

**AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA
DO PERCOLADO GERADO NO ATERRO
CONTROLADO DE SANTA MARIA - RS**

Tiago Luis Gomes

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DO
PERCOLADO GERADO NO ATERRO CONTROLADO
DE SANTA MARIA - RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Tiago Luis Gomes

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DO
PERCOLADO GERADO NO ATERRO CONTROLADO DE
SANTA MARIA - RS**

por

Tiago Luis Gomes

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

Orientador: Prof. Dr. Carlos Ernando da Silva

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DO PERCOLADO GERADO NO
ATERRO CONTROLADO DE SANTA MARIA - RS**

elaborada por
Tiago Luis Gomes

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

Carlos Ernando da Silva, Dr.
(Presidente/Orientador)

Marcelo Borges Mansur, Dr. (UFMG)

Maria do Carmo Cauduro Gastaldini, Dra. (UFSM)

Santa Maria, 30 de Maio de 2005.

Dedico este trabalho aos

meus pais, Luiz e Carmen,

a minha avó Nilza

e a minha querida Ivana.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Luiz Carlos Gomes e Carmen Maria Hollweg Gomes, que sempre estiveram tão presentes na minha formação pessoal e profissional, apoiando-me incondicionalmente em todas as situações;

À minha avó Nilza Guastavino Hollweg, que me cedeu espaço, atenção, carinho e compreensão durante todos estes anos.

À minha querida Ivana Klafke Sperb, paciente nos momentos mais difíceis e para mim um exemplo de capacidade e determinação.

Ao meu Orientador Carlos Ernando da Silva por ter acreditado e depositado certeza no desenvolvimento de um trabalho sério desta magnitude.

Aos bolsistas de iniciação científica Teobaldo Frederico Gräbin e Diego Elias Ritter e mais recentemente o laboratorista Thiago Augusto Formentini pelo apoio técnico na realização das análises químicas das amostras de percolado.

Ao meu amigo e colega de Mestrado, professor Denecir Almeida Dutra por contribuir e lutar para um mesmo ideal de Meio Ambiente ecologicamente equilibrado.

Ao colega de Mestrado Gilson Piovezzam, pelo auxílio durante algumas coletas mesmo sob fortes intempéries.

A professora Maria do Carmo Cauduro Gastaldini, orientadora na iniciação científica, sempre atenciosa e competente, com esclarecimentos pontuais, entretanto precisos.

Ao encarregado do aterro, Miguel Roque Cavalheiro, por contribuir na preservação da calha Parshall e na formação do banco de dados de vazão.

Ao professor Arno Heldwein da Engenharia Agrícola, que contribuiu com dicas pontuais, porém importantes a respeito de evapotranspiração.

Ao setor de transportes da Universidade Federal de Santa Maria que cedeu veículo e motorista para serem realizadas as coletas.

Ao CNPq por conceder recursos financeiros para investimentos em infra-estrutura para que a pesquisa alcançasse êxito.

À Secretaria de Gestão Ambiental de Santa Maria mais precisamente ao ex-secretário Raul Vilaverde e o assessor técnico Geraldo Cervi, por fornecerem dados e fotos importantes para a dissertação.

Ao Departamento de Hidráulica e Saneamento e as pessoas que o compõem, os professores João Batista, Eloiza, Geraldo, Jussara, Irion, os funcionários Alcides e Astério.

À América Latina Logística do Brasil S/A por estimular a minha formação, disponibilizando horários para a conclusão da pesquisa.

E finalmente, a Universidade Federal de Santa Maria que concedeu a mim ensinos de Graduação e Pós-Graduação gratuitos e de qualidade.

“Todos tem direito ao meio ambiente, ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e a coletividade o dever de defendê-lo e a preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

(artigo 225, capítulo VI, Constituição da República Federativa do Brasil, 1988).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1. Objetivos	19
1.1.1. Objetivos Gerais	19
1.1.2. Objetivos Específicos	19
1.2. Estrutura da Dissertação	20
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	21
2.1. Resíduos Sólidos no Brasil	21
2.2. Líquidos Percolados, Lixiviados ou Chorume.....	25
2.3. O Volume de Percolado Gerado.....	31
2.3.1. Método do Balanço Hídrico	35
2.3.2. O Método Racional.....	39
2.3.3. O Método Suíço	40
3. ÁREA EM ESTUDO: ATERRO CONTROLADO DA CATURRITA..	42
4. MATERIAIS E MÉTODOS	48
4.1. Avaliação Quantitativa do Percolado Gerado.....	48
4.2. Avaliação Qualitativa do Percolado Gerado	50
4.2.1. Eficiência do Sistema de Tratamento do Percolado	53
4.2.2. Impacto do Lançamento de Efluentes	54
4.2.3. O Estado de Degradação Atual do Aterro	54
5. RESULTADOS.....	55
5.1. Resultados Quantitativos do Percolado Gerado	55
5.1.1. Estimativa da Vazão de Percolado Gerado utilizando-se o Método do Balanço Hídrico	59
5.1.2. Estimativa da Vazão de Percolado Gerado utilizando-se o Método Racional	63
5.1.3. Estimativa da Vazão de Percolado Gerado utilizando-se o Método Suíço.....	67
5.1.4. Comparações dos Resultados entre os Métodos do Balanço Hídrico, Racional e Suíço	70
5.2. Resultados Qualitativos do Percolado Gerado	75
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	80

6.1. Conclusões	80
6.2. Recomendações	83
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXOS	89
ANEXO A	90
ANEXO B	92

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos.....	21
TABELA 2 - Quantidade diária de lixo coletado, por unidade de destino final.	23
TABELA 3 - Variação dos parâmetros monitorados nos lixiviados gerados em célula com revestimento de argila.	27
TABELA 4 - Variação dos parâmetros monitorados nos lixiviados gerados em célula com revestimento de PEAD.	27
TABELA 5 - Valores observados de DBO, DQO e relação DBO/DQO em amostras de percolado de aterros sanitários na fase metanogênica.	30
TABELA 6 - Características dos lixiviados em alguns municípios brasileiros.	31
TABELA 7 – Valores do coeficiente de escoamento superficial (C').	37
TABELA 8 – Umidade do solo (mm de água/m de profundidade de solo).	37
TABELA 9 - Valores de K para aplicação no Método Suíço.....	41
TABELA 10 – Balanço Hídrico para o Município de Santa Maria.....	50
TABELA 11 – Vazão medida na calha Parshall, quantidade de amostragens e percolação.....	55
TABELA 12 – Estimativa da vazão de percolado através do Método do Balanço Hídrico utilizando séries históricas longas.....	60
TABELA 13 – Percentual de erro para o Método do Balanço Hídrico utilizando séries longas.....	61
TABELA 14 – Estimativa da vazão de percolado através do Método do Balanço Hídrico utilizando séries históricas curtas.	62
TABELA 15 – Percentual de erro para o Método do Balanço Hídrico utilizando séries curtas.	63
TABELA 16 – Estimativa da vazão de percolado através do Método Racional utilizando séries históricas longas.	64
TABELA 17 – Percentual de erro para o Método Racional utilizando séries históricas longas.....	65
TABELA 18 – Estimativa da vazão de percolado através do Método Racional utilizando séries históricas curtas.....	66

TABELA 19 – Percentual de erro para o Método Racional utilizando séries históricas curtas.	66
TABELA 20 – Estimativa da vazão de percolado através do Método Suíço utilizando séries históricas longas.	68
TABELA 21 – Percentual de erro para o Método Suíço para séries históricas longas.	68
TABELA 22 – Estimativa da vazão de percolado através do Método Suíço utilizando séries Curtas.	69
TABELA 23 – Percentual de erro para o Método Suíço utilizando séries históricas curtas.	70
TABELA 24 – Resultado da avaliação quantitativa através dos Métodos empíricos para séries longas e curtas e a vazão real medida na calha.	72
TABELA 25 – Síntese dos resultados do monitoramento qualitativo para a média de concentrações, desvio padrão, máximos e mínimos.	77

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Erros encontrados em Métodos empíricos de estimativa de vazões para diversos autores.....	34
QUADRO 2 - Condições básicas para a utilização do Método do Balanço Hídrico. .	35
QUADRO 3 - Parâmetros e o respectivo modo de obtenção para o Método do balanço hídrico.....	36
QUADRO 4 – Características das Lagoas de Estabilização.	43
QUADRO 5 – Síntese de algumas características da Sub-bacia e do Aterro.	47
QUADRO 6 - Parâmetros e o respectivo modo de obtenção para o Método do Balanço Hídrico.....	59
QUADRO 7 - Parâmetros e o respectivo modo de obtenção para o Método Racional.	63
QUADRO 8 - Parâmetros e o respectivo modo de obtenção para o Método Suiço. .	67
QUADRO 9 – Armazenamento de água no solo (AS) em função da evapotranspiração potencial acumulada [$\Sigma_{neg} (I-EP)$]. Solo Siltoso (Asc = 120 mm)	90
QUADRO 10 – Resultados dos parâmetros de qualidade da água analisados na pesquisa.....	92

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Tempo de vida útil de um aterro sanitário mostrando as tendências gerais do desenvolvimento da qualidade do gás e do percolado.	29
FIGURA 2 – Principais fatores que influenciam no balanço hídrico de um aterro sanitário.	32
FIGURA 3 - Esquema generalizado da formação do líquido percolado.	32
FIGURA 4 – Avaliação de erros de vazão para o aterro da Muribeca - PE.	34
FIGURA 5 – Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Ferreira, Santa Maria e o Rio Grande do Sul.	44
FIGURA 6 – Carta Hipsométrica da Sub-Bacia do Arroio Ferreira e o Aterro ao centro.	45
FIGURA 7 – Aterro da Caturrita com sua área total e sua área de contribuição para o balanço hídrico.	46
FIGURA 8 – Calha Parshall instalada na saída do sistema de tratamento de percolado.	49
FIGURA 9 – Curva de calibração de Calha Parshall e a respectiva equação da curva, relacionando lâmina de água e vazão.	49
FIGURA 10 – Pontos de monitoramento no sistema de tratamento e no corpo receptor adotados no presente trabalho.	51
FIGURA 11 – Bancada principal do Laboratório de Hidráulica e Saneamento – LABHIDRO – Setor de Apoio ao Saneamento.	52
FIGURA 12 – Coleta no ponto de monitoramento afluyente ao sistema de tratamento de percolado.	53
FIGURA 13 – Vazão medida e o número de observações de vazões para cada mês.	56
FIGURA 14 – Percolação medida, série histórica de precipitação e diferença entre precipitação e evapotranspiração para o período da pesquisa.	57
FIGURA 15 – Relação entre a percolação medida e a série histórica de precipitação no período da pesquisa.	57
FIGURA 16 – Comportamento hídrico utilizando séries longas de precipitação e evapotranspiração.	58

FIGURA 17 – Avaliação de erros dos Métodos do Balanço Hídrico, Racional e Suíço para séries históricas longas.	71
FIGURA 18 – Avaliação de erros dos Métodos do Balanço Hídrico, Racional e Suíço para séries históricas curtas.	71
FIGURA 19 – Resultados dos Métodos empíricos e a Vazão Real para séries longas.	73
FIGURA 20 – Resultados dos Métodos empíricos e a Vazão Real para séries curtas.	73
FIGURA 21 – Eficiência de remoção de DBO e DQO pelo sistema de lagoas de estabilização para o histórico de dados de coleta.	75
FIGURA 22 – Eficiência de remoção de DBO e DQO pelo sistema de lagoas de estabilização excluindo o período atípico para o histórico de dados de coleta.	76
FIGURA 23 – DBO do ponto Efluente e o padrão de lançamento SSMA 05/89.	78
FIGURA 24 – DQO do ponto Efluente e o padrão de lançamento SSMA 05/89.	78

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A	Area da Bacia Receptora da Chuva
AS	Armazenamento de Água no Solo de Cobertura
ΔAS	Varição do Armazenamento de Água no Solo de Cobertura
C	Coefficiente de Escoamento ou "Runoff" para o Método Racional
C'	Coefficiente de Escoamento Superficial
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio em 5 dias à temperatura de 20 °C
DQO	Demanda Química de Oxigênio
E	Evaporação
EP	Evaporação Potencial
ER	Evaporação Real
ES	Escoamento Superficial
FEPAGRO	Fundação Estadual de Pesquisas Agropecuárias
G	Vapor de Água que Sai com os Gases
i	Intensidade Média da Chuva
I	Infiltração
K	Coefficiente Dependente do Grau de Compactação dos Resíduos
L	Água que Sai como Percolado
OD	Oxigênio Dissolvido
P	Precipitação
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PER	Percolação
Q	Vazão Superficial
QM	Vazão Mensal
R	Escoamento Superficial (Runoff)
R ²	Coefficiente de ajuste
SSMA	Secretária de Saúde e Meio Ambiente
T	Tempo
U _w	Água Vinda com o Lixo
ΔU_w	Água Absorvida ou Retida pelo Lixo
ΔU_s	Água Absorvida ou Retida pela Camada de Cobertura
w _m	Umidade dos Resíduos a serem Aterrados
ΔS	Capacidade de Campo Final do Aterro

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DO PERCOLADO GERADO NO ATERRO CONTROLADO DE SANTA MARIA – RS

Autor: Tiago Luis Gomes

Orientador: Carlos Ernando da Silva

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 30 de Maio de 2005

A questão de maior preocupação quanto à degradação ambiental em um sistema de disposição de resíduos sólidos urbanos é a geração de percolado (lixiviado ou chorume). A elevada carga poluidora presente no percolado é devido à presença de compostos de origem orgânica e inorgânica formados durante a decomposição dos resíduos. O gerenciamento inadequado deste percolado pode levar à poluição dos compartimentos ambientais, em particular, o solo, águas superficiais e águas subterrâneas. Através do monitoramento do sistema de tratamento por lagoas de estabilização é possível avaliar a eficiência do processo de remoção de poluentes e estimar o impacto gerado no lançamento dos efluentes em um corpo receptor. Neste trabalho, estudou-se o impacto ambiental gerado no Aterro Controlado da Caturrita, localizado no município de Santa Maria – RS, inserido na Sub-Bacia hidrográfica do Arroio Ferreira, com área total de 374.435,72 m², recebendo aproximadamente 150 ton/dia de resíduos sólidos urbanos. Pelos Métodos Suíço, Racional e Balanço Hídrico, fez-se estimativas de vazões de percolado aferidas por medições reais no local, determinando a metodologia empregada na avaliação quantitativa do percolado gerado. Quanto à avaliação qualitativa, a mesma consistiu no monitoramento compreendido entre Agosto de 2003 e Março de 2005, apresentado características do percolado gerado durante a disposição dos resíduos sólidos e na qualidade da água no corpo receptor do efluente do sistema de tratamento de percolado, possibilitando determinar a eficiência do sistema das lagoas de estabilização, o impacto do lançamento de efluentes e o estado de degradação atual do aterro. Nos resultados quantitativos, utilizando gráficos de avaliação de erros para séries longas (dados de 34 anos para precipitação e 29 para evapotranspiração) e curtas (entre Maio de 2004 e Abril de 2005 para a precipitação e evapotranspiração), obteve-se para os Métodos do Balanço Hídrico, Racional e Suíço, respectivamente, 31%, 13% e 34% de erros, considerando séries históricas longas de dados, e 48%, 21% e 76%, considerando séries históricas curtas de dados. Para os aspectos qualitativos do percolado, quanto ao estado de degradação dos resíduos, com nível de confiança de 95% a razão média encontrada entre DBO/DQO foi de 0,46±0,08 e para o pH igual a 7,9±0,14. A eficiência média do sistema de tratamento foi de 69±11% na remoção da DBO e 58±10% para a DQO. Em 92% das ocorrências o efluente apresentou valores de DBO acima do limite máximo de 200 mg/L. Situação semelhante é observada para o parâmetro DQO, que apresenta um limite máximo de 450 mg/L. O Método do Balanço Hídrico mostrou-se apto para utilização em dimensionamentos de sistemas de tratamento de efluentes com erro médio calculado de 34% acima da vazão real e se mostrando suscetível às tendências mensais reais. Os processos de degradação do percolado no aterro da Caturrita encontram-se no fim da fase acidogênica final, em virtude dos valores encontrados para razão DBO/DQO e pH, evidenciando o quanto ainda é possível degradar de matéria orgânica. A eficiência média do sistema de lagoas de tratamento, apresentou-se insuficiente, uma vez que a média de concentração do local é de 390±91 mg/L (ponto efluente) para a primeira e 1403±209 mg/L (ponto efluente) para a segunda, sendo que para atender a Portaria 05/89 SSMA-RS seria necessário uma concentração inferior a 200 mg/L para DBO e 450 mg/L para a DQO.

Palavras-chaves: Resíduos Urbanos, Aterro Controlado, Percolado, Balanço Hídrico, DBO e DQO

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

QUALI-QUANTITATIVE EVALUATION OF LEACHATE GENERATED IN A LANDFILL IN SANTA MARIA - RS

Author: Tiago Luis Gomes

Advisor: Carlos Ernando da Silva

Date and Place: Santa Maria, May 30, 2005

The subject of greater concern related to environmental degradation in a disposal system of urban solid wastes is the leachate generation. The high pollutant power of leachate is due to the presence of organic and inorganic composts formed during the decomposition of wastes. The inadequate leachate management can pollute environmental sites, particularly the soil, surface waters and groundwater basin. Through the verification of a system of treatment conducted by stabilization ponds it is possible to evaluate the efficiency of the process responsible for the removal of pollutants and to esteem the impact generated by the outflow in a receptor. This evaluation aimed to study the environmental impact generated in Caturrita's Landfill, located in Santa Maria – RS, which has a total area of 374435.72 m² and is part of the hidrographic Sub – basin of Arroio Ferreira, receiving approximately 150 ton/day of urban solid wastes. Through Swiss, Rational and Balance Water Methods, leachate flows were estimated and checked by real measurements which took place on the site, thus determining the methodology employed in the quantitative evaluation of the leachate which was generated. The qualitative evaluation consisted of a monitoring system that was conducted from August 2003 to March 2005. It presented characteristics of the leachate generated during the disposal of solid wastes, as well as characteristics of the quality of water in the outflow receptor of the system of treatment of leachate. This evaluation enabled the determination of the effectiveness concerning the system of ponds used for stabilization, together with the determination of the outflow impact and the present degradation status of the landfill. The quantitative results were obtained through the use of error graphs evaluation for long series (data gathered from 34 years of precipitation and 29 years of evapotranspiration) and short series (between May 2004 and April 2005 for precipitation and evapotranspiration) and presented for the Balance Water, Rational and Swiss Methods, 31%, 13% and 34% of error rate, considering long historic series of data; and 48%, 21% and 76%, considering short historic series of data. Regarding the qualitative aspects of leachate, more precisely its degradation status (solid waste degradation), showing a confidence level of 95%, the mean ratio found between BOD/COD was 0.46 ± 0.08 and concerning the PH it was 7.9 ± 0.14 . The mean effectiveness of the system of treatment was $69 \pm 11\%$ when BOD was removed and $58 \pm 10\%$ when COD was removed. In 92 % of the cases, the outflow presented BOD values above the maximum limit of 200 mg/L. A similar situation is observed regarding the COD parameter, presenting a maximum limit of 450 mg/L. The Balance Water Method proved to be apt to be used in dimensioning processes of systems of treatment of outflows, showing a mean error of 34% above the real flow and was susceptible to the real montly tendencies. The degradation processes of leachate in Caturrita's Landfill were found in the end of the final acidogenic phase, due to the values found for the ratio BOD/COD and the PH, emphasizing how much organic matter is still possible to be degraded. The mean effectiveness of the system of ponds of treatment was showed to be insufficient, considering that the mean concentration on the site is 390 ± 91 mg/L (outflow site) for the first and 1403 ± 209 mg/L (outflow site) for the second. In order to meet the values indicated by law (Portaria 05/89 SSMA–RS), it would be necessary a concentration inferior to 200 mg/L for BOD and 450 mg/L for COD.

Key-words: Urban Wastes, Landfill, Leachate, Balance Water, BOD and COD.

