora)	18
Volume Lixiviado (mL)	500



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT
 Laboratório de Análises de Solo e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 275/2007

Página 5 de 7

3. ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO

Parâmetros	Resultados (mg/L)	Limite Máximo no Extrato (mg/L)	L.Q.
Alumínio	0,2	0,2	0,1
Arsênio	0,011	0,01	0,001*
Bário	<0,5	0,7	0,5
Cádmio	<0,0001	0,005	0,0001*
Chumbo	0,002	0,01	0,001*
Cianeto	NA	0,07	0,05
Cloreto	1,8	250,0	0,1
Cobre	<0,01	2,0	0,01
Cromo Total	< 0,02	0,05	0,02
Fenóis Totais	NA	0,01	0,005
Ferro	0,10	0,3	0,02
Fluoreto	1,6	1,5	0,1
Manganês	<0,01	0,1	0,01
Mercúrio	<0,001	0,001	0,001**
Nitrato (expresso em N)	NA	10,0	0,1
Prata	NA	0,05	0,01
Selênio	NA	0,01	0,001*
Sódio	22,86	200,0	0,01
Sulfato (expresso em SO ₄)	1462,0	250,0	2
Surfactantes	NA	0,5	0,1
Zinco	<0,01	5,0	0,01 *

DADOS DA SOLUBILIZAÇÃO

Umidade a 42°C (%)	34,26
pH inicial	8,0
pH do extrato solubilizado (final)	8,0

Observações: - NA = Não Analisado.
 - L.Q. = Limite de Quantificação.
 - Os metais foram analisados por Espectrofotometria de Absorção Atômica: Chama ou * Forno de Grafite e ***Vapor a frio para o mercúrio.
 - **A identificação dos constituintes (parâmetros) avaliados na caracterização do resíduo foi estabelecida de acordo com a origem, matérias-primas e a segregação do mesmo.**



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT
Laboratório de Análises de Solo e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 275/2007

Página 6 de 7

AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

1. **CORROSIVIDADE:** O resíduo apresentou pH = 8,0 em sua mistura com a água na proporção de 1:1 em peso, não ultrapassando o limite estabelecido pela **ABNT NBR 10004:2004**, letra a do item 4.2.1.2 **Corrosividade**.
2. **REATIVIDADE:** O resíduo apresentou o íon sulfeto abaixo do limite. **Limite segundo a ABNT NBR 10004:2004**, letra d do item 4.2.1.3 **Reatividade**.
3. **TOXICIDADE:**
 - 3.1 **ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO:** Os parâmetros analisados no extrato, obtido segundo a ABNT NBR 10005:2004, não ultrapassaram os limites máximos permitidos do item 4.2.1.4 **toxicidade**, letra a. Portanto, o resíduo é **Não Perigoso - Classe II**.
4. **ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO:** Os parâmetros analisados **arsênio, fluoreto e sulfato** ultrapassaram os limites máximos permitidos. **Limites constantes no anexo G da ABNT NBR 10004:2004**. Portanto, o resíduo é classificado como **Classe - IIA - Não Inerte**.



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT
Laboratório de Análises de Solo e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO. Nº: 275/2007

Página 7 de 7

CONCLUSÃO:

Considerando os resultados obtidos no decorrer dos ensaios da massa bruta, lixiviação e solubilização, o resíduo (**Cinza da Fornalha**) é classificado como **Classe IIA – Não Inerte**, segundo a **ABNT NBR 10004:2004**, nos parâmetros analisados.

CLASSIFICAÇÃO: RESÍDUO CLASSE IIA – NÃO INERTE.

Criciúma, 27 de junho de 2007.

 Responsável Técnico
 Química Teresinha Lúcio
 CRQ 13200109

 Executor dos Ensaios
 Tec. Quim. Aline Iara Zappellini
 CRQ 13401593

Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.