1. INTRODUÇÃO

As características de consumo da sociedade moderna instituíram problemas de degradação ambiental por lançamentos cada vez maiores e indiscriminados de dejetos líquidos, sólidos e gasosos, de origens comerciais, industriais ou residenciais ao meio ambiente. A geração crescente de resíduos sólidos urbanos, associada a uma falta de investimentos no setor de saneamento, leva à propagação da disposição dos resíduos em locais como córregos, rios ou, ainda, terrenos distantes. Em grande parte, estas disposições finais são desprovidas de técnicas adequadas de tratamento, instituindo agravantes ambientais como a contaminação de mananciais de águas superficiais e/ou subterrâneas.

O Brasil apresenta um quadro agravante no que tange à infra-estrutura de serviços de saneamento, sendo o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, ainda incipiente na realidade nacional, especialmente no tocante à utilização de sistemas adequados para a disposição final dos resíduos.

A questão de maior preocupação quanto à degradação ambiental em um sistema de disposição de resíduos sólidos urbanos é a geração de percolato (também denominado de lixiviado ou chorume). A elevada carga poluidora presente no percolato é devida à presença de compostos de origem orgânica e inorgânica formados durante a decomposição dos resíduos. O gerenciamento inadequado deste percolato pode levar à poluição dos compartimentos ambientais, em particular, o solo, águas superficiais e águas subterrâneas. Por este motivo, a concepção e o controle de um sistema de disposição final de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários devem contemplar, além dos aspectos operacionais nos processos de aterramento, o conhecimento das características do percolato gerado para o dimensionamento adequado do sistema de tratamento do mesmo.

Neste contexto, a avaliação da quantidade e das características químicas de percolados gerados na disposição dos resíduos é uma etapa fundamental na busca de conhecimento que permitam a redução do impacto ambiental gerado por esta atividade. A literatura apresenta métodos empíricos para a determinação do balanço hídrico em aterros sanitários, possibilitando, assim, a estimativa do volume de percolato gerado e fornecendo informações necessárias para o projeto de sistemas de tratamento do mesmo. Através do monitoramento do sistema de tratamento, é possível avaliar a eficiência de remoção de DBO e DQO pelas lagoas de

estabilização e estimar o impacto gerado no lançamento dos efluentes em um corpo receptor.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivos Gerais

Avaliar a quantidade e a qualidade do percolado gerado no aterro controlado da Caturrita em Santa Maria – RS.

1.1.2. Objetivos Específicos

- i. Avaliar, entre os métodos empíricos do Balanço Hídrico, Racional e Suíço, o mais adequado para estimar vazões de efluentes líquidos ao meio ambiente no Aterro Controlado de Santa Maria - RS;
- ii. Avaliar o grau de degradação dos resíduos e os padrões de lançamento de efluentes, conforme as concentrações de DBO e a DQO;
- iii. Analisar a eficiência de remoção dos poluentes do sistema de tratamento de percolado.

Estes meios de estudo deverão contribuir para a melhoria dos sistemas de gerenciamento e tratamento de resíduos sólidos urbanos para aterros sanitários, controlados ou lixões, visto que investigações de balanço hídrico e de concentrações de poluentes são raras no país.

1.2. Estrutura da Dissertação

O presente trabalho consiste de 6 capítulos, apresentados sucintamente a seguir:

No capítulo 1, são apresentados os aspectos gerais da importância do tratamento dos resíduos, definindo-se os objetivos a serem alcançados.

O capítulo 2 apresenta uma rápida discussão sobre a evolução das questões de resíduos sólidos no Brasil, com base na literatura revisada, focando-se nos processos de formação, composição, estabilização e volume de geração dos líquidos.

No capítulo 3, apresenta-se a área onde foram realizados os estudos, com suas respectivas caracterizações geográficas, geológicas e topográficas.

No capítulo 4 são descritos os materiais e métodos adotados na avaliação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos locais, juntamente com o impacto devido ao lançamento de efluentes, a eficiência do tratamento do percolado pelas lagoas e o estado atual de degradação do aterro.

No capítulo 5, os resultados quantitativos e qualitativos, referentes ao volume gerado percolado com o emprego dos Métodos simplificados juntamente com a qualidade da água para os parâmetros afins da pesquisa, discutidos e analisados.

No capítulo 6, apresentam-se as conclusões desta pesquisa e recomendações para trabalhos posteriores.

Os autores e instituições consultados para proporcionar suporte a pesquisa são citados no capítulo 7 das referências bibliográficas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Resíduos Sólidos no Brasil

A geração dos resíduos sólidos cresce proporcionalmente com o aumento da população e com o consumo de produtos que geram variedades cada vez maiores de elementos descartáveis como plásticos, metais, papelões. A industrialização moderna tornou as embalagens, em geral, como parte anexa do produto de consumo, contribuindo para a maior geração de inertes nos depósitos de resíduos. A composição dos resíduos sólidos urbanos é uma característica que está diretamente relacionada aos aspectos quantitativos e qualitativos dos líquidos percolados gerados durante a decomposição destes resíduos. A Tabela 1 apresenta a composição gravimétrica média dos resíduos sólidos urbanos em algumas cidades do Brasil e do mundo.

TABELA 1 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos.

Resíduos (%)	Brasil (1999)	Santa Maria, RS (1999)	Porto Alegre, RS (1994)	São Carlos, SP (1989)	Caxias do Sul, RS (1991)	Davis, EUA (1990)	Osaka, Japão (1989)
Matéria Orgânica	67,0	57,0	58,6	56,7	53,4	6,4	11,7
Papéis	19,8	20,0	21,3	21,3	21,0	41,0	35,7
Plásticos	6,5	8,0	8,4	8,5	8,9	10,7	20,3
Vidros	3,0	2,0	1,3	1,4	2,6	5,8	7,1
Metais	3,7	5,0	4,4	5,4	5,4	7,9	5,3
Outros	-	8,0	6,0	6,7	8,7	28,2	19,9

Fonte: Ciência & Meio Ambiente (1999)

É possível verificar que, para o Brasil e em alguns de seus municípios, a composição dos resíduos sólidos urbanos gerados é semelhante, devido presença elevada de matéria orgânica, enquanto em cidades como Davis (EUA) e Osaka (Japão) ocorrem baixos percentuais de matéria orgânica e elevadas gerações de descartáveis. Desta maneira, pode-se refletir, a diferenciação entre países desenvolvidos e em desenvolvimento quanto à composição gravimétrica dos resíduos.

A geração de resíduos sólidos e conseqüentemente disposição final constituem-se em preocupações ambientais pelo seu potencial poluidor. O aumento da população urbana brasileira, associado à carência de programas de

gerenciamento e investimentos públicos na área de saneamento, resulta em um quadro merecedor de atenção em relação à destinação final dos resíduos sólidos no Brasil.

Segundo pesquisas realizadas no início dos anos 90 (IBGE, 1991), a disposição final dos resíduos sólidos urbanos a céu aberto (lixões ou vazadouros) era praticada em 76% dos municípios brasileiros. A disposição em aterros controlados era adotada em 13%, em aterros sanitários em 10% e outras formas (compostagem, reciclagem e incineração) em 1% dos municípios. Esta situação demonstra, de forma clara, o descaso do fluxo final dos resíduos.

Os resultados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000 (IBGE, 2000) demonstraram que o quantitativo dos resíduos coletados no Brasil apresenta um valor de 228.413 ton/dia. Deste montante, 21% são dispostos em lixões, 37% em aterros controlados, 36% em aterros sanitários e 6% em outros sistemas de disposição final.

A Tabela 2 apresenta, de forma regionalizada, a situação da disposição final dos resíduos sólidos em 2000.

Analisando a situação por regiões brasileiras, percebe-se que a Região Norte apresenta a situação menos favorável. Se excluirmos o Estado do Amazonas que apresenta maior preocupação com o destino de seus resíduos, de um total de 8.203 ton/dia coletadas, 5.951 ton/dia possuem destino impróprio, perfazendo aproximadamente 73%. Por outro lado, a Região Sudeste possui a situação mais favorável com aproximadamente 9,7% com destino inadequado.

Segundo Jucá (2003), a forma de apresentação dos dados do IBGE (2000) sugeriu indícios favoráveis no que se refere à quantidade de resíduos vazados nas unidades de destinação final. Os resultados apontam que aproximadamente 73% de todo o resíduo coletado no Brasil estaria tendo um destino final adequado, em aterros sanitários ou controlados, devido principalmente a contribuição da região sudeste em 65% do total.

Porém quando se analisam as informações tomando-se por base o número de municípios, o efeito já não é tão favorável. Os resultados apontam que 63,1% dos municípios depositam seus resíduos em lixões, ainda sim, houve uma melhoria em relação a 1991, quando este percentual era de 76%. A forma de disposição final em aterros sanitários aumentou de 10 % para 13,7 %.

TABELA 2 - Quantidade diária de lixo coletado, por unidade de destino final.

Brasil e Unidades da Federação	Quantidade diária de lixo coletado (t/dia)					
	Total	Unidade de destino final do lixo coletado				
		Vazadouro a céu aberto (lixão)	Vazadouro em áreas alagadas	Aterro controlado	Aterro sanitário	Outros
Brasil	228.413	48.322	233	84.576	82.640	12642,9
REGIÃO NORTE						
Amazonas	2.864	328	12	2.425	28	72
Rondônia	692	538	-	122	32	-
Acre	539	269	-	27	243	-
Roraima	133	133	-	-	-	-
Pará	5.182	3.725	43	372	1.008	35,1
Amapá	456	454	2	-	-	0,4
Tocantins	1.202	833	-	189	159	21,6
TOTAL NORTE	11.067	6.279	56	3.134	1.469	129,1
REGIÃO SUDESTE						
Minas Gerais	15.664	4.779	20	4.182	5.297	1387,4
Rio de Janeiro	17.447	4.825	20	4.578	7.328	695,8
São Paulo	105.582	3.238	47	56.565	38.587	7144,9
Espírito Santo	2.924	914	-	526	1.331	152,5
TOTAL DO SUDESTE	141.617	13.756	87	65.851	52.542	9380,6
REGIÃO NORDESTE						
Piauí	2.431	1.244	40	1.057	91	-
Ceará	10.151	2.752	-	78	7.307	14,8
Rio Grande do Norte	2.374	715	5	1.426	220	7,5
Paraíba	2.894	2.691	-	94	67	41,6
Pernambuco	6.281	3.022	-	812	2.301	145,8
Alagoas	2.999	1.698	-	1.096	185	20
Sergipe	1.377	768	-	579	30	-
Bahia	10.398	5.314	-	871	4.090	123,4
Maranhão	2.653	1.839	-	59	740	14,2
TOTAL NORDESTE	41.558	20.044	45	6.072	15.030	367,3
REG. CENTRO-OESTE						
Distrito Federal	2.567	-	-	2.022	-	545,3
Mato Grosso do Sul	1.757	728	8	786	194	41
Mato Grosso	2.164	877	-	492	599	195,4
Goiás	7.809	1.526	-	1.385	4.760	138,3
TOTAL CENTRO-OESTE	14.297	3.131	8	4.684	5.553	920
REGIÃO SUL						
Paraná	7.543	2.902	9	1.658	2.727	247,5
Santa Catarina	4.864	1.064	8	1.127	2.455	209,8
Rio Grande do Sul	7.468	1.147	20	2.049	2.864	1388,6
TOTAL SUL	19.875	5.112	37	4.834	8.046	1845,9

Fonte: IBGE (2000).

A situação é mais grave nos municípios com população inferior a 20.000 habitantes. Nestes, que representam 73,1% dos municípios brasileiros, 68,5% dos resíduos gerados, são vazados em locais inadequados (Jucá, 2003).

O problema gerado pelos resíduos sólidos urbanos apresenta impactos de ordem ambiental, econômico e social.

Em termos ambientais, a disposição inadequada dos resíduos sólidos pode contribuir para a poluição do ar, das águas, do solo, estética, bem como promover impactos negativos sobre a fauna e flora dos ecossistemas locais. Em relação aos aspectos sanitários, o principal problema está na proliferação de vetores capazes de transmitir diversas enfermidades ao homem, por diferentes vias de transmissão (FNS, 1999).

Do lado econômico, a produção exagerada de resíduos e a disposição sem critérios representam um desperdício de materiais e energia. Em condições adequadas, estes materiais poderiam ser reutilizados, possibilitando o uso racional dos recursos naturais, redução dos custos de tratamento, armazenamento e disposição, bem como a redução dos riscos para a saúde e o meio ambiente.

Em termos sociais, a disposição descontrolada de resíduos sólidos traz como consequência, o aparecimento de catadores, pessoas que em busca do valor econômico, catam certos resíduos, efetuando a reciclagem informal do lixo, expondo-se aos riscos de acidentes com materiais perfuro-cortantes e ao contato direto com resíduos infectantes e/ou perigosos. Estes catadores encontram-se em condições indesejáveis de trabalho, expostos a ambiente insalubre, e muitas vezes passam a residir dentro ou próximos aos lixões, buscando também parte de sua alimentação nos rejeitos orgânicos dispostos, acarretando, geralmente inúmeras infecções diarréicas. Estes problemas de saúde pública tendem a se agravar à medida que a urbanização e o desenvolvimento tecnológico produzam volumes crescentes de resíduos sólidos, cada vez mais complexos e tóxicos. Todos estes aspectos apresentados podem ser multiplicados, se os resíduos domiciliares forem dispostos juntamente com os resíduos de serviços de saúde. Neste caso, as possibilidades de contaminações ambientais podem ser aumentadas, pelo risco de transmissão de enfermidades ampliadas com contato dos catadores com estes materiais, tornando os mesmos, suscetíveis a doenças e contaminações, o mesmo acontecendo em seu entorno, pela exposição da população a seus efeitos.

Na maioria dos municípios brasileiros, os serviços de coleta de resíduos urbanos não atende minimamente às necessidades da população em termos de área de cobertura, freqüência ou aos aspectos técnico-operacional e segurança do trabalho.

Segundo Bernardes Junior *et alii.* (s.d.), *apud* Sisino & Oliveira (2000, p. 72), o índice de potencialidade de impacto ambiental de um depósito de resíduos está relacionado com cinco objetivos:

- O depósito não deve causar problemas à saúde pública;
- O depósito não deve causar incômodo a população;
- O depósito deve ser bem operado;
- A instalação deve ser compatível com o uso do solo na região;
- O depósito não deve causar danos à ecologia.

Frente à realidade apresentada o depósito que atender aos aspectos positivos dos 05 itens anteriores pode ser qualificado como aterro sanitário, contudo, não ocorrendo os mesmos, os depósitos de resíduos brasileiros, principalmente nos pequenos municípios, poderão apresentar degradação ambiental por emissão de efluentes líquidos, estes denominados percolados, lixiviados ou chorume.

2.2. Líquidos Percolados, Lixiviados ou Chorume

Os resíduos sólidos se decompõem dando origem aos líquidos percolados, que constituem um problema sério relativo à degradação ambiental.

Segundo Ehrig (1992), o lixiviado, percolado ou chorume pode ser caracterizado como a parte líquida da massa de resíduos, que percola através desta, carreando materiais dissolvidos ou suspensos, que constituirão cargas poluidoras ao meio ambiente. Na maioria dos aterros sanitários, o chorume é composto pelo líquido que entra na massa de resíduos, proveniente de fontes externas, tais como: sistema de drenagem superficial, chuvas, lençóis freáticos, nascentes e além daqueles resultantes da decomposição dos resíduos sólidos. A sua formação se dá pela digestão da matéria orgânica, por ação de enzimas produzidas por bactérias. A função dessas enzimas é solubilizar a matéria orgânica para que a mesma possa ser assimilada pelas células bacterianas.

Segundo Oliveira & Pasqual (2000), os resíduos sólidos inicialmente agem como uma esponja, absorvendo água até que o material atinja um teor de umidade conhecido como capacidade de retenção. Qualquer acréscimo de água resulta na percolação de igual quantidade da massa, carreando substâncias solúveis e nocivas presentes na massa de resíduos.

Entretanto, Schalch (1984) *apud* Oliveira & Pasqual (2000), comenta que, devido à heterogeneidade da massa de resíduos, poderá ocorrer percolação de chorume antes que a capacidade de retenção seja atingida, pois alguns dos canais da massa de resíduos podem não absorver no instante a água. Segundo o autor a absorção do lixiviado é variável e depende das características do subsolo.

Oliveira & Pasqual (2000) ressaltam que o acréscimo do nível de água no local do aterro gera dois efeitos indesejáveis: primeiro, considerando a Lei de Darcy, o aumento da pressão do percolado irá aumentar a taxa de vazamento do líquido percolado no local, agravando o risco de possível contaminação da água subterrânea; segundo, em tais circunstâncias, o nível de água contaminada pode alcançar o topo da escavação, com a conseqüente dispersão lateral e possível ameaça às fontes da superfície.

Torres *et alii* (1997) *apud* Schneider *et alii* (2000), advertem que os mananciais de água, passíveis de recebimento do chorume apresentam modificação de coloração, depreciação de oxigênio dissolvido e contagem de patogênicos, levando a impactos no meio aquático com quebra do ciclo vital das espécies.

Conforme Pessin *et alii* (2003), os lixiviados podem conter substâncias extraídas dos resíduos, assim como substâncias produzidas por reações químicas e pela ação biológica no interior do aterro. A composição dos lixiviados de aterros de resíduos urbanos varia amplamente à medida que o processo de degradação biológica evolui. A variabilidade na composição dos lixiviados pode ser observada nos resultados do estudo desenvolvido por Pessin *et alii* (2003), onde são apresentados diversos parâmetros de monitoramento para dois tipos de células-piloto. Uma das células apresentando impermeabilizações de fundo, laterais e topo com geomembrana PEAD e outra com argila, durante um período aproximado de 720 dias no município de Caxias do Sul - RS. Os resultados obtidos são mostrados nas Tabelas 3 e 4.

TABELA 3 - Variação dos parâmetros monitorados nos lixiviados gerados em célula com revestimento de argila.

Parâmetros monitorados nos lixiviados da Célula em argila	Intervalos Observados		Padrões de Lançamento – Portaria 05/89 SSMA/RS
	Mínimo	Máximo	
pH	5,3	8	entre 6,0 e 8,5
D.Q.O (mgO ₂ /L)	110	31.510	450
D.B.O (mgO ₂ /L)	52	19.170	200
Nitrogênio Total (mg/L)	135	474	10
Cádmio (mg/L)	<0,01	<0,01	0,1
Cromo (mg/L)	0,01	0,19	0,5
Chumbo (mg/L)	0,01	0,07	0,5
Ferro (mg/L)	5,12	632,5	10
Zinco (mg/L)	0,17	0,84	1

Fonte: Pessin *et alii* (2003).

TABELA 4 - Variação dos parâmetros monitorados nos lixiviados gerados em célula com revestimento de PEAD.

Parâmetros monitorados nos lixiviados da Célula em PEAD	Intervalos Observados		Padrões de Lançamento – Portaria 05/89 SSMA/RS
	Mínimo	Máximo	
pH	4,5	7,1	entre 6,0 e 8,5
D.Q.O (mgO ₂ /L)	500	23.900	450
D.B.O (mgO ₂ /L)	262	11.100	200
Nitrogênio Total (mg/L)	99	351	10
Cádmio (mg/L)	<0,01	0,004	0,1
Cromo (mg/L)	0,01	1,22	0,5
Chumbo (mg/L)	0,04	29	0,5
Ferro (mg/L)	41,7	267	10
Zinco (mg/L)	0,09	6,3	1

Fonte: Pessin *et alii* (2003).

De acordo com o trabalho desenvolvido por Pessin *et alii* (2003), verificou-se que a diferenciação do processo de digestão anaeróbia nas células se deve à influência do tipo de cobertura final, fato que implica no contingente de águas a infiltrar, e conseqüentemente na solubilização dos materiais, em virtude da diferenciação entre os materiais empregados. Dentre os materiais estudados por Pessin *et alii* (2003), a célula com argila como material de vedação do aterro, apresentou concentração de poluentes, ligeiramente maior que a célula com vedação de geomembrana de PEAD. Contudo, em ambos os materiais de cobertura, a carga poluidora remanescente mostrou-se semelhante.

Segundo Christensen & Kjeldsen (1995), *apud* Kjeldsen (2002), o comportamento dos processos de estabilização dos lixiviados pode se apresentar como mostrado na Figura 1. As principais fases foram identificadas através de observações de sistemas existentes. As fases subseqüentes de decomposição, em que os resíduos tornam-se aeróbios está baseada em teorias especulativas, porque nenhum dado de campo está disponível para documentar o começo de condições aeróbias. Isto se deve ao fato que a maioria dos aterros sanitários monitorados possuem menos de 30 anos, estando os mesmos na fase de metanogênese estável.

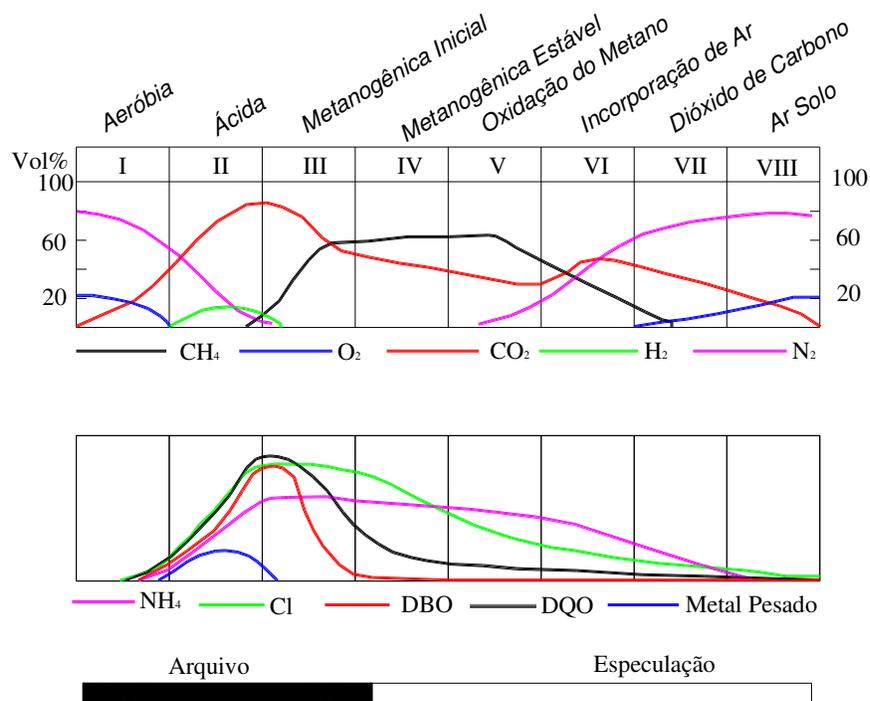
Os lixiviados de aterros jovens, nos quais predominam a fase ácida do processo de estabilização dos resíduos, apresentam elevadas concentrações de sólidos dissolvidos e matéria orgânica, além de traços de substâncias perigosas provenientes de alguns componentes dos resíduos urbanos (Fuller *et alii*, 1979; Augenstein & Pacey, 1991; Lema *et alii*, 1995; Pessin *et alii*, 1997; Pessin *et alii*, 2000; Kromann & Christensen, 1998 *apud* Pessin *et alii*, 2003).

É no contexto da fase inicial da operação de aterros o período crítico quanto a emissões de poluentes, caso os sistemas de drenagem de águas pluviais e de contenção de lixiviados não estejam concluídos ou sejam ineficientes. À medida que o processo de degradação biológica evolui, as concentrações de matéria orgânica, sólidos dissolvidos e outros componentes diminuem significativamente.

A Figura 1 também apresenta as tendências gerais do desenvolvimento da qualidade do gás e do percolado.

De acordo com Ehrig (1992), nos processos bioquímicos de digestão da matéria orgânica que esta presente nos resíduos, é o grau de concentração de poluentes que possui maior importância para os volumes de percolado produzidos, conseqüentemente apresentando-se como a principal carga poluidora.

Adicionalmente, a razão DBO/DQO reflete o grau de degradação dos lixiviados no aterro sanitário, aterro ou aterro controlado. Os processos de reações bioquímicas da fermentação ácida (fase aeróbia) são caracterizados por valores superiores a 0,4 da razão entre DBO e DQO, indicando que uma grande parte da carga orgânica pode decompor-se bioquimicamente de forma facilitada.



Fonte: Farquhar & Rovers (1973) *apud* Kjeldsen *et alii* (2002).

FIGURA 1 - Tempo de vida útil de um aterro sanitário mostrando as tendências gerais do desenvolvimento da qualidade do gás e do percolado.

Na fase da fermentação metanogênica (fase anaeróbia), ao contrário, se alcançam valores inferiores a 0,1 para a razão entre DBO e DQO, que indica que as substâncias orgânicas possuem dificuldades para continuar sua degradação.

Estudos de Arruda (1995) *apud* Fleck *et alii* (2000), demonstraram que uma relação $DBO/DQO > 0,4$ para os líquidos percolados é indicativa de predominância da fase ácida, enquanto que a mesma relação assumindo valor igual ou inferior a 0,4 indica predominância da fase metanogênica. Com isso, uma baixa relação DBO/DQO indica que o tratamento biológico será ineficiente para remoções adicionais de matéria orgânica, devendo ser adotado tratamento aeróbio ou físico-químico.

Kjeldsen *et alii* (2002) verificaram que a composição do percolado é dependente do estágio de degradação dos resíduos. Na fase ácida, a concentração é alta devido ao aumento da matéria orgânica e ocorre formação da amônia. Na fase metanogênica, o conteúdo significativo dissolvido da matéria orgânica decresce e a composição da matéria orgânica modifica-se, indicado por baixas relações DBO/DQO próximas de 0,1.

A Tabela 5 mostra a DBO e DQO observadas e avalia a relação DBO/DQO em percolado de aterros sanitários que estão na fase de metanogênica.

TABELA 5 - Valores observados de DBO, DQO e relação DBO/DQO em amostras de percolado de aterros sanitários na fase metanogênica.

DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO/DQO	Referência
5,7 - 1100	76 - 6997	-	Varição da concentração em aterros sanitários na Alemanha entre 21 e 30 anos de idade, (Krumpelbeck and Ehrig, 1999)
290	1225	0,24	Concentração média em aterros sanitários na Alemanha entre 21 e 30 anos de idade, (Krumpelbeck and Ehrig, 1999)
44	320	0,11	Concentração média no aterro sanitário velho de Dunish, (Kjeldsen e Christophersem, 2001)
39	398	0,10	Resultados obtidos do aterro sanitário Sandsfarm, (Robinson, 1995)
11	190	0,06	Resultados obtidos do aterro sanitário Bishop Middleham, (Robinson, 1995)
38	517	0,07	Resultados obtidos do aterro sanitário Odsal Wood, (Robinson, 1995)
1,0	53	0,02	Resultados obtidos do aterro sanitário East Park Drive, (Robinson, 1995)
2,5	64	0,04	Resultados obtidos do aterro sanitário Marton Mere, (Robinson, 1995)
180	3000	0,06	Concentração média do percolado na fase metanogênica, (Ehrig, 1988)

Fonte: Kjeldsen (2002).

Contudo, algumas observações são importantes, como a influência climática, onde em países de clima temperado a velocidade de reação para a degradação e remoção da matéria orgânica e inorgânica do percolado é menor.

Para a realidade brasileira, onde o clima é tropical, esta mesma velocidade de reação é maior, possuindo o país um sistema natural de tratamento de lixiviados quando submetidos à irradiação solar em lagoas de estabilização, como acontece em muitos casos.

Na Tabela 6 são apresentados características dos lixiviados de aterros sanitários e lixões, por avaliação de DBO e DQO em alguns municípios brasileiros.

TABELA 6 - Características dos lixiviados em alguns municípios brasileiros.

Local	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Observação
Capão da Canoa - RS	259,1	1432,1	ponto de pior situação
Aguazinha - PE	1039	14286	lixão abandonado
Muribeca - PE	235	1250	lixão abandonado
Metropolitano Recife - PE	34200	65600	no aterro sanitário
Bibliografia Clareto (1997) e Held (1996)	15000 - 50000	21000 - 78000	no aterro sanitário
Extrema Porto Alegre - RS	100 - 8000	300 - 16500	saída filtro anaeróbio
Bauru - SP	-	78250	no aterro sanitário

Fonte: Germano *et alii* (2002).

2.3. O Volume de Percolado Gerado

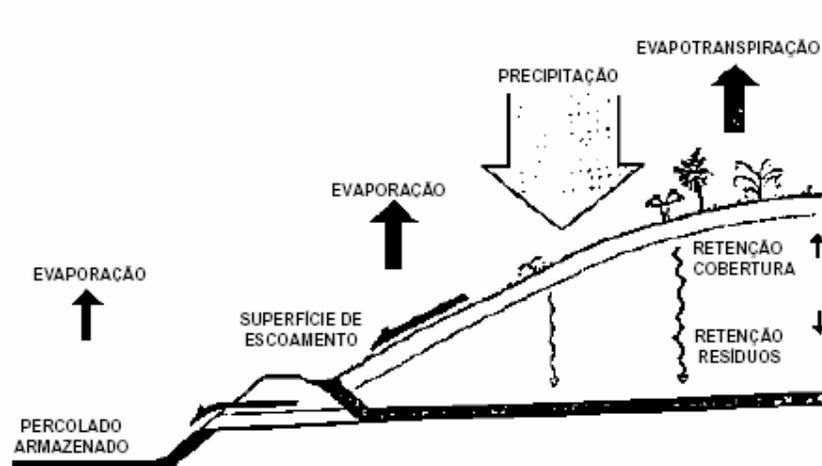
Conforme Ehrig (1992) e Lechner (1994), o volume de lixiviados produzido em aterros sanitários, controlados ou lixões depende dos seguintes fatores:

- Precipitação na área do aterro: será a lâmina de água, precipitada nesta área, que determinará os volumes de lixiviados potenciais de contaminação;
- Escoamento superficial: a operação ideal consistiria na condução através de drenagens para pontos mais baixos e para fora da área de resíduos;
- Infiltração subterrânea: no caso de aterros sanitários tecnicamente bem concebidos, não deverá existir infiltração subterrânea;
- Umidade natural da massa de resíduos: quanto maior a umidade, maior será o grau de geração de lixiviados;
- Grau de compactação dos resíduos: resíduos que sofrem compactação periódica por trator de esteira em um aterro controlado por exemplo, liberam maior quantidade de percolado do que aqueles dispostos soltos nos aterros ou lixões;
- Capacidade de retenção de umidade no solo: o solo que apresenta grande capacidade de reter umidade propicia a saturação da zona permeável com maior rapidez, por conseqüência, o escoamento na superfície do mesmo será em maior intensidade e infiltração nula, já que foi atingida a capacidade de campo.

Segundo Fiúza (2000), a qualidade da operação de um aterro interfere na quantidade de chorume produzido. O cuidado operacional com o recobrimento

adequado pode, decididamente, diminuir a quantidade de chorume a ser gerado, mesmo nas condições de chuvas intensas.

A Figura 2 aborda alguns dos principais fatores que influenciam no balanço hídrico de um aterro sanitário.

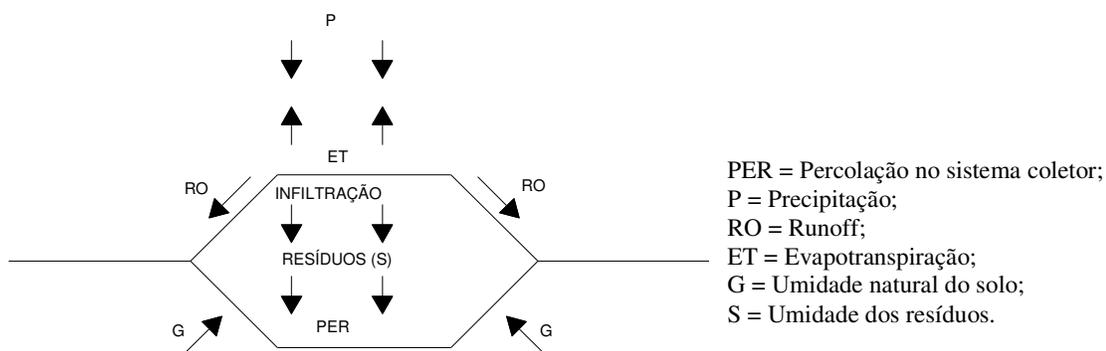


Fonte: Lechner (1994).

FIGURA 2 – Principais fatores que influenciam no balanço hídrico de um aterro sanitário.

Para Lins & Jucá (2003), o fluxo de percolato é importante para a avaliação do sistema de coleta e tratamento de efluentes nos aterros.

A Figura 3 apresenta um esquema generalizado da formação do líquido percolato e a Equação 1 mostra a fórmula algébrica geral de como seria o balanço hidrológico em uma célula de aterro (Farquhar, 1981).



Fonte: adaptado de Farquhar (1988).

FIGURA 3 - Esquema generalizado da formação do líquido percolato.

$$PER = P - RO - ET - S + G \quad (1)$$

De forma semelhante Yuen *et alii* (1997), propõe a formulação para o balanço hídrico, onde a umidade natural do solo e a umidade dos resíduos é agregada no termo ΔS da Equação 2.

$$PER = P - RO - ET + \Delta S \quad (2)$$

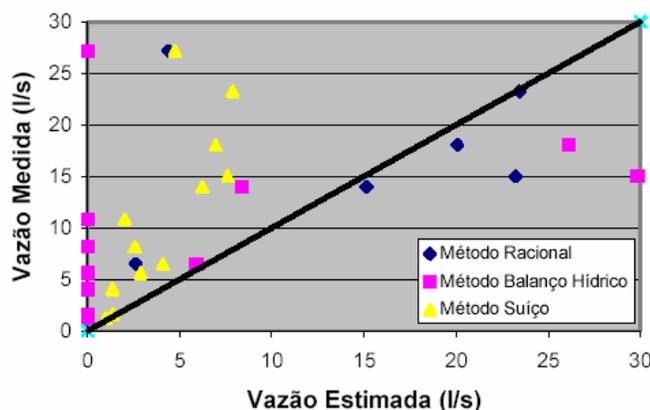
Alguns modelos matemáticos tais como o “Hydrologic Evaluation Landfill Performance” - HELP, o FULLFILL, o SOILINER (todos estes baseados no Método do Balanço Hídrico – WBM - da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), foram desenvolvidos para a estimativa da geração de percolado, além de outros que proporcionam soluções numéricas unidimensionais, utilizando como ferramenta o método de diferenças finitas (Ledesma *et alii*, 2000).

Yuen (1999) evidencia os vários modelos de balanço hídrico que estão registrados na literatura. Alguns exemplos são o WBM (Fenn *et alii*, 1975), HSSWDS (Perrier and Gibson, 1981), LSM (Meeks *et alii*, 1989), e o modelo mais utilizado o “HELP” (Schroeder *et alii*, 1994; Peyton and Schroeder, 1988).

Jang *et alii* (2001), utilizaram o HELP para simular o fluxo de lixiviados no aterro sanitário de Kimpo, na Coreia do Sul. Os autores verificaram que, para séries históricas mensais e anuais longas, e com os aterros não mais em operação, o modelo matemático possui boa precisão, apresentando um erro de 0,4%. O resultado mostrou que os esforços se fazem válidos quando há disponibilidade de dados e condições favoráveis para o emprego do modelo como um aterro tecnicamente bem concebido.

Em trabalhos de diversos autores como Correia Sobrinho & Azevedo (1999), Capelo Neto (1999), Castro (2001), Medeiros *et alii* (2002) *apud* Jucá (2003), vários estudos procuram fazer uma estimativa da geração do percolado. Métodos empíricos foram utilizados para estimar o volume de percolado em aterros sanitários. Os Métodos Suíço, Racional e do Balanço Hídrico destacaram-se em trabalhos de Lins e Jucá em (2003) no aterro da Muribeca - PE. Para avaliação dos erros de cada método empírico utilizado, os autores adotaram uma relação entre a vazão medida

no local (Aterro da Muribeca) e a vazão estimada pelos métodos, como ilustrado na Figura 4.



Fonte: Lins (2003).

FIGURA 4 – Avaliação de erros de vazão para o aterro da Muribeca - PE.

No Quadro 1 são apresentados os diferentes erros obtidos por diversos autores em pesquisas de vazão estimada por emprego de Métodos empíricos:

QUADRO 1 – Erros encontrados em Métodos empíricos de estimativa de vazões para diversos autores.

Autor / Método	Balanço Hídrico	Racional	Suíço
Capelo Neto <i>et alii</i> (1999)	80 vezes superior à vazão real	-	84 vezes superior à vazão real
Castro (2001)	44% abaixo da vazão real	40% acima da vazão real	58% acima da vazão real
Jucá (2003)	57,8%	46,5%	39%
Lins (2003)	25,91% abaixo da vazão real	34,42% abaixo da vazão real	64,14% abaixo da vazão real

Hamada (1997); Leite *et alii* (1982) e Bengtsson *et alii* (1993), estudaram a produção de percolado e propuseram modelos para prevê-lo, ainda assim, tal previsão continua uma tarefa difícil e imprecisa devido ao grande número de variáveis envolvidas e a diferença entre os locais de elaboração dos modelos e os de aplicação (Capelo Neto *et alii*, 1999).

A seguir, apresentam-se as formulações dos principais métodos empíricos utilizados na estimativa da geração de percolados em aterros sanitários, anteriormente referenciados.

2.3.1. Método do Balanço Hídrico

É um método, segundo Capelo Neto *et alii* (1999), baseado no balanço hídrico de aterros sanitários, desenvolvido por Fenn *et alii* (1975), podendo ser empregado quando se dispõe de dados necessários e quando o tamanho do aterro justificar o esforço de cálculo. O Quadro 2 apresenta as condições básicas para a utilização do Método do balanço hídrico.

QUADRO 2 - Condições básicas para a utilização do Método do Balanço Hídrico.

1	Cobertura com solo de 60 cm de espessura e inclinação entre 2 a 4%.
2	Área de cobertura reservada para recobrimento com vegetação.
3	Infiltração no aterro proveniente somente de precipitação incidente.
4	Características hidráulicas do lixo e do material de cobertura uniformes.
5	Adição de umidade se dá somente após o fechamento de trincheira.
6	Área da trincheira bem maior que sua profundidade, ou seja, movimento de água somente no sentido vertical.

Fonte: Adaptado de Fenn *et alii* (1975) *apud* Neto *et alii* (1999).

Conforme Lins & Jucá (2003), este é um Método que permite estimar o percolado baseado em um fluxo unidimensional, na conservação de massa, e nas características de transmissão e retenção da cobertura do solo. A precipitação e a evaporação podem ser obtidas a partir de boletins meteorológicos. Enquanto que o escoamento superficial, a infiltração e o armazenamento são obtidos empiricamente, com o auxílio de tabelas.

De acordo com os autores acima, a obtenção da estimativa de vazão de percolado e os parâmetros meteorológicos e outros dados utilizados neste Método podem ser verificados no Quadro 3, Tabela 7 e Tabela 8:

QUADRO 3 - Parâmetros e o respectivo modo de obtenção para o Método do balanço hídrico.

PARÂMETROS	MODO DE OBTENÇÃO
Precipitação (P)	Boletins Pluviométricos.
Evaporação Potencial (EP)	Boletins Hidrometeorológicos.
Escoamento Superficial (ES)	Valores empíricos tabelados que dependem do tipo de solo e sua declividade ($ES = C' \times P$).
Infiltração (I)	Obtido através da subtração da Precipitação pelo Escoamento Superficial.
$I - EP$ (1)	Diferença entre a água que infiltra e a que evapora.
S (NEG ($I - EP$)) (2)	Calculado somando os valores negativos de ($I - EP$).
Armazenamento de Água no Solo de cobertura (AS) (3)	Multiplicando-se o valor disponível da água p/ cada solo pela espessura deste, quando ($I - EP$) > 0. Quando o solo estiver abaixo da capacidade de campo, ($I - EP$) < 0, obtém-se AS empiricamente.
Varição no armazenamento de água no solo (ΔAS)	Diferença entre a água armazenada no solo, de um mês para o outro ($\Delta AS = AS_n - AS_{n-1}$).
Evaporação real (ER)	Quando ($I - EP$) > 0, então $ER = EP$ e quando ($I - EP$) < 0, então $ER = [EP + (I - EP) - \Delta AS]$.
Percolação em mm (PER)	$PER = P - ES - AS - ER$.
Vazão mensal em L/s (QM)	$QM = (PER \times \text{ÁREA DO ATERRO})/2592000$

Fonte: Adaptado de Fenn *et alii* (1975) *apud* Capelo Neto *et alii* (1999).