Endereço: Rod. Jorge Lacerda, km 4,5, Bairro Sangão, Criciúma, SC
 Caixa Postal 3167 - CEP 88806-000 - Fone/Fax: 048 4430106/4430037

ANEXO B - SONDAGENS

SAVI - FUNDAÇÕES E SONDAÇÕES LTDA.									
Cliente:							Ref: 0053/2007/SC		
Local: BR 101									
Escala: 1/100		Data: 28/06/2007		Desenhista:		Engº:		Des. Nº: SC202/2007	
SONDAGEM: SP 01		COTA: V L A		REVESTIMENTO (M): 00		A: 5,00			
Cota em relação ao R.N.	Amoisa	Profundidade da camada (m)	PERCUSSÃO				REVESTIMENTO		
			Penetração: (golpes/30 cm)				Revestimento	Interno	66,5 mm
			1ª e 2ª penetrações				Amostrador	Esterno	34,9 mm
			2ª e 3ª penetrações				Peso 85 kg	Altura de queda: 75 cm	50,8 mm
Nível d'água	s/c Da coroa		Nº de Golpes		Gráfico				CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
			1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40	
1	①		2	2					Cinza de carvão mineral, cor cinza escura a preta, de consistência muito mole.
2	②		2	2					Cinza de carvão mineral, cor cinza escura a preta, de consistência muito mole.
3	③		2	2					Cinza de carvão mineral, cor cinza escura a preta, de consistência muito mole.
4	④	3,10	8	27					Argila arenosa, cor cinza clara, de consistência dura.
5	⑤	4,00	24	37					Argila arenosa, cor marrom clara, de consistência dura a mole.
6	⑥	5,00	3	4					Argila siltosa, cor esverdeada, de consistência mole.
7	⑦	7,20	3	3					Argila siltosa, cor amarelada, de consistência mole a dura.
8	⑧	7,70	5	7					Impenetrável à percussão.
9		7,90	30/03						
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
Profundidade do nível d'água			80	60	40	20	TEMPO MINUTO	AVANÇO CM	TRABO
MEDIDO EM DIA CHUVOSO			Recuperação (%)	Fragmentos/m(N)	Recup. m/m	ROTATIVA	10		0,45 A 1,00
	() SIM	(X) NÃO							CIRCULAÇÃO DE ÁGUA
Inicial:	4,80	m	21 / 06 / 2007				10		1,45 A 7,90
Final:	4,00	m	22 / 06 / 2007				10		

SAVI - FUNDAÇÕES E SONDAGENS LTDA.										
Cliente:								Ref: 0053/2007/SC		
Local: BR 101										
Escala: 1/100		Data: 28/06/2007		Desenhista:		Engº:		Des. Nº: SC203/2007		
SONDAGEM SP 02		COTA V L A		REVESTIMENTO (M): 00		A 5,00				
Cota em relação ao R.N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	PERCUSSÃO				Revestimento		66,5 mm	
			Penetração (golpes/30 cm): 1ª e 2ª penetrações 2ª e 3ª penetrações				Amostrador		34,9 mm	
Nível d'água	Da coroa		Nº de Golpes		Gráfico		Peso: 05 kg		Altura de queda: 75 cm	
			1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL	
			3	4					Cinza de carvão mineral, cor cinza escura a preta, de consistência mole a média a mole.	
			10	6					Cinza de carvão mineral, cor cinza escura a preta, de consistência mole a média a mole.	
		3,10	3	4					Cinza de carvão mineral, cor cinza escura a preta, de consistência mole a média a mole.	
			6	9					Argila arenosa, cor marrom, de consistência média a mole.	
			26	32					Argila siltosa, cor esverdeada, de consistência mole a média a rija.	
			22	26					Argila siltosa, cor amarelada, de consistência rija a dura.	
		7,80	15	17					Impenetrável à percussão.	
			5	6						
		8,80	3	3						
			9	14						
		9,50								
		9,80	30/05							
Profundidade do nível d'água			80	60	40	20		TEMPO MINUTO	AVANÇO CM	FRADO
MEDIDO EM DIA CHUVOSO			Recuperação (%)		Fragmentos m/Nº		ENSAIO DE L.T.	10		0,45 A 1,00
Iniciad. 5,80 m 22 06 2007			Recup. total		ROLATIVA			10		CIRCULAÇÃO DE ÁGUA
Final. 5,50 m 25 06 2007								10		1,45 A 9,80