Observações:

- (1) Um valor negativo deste item indica perda potencial de água no solo e um valor positivo indica uma recarga de água no solo de cobertura. Quando a capacidade de campo do solo é atingida, esta água passará a percolar através da massa de lixo.
- (2) São adicionados os valores negativos de ($I - EP$) a partir do ultimo mês que apresente valor positivo deste parâmetro.
- (3) Quantidade de água que pode ser retida no solo e que influencia no fluxo de percolado. Depende basicamente do tipo, estrutura, capacidade de campo e profundidade do solo.

TABELA 7 – Valores do coeficiente de escoamento superficial (C').

Tipo de Solo	Declividade	Coeficiente C'	
		Estação Seca	Estação Úmida
Arenoso	0 a 2%	0,05	0,10
	2 a 7%	0,10	0,15
Argiloso	0 a 2%	0,18	0,17
	2 a 7%	0,18	0,22

Fonte: Fenn *et alii* (1975) *apud* Capelo Neto *et alii* (1999).

TABELA 8 – Umidade do solo (mm de água/m de profundidade de solo).

Tipo de Solo	Capacidade de Campo (mm/m)	Ponto de Murchamento (mm/m)	Água Disponível (mm/m)
Arenoso	200	50	150
Siltoso	300	100	200
Argiloso	375	125	250

Fonte: Fenn *et alii* (1975) *apud* Capelo Neto *et alii* (1999).

Quando há ocorrência de meses com déficit hídrico, no Quadro 9 do Anexo - A é fornecido a quantidade da perda de água armazenada em função da perda potencial de água acumulada para uma camada, considerando solo siltoso.

Supondo que não haja infiltração representativa de percolado pelas paredes laterais nem pelo fundo das trincheiras, pode-se expressar a relação do balanço hídrico (água que entra é igual à água que sai, adicionada a água retida), matematicamente desta forma, conforme a Equação 3 de Blight *et alii* (1997) *apud* Capelo Neto *et alii* (1999):

$$P + U_w = E + G + L + R + \Delta U_w + \Delta U_s \quad (3)$$

em que:

P = Precipitação;

U_w = Água vinda com o lixo (contribui apenas uma vez no balanço hídrico);

E = Evaporação;

G = Vapor de água que sai com os gases;

L = Água que sai como percolado;

R = escoamento superficial (runoff);

ΔU_w = Água absorvida ou retida pelo lixo;

ΔU_s = Água absorvida ou retida pela camada de cobertura.

Conforme Capelo Neto *et alii* (1999), em um balanço hídrico anual, o termo ΔU_w continuará a ser positivo e L será zero até que a capacidade de campo seja atingida. Neste momento, o resíduo não absorverá mais água e o termo ΔU_w desaparecerá, aparecendo L em seu lugar.

Com o mesmo intuito, cita-se o trabalho realizado por Parsons (1995), *apud* Gariglio (2003) que propõe uma equação para o balanço hídrico assumindo desprezíveis a quantidade de água gerada nos processos de digestão da matéria orgânica e a quantidade perdida na forma de vapor juntamente com os gases. As premissas deste modelo são referenciadas a seguir.

O balanço hídrico pode ser positivo ou negativo, ou seja, pode gerar ou não efluentes líquidos em quantidade significativa, em um dado tempo. Assim, os aterros podem ser subdivididos em: Aterros com balanço hídrico positivo (Aterros Saturados) e Aterros com balanço hídrico negativo (Aterros Não Saturados). Pode-se fazer uma aproximação em relação a algumas características que deverá possuir um aterro e sua área de implantação:

- Precipitação x Evapotranspiração: Se a precipitação for maior que o grau de evaporação na região do aterro, pode-se considerar que o mesmo será saturado. Caso contrário, com a evaporação superando os índices de precipitação na região do aterro, este não produzirá líquidos lixiviados em quantidades preocupantes, sendo classificado como não saturado.
- Escoamento superficial: Caso o aterro analisado possua um bom sistema de drenagem superficial e uma boa compactação do solo de cobertura das camadas intermediárias, pode-se considerar que até 12% do volume precipitado sobre o aterro será escoado superficialmente e não contribuirá para a formação de líquidos lixiviados.
- Capacidade de Campo: Considerando um bom grau de compactação dos resíduos e das camadas intermediárias, a capacidade de campo pode ser maior e conseqüentemente, o aterro irá reter mais água, produzindo menos líquido lixiviado.

Adotando a equação proposta por Parsons (1995), *apud* Gariglio (2003), considera-se para avaliar as condições climáticas em que ocorrerá pouca ou nenhuma geração de líquido lixiviado, a seguinte equação:

$$P = R + E + \Delta S - w_m \quad (4)$$

em que:

P = Média de precipitação anual em milímetros de chuva;

R = Quantidade de água de chuva que esco superficialmente;

E = Grau de evaporação em relação ao total precipitado;

ΔS = Capacidade de campo final do aterro.

w_m = Umidade dos resíduos a serem aterrados;

2.3.2. O Método Racional

Segundo Wilken (1978) *apud* Castro (2001) e citado por Lins (2003), o cálculo da vazão superficial por este Método baseia-se em três parâmetros: área da bacia de contribuição; intensidade e duração das chuvas, e o coeficiente de escoamento, conforme a equação abaixo:

$$Q = C \cdot i \cdot A \quad (5)$$

em que:

Q = vazão superficial máxima (L/s ou m³/s);

C = coeficiente de escoamento ou “runoff”, relação entre o pico de vazão e a chuva média sobre a área receptora;

i = intensidade média da chuva (L ou m³ por ha.s);

A = área da bacia receptora da chuva (ha).

Para se obter a parcela da precipitação que infiltra, deve-se subtrair o volume total precipitado sobre a área do aterro, do volume escoado, que é calculado pelo Método racional dentro do mesmo intervalo de tempo. Devendo, deste resultado, subtrair a parcela de água evapotranspirada. Tem-se, portanto, a expressão algébrica mostrada a seguir:

$$Q = \frac{[(P - ES) - EP]. A}{t} \quad (6)$$

em que:

Q = Vazão do percolado em litros por segundo;

P = Precipitação média mensal, em milímetros;

EP = Evaporação Potencial, em milímetros;

A = Área de contribuição em metros quadrados;

t = Número de segundos em 1 mês (2592000 s);

ES = (P . C) = Escoamento superficial, em milímetros;

C = Coeficiente de escoamento superficial ("run-off", adimensional) que foi de 0,3, no estudo de Lins & Jucá (2003).

2.3.3. O Método Suíço

Este Método tem uma formulação simplificada, não sendo considerada a evapotranspiração potencial, como descrito por Lins & Jucá (2003).

Capelo Neto *et alii* (1999) ressaltam que a aplicação do Método Suíço é simples, contudo deixa a desejar na precisão.

Conforme Orth (1981) *apud* Neto *et alii* (1999), a expressão para a aplicação do Método Suíço, no qual se estima a vazão de percolado é mostrada a seguir. Os valores de K para aplicação do Método são apresentados na Tabela 9.

$$Q = \frac{P.A.K}{t} \quad (7)$$

em que:

Q = Vazão média do percolado em litros por segundo;

P = Precipitação média mensal (mm);

A = Área total do aterro (m²);

t = Número de segundos em 1 mês que é de 2592000 segundos;

K = Coeficiente que depende do grau de compactação dos resíduos sólidos urbanos. Foi considerado para o estudo de Lins & Jucá (2003) K = 0,5.

TABELA 9 - Valores de K para aplicação no Método Suíço.

Tipo de Aterro	Peso Específico do Lixo	K
Aterros Fracamente Compactados	0,4 a 0,7 ton/m ³	0,25 a 0,50
Aterros Fortemente Compactados	Acima de 0,7 ton/m ³	0,15 a 0,25

Fonte: Orth (1981) *apud* Capelo Neto *et alii* (1999).

3. ÁREA EM ESTUDO: ATERRO CONTROLADO DA CATURRITA

O Aterro Controlado da Caturrita insere-se no contexto da sub-bacia hidrográfica do Arroio Ferreira, fazendo parte do município de Santa Maria – RS, como apresentado na Figura 5.

A sub-bacia hidrográfica do Arroio Ferreira, mostrada mais detalhadamente na Figura 6, apresenta uma área de drenagem de 5.207,72 ha, que se intercalam entre as zonas industriais, urbanas e rurais. O Arroio Ferreira, principal rio da sub-bacia, possui uma extensão de 18.735 m e é afluente do Arroio Picadinho, cujas águas deságuam no Arroio Arenal, conseqüentemente no Rio Vacacaí, que por sua vez deságua no Rio Jacuí, desembocando no Rio Guaíba, fazendo parte da Bacia do Sudeste.

A área onde está instalado o aterro encontra-se posicionada entre as coordenadas 29°39'43" de latitude Sul e 53°52'30" de longitude Oeste do meridiano de Greenwich, com cotas altiméricas entre 76 e 98m (Topographia & Planejamento Rural S/C Ltda, 1999). Esta área está situada no Bairro Caturrita, aproximadamente 7 Km do centro da cidade de Santa Maria. O Aterro Controlado da Caturrita possui uma área total de 374.435,72 m² e sua área de contribuição para o balanço hídrico é de 37.429 m² (Figura 7).

Conforme dados da Secretaria Municipal de Gestão Ambiental de Santa Maria, a atual área de disposição de resíduos sólidos é utilizada há cerca de 20 anos. Inicialmente, a Prefeitura Municipal operava o sistema de coleta e disposição dos resíduos com ausência de técnicas de engenharia para seu tratamento. Nos últimos anos o serviço foi terceirizado, culminado em melhores técnicas de tratamento e disposição final, entretanto ainda insuficientes para transformar o local em um Aterro Sanitário. Atualmente, o aterro recebe aproximadamente 150 ton/dia de resíduos sólidos urbanos.

Dentro da área do aterro estão dispostas as lagoas de tratamento de percolado, onde parte da concentração de afluentes provenientes do aterro, são removidos por este sistema de estabilização.

As características das lagoas são mostradas no Quadro 4.

QUADRO 4 – Características das Lagoas de Estabilização.

Lagoas	Largura (m)	Comprimento (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Detenção Hidráulica (dias) ¹
Lagoa 01 – Afluente	16	38	608	1064	5
Lagoas 02 - Intermediária	28,5	62	1767	3092	50
Lagoas 03 - Efluente	17	38,4	653	1142	5

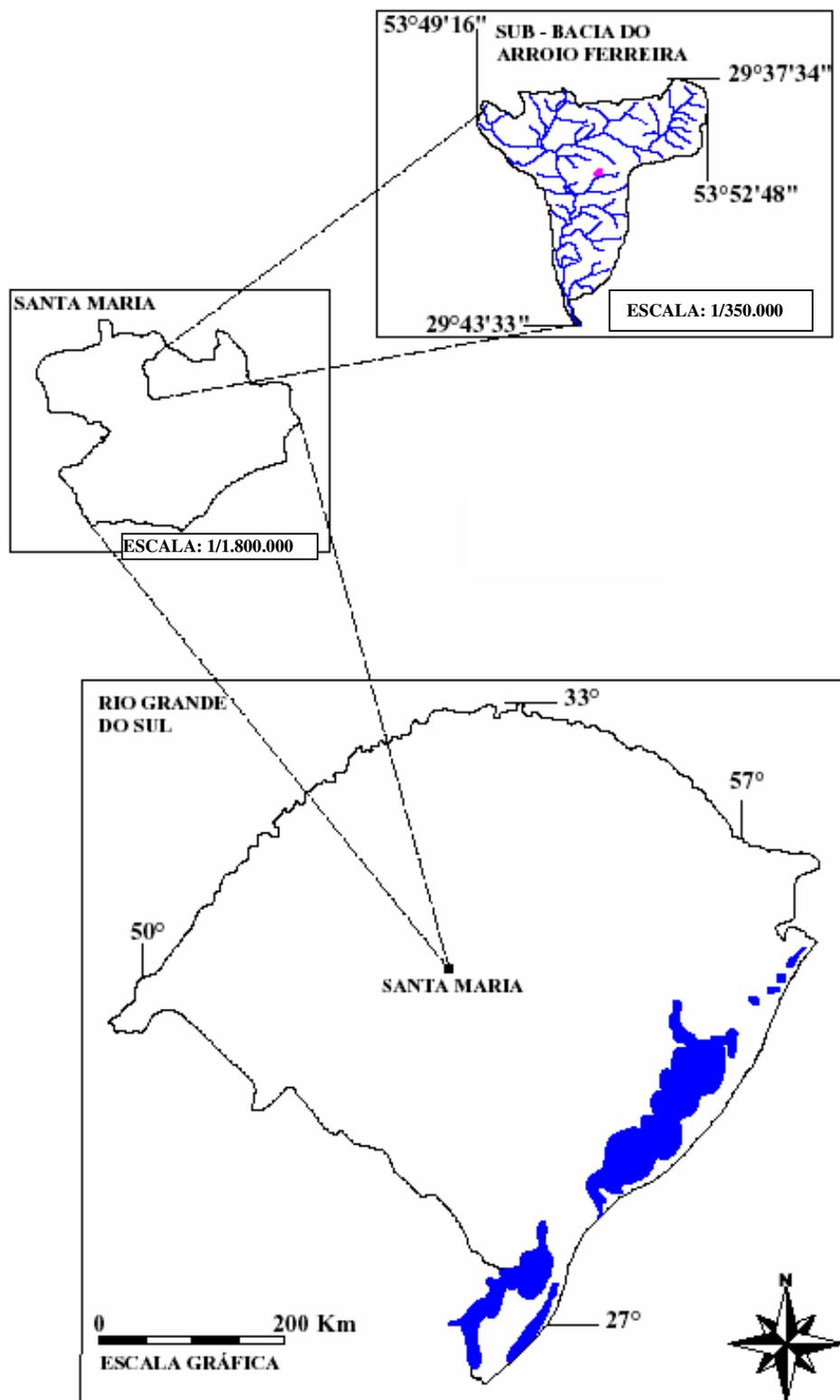
Considerando que ocorrem perdas de 10% no volume das lagoas em função da declividade dos taludes, o volume útil das três lagoas ficaria em 4769 m³.

A profundidade nas lagoas é de 1,75 m, inclusive da lagoa de polimento que não está apresentada no Quadro 4, sendo que esta lagoa é responsável unicamente pela devolução dos líquidos ao meio ambiente, no caso, encaminhando os efluentes do sistema de lagoas ao Arroio Ferreira.

As lagoas 01, 02 e 03 apresentam impermeabilização com geomembrana de PEAD, enquanto que a constituição da lagoa de polimento é de argila.

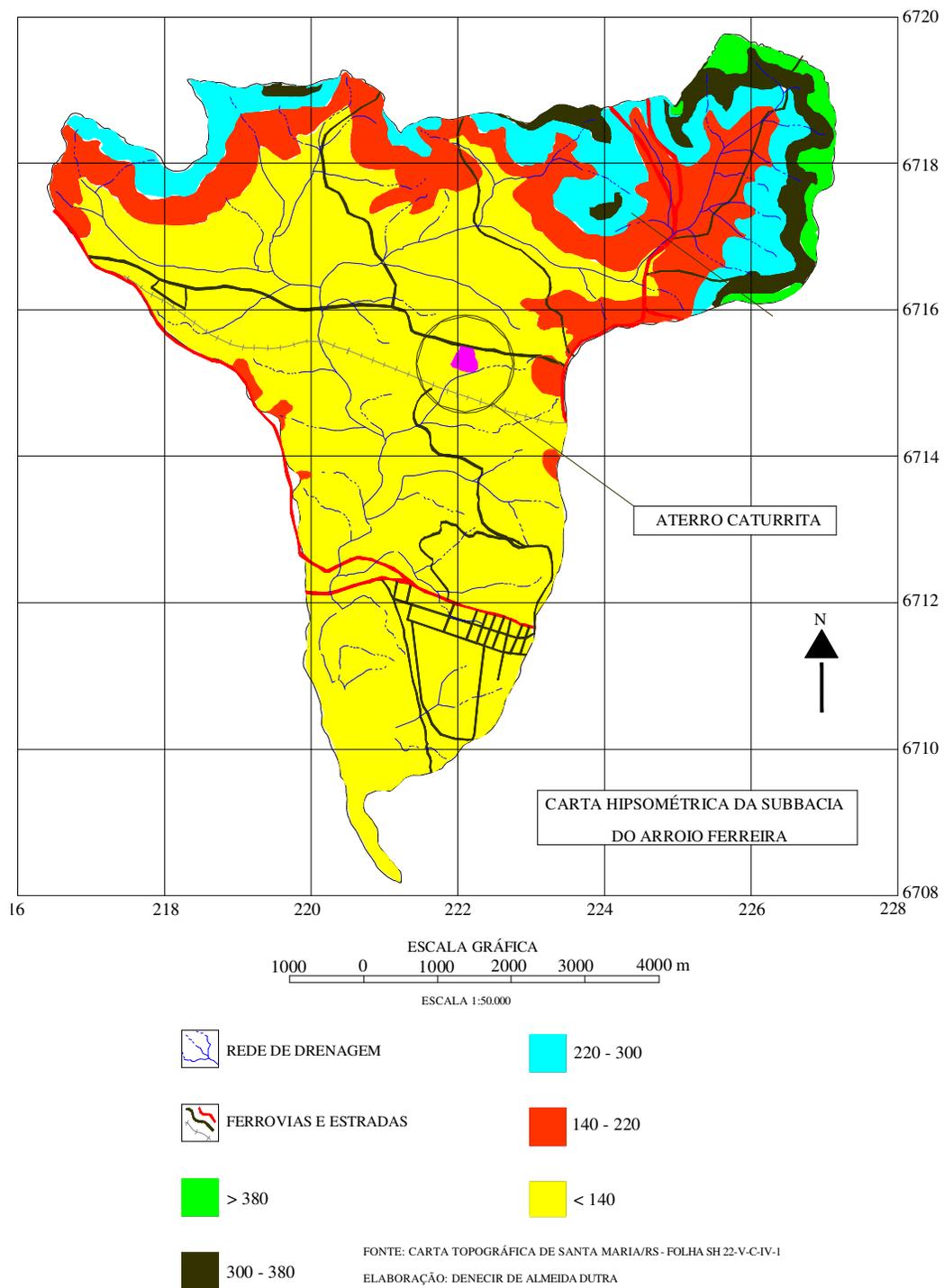
A seleção da área em estudo para o balanço hídrico obedeceu a critérios que correspondessem ao emprego da melhor técnica para que se obtivesse os resultados mais precisos. O local escolhido possuía drenagens sub-superficiais e perimetrais ao aterro, sendo estas responsáveis pela condução do percolado até as lagoas de tratamento. Desta maneira, as lagoas conduziriam percolado tratado até o Arroio Ferreira, passando pela calha Parshall, onde se faria a medida da vazão real.

¹ O tempo de detenção hidráulica é baseado nas referências apresentadas pela empresa que projetou e atualmente faz a operação do aterro. O trabalho que serviu como fonte foi o Projeto Executivo do Aterro Controlado para Resíduos Sólidos Domésticos, elaborado pela empresa PRT – Prestação de Serviços, em Janeiro de 2003 e cedido pela Prefeitura Municipal de Santa Maria.



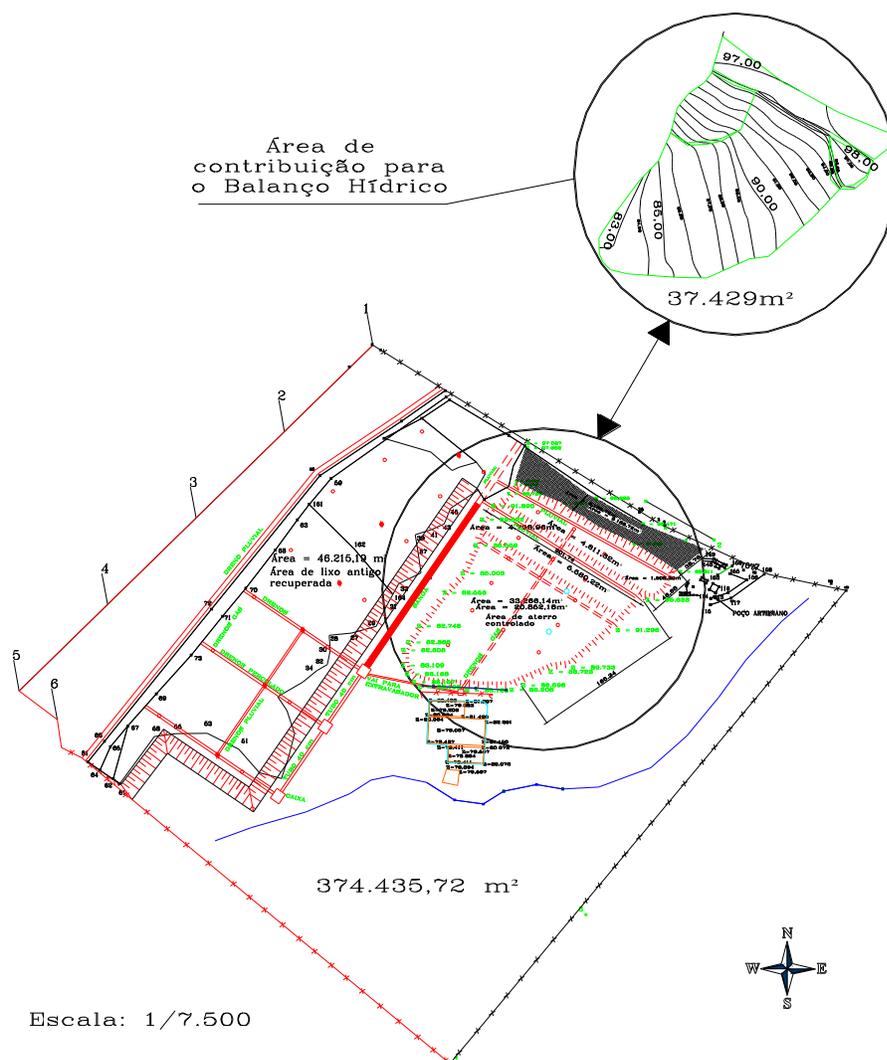
Fonte: Dutra (2001)

FIGURA 5 – Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Ferreira, Santa Maria e o Rio Grande do Sul.



Fonte: Carta Topográfica do Exército – Folha SH 22-V-C-IV-1 *apud* Dutra (2001).

FIGURA 6 – Carta Hipsométrica da Sub-Bacia do Arroio Ferreira e o Aterro ao centro.



Fonte: Topographia & Planejamento Rural S/C Ltda (1999).

FIGURA 7 – Aterro da Caturrita com sua área total e sua área de contribuição para o balanço hídrico.

Nos aspectos climáticos, trata-se de uma região subtropical de chuvas durante quase todo o ano. Este clima possui uma taxa de precipitação pluviométrica anual excedendo a evapotranspiração para séries longas de dados.

A temperatura média anual é de 18,8°C, variando no intervalo de 12,9°C a 24,6°C, para médias mensais e absolutas superiores a 30°C no verão e inferiores a 5°C no inverno (Barros Sartori, 1979 apud Robaina *et alii*, 2002).

Quanto à vegetação, em estudos encomendados pela Prefeitura Municipal de Santa Maria (Áreas para Instalação de Aterro Sanitário, 2001), na localidade apresentam-se: grama forquilha (*Paspalum notatum*), carqueja (*Baccharis trimera*),

e alecrim do campo (*Vernonia nudiflora*), ocorre também as touceras do *Cynodon dactylon*.

Robaina *et alii* (2001) pesquisaram áreas para instalação de aterros sanitários, trazendo algumas referências quanto ao uso e ocupação do solo na bacia do Arroio Ferreira, sendo estes baseados na pecuária extensiva, com criação de gado bovino ocupando os campos nativos da região. Em algumas propriedades existem lavouras de pastagens, com o cultivo de azevém, utilizadas para a criação do gado bovino, variedades de cana de açúcar, milho, feijão, entre outros cultivares. Todas estas lavouras têm finalidade de subsistência familiar, assim como a própria pecuária.

Para a constituição do solo, em trabalhos “in loco” a empresa responsável pela operação da área realizou, em 2003, sondagem com profundidade de 8,21m obtendo silte argiloso com pouca areia fina para as amostras. Pinheiro *et alii* (2002) e Robaina *et alii* (2001) confirmaram em seus trabalhos as características apresentadas de geomorfologia e pedologia do solo da região do aterro, constituindo em formação Santa Maria de siltitos argilosos. A argila montmorilonita é a mais corriqueira, possuindo a área alta densidade de drenagem em decorrência dos valores muito baixos de condutibilidade hidráulica. As características supracitadas mostram a possibilidade de condição inadequada para instalação de empreendimentos vultuosos neste tipo de solo, tornando a questão apegada não apenas a rede de drenagem, mas também a constituição do solo.

O Quadro 5 apresenta uma síntese das informações apresentadas anteriormente.

QUADRO 5 – Síntese de algumas características da Sub-bacia e do Aterro.

Área da Sub-Bacia Hidrográfica Arroio Ferreira	5.207,72 Ha
Extensão do Rio Principal da Sub-Bacia	18.735,78 m
Coordenadas do Aterro Controlado	Latitude: 29°39'43" – Longitude: 53°52'30"
Área total do Aterro Controlado	374.435,72 m ²
Área utilizada no Balanço Hídrico	37.429 m ² = ~10% da área total
Quantidade de Resíduos disponibilizada	150 ton/dia
Período de atividade	20 anos
Distância do Centro do Município	7 Km
Cota Altimétrica	Entre 76 e 98m
Constituição predominante do solo	Silte Argiloso

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Avaliação Quantitativa do Percolado Gerado

A metodologia utilizada na avaliação da quantidade de percolado gerado no Aterro Controlado da Caturrita consiste na utilização de vazões estimadas que correspondessem à realidade do local e também medições reais da vazão para aferição dos modelos.

Os métodos avaliados na estimação teórica das vazões de percolado foram os Métodos Suíço, Racional e do Balanço Hídrico, com séries históricas longas e curtas. As séries longas compreendem dados de precipitações de 34 anos e evapotranspiração de 29 anos. Nas séries curtas, os dados de precipitação e evapotranspiração foram considerados durante período de realização do estudo, ou seja, no período de Maio de 2004 e Abril de 2005. A metodologia de cálculo dos métodos empíricos é apresentada no capítulo 2.

Os dados de Precipitação para séries longas foram obtidos da estação da Fepagro Florestas do Distrito de Boca do Monte, sendo os mesmos mensais e compreendidos entre 1970 e 2004, enquanto que os parâmetros de Evapotranspiração foram obtidos da Embrapa através da estação meteorológica 83936 do 8º distrito de Meteorologia (29°42' Sul de latitude, 053°42' Oeste de longitude e altura de 95 m), estação tipo convencional. Os dados obtidos corresponderam ao período entre 1961 e 1990. Para as séries curtas, utilizaram-se dados da Fepagro entre Maio e Dezembro de 2004 e do INMET entre Janeiro e Abril de 2005. Ambas as séries utilizam médias mensais para os históricos de dados.

Para aferir os dados estimados de vazão pelos métodos simplificados, foram realizadas medições esporádicas de vazões entre Maio e Agosto de 2004, enquanto a partir de Setembro de 2004 foram realizadas duas medições diárias de vazão, uma pela manhã outra à tarde, de Segunda a Sábado, excluindo Domingos e Feriados.

As medições de vazão foram realizadas na saída do sistema de tratamento de percolados (lagoas de estabilização), devido à lagoa afluenta na época da instalação da calha possuir dois ramais de entrada. Utilizou-se uma calha Parshall, 3 polegadas, em fibra de vidro, como apresentada na Figura 8. Fazia-se à leitura da lâmina de água, em centímetros, e posteriormente convertia-se em vazão através da curva de calibração com sua respectiva equação, conforme Figura 9.

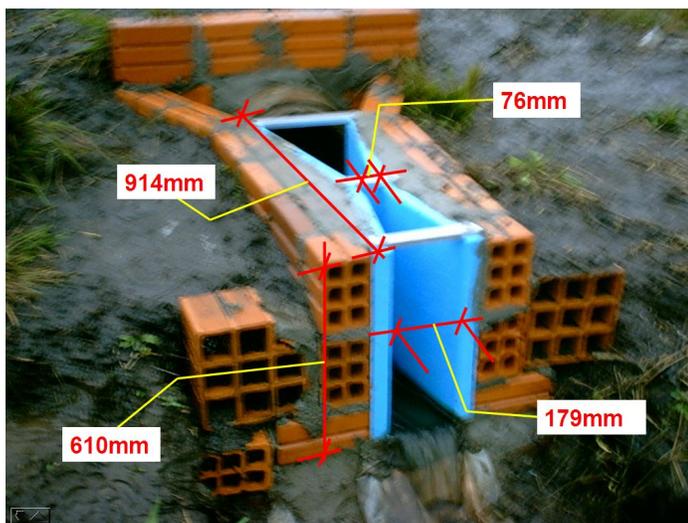


FIGURA 8 – Calha Parshall instalada na saída do sistema de tratamento de percolado.

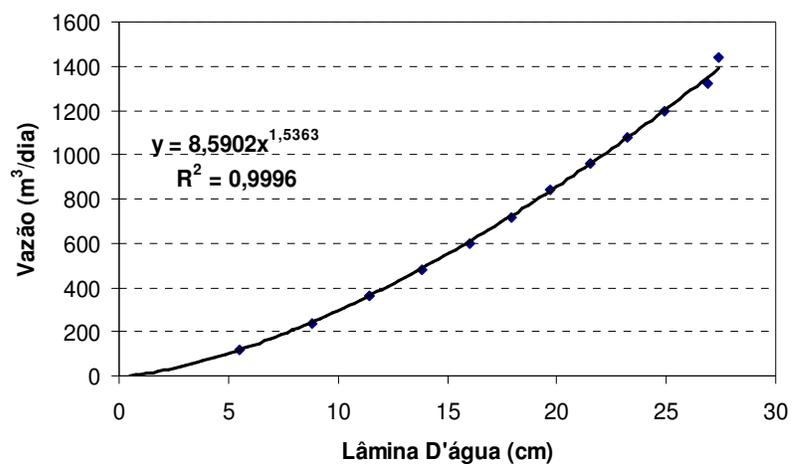


FIGURA 9 – Curva de calibração de Calha Parshall e a respectiva equação da curva, relacionando lâmina de água e vazão.

Segundo dados de temperatura, evapotranspiração, armazenamento no solo, deficiência hídrica, disponibilizados pela Embrapa entre o período de 1961 e 1990 e dados de precipitação entre 1970 e 2004, cedidos pela Fepagro-RS, o município de Santa Maria possui o seguinte Balanço Hídrico apresentado na Tabela 10.

TABELA 10 – Balanço Hídrico para o Município de Santa Maria.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Médias	Totais
Temperatura (°C)	24,6	24	22,2	18,8	16	12,9	13,5	14,6	16,2	18,8	21,4	22,7	18,8	-
Precipitação (mm) 1970 - 2004	145	123	142	149	120	143	148	117	133	153	127	125	135,3	1.623
Evapotranspiração Potencial (mm)	135	116	104	67	46	28	31	38	48	72	97	118	75,0	900
Armazenamento água solo (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100,0	1.200
Evapotranspiração Real (mm)	135	116	104	67	46	28	31	38	48	72	97	118	75,0	900
Deficiência Hídrica (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0
Excedente (mm)	10	7	38	82	74	115	117	79	85	81	30	7	60,3	723

Fonte: adaptado da EMBRAPA (2004).

Os dados de precipitação e evapotranspiração mostrados na Tabela 10 foram utilizados para gerar os resultados das estimativas de vazões para séries históricas longas.

4.2. Avaliação Qualitativa do Percolado Gerado

A avaliação qualitativa do percolado gerado no aterro da Caturrita, Santa Maria – RS, consistiu no monitoramento das características do percolado gerado na disposição dos resíduos sólidos e na qualidade da água no corpo receptor do efluente do sistema de tratamento de percolado.

Os pontos de monitoramento adaptados para o presente trabalho foram definidos para possibilitar a avaliação das características do percolado gerado, a eficiência do sistema de tratamento de percolado e, ainda, avaliar o impacto de lançamento do efluente do sistema de tratamento no corpo receptor, ou seja, o Arroio Ferreira. Os pontos de monitoramento são apresentados na Figura 10 e são descritos a seguir:

- Lixiviados Afluentes: local de coleta de amostras de percolado drenado da área de disposição dos resíduos. Os líquidos percolados, provenientes dos

drenos horizontais existentes no aterro são transportados por tubulação para a primeira lagoa do sistema de tratamento.

- Lixiviados Efluentes: local de coleta de amostras de percolado na saída do sistema de lagoas de estabilização, onde o líquido percolado é submetido ao tratamento, reduzindo carga poluidora inicialmente presente no percolado. Este efluente é encaminhado, a partir deste ponto, para lançamento no Arroio Ferreira.
- Montante do rio Arroio Ferreira: local de coleta de água no córrego Arroio Ferreira, a montante do lançamento do percolado tratado pelas lagoas de estabilização. Este ponto está localizado a 50 m do ponto de lançamento do efluente.
- Jusante do Arroio Ferreira: local de coleta de água no Arroio Ferreira, a jusante do lançamento do percolado tratado pelas lagoas de estabilização. Este ponto está localizado a 50 m do ponto de lançamento do efluente, permitindo a mistura do efluente com a água do arroio.
- Lançamento: o ponto onde ocorre o lançamento dos efluentes provenientes das lagoas de estabilização no Arroio Ferreira. É um ponto onde não são realizadas coletas, ele define o limite entre montante e jusante em relação ao lançamento das cargas poluidoras pelo sistema de lagoas de tratamento.



Fonte: Secretaria Municipal de Gestão Ambiental de Santa Maria (2003).

FIGURA 10 – Pontos de monitoramento no sistema de tratamento e no corpo receptor adotados no presente trabalho.

As variáveis de qualidade monitoradas consistiram nos seguintes parâmetros: Temperatura, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido (OD), pH, Turbidez, Condutividade Elétrica, Sólidos Totais e Sólidos Suspensos. Todas as metodologias analíticas utilizadas seguiram os procedimentos estabelecidos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998).

As determinações analíticas foram realizadas no Laboratório de Hidráulica e Saneamento – LABHIDRO – Setor de Apoio ao Saneamento, do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal de Santa Maria (Figura 11).



FIGURA 11 – Bancada principal do Laboratório de Hidráulica e Saneamento – LABHIDRO – Setor de Apoio ao Saneamento.

Inicialmente, foram realizadas 4 campanhas de coletas nos pontos de monitoramento, no período de Agosto de 2003 a Novembro de 2003. Estas coletas foram exploratórias, objetivando a confirmação dos melhores pontos para a obtenção das amostragens. A partir de Maio de 2004, a frequência foi ampliada em 2 coletas por mês, para garantir maior confiabilidade dos dados. O histórico formado compreende 25 datas, com resultados mostrados no Anexo B – Quadro 10. A Figura 12 apresenta o procedimento de coleta em um dos pontos de monitoramento.

Vale ressaltar, que em algumas datas de coletas não havia lançamentos de efluentes ao Arroio Ferreira, logo se considerou que a concentração dos parâmetros de montante eram iguais as de Jusante. Mediante este fato, alguns limitantes foram previstos durante as pesquisas, como a coleta do efluente dentro da lagoa de polimento, visto que, o mesmo poderia ocorrer caso houvesse insuficiência de vazão

na circulação entre as lagoas. A lagoa de polimento apresentaria o resultado mais próximo da concentração real dos parâmetros.



FIGURA 12 – Coleta no ponto de monitoramento afluente ao sistema de tratamento de percolado.

4.2.1. Eficiência do Sistema de Tratamento do Percolado

A eficiência do sistema de tratamento do percolado foi avaliada através do percentual de remoção da carga orgânica, em termos de DBO e DQO. Estas variáveis foram selecionadas por quantitativamente representar a principal carga poluidora do percolado. A Equação 8 apresenta a formulação para o cálculo da eficiência, em termos percentuais.

$$Eficiência_i = \left(\frac{C_{i-Afluente} - C_{i-Efluente}}{C_{i-Afluente}} \right) \cdot 100 \quad (8)$$

onde:

C_i : concentração do parâmetro i (mg/L)

i : parâmetro DQO ou DBO.

O Efluente representa o valor da concentração de DBO ou DQO na saída do sistema de tratamento, enquanto que o Afluente representa a concentração dos mesmos parâmetros na entrada da primeira lagoa.

4.2.2. Impacto do Lançamento de Efluentes

Com base na Portaria 05/89 SSMA/RS, onde a mesma apresenta os limites aceitáveis para lançamentos de efluentes líquidos, dispendo sobre critérios e padrões a serem observados por todas as fontes poluidoras que lancem seus efluentes nos corpos d'água do Estado do Rio Grande do Sul, verificaram-se as concentrações efluentes do aterro da Caturrita para os parâmetros DBO e DQO. Com os valores médios destas concentrações provenientes das lagoas de tratamento do percolado, possibilitou-se a verificação da situação atual do lançamento de efluentes ao Arroio Ferreira.

A norma técnica 01/89 da Portaria 05/89 faz referências que os limites de concentrações de DBO e DQO a serem lançadas ao meio ambiente na melhor das hipóteses (vazões de efluentes menores que 20 m³/dia) devem ser iguais ou inferiores a 200 mg/L e 450 mg/L, respectivamente. Estes valores, servem como referencial para a determinação do impacto ambiental causado pela emissão de cargas poluidoras, uma vez que, o banco de dados proveniente das análises do percolado efluente é formado. Possuindo um histórico resultados de concentrações de DBO e DQO, com intervalos de confiança adequados, tornaram-se possíveis comparações da realidade presente nos efluentes das lagoas, baseados nos limites aceitáveis da legislação do Estado do Rio Grande do Sul.

4.2.3. O Estado de Degradação Atual do Aterro

Para avaliar o estado de degradação dos resíduos, utilizou-se a razão DBO/DQO para o ponto Afluente, pois este é o que melhor representa a situação dos resíduos do aterro, com ausência de tratamento prévio aos seus lixiviados. Um valor encontrado inferior a 0,1 para a razão DBO/DQO indicaria que as substâncias orgânicas estariam com dificuldades de continuar o processo de degradação, necessitando de tratamento físico-químico. Para valores superiores a 0,4 ter-se-ia indicativo da fase acidogênica do aterro e inferiores da fase metanogênica.

Com o parâmetro pH também é possível contribuir para a identificação do atual estágio de degradação do aterro, visto que valores inferiores a 6,0 servem como indícios da faixa de acidez, assim como entre 6,0 e 8,5 instigam tendências à faixa de metanogênese.

5. RESULTADOS

5.1. Resultados Quantitativos do Percolado Gerado

Os resultados quantitativos do percolado foram obtidos por intermédio da estimativa de geração da vazão de efluentes no aterro da Caturrita, estes baseados na utilização dos seguintes métodos empíricos: o Método do Balanço Hídrico, o Método Racional e o Método Suíço. Todos os três utilizam metodologias bastante difundidas para a previsão de vazões, conforme apresentado no capítulo 2.

Para aferição dos métodos empíricos, mediu-se a vazão total de efluente do sistema, utilizando-se uma calha tipo Parshall na saída do sistema de lagoas de estabilização.

Na Tabela 11 são mostrados os dados observados de vazão com o intervalo de confiança para cada mês, com seu respectivo número de amostragens para o mês e o equivalente de percolação, que é calculado a partir da razão entre a vazão da calha e a área considerada no cálculo do balanço hídrico, multiplicado o resultado pelo número de dias em 01 mês. Para o mês de Maio de 2004 não há intervalo de confiança, pois foi observado apenas um único valor, contudo se tem noção da situação através dos intervalos de confiança para os demais meses.

TABELA 11 – Vazão medida na calha Parshall, quantidade de amostragens e percolação.

Mês	Vazão Medida na Calha (m ³ /dia)	Número de Amostragens no Mês	Percolação (mm)
mai/04	49	1	39
jun/04	32 ± 9	2	25
jul/04	47 ± 46	3	38
ago/04	78 ± 65	2	62
set/04	68 ± 37	32	55
out/04	36 ± 19	52	29
nov/04	78 ± 54	52	62
dez/04	2,3 ± 1,6	54	2
jan/05	0 ± 0	50	0
fev/05	0 ± 0	48	0
mar/05	0 ± 0	54	0
abr/05	59 ± 10	52	47

Mesmo com uma série histórica, proveniente de uma quantidade grande de amostras, observaram-se vazões nulas para os meses de Janeiro, Fevereiro e

Março de 2005. A Figura 13 mostra a relação entre o número de amostragens e a vazão medida para cada mês, observando que a partir de Setembro de 2004 as vazões medidas melhoraram a confiabilidade. Em geral, a vazão comportou-se de maneira coerente, visto que, tanto para os meses mais chuvosos (de menor evapotranspiração) quanto para os meses menos chuvosos (de maior evapotranspiração) ocorreram tendências esperadas para as estações climáticas.