ANEXO C – ANÁLISES DE ÁGUA SUBTERRÂNEA



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT
 Laboratório de Análises Físico - Químicas

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 1545/2007		
Dados do Cliente		
Endereço:		Fone: (48) 3439 – 8328
Interessado: Eduardo Westrup Ross		
Atividade:		
Dados da Amostra		
Data da Coleta: 12/09/07	Data de Entrada: 12/09/07	Período de Execução dos Ensaios: 12/09 a 26/09/2007
Descrição da amostra: Poço Piezométrico		
Ponto de Coleta: Rod. BR 101 – Pz 01		
Coletor: Renan Rozeng de Souza (IPAT/UNESC)		Hora da Coleta: 11:20
Condições Climáticas: Tempo Bom	Temperatura do Ar (°C): 28,0	Temperatura da Amostra (°C): 21,0
Nível Estático: 0 m (Transbordando)		
Código da amostra IPAT/UNESC: Nº 23213		



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT
 Laboratório de Análises Físico - Químicas

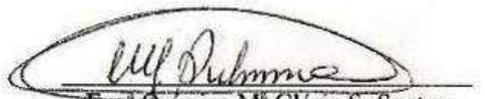
RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 1545/2007

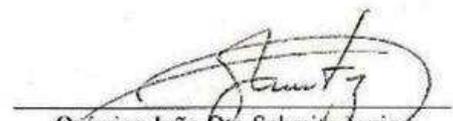
RESULTADOS

Parâmetro	Resultado	Mínimo Detectável	Método de Análise
pH (21,0°C) realizado em campo	7,2	0,1	Potenciométrico
Dureza Total (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	158	1	Titulométrico
Fluoretos (mg.L ⁻¹)	0,1	0,1	Colorimétrico
Alumínio (mg.L ⁻¹)	< 0,1	0,1	Espec. Absorção Atômica / Chama
Arsênio (mg.L ⁻¹)	0,001	0,001	Espec. Abs. Atômica / Forno de Grafite
Cádmio (mg.L ⁻¹)	< 0,01	0,01	Espec. Absorção Atômica / Chama
Cálcio (mg.L ⁻¹)	31,56	0,01	Espec. Absorção Atômica / Chama
Chumbo (mg.L ⁻¹)	< 0,05	0,05	Espec. Absorção Atômica / Chama
Cobre (mg.L ⁻¹)	< 0,01	0,01	Espec. Absorção Atômica / Chama
Ferro Total (mg.L ⁻¹)	1,05	0,02	Espec. Absorção Atômica / Chama
Manganês Total (mg.L ⁻¹)	0,43	0,01	Espec. Absorção Atômica / Chama
Sódio (mg.L ⁻¹)	29,75	0,01	Espec. Absorção Atômica / Chama
Zinco (mg.L ⁻¹)	0,02	0,01	Espec. Absorção Atômica / Chama
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	309	1	Gravimétrico
Sólidos Dissolvidos (mg.L ⁻¹)	260	1	Gravimétrico
Sulfatos (mg.L ⁻¹)	52	5	Turbidimétrico

Obs: Para realizar a análise de sulfatos a amostra foi filtrada em membrana com porosidade de 0,45µm.
 Para a realização das análises a amostra foi filtrada em papel filtro com porosidade de 28µm.
 Foi feita limpeza do poço no dia anterior à coleta.

Criciúma, 26 de setembro de 2007.