Salienta-se que as vazões medidas na calha Parshall estão vinculadas a alguns limitantes que poderiam alterar o status quantitativo das mesmas, podendo citar: a ausência de impermeabilização de base no aterro, que poderia gerar maior percolação na calha, ou ainda, a percolação constante que entrava na primeira lagoa em todos os momentos, contudo insuficiente para circular entre as demais e gerar vazão na calha.

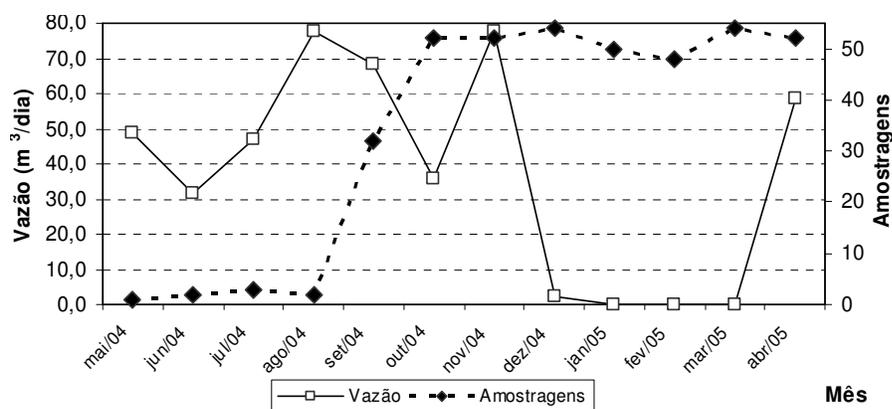


FIGURA 13 – Vazão medida e o número de observações de vazões para cada mês.

Devido à maior seca nos últimos anos no Rio Grande do Sul, o município de Santa Maria sofreu com os baixos índices pluviométricos. Esta pouca chuva refletiu na pequena vazão de percolado em Dezembro de 2004, chegando em média a 2,3 m³/dia e a vazões nulas para os meses posteriores de verão. Os valores de vazões foram verificados junto à calha Parshall no ponto Efluente e demonstrados na Figura 13 e na Tabela 11.

A Figura 14 mostra a relação entre a precipitação no período pesquisado e o percolado real gerado e também a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração, no aterro da Caturrita entre Maio de 2004 e Abril de 2005.

Para o mês de Agosto de 2004, aproximadamente 94% do que precipitou tornou-se percolado, sendo esta a maior relação encontrada. Fazendo-se uma média entre os meses do estudo, pode-se dizer que, aproximadamente, 34% das chuvas tornaram-se percolado. A Figura 14, também mostra o quanto a evapotranspiração influi na percolação, para os meses de Dezembro de 2004 e Janeiro e Fevereiro de 2005, quando a diferença entre precipitação e evapotranspiração foi negativa a percolação foi nula. A Figura 15 apresenta a relação entre precipitação e percolação para o período entre Maio de 2004 e Abril de 2005.

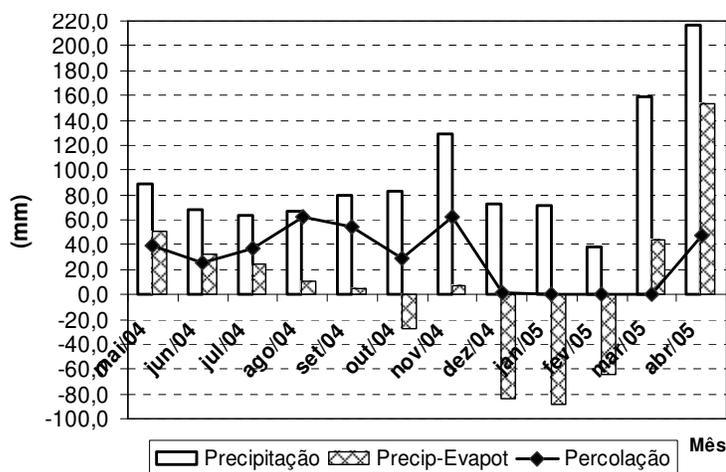


FIGURA 14 – Percolação medida, série histórica de precipitação e diferença entre precipitação e evapotranspiração para o período da pesquisa.

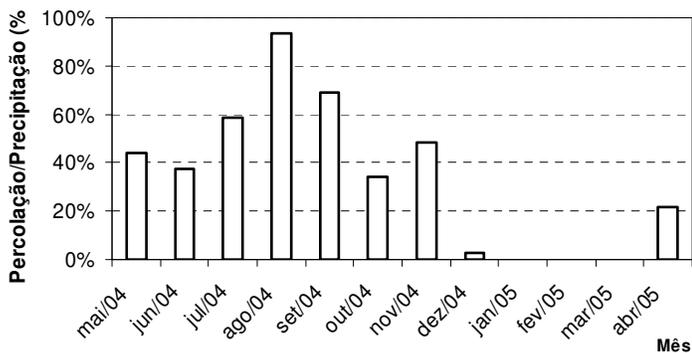


FIGURA 15 – Relação entre a percolação medida e a série histórica de precipitação no período da pesquisa.

Devido ao período atípico na região, pelas baixas precipitações, utilizaram-se séries históricas longas para demonstrar a analogia geral entre precipitações e

evapotranspiração na região de Santa Maria – RS. A Figura 16 apresenta os meses e seus respectivos comportamentos hídricos das médias mensais de séries históricas de precipitação e evapotranspiração.

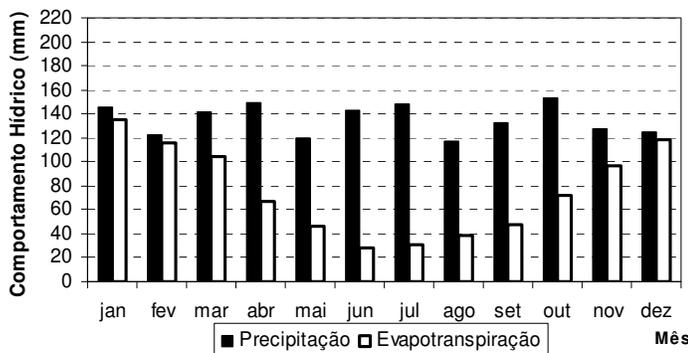


FIGURA 16 – Comportamento hídrico utilizando séries longas de precipitação e evapotranspiração.

Como observado na Figura 16, historicamente, o município de Santa Maria não apresenta déficit hídrico, pois a precipitação supera em todos os meses a evapotranspiração, inclusive nos meses de verão, quando ocorrem períodos com maior insolação. A média para a precipitação e evapotranspiração segundo a Figura 16 são 135 mm e 75 mm, respectivamente.

Analisando o período da pesquisa, observa-se que em alguns meses ocorre déficit hídrico, retratando que o período entre Maio de 2004 e Abril de 2005 foi atípico pela escassez e chuva em média 95 mm, adicionada a elevados índices de evapotranspiração iguais em média a 89 mm.

Comparando as precipitações e evapotranspirações médias, para o histórico de dados e para o período da pesquisa, nota-se o quanto foi seco no período entre 2004 e 2005, principalmente para os meses de inverno como mostra a Figura 14, a subtração entre as médias de precipitação e evapotranspiração resultam em 6 mm, enquanto para a série histórica a mesma situação resulta em 60 mm. Quanto menor é o valor de subtração encontrado, menor será a produção dos lixiviados no ano em questão.

De maneira geral, a situação para períodos climáticos atípicos, não demonstra a realidade de percolação. Cita-se, por exemplo, a necessidade de dimensionar um sistema de tratamento de efluentes de um aterro, que teria maior exatidão com um histórico grande de dados, pois um histórico pequeno poderia induzir a uma margem de erro elevada no dimensionamento.

5.1.1. Estimativa da Vazão de Percolado Gerado utilizando-se o Método do Balanço Hídrico

No Quadro 6 são mostrados os coeficientes e parâmetros que foram utilizados para a estimativa das vazões de percolado para séries históricas longas.

QUADRO 6 - Parâmetros e o respectivo modo de obtenção para o Método do Balanço Hídrico.

PARÂMETROS	MODO DE OBTENÇÃO
Precipitação (P)	Boletins Pluviométricos FEPAGRO (1970 – 2004).
Evaporação Potencial (EP)	Boletins Hidrometeorológicos EMBRAPA (1961 – 1990)
Escoamento Superficial (ES = C' x P)	Para C' utilizou-se 0,15 e 0,18 com inclinação de 2 a 7%, para meses secos e úmidos respectivamente, visto que são valores intermediários entre solo Argiloso e Arenoso, pois o solo local é um Silte Argiloso.
Infiltração (I)	Obtido através da subtração da Precipitação pelo Escoamento Superficial.
I – EP	Diferença entre a água que infiltra e a que evapora.
Σ (NEG (I – EP))	Calculado somando os valores negativos de (I – EP).
Armazenamento de Água no Solo de cobertura (AS)	Foi obtido o valor de 120 mm, fazendo o produto entre a espessura de solo 0,6 m a disponibilidade de água 200 mm/m. O desenvolvimento da seqüência para meses de déficit hídrico, conforme Quadro 9 – Anexo A.
Variação no armazenamento de água no solo (Δ AS)	Diferença entre a água armazenada no solo, de um mês para o outro (Δ AS = AS _n – AS _{n-1}).
Evaporação real (ER)	Quando (I – EP) > 0, então ER = EP e quando (I – EP) < 0, então ER = [EP + (I – EP) - Δ AS].
Percolação em mm (PER)	PER = P – ES – AS – ER.
Vazão mensal em m ³ /dia (QM)	QM = ((PER x 37429)/2592000)*3,6*24

Fonte: adaptado de Lins (2003).

Com a breve explicação do Quadro 6, obtiveram-se os resultados de vazões mensais da série histórica longa de dados, 34 anos para a precipitação e 29 anos para a evapotranspiração, estes apresentados na Tabela 12:

TABELA 12 – Estimativa da vazão de percolado através do Método do Balanço Hídrico utilizando séries históricas longas.

Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Precipitação Mensal (mm)	145	123	142	149	120	143	148	117	133	153	127	125
Evapotranspiração Potencial (mm)	135	116	104	67	46	28	31	38	48	72	97	118
C' (adotado)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,18	0,18	0,18	0,18	0,15	0,15	0,15	0,15
Escoamento Superficial (mm)	21,8	18,4	21,3	22,3	21,6	25,8	26,6	21,0	19,9	22,9	19,1	18,7
Infiltração (mm)	123,5	104,3	120,5	126,6	98,4	117,3	121,1	95,7	112,8	129,6	108,1	105,9
I - EP (mm)	-11,5	-11,7	16,5	59,6	52,4	89,3	90,1	57,7	64,8	57,6	11,1	-12,1
Σ (neg(I-EP)) (mm)	-35	-35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-35
AS = I - EP>0 (mm)	94	94	120	120	120	120	120	120	120	120	120	94
Varição de AS	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	-26
ER (mm)	124	104	104	67	46	28	31	38	48	72	97	132
Percolação (mm)	0	0	0	60	52	89	90	58	65	58	11	0
Vazão Calculada Mét. Balanço Hídrico (m³/dia)	0	0	0	74	65	111	112	72	81	72	14	0

Comparando-se a vazão real medida na calha Parshall com a vazão calculada pelo Método do Balanço Hídrico, verifica-se que o Método simplificado estimou um valor aproximado 34% superior a medição real no período observado.

Nos meses de Dezembro a Abril, como observado na Tabela 12, o Método do Balanço Hídrico apresentou vazão nula. De maneira simplificada, a média de vazão de percolado considerando os 12 meses do ano ficou em 50,2 m³/dia.

Na Tabela 13, pode-se constatar o número de vezes² (em módulo) que o Método do Balanço Hídrico apresentou-se superior ou inferior à vazão real. Da mesma forma, é calculado o erro percentual (em módulo) em cada mês. Na ocorrência de alguma divisão por zero o valor abordado para o erro é considerado incoerente.

² Analogia retratada em trabalho de Capelo Neto (1999) e apresentada na revisão bibliográfica, em que o autor se refere ao número de vezes em que a vazão real apresentou-se superior ou inferior a vazão calculada, diferentemente dos demais autores que tratam a situação em termos percentuais.

TABELA 13 – Percentual de erro para o Método do Balanço Hídrico utilizando séries longas.

Vazões (m³/dia)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Medida	0	0	0	59	49	32	47	78	68	36	78	2
Balanço Hídrico	0	0	0	74	65	111	112	72	81	72	14	0
 N. vezes 	0	0	0	1,3	1,3	3,5	2,4	1,1	1,2	2,0	5,6	incoer.
 % de Desvio 	0%	0%	0%	27%	34%	252%	140%	7%	18%	101%	82%	incoer.

O erro máximo encontrado foi de 252% para o mês de Junho e o mínimo de 0% para janeiro, Fevereiro e Março, enquanto que para o período de 12 meses foi de 34%. As causas de o desvio médio, estar em 34%, pode se encontrar vinculado à ausência de impermeabilização no aterro, uma vez que, haveria maior geração de percolado, minimizando a diferença entre o valor calculado e o medido.

No mês de Dezembro, ocorreram incoerências de dados, visto que a vazão medida nula não teve reciprocidade nula na calculada.

Para as séries históricas curtas, no quadro 6 são mostrados os coeficientes que foram utilizados para a estimativa dos valores de vazões calculadas no período compreendendo Maio de 2004 e Abril de 2005, exceto os boletins pluviométricos que são da FEPAGRO em 2004 e do INMET em 2005 e os Hidrometeorológicos que são também do INMET tanto para 2004 quanto para 2005. Através destes, obtiveram-se os resultados entre Maio de 2004 e Abril de 2005 de vazões do aterro da Caturrita, estes apresentados na Tabela 14:

TABELA 14 – Estimativa da vazão de percolado através do Método do Balanço Hídrico utilizando séries históricas curtas.

Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Precipitação Mensal (mm)	72	38	159	216	89	68	64	67	79	83	129	73
Evapotranspiração Potencial (mm)	160	102	115	63	38	36	40	56	75	111	121	157
C' (adotado)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,18	0,18	0,18	0,18	0,15	0,15	0,15	0,15
Escoamento Superficial (mm)	10,7	5,7	23,9	32,4	16,1	12,2	11,5	12,0	11,9	12,5	19,3	10,9
Infiltração (mm)	60,8	32,0	135,2	183,6	73,2	55,8	52,2	54,6	67,4	70,9	109,5	61,8
I - EP (mm)	-99,0	-69,9	20,2	120,6	35,3	19,9	12,7	-1,7	-7,7	-40,2	-11,8	-94,9
Σ (neg(I-EP)) (mm)	-325	-325	0	0	0	0	0	-325	-325	-325	-325	-325
AS = I - EP > 0 (mm)	9	9	120	120	120	120	120	9	9	9	9	9
Varição de AS	0	0	111	0	0	0	0	-111	0	0	0	0
ER (mm)	61	32	115	63	38	36	40	166	67	71	109	62
Percolação (mm)	0	0	0	121	35	20	13	0	0	0	0	0
Vazão Calculada Mét. Balanço Hídrico (m³/dia)	0	0	0	150	44	25	16	0	0	0	0	0

Comparando-se a vazão real medida na calha Parshall com a vazão calculada utilizado Método do Balanço Hídrico, verifica-se que o Método simplificado estimou um valor aproximado 48% inferior a medição real no período observado entre Maio de 2004 e Abril de 2005.

A vazão estimada foi nula para todos os meses exceto em Abril, Maio Junho e Julho, conforme mostrado na Tabela 14. Simplificadamente, a média de vazões de percolado, considerando o período de medição ficou em 20 m³/dia.

Na Tabela 15, pode-se constatar o número de vezes (em módulo) que o Método do Balanço Hídrico apresentou-se superior ou inferior à vazão real. Da mesma forma, é calculado o erro percentual (em módulo) em cada mês. Na ocorrência de alguma divisão por zero o valor abordado para o erro é considerado incoerente.

TABELA 15 – Percentual de erro para o Método do Balanço Hídrico utilizando séries curtas.

Vazões (m ³ /dia)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Medida	0	0	0	59	49	32	47	78	68	36	78	2
Balanço Hídrico	0	0	0	150	44	25	16	0	0	0	0	0
 N. vezes 	0	0	0	2,56	1,1	1,3	2,9	incoer.	incoer.	incoer.	incoer.	incoer.
 % de Desvio 	0%	0%	0%	156%	10%	22%	66%	incoer.	incoer.	incoer.	incoer.	incoer.

O erro máximo encontrado foi de 156% para Abril, o mínimo de 0% de Janeiro a Abril, enquanto que para o período dos 12 meses observados foi de 48%.

Nos meses de Agosto a Dezembro ocorreram incoerências de dados, pois a vazão calculada nula não teve reciprocidade nula também na vazão medida.

5.1.2. Estimativa da Vazão de Percolado Gerado utilizando-se o Método Racional

A seguir, no Quadro 7, são apresentados os coeficientes utilizados na estimativa da vazão de percolado empregando-se Método Racional, com base em informações de séries históricas longas.

QUADRO 7 - Parâmetros e o respectivo modo de obtenção para o Método Racional.

PARÂMETROS	MODO DE OBTENÇÃO
Precipitação (P)	Boletins Pluviométricos FEPAGRO (1970 – 2004).
Evaporação Potencial (EP)	Boletins Hidrometeorológicos EMBRAPA (1961 – 1990)
Área de contribuição para o Balanço Hídrico (A)	$A = 37429\text{m}^2$
Número de segundos em 1 mês (t)	$t = 2592000$ segundos
Coeficiente de escoamento superficial (c)	$c = 0,4$ considerando aterro com cobertura de solo exposto, declividade entre 0 e 5% e textura do solo entre uma areia e um silte argiloso.
Escoamento Superficial (Es = P x c)	Escoamento Superficial em mm, depende da precipitação do mês.
Vazão em m ³ /dia (Q)	$Q = \{(P - Es - EP) \times A\} / t \times 86,4$

Através do Quadro 7 foi possível a obtenção dos resultados mensais da série histórica de vazões do aterro da Caturrita, utilizando o Método Racional. Os resultados são apresentados na Tabela 16.

TABELA 16 – Estimativa da vazão de percolado através do Método Racional utilizando séries históricas longas.

Mês	Precipitação Mensal (mm)	Runoff = c . Prec. (mm) c (adotado) = 0,4	Evapotranspiração Potencial (mm)	Vazão pelo Método Racional (L/s)	Vazão pelo Método Racional (m ³ /dia)
jan	145	58	135	0,0	0
fev	123	49	116	0,0	0
mar	142	57	104	0,0	0
abr	149	60	67	0,3	28
mai	120	48	46	0,4	32
jun	143	57	28	0,8	72
jul	148	59	31	0,8	72
ago	117	47	38	0,5	40
set	133	53	48	0,5	39
out	153	61	72	0,3	24
nov	127	51	97	0,0	0
dez	125	50	118	0,0	0

Comparando-se a vazão real medida na calha Parshall com a vazão calculada utilizando o Método Racional, verifica-se que o Método simplificado estimou um valor aproximado 31% inferior a medição real no período observado.

Nos meses de Novembro a Março como observado na Tabela 16 o Método Racional apresentou vazão nula. De maneira simplificada, a média de vazão de percolado considerando os 12 meses do ano ficou em 26 m³/dia.

Na Tabela 17, pode-se constatar o número de vezes (em módulo) que o Método Racional apresentou-se superior ou inferior à vazão medida. Da mesma forma, é calculado o erro percentual (em módulo) em cada mês. Na ocorrência de alguma divisão por zero o valor abordado para o erro é considerado incoerente.

TABELA 17 – Percentual de erro para o Método Racional utilizando séries históricas longas.

Vazões (m³/dia)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Medida	0	0	0	59	49	32	47	78	68	36	78	2
Racional	0	0	0	28	32	72	72	40	39	24	0	0
 N. vezes 	0	0	0	2	1,5	2,3	1,5	1,9	1,7	1,5	incoer.	incoer.
 % de Desvio 	0%	0%	0%	52%	34%	128%	54%	49%	42%	32%	incoer.	incoer.

O erro máximo encontrado foi de 128% para o mês de Junho e o mínimo de 0% para Janeiro, Fevereiro e Março, enquanto que para o período de 12 meses foi de 31%.

Os meses que ocorreram incoerências foram Novembro e Dezembro, visto a ausência de reciprocidade entre a vazão nula calculada ou medida.

Para séries curtas, no quadro 7 são mostrados os coeficientes que foram utilizados para a estimativa dos valores de vazões calculadas para o Método Racional no período compreendendo Maio de 2004 e Abril de 2005. Os boletins pluviométricos são da FEPAGRO em 2004 e do INMET em 2005 e os Hidrometeorológicos são do INMET tanto para 2004 quanto para 2005.

De posse dos dados, pelo Método Racional, obtiveram-se os resultados entre Maio de 2004 e Abril de 2005 de vazões do aterro da Caturrita, estes apresentados na Tabela 18:

O erro máximo encontrado foi de 81% para Junho, o mínimo de 0% de Janeiro a Abril, enquanto que para o período dos 12 meses observados foi de 76%.

Nos meses de Julho a Dezembro e Abril ocorreram incoerências de dados, pois a vazão calculada nula não teve reciprocidade nula também na vazão medida.

5.1.3. Estimativa da Vazão de Percolado Gerado utilizando-se o Método Suíço

No Quadro 8 são mostrados os coeficientes e parâmetros que foram utilizados para a estimativa das vazões de percolado utilizando o Método Suíço, com base em séries históricas longas de dados.

QUADRO 8 - Parâmetros e o respectivo modo de obtenção para o Método Suíço.

PARÂMETROS	MODO DE OBTENÇÃO
Precipitação (P)	Boletins Pluviométricos FEPAGRO (1970 – 2004).
Grau de Compactação (K)	$K = 0,25$, considerando aterro de fraca a fortemente compactado.
Área de contribuição para o balanço hídrico (A)	$A = 37429\text{m}^2$
Número de segundos em 1 mês (t)	$t = 2592000$ segundos
Vazão em m^3/dia (Q)	$Q = [(P \times A \times K) / t] \times 86,4$

Através da obtenção dos parâmetros do Quadro 8, obtiveram-se os resultados mensais da série histórica de vazões pelo Método Suíço aplicado ao Aterro da Caturrita, estes são apresentados na Tabela 20:

TABELA 20 – Estimativa da vazão de percolado através do Método Suíço utilizando séries históricas longas.

Mês	Precipitação Mensal (mm)	Vazão pelo Método Suíço (L/s)	Vazão pelo Método Suíço (m³/dia)
jan	145	0,5	45
fev	123	0,4	38
mar	142	0,5	44
abr	149	0,5	46
mai	120	0,4	37
jun	143	0,5	45
jul	148	0,5	46
ago	117	0,4	36
set	133	0,5	41
out	153	0,6	48
nov	127	0,5	40
dez	125	0,4	39

Confrontando-se a vazão real medida na calha Parshall com a vazão calculada utilizando o Método Suíço, verifica-se que o Método simplificado estimou um valor aproximado 13,0% superior a medição real no período observado.

Observa-se, diferentemente dos Métodos anteriores, que o Suíço distribui a vazão uniformemente durante o ano, não apresentando em nenhum momento valores nulos. Considerando o histórico de precipitações, a vazão média calculada foi de 42,2 m³/dia.

Na Tabela 21, pode-se constatar o número de vezes (em módulo) que o Método Suíço apresentou-se superior ou inferior à vazão real. Da mesma forma, é calculado o erro percentual (em módulo) em cada mês. Na ocorrência de alguma divisão por zero o valor abordado para o erro é considerado incoerente.

TABELA 21 – Percentual de erro para o Método Suíço para séries históricas longas.

Vazões (m³/dia)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Medida	0	0	0	59	49	32	47	78	68	36	78	2
Suíço	45	38	44	46	37	45	46	36	41	48	40	39
 N. vezes 	incoer.	incoer.	incoer.	1	1,3	1,4	1,0	2,1	1,6	1,3	2,0	16,9
 % de Desvio 	incoer.	incoer.	incoer.	21%	24%	41%	2%	53%	39%	33%	49%	1594%

O erro máximo encontrado foi de 1594% para o mês de Dezembro e o mínimo de 2% para Julho, enquanto que para o período de 12 meses foi de 13,0%.

Em alguns meses ocorreram incoerências de dados, visto que a vazão medida nula entre Janeiro e Março não teve reciprocidade nula na calculada.

Nas séries históricas curtas o Quadro 8 apresenta os coeficientes que foram utilizados para a estimativa dos valores de vazões calculadas no período compreendendo Maio de 2004 e Abril de 2005. Os boletins pluviométricos utilizados são da FEPAGRO em 2004 e do INMET em 2005.

Detendo os coeficientes foram calculados os resultados entre Maio de 2004 e Abril de 2005 de vazões do Aterro da Caturrita, estes apresentados na Tabela 22:

TABELA 22 – Estimativa da vazão de percolado através do Método Suíço utilizando séries Curtas.

Mês	Precipitação Mensal (mm)	Vazão pelo Método Suíço (L/s)	Vazão pelo Método Suíço (m³/dia)
jan	72	0,3	22
fev	38	0,1	12
mar	159	0,6	50
abr	216	0,8	67
mai	89	0,3	28
jun	68	0,2	21
jul	64	0,2	20
ago	67	0,2	21
set	79	0,3	25
out	83	0,3	26
nov	129	0,5	40
dez	73	0,3	23

Confrontando-se a vazão real medida na calha Parshall, com a vazão calculada utilizando o Método Suíço, verifica-se que o Método simplificado estimou um valor aproximado 21% inferior a medição real no período observado.

Como mostrado para séries longas, observa-se o Método Suíço distribuir a vazão uniformemente durante o ano, não apresentando em nenhum momento valores nulos para vazões, devido principalmente a ausência do parâmetro evapotranspiração em sua rotina de cálculo. Considerando o histórico de precipitações de 12 meses a vazão média calculada foi de 29,5 m³/dia.

Na Tabela 23, pode-se constatar número de vezes (em módulo) que o Método Suíço apresentou-se superior ou inferior à vazão medida. Da mesma forma, é

calculado o erro percentual (em módulo) em cada mês. Na ocorrência de alguma divisão por zero o valor abordado para o erro é considerado incoerente.

TABELA 23 – Percentual de erro para o Método Suíço utilizando séries históricas curtas.

Vazões (m ³ /dia)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Medida	0	0	0	59	49	32	47	78	68	36	78	2
Suíço	22	12	50	67	28	21	20	21	25	26	40	23
 N. vezes 	incoer.	incoer.	incoer.	1,1	1,8	1,5	2,4	3,7	2,8	1,4	1,9	9,9
 % de Desvio 	incoer.	incoer.	incoer.	15%	43%	33%	58%	73%	64%	27%	48%	888%

O erro máximo encontrado foi de 888% para Dezembro, o mínimo de 15% para Abril, enquanto que para o período dos 12 meses observados a média foi de 21%.

Nos meses de Janeiro a Março ocorreram incoerências de dados, pois a vazão medida nula não teve reciprocidade nula também na vazão calculada.

5.1.4. Comparações dos Resultados entre os Métodos do Balanço Hídrico, Racional e Suíço

A noção da quantidade de percolado gerado se torna importante a partir do momento que se necessita dimensionar sistemas de tratamento e disposição final de resíduos. Fundamentado nos fatores anteriores, métodos empíricos foram desenvolvidos para satisfazer as necessidades de dimensionamentos, conforme a disponibilidade de parâmetros.

No presente trabalho, utilizou-se de três métodos empíricos, são eles: os métodos do Balanço Hídrico, Racional e Suíço, assim sendo, fizeram-se comparações das vazões obtidas entre as séries longas e curtas para os históricos de dados.

Conforme os gráficos de avaliações de erros, utilizando os resultados dos três Métodos empíricos, inseriram-se os dados de vazão calculada, no eixo dos “x” e os da vazão medida através da calha Parshall no eixo dos “y”. Os gráficos de avaliações de erros são apresentados nas Figuras 17 e 18, respectivamente, para séries históricas longas e curtas de precipitação e evapotranspiração.

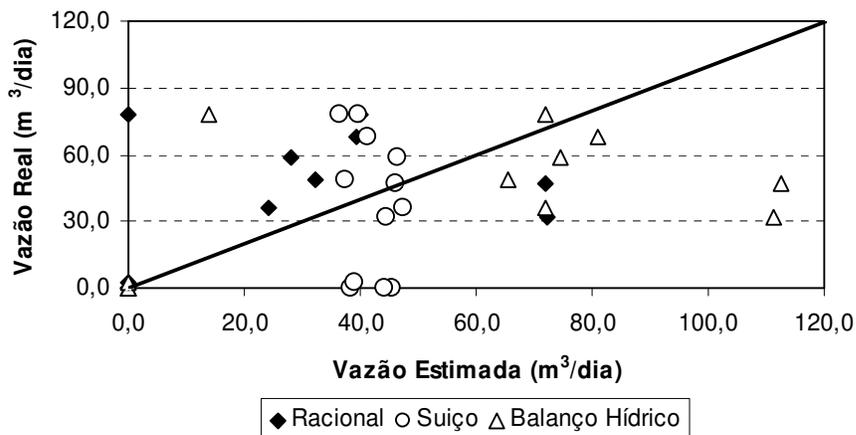


FIGURA 17 – Avaliação de erros dos Métodos do Balanço Hídrico, Racional e Suíço para séries históricas longas.

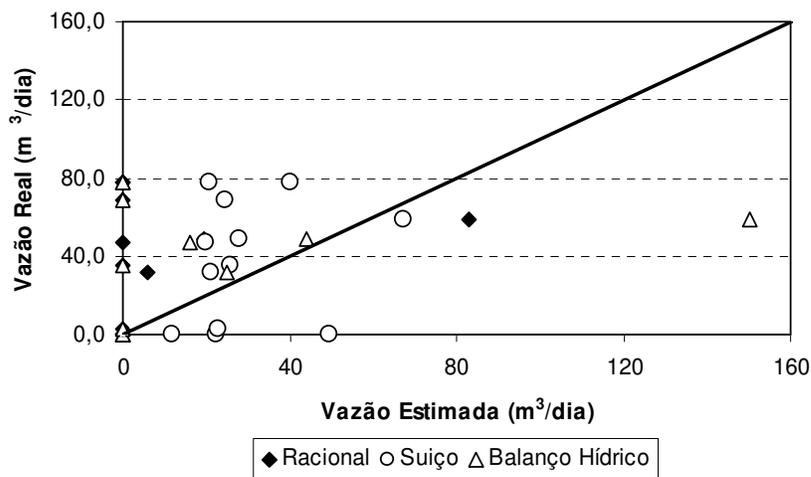


FIGURA 18 – Avaliação de erros dos Métodos do Balanço Hídrico, Racional e Suíço para séries históricas curtas.

Com o cálculo estimativo para séries históricas longas e curtas, chegou-se a Tabela 24, baseada nos gráficos das Figuras 17 e 18 de avaliação de erros, sintetizando a avaliação para ambas séries históricas de dados.

TABELA 24 – Resultado da avaliação quantitativa através dos Métodos empíricos para séries longas e curtas e a vazão real medida na calha.

MÊS	Método Racional (m ³ /dia)		Método Suiço (m ³ /dia)		Método Balanço Hídrico (m ³ /dia)		Medida na Calha (m ³ /dia)
	Longas	Curtas	Longas	Curtas	Longas	Curtas	Real
Jan	0	0	45	22	0	0	0
Fev	0	0	38	12	0	0	0
Mar	0	0	44	50	0	0	0
Abr	28	83	46	67	74	150	59
Mai	32	20	37	28	65	44	49
Jun	72	6	45	21	111	25	32
Jul	72	0	46	20	112	16	47
Ago	40	0	36	21	72	0	78
Set	39	0	41	25	81	0	68
Out	24	0	48	26	72	0	36
Nov	0	0	40	40	14	0	78
Dez	0	0	39	23	0	0	2
Média do Meses	26	9	42	30	50	20	37
Somatório Anual	308	109	506	354	602	235	448
R²	0,20	0,06	0,03	0,04	0,33	0,06	1,00
Erro Médio	-31%	-76%	13%	-21%	34%	-48%	0%
Erro Máximo	128%	81%	1594%	888%	252%	156%	-
Erro Mínimo	0%	0%	2%	15%	0%	0%	-

Os valores encontrados na Tabela 24 nas séries históricas longas são resultados dos melhores ajustes dos coeficientes de cada Método, baseados em características locais do aterro da Caturrita. De posse do melhor ajuste para séries históricas longas, foi possível à calibração e conseqüente utilização dos coeficientes para séries históricas curtas da Tabela 24, no caso entre Maio de 2004 e Abril de 2005.

Os valores negativos para os erros médios, indicam que a vazão calculada apresentou-se inferior a vazão real medida, enquanto que os valores positivos indicam que a vazão calculada apresentou-se superior a vazão real medida.

Nas Figuras 19 e 20, percebe-se a discrepância da estimativa dos Métodos empíricos para ambas as séries, quando agrupados graficamente.

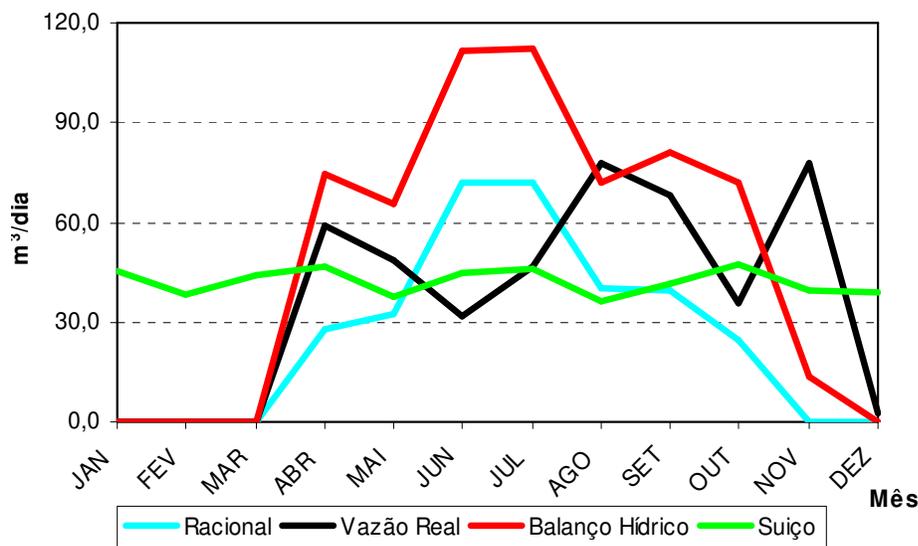


FIGURA 19 – Resultados dos Métodos empíricos e a Vazão Real para séries longas.

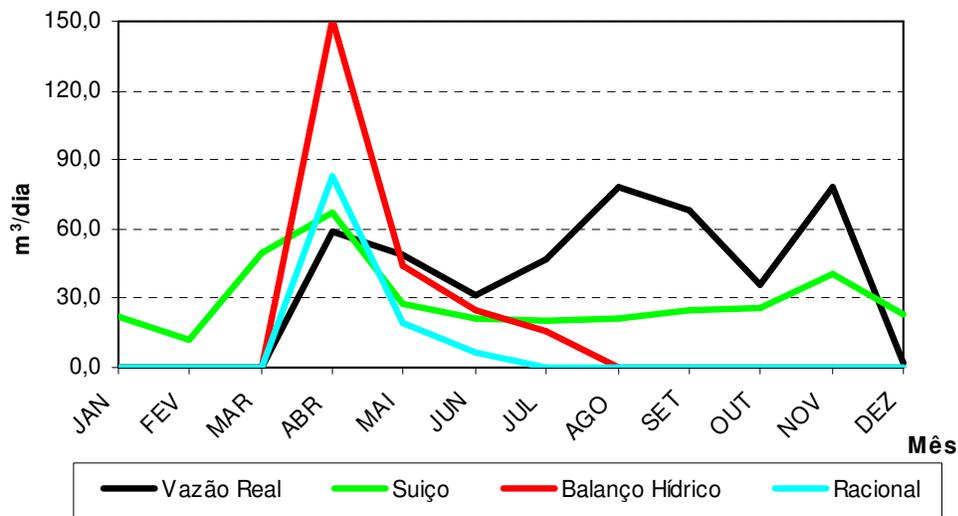


FIGURA 20 – Resultados dos Métodos empíricos e a Vazão Real para séries curtas.

Os erros médios para os Métodos do Racional, Suíço e Balanço Hídrico, foram respectivamente, 31%, 13% e 34%, considerando séries longas. O segundo e o terceiro acima da vazão real e o primeiro abaixo. Foram resultados melhorados em relação à pesquisa de Capelo Neto (1999) e com aproximações semelhantes a Castro (2001), Jucá (2003) e Lins (2003), conforme apresentado no Quadro 1 da revisão bibliográfica.

Para séries curtas, os erros médios calculados foram de 76%, 21% e 48%, respectivamente para os Métodos Racional, Suíço e Balanço Hídrico. Os três inferiores a vazão real medida. A explicação pode estar no fato dos Métodos não considerarem variáveis importantes como a capacidade de campo e a umidade dos resíduos, ou ainda, o grau de compactação, tomando-se os Métodos Racional e Balanço Hídrico.

Conforme os resultados, é importante expor que o trabalho de avaliação quantitativa do percolado gerado, apresenta consigo algumas limitações que podem ter influenciado na vazão real do sistema. Pode-se citar que:

- O aterro não apresenta impermeabilização lateral, isto é, parte da precipitação escapa dos limites da área e as lagoas não recebem em totalidade os líquidos percolados;
- Parcelas dos lixiviados são infiltradas no solo na base do aterro pela ausência de impermeabilização de fundo, seja por argila ou geomembrana;
- A calha Parshall foi instalada a Jusante do sistema de lagoas no ponto efluente. Para corresponder melhor a vazão real, a sua instalação deveria ocupar o ponto afluente, entretanto, a lagoa 01 recebia naquele período dois tributários de drenagem provenientes do aterro, segmentando as vazões;
- Para os meses de Dezembro de 2004 a Março de 2005 obteve-se vazão nula pela ausência ou insuficiência de percolação entre as lagoas. Neste período, a calha Parshall permaneceu sem a presença de lâmina de água. Este fato pode ser explicado pelo somatório dos efeitos de evaporação nas lagoas adicionado a possível existência de pontos de infiltração na manta, sendo estes superiores a vazão de entrada no sistema no ponto afluente. Em observações durante as coletas, verificava-se a presença de vazão afluente entrando na lagoa 01;
- O aterro de destinação final de resíduos encontra-se em operação, o que não é recomendável na aplicação de modelos que simulam geração de percolado.

5.2. Resultados Qualitativos do Percolado Gerado

O monitoramento qualitativo do percolado foi realizado no período de Agosto/2003 a Março/2005. A Tabela 25 apresenta a síntese dos resultados. Os elevados valores de pH (média de $7,9 \pm 0,14$) e relação DBO/DQO de $0,46 \pm 0,08$ observado no afluente do sistema de tratamento, sugerem que os processos de degradação do percolado no aterro encontram-se no fim da fase acidogênica e início da fase metanogênica. Apesar da variabilidade das concentrações das variáveis monitoradas, o pH sempre apresentou valores superiores a 7,0.

O resultado da eficiência na remoção de matéria orgânica pelo sistema de tratamento por Lagoas de Estabilização é apresentado na Figura 21. Observa-se uma variabilidade significativa no percentual de remoção de matéria orgânica. A eficiência média foi de 69% na remoção de DBO e 58% para a DQO, enquanto que os máximos e mínimos foram de 96% e 0,4% para a DBO e 98% e 2,7% para DQO, respectivamente. Essa variabilidade pode estar associada à precariedade operacional do aterro e, em especial, às mudanças realizadas no ao sistema de drenagem do percolado, que ocorreram ao longo do período de estudo.