 Eng. Química M. Glória S. Santos
 Responsável Técnico - CRQ nº 13300056


 Químico João Oto Schmitz Junior
 Executor dos Ensaios - CRQ nº 13100288

Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT
 Laboratório de Análises Físico - Químicas

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 1546/2007		
Dados do Cliente		
Endereço:		Fone: (48) 3439 – 8328
Interessado: Eduardo Westrup Ross		
Atividade:		
Dados da Amostra		
Data da Coleta: 12/09/2007	Data de Entrada: 12/09/2007	Período de Execução dos Ensaios: 12/09 a 26/09/2007
Descrição da amostra: Poço Piezométrico		
Ponto de Coleta: Pz 02 – Centro do aterro		
Coletor: Renan Rozeng de Souza (IPAT/UNESC)		Hora da Coleta: 09:45
Condições Climáticas: Tempo Bom	Temperatura do Ar (°C): 26,0	Temperatura da Amostra (°C): 18,5
Nível Estático: 2,3 m		
Código da amostra IPAT/UNESC: Nº 23218		
		
Foto: Ponto de Coleta		



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT
 Laboratório de Análises Físico-Químicas

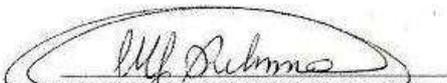
RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 1546/2007

RESULTADOS

Parâmetro	Resultado	Mínimo Detectável	Método de Análise
pH (18,5°C) realizado em campo	5,2	0,1	Potenciométrico
Dureza Total (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	44	1	Titulométrico
Fluoretos (mg.L ⁻¹)	< 0,1	0,1	Colorimétrico
Alumínio (mg.L ⁻¹)	0,6	0,1	Espec. Absorção Atômica/ Chama
Arsênio (mg.L ⁻¹)	< 0,001	0,001	Espec. Abs. Atômica / Forno de Grafite
Cádmio (mg.L ⁻¹)	< 0,01	0,01	Espec. Absorção Atômica/ Chama
Cálcio (mg.L ⁻¹)	4,41	0,01	Espec. Absorção Atômica/ Chama
Chumbo (mg.L ⁻¹)	< 0,05	0,05	Espec. Absorção Atômica/ Chama
Cobre Total (mg.L ⁻¹)	< 0,01	0,01	Espec. Absorção Atômica / Chama
Ferro Total (mg.L ⁻¹)	0,22	0,02	Espec. Absorção Atômica/ Chama
Manganês Total (mg.L ⁻¹)	0,11	0,01	Espec. Absorção Atômica / Chama
Sódio (mg.L ⁻¹)	22,64	0,01	Espec. Absorção Atômica/ Chama
Zinco (mg.L ⁻¹)	0,05	0,01	Espec. Absorção Atômica / Chama
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	170	1	Gravimétrico
Sólidos Dissolvidos (mg.L ⁻¹)	150	1	Gravimétrico
Sulfatos (mg.L ⁻¹)	66	5	Turbidimétrico

Obs: Para a realização das análises a amostra foi filtrada em papel filtro com porosidade de 28µm.
 Para realizar a análise de sulfatos a amostra foi filtrada em membrana com porosidade de 0,45µm.
 Foi feita limpeza do poço no dia anterior à coleta.

Criciúma, 26 de setembro de 2007.

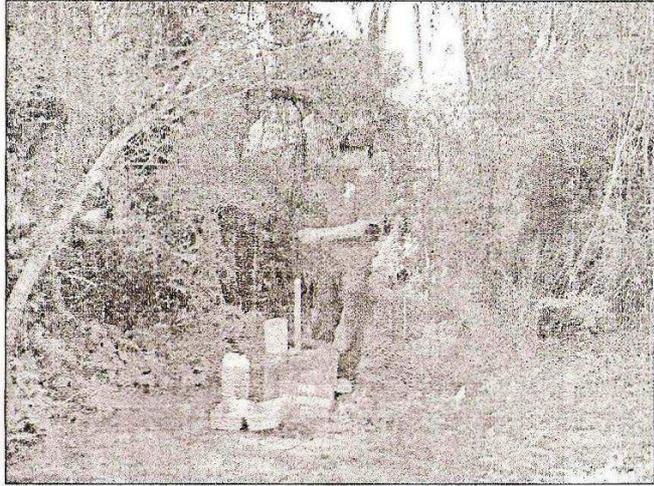

 Eng. Química M. Glória S. Santos
 Responsável Técnico - CRQ n° 13300056


 Químico João Oto Schmitz Junior
 Executor dos Ensaios - CRQ n° 13100288

Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT
 Laboratório de Análises Físico - Químicas

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 1547/2007		
Dados do Cliente		
Endereço:		Fone: (48) 3439 – 8328
Interessado: Eduardo Westrup Ross		
Atividade:		
Dados da Amostra		
Data da Coleta: 12/09/2007	Data de Entrada: 12/09/2007	Período de Execução dos Ensaio: 12/09 a 26/09/2007
Descrição da amostra: Poço Piezométrico		
Ponto de Coleta: Pz 03 – aterro controlado		
Coletor: Renan Rozeng de Souza (IPAT/UNESC)		Hora da Coleta: 09:30
Condições Climáticas: Tempo Bom	Temperatura do Ar (°C): 25,0	Temperatura da Amostra (°C): 18,5
Nível Estático: 2,0 m		
Código da amostra IPAT/UNESC: Nº 23219		
		
Foto: Ponto de Coleta		



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT
 Laboratório de Análises Físico - Químicas

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 1547/2007

RESULTADOS

Parâmetro	Resultado	Mínimo Detectável	Método de Análise
pH (18,5°C) realizado em campo	7,1	0,1	Potenciométrico
Dureza Total (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	33	1	Titulométrico
Fluoretos (mg.L ⁻¹)	0,2	0,1	Colorimétrico
Alumínio (mg.L ⁻¹)	< 0,1	0,1	Espec. Absorção Atômica/ Chama
Arsênio (mg.L ⁻¹)	< 0,001	0,001	Espec. Abs. Atômica / Forno de Grafite
Cádmio (mg.L ⁻¹)	< 0,01	0,01	Espec. Absorção Atômica/ Chama
Cálcio (mg.L ⁻¹)	7,15	0,01	Espec. Absorção Atômica/ Chama
Chumbo (mg.L ⁻¹)	< 0,05	0,05	Espec. Absorção Atômica / Chama
Cobre Total (mg.L ⁻¹)	< 0,01	0,01	Espec. Absorção Atômica / Chama
Ferro Total (mg.L ⁻¹)	0,08	0,02	Espec. Absorção Atômica/ Chama
Manganês Total (mg.L ⁻¹)	0,05	0,01	Espec. Absorção Atômica / Chama
Sódio (mg.L ⁻¹)	97,14	0,01	Espec. Absorção Atômica/ Chama
Zinco (mg.L ⁻¹)	0,04	0,01	Espec. Absorção Atômica / Chama
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	338	1	Gravimétrico
Sólidos Dissolvidos (mg.L ⁻¹)	295	1	Gravimétrico
Sulfatos (mg.L ⁻¹)	32	5	Turbidimétrico

Obs: Para a realização das análises a amostra foi filtrada em papel filtro com porosidade de 28µm.
 Para realizar a análise de sulfatos a amostra foi filtrada em membrana com porosidade de 0,45µm.
 Foi feita limpeza do poço no dia anterior à coleta.

Criciúma, 26 de setembro de 2007.

Eng. Química M. Glória S. Santos
 Responsável Técnico - CRQ nº 13300056

Químico João Oto Schmitz Júnior
 Executor dos Ensaios - CRQ nº 13100288

Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.