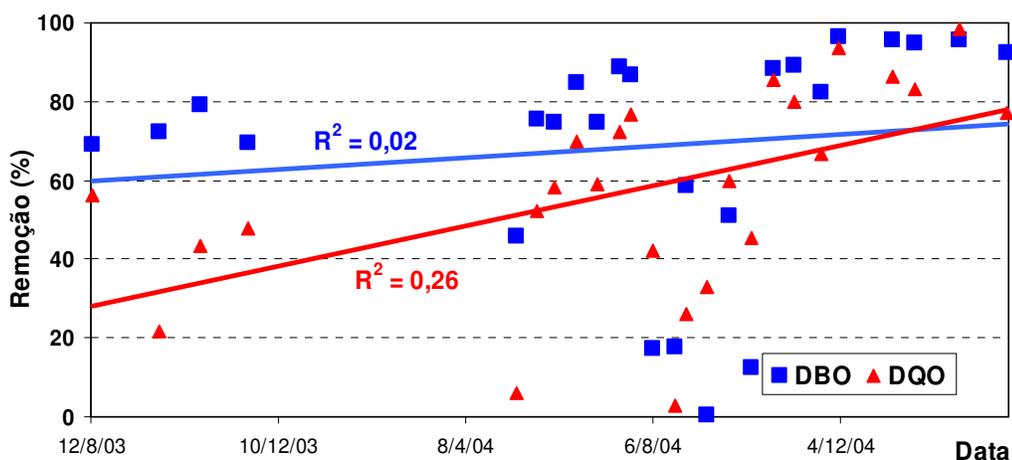


FIGURA 21 – Eficiência de remoção de DBO e DQO pelo sistema de lagoas de estabilização para o histórico de dados de coleta.

Contudo, excluindo o período atípico que compreende as datas de coletas entre 06/08/04 e 08/10/04, devido à ligação de novas células de resíduos ao sistema de drenagem, é possível melhorar o ajuste da linha de tendência, conforme apresentado na Figura 22. Com isso, a eficiência média seria de 82% na remoção de

DBO e 64% para a DQO, enquanto que os máximos e mínimos seriam de 96% e 46% para a DBO e 98% e 6% para DQO, respectivamente. O coeficiente de ajuste passaria de 0,02 para 0,47, otimizando em 23,5 vezes a qualidade do ajuste para a DBO, enquanto o coeficiente de DDO passaria de 0,26 para 0,54, melhorando em 2,07 vezes a qualidade do ajuste.

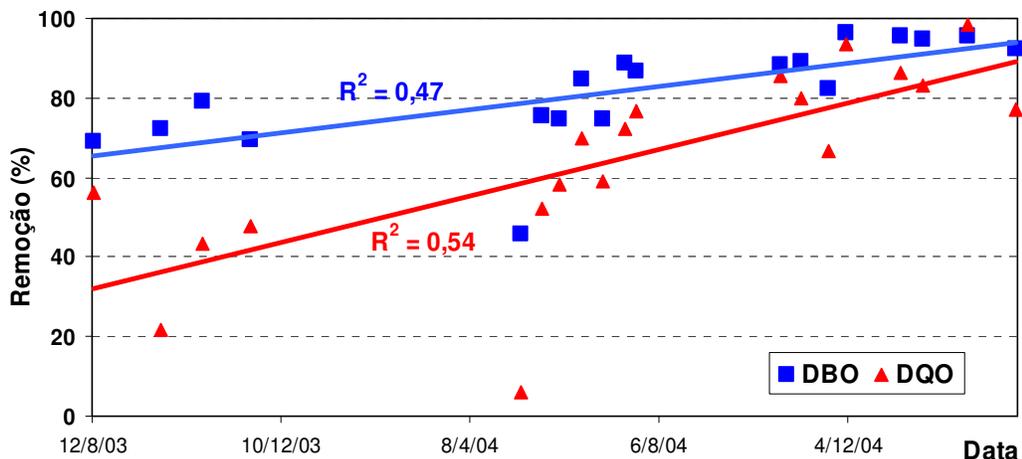


FIGURA 22 – Eficiência de remoção de DBO e DQO pelo sistema de lagoas de estabilização excluindo o período atípico para o histórico de dados de coleta.

As exclusões de algumas datas, demonstram o quanto é importante à qualidade de operação de um aterro sanitário. Basta se fazer uma ligação de uma nova célula ao sistema de drenagem para comprometer a eficiência do sistema de tratamento do percolado. O decréscimo da qualidade do efluente final é visível, elevando as concentrações de DBO e DQO emitidas ao Arroio Ferreira.

TABELA 25 – Síntese dos resultados do monitoramento qualitativo para a média de concentrações, desvio padrão, máximos e mínimos.

Parâmetro	Unidade	Ponto	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
DBO	mg/L	Afluyente	2202	1642	353	5610
		Efluente	390	233	153	1088
		Montante	8	17	0,5	83
		Jusante	73	72	0,8	227
DQO	mg/L	Afluyente	4569	2955	1746	13130
		Efluente	1403	532	112	2883
		Montante	19	27	1,6	115
		Jusante	210	175	4,2	667
pH	-	Afluyente	7,9	0,3	7,1	8,4
		Efluente	8,4	0,6	7,7	9,9
		Montante	7,0	0,4	6,1	7,7
		Jusante	7,6	0,5	7,0	8,3
Turbidez	NTU	Afluyente	291	126	95	539
		Efluente	160	77	39	348
		Montante	96	126	21	522
		Jusante	114	121	21	502
Oxigênio Dissolvido	mg/L	Afluyente	1,0	1,5	0,0	5,5
		Efluente	2,2	1,5	0,2	5,6
		Montante	7,2	1,7	4,3	11,1
		Jusante	5,5	1,9	1,6	9,9
Condutividade Elétrica	µS/cm	Afluyente	11669	4606	4710	19420
		Efluente	5687	1845	2050	11610
		Montante	50	31	23	163
		Jusante	865	860	49	2970
Sólidos Totais	mg/L	Afluyente	6488	3881	6	17300
		Efluente	3186	821	143	4255
		Montante	239	303	71	1204
		Jusante	719	461	87	1676
Sólidos Suspensos	mg/L	Afluyente	218	194	21	790
		Efluente	90	57	17	227
		Montante	118	181	9	576
		Jusante	165	239	11	838

Nas Figuras 23 e 24 apresentam-se as situações do lançamento do Efluente do sistema de tratamento do percolado frente à Portaria SSMA N. 05/89. Verifica-se que em 92% das ocorrências, o Efluente apresentou valores de DBO acima do limite máximo de 200 mg/L. Situação semelhante é observada para o parâmetro DQO, que apresenta um limite máximo de 450 mg/L. O impacto deste lançamento promove a degradação significativa do corpo hídrico receptor (Arroio Ferreira), alterando bruscamente a concentração de DBO de 8 mg/L a montante para 73mg/L a jusante, e DQO de 19 mg/L a montante para 210 mg/L a jusante, considerando valores médios.

Considerando que os corpos hídricos da bacia hidrográfica da área em estudo não foram submetidos ao processo de enquadramento, considera-se que os mesmos devam atender aos requisitos de qualidade da classe 2 (Brasil, 2005). Verifica-se que o corpo hídrico já apresenta uma situação desfavorável em relação a DBO e DQO e o lançamento promove uma degradação total do mesmo. Apesar do oxigênio dissolvido, a jusante do ponto de lançamento, apresentar um valor médio relativamente elevado ($5,5 \pm 0,9$ mg/L), acredita-se que este valor decresça rapidamente ao longo do percurso do corpo hídrico pela intensificação dos processos de estabilização da matéria orgânica, podendo chegar a uma condição de anaerobiose.

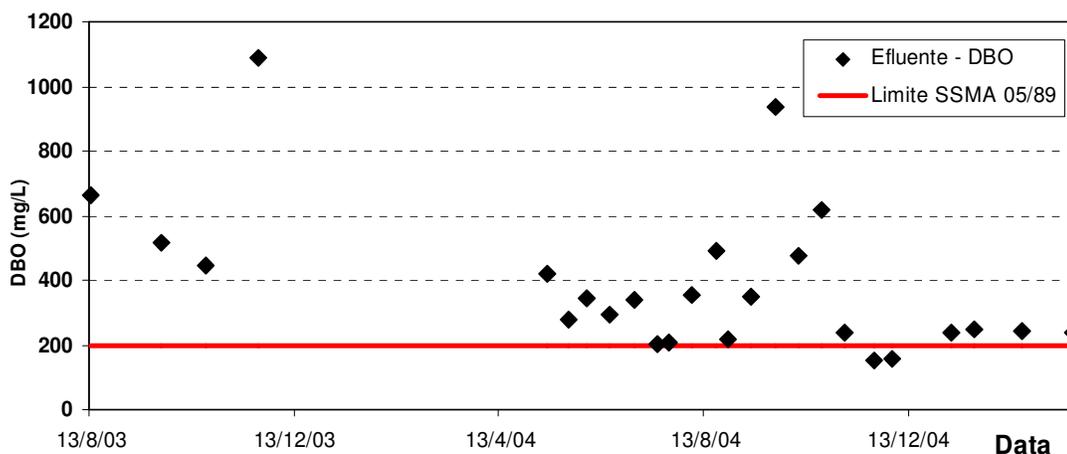


FIGURA 23 – DBO do ponto Efluente e o padrão de lançamento SSMA 05/89.

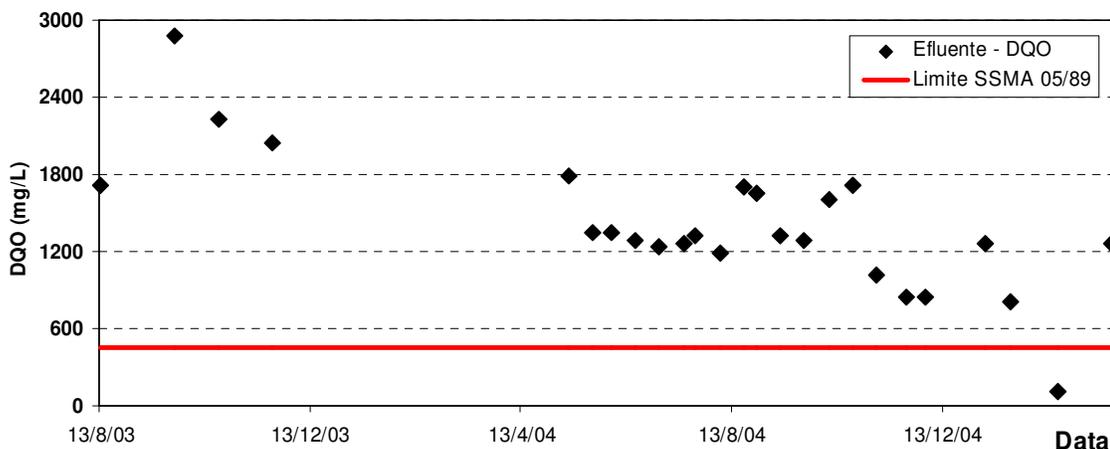


FIGURA 24 – DQO do ponto Efluente e o padrão de lançamento SSMA 05/89.

Após o relato e apresentação dos resultados, ressalta-se que a avaliação qualitativa apresentou dificuldades inerentes às atividades de campo, podendo destacar:

- A pequena lâmina de água restante nas lagoas, devido ao período de estiagem determinou a ausência de circulação de lixiviados entre o sistema de lagoas de estabilização e a calha Parshall para os meses de Dezembro de 2004 a Março de 2005. A alternativa que se adotou, foi à coleta da amostra do efluente dentro da lagoa de polimento, ao invés da coleta na calha Parshall, por motivo da ausência de vazão de circulação entre as lagoas.
- A mistura entre os resíduos mais antigos em processo de degradação mais avançado, com os resíduos novos, pode ter contribuído na elevação da média de concentração de efluentes líquidos. Esta situação pode ter determinado na oscilação na concentração dos parâmetros, ora com valores mais elevados, ora com valores mais reduzidos, principalmente para a DBO e DQO.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusões

O presente trabalho objetivou avaliar a quantidade e a qualidade do percolado gerado no aterro controlado da Caturrita em Santa Maria – RS.

Para analisar a quantidade de percolado, foram utilizados métodos empíricos (Balanço Hídrico, Racional e Suíço) para gerar estimativas que correspondessem à realidade mais próxima apresentada no local, com aferições realizadas por medições reais de vazão.

Na avaliação qualitativa, procurou-se verificar o grau de degradação dos resíduos, padrões de lançamento de efluentes previstos na legislação e a eficiência de remoção dos poluentes pelas lagoas, baseados sobretudo nas concentrações de DBO e DQO. Para tanto, foram monitoradas as características do percolado gerado através de amostras de água de 4 pontos.

Estes fatores relevantes à qualidade e quantidade do percolado gerado, motivaram o desenvolvimento do trabalho, abordando os seguintes aspectos conclusivos:

- O Método empírico que mais se aproximou da vazão real do aterro da Caturrita foi o Suíço, considerando a série histórica longa de dados de precipitação de 34 anos e de evapotranspiração de 29 anos, com erro médio de 13% acima da vazão real. Para o período compreendido entre Maio de 2004 e Abril de 2005 de séries curtas também o Método Suíço foi o que conseguiu o melhor ajuste com erro percentual médio de 21% abaixo da vazão real. Entretanto o Método Suíço distribui uniformemente suas vazões durante o ano, com isso não se aproxima das curvas de tendências da medida real, prejudicando a qualidade da simulação mês a mês;
- Para vazões mensais o Método Suíço sempre irá estimar geração de percolado, visto que desconsidera importantes variáveis como a evapotranspiração;
- O Método do Balanço Hídrico mostrou-se apto para utilização em dimensionamentos de sistemas de tratamento de efluentes, pois apresentou erro médio calculado em 34% acima do real e se mostrando suscetível às

tendências mensais da vazão medida de efluentes para a série histórica. Em caso de instalação de lagoas de tratamento superestimaria o volume e a área útil, tratando o percolado com maior eficácia do que um sistema subdimensionado por aplicação inadequada de Método. A opção pelo superdimensionamento estaria vinculado a maior demanda de recursos financeiros e técnicos assim como disponibilidade de área útil para instalação;

- O ponto de Montante ao Arroio Ferreira, eventualmente, apresenta indícios fracos de contaminação. Quando ocorrem chuvas há uma elevação nos sólidos e na concentração de DBO e DQO, podendo atingir níveis de concentrações superiores a 80 mg/L para a DBO e 115 mg/L para DQO;
- É relevante a diferença entre os aterros sanitários na fase metanogênica que apresentam baixa relação DBO/DQO, com valores inferiores a 0,1 e o aterro da Caturrita em Santa Maria igual a $0,46 \pm 0,08$, evidenciando o que ainda é possível degradar de matéria orgânica. Isto ocorre justamente pelo fato do recebimento diário de aproximadamente 150 toneladas de resíduos, dificultando os processos de estabilização orgânica da massa de resíduos;
- Os resultados da relação DBO/DQO igual a $0,46 \pm 0,08$ (ponto de pior situação) identificam uma similaridade das características da concentração do percolado do aterro da Caturrita com os depósitos de resíduos da pesquisa de Germano *et alii* (2002), que encontrou para esta mesma relação valores entre 0,10 e 0,52. Isto ocorre porque em geral estes depósitos de resíduos são carentes de técnicas de engenharia eficientes, resultando em maiores concentrações de conteúdos orgânicos e inorgânicos. Já nos Aterros Sanitários estudados por Kjeldsen (2002), em países com maiores preocupações ambientais foram encontrados valores entre 0,11 e 0,02 para a relação DBO/DQO;
- Os processos de degradação do percolado no aterro da Caturrita encontram-se no fim da fase acidogênica final, visto que o valor da relação DBO/DQO é de $0,46 \pm 0,08$, bastante próximo a 0,40 (limite entre a acidogênese e a metanogênese, referenciado por Kjeldsen, 2002) e também pelo fato do pH mostrar-se em média igual a $7,9 \pm 0,14$ (ponto afluente) fora da faixa de acidez e dentro da faixa metanogênica (faixa de acidez $\text{pH} < 6,0$);

- O aterro da caturrita se encontra na fase de transição entre metanogênica e acidogênica, não estando dentro dos limites considerados da metanogênese pelo fato de haver mistura entre o lixo novo e o velho. Os resíduos antigos elevam a concentração de matéria orgânica presente no lixo, aumentando, assim, o valor da razão DBO/DQO;
- As características de DBO e DQO para o ponto considerado afluente são encontradas com facilidade em qualquer aterro de Resíduos Sólidos Urbanos que estejam no mesmo estágio de degradação da Matéria Orgânica que se encontra o aterro da Caturrita. Já o ponto denominado efluente é típico de operação mal executada em aterros (concentrações médias de DBO e DQO de 390 ± 91 mg/L e 1403 ± 209 mg/L, respectivamente), com sistema de lagoas aquém da eficiência necessária para devolver os líquidos dentro do padrão aceitável para lançamento de Efluentes de DBO < 200mg/L, estabelecidos pela Portaria 5/89 do SSMA/RS com ausência de efeitos danosos ao meio ambiente e a mananciais envolvidos;
- A cobertura mal executada ou inexistente, também pode ter interferido na qualidade do percolado gerado, juntamente com a previsão das vazões pelos Métodos simplificados. Fatores de operação do aterro como ligação de novas células aos drenos de percolado podem ter contribuído na oscilação da DBO e DQO para o ponto Afluente, encontrando-se desde máximos de 5610 mg/L e 13130 mg/L a mínimos de 353 mg/L e 1746 mg/L, respectivamente, semelhante ao relatado por Fiúza (2000);
- A eficiência média do sistema de lagoas de tratamento ficou em 69% na remoção da DBO e 58% para DQO, o que é insuficiente, uma vez que a média de concentração do local é de 390 ± 91 mg/L (ponto efluente) para a primeira e 1403 ± 209 mg/L (ponto efluente) para a segunda, sendo que para atender a Portaria 5/89 SSMA-RS seria necessário uma concentração inferior a 200 mg/L para DBO e 450 mg/L para a DQO. Uma maneira de concretizar esta possibilidade consistiria em aumentar a área e o volume úteis com maior número de lagoas, implantar um sistema de aeração mecânica e adição química, dentre outros.
- O balanço hídrico para Santa Maria – RS não apresenta déficit hídrico para séries históricas, independentemente do mês avaliado, contudo, isto é

possível apenas se não analisarmos os eventos meteorológicos por probabilidades de ocorrência, onde certamente verifica-se em algumas situações deficiência hídrica, bem como verificado na série analisada entre Maio de 2004 e Abril de 2005.

6.2. Recomendações

Conforme os estudos e observações durante a pesquisa recomenda-se:

- Um Método viável para se reduzir às concentrações efluentes consistiria em realizar atividades diárias de cobertura dos resíduos com material argiloso. Em aterros bem operados encontram-se relações discretas entre o volume de precipitações e as concentrações de poluentes, confirmado em estudos de Fiúza *et alii* (2000);
- A instalação de um medidor automático de vazão na calha Parshall, a fim de minimizar erros e obter um histórico de dados maior e confiável;
- A instalação de uma calha Parshall no leito do Arroio Ferreira a fim de possibilitar a medição de vazões do rio e, conseqüentemente, avaliação das águas quanto à carga poluidora originada das concentrações efluentes as lagoas do aterro;
- Encerradas as atividades de disposição final de resíduos, testar modelos matemáticos computacionais complexos, baseados no Método do balanço hídrico para estimativa de vazões;
- Realizar o estudo do balanço hídrico no aterro da Caturrita, possuindo como base de dados eventos de precipitação e evapotranspiração por probabilidades de ocorrência, conforme séries históricas anteriores;
- Realizar o estudo do grau de compactação dos resíduos, coeficiente de escoamento do aterro, capacidade de campo do material de cobertura para aperfeiçoar as simulações;
- Estudar o perfil do oxigênio dissolvido no Arroio Ferreira, a jusante do ponto de lançamento de efluentes, principalmente quanto aos processos de estabilização da matéria orgânica presentes na água.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA; AWWA ; WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20 ed. Washington (EUA): Joint Editorial, 1998.

BRASIL. MINISTÉRIO DO INTERIOR. Diretrizes Nacionais de Limpeza Urbana: 1ª Fase – Formulação do Programa. Rio de Janeiro: Sema/CNDU/Abes, 1983.

_____. Resolução CONAMA Nº 357/2005. 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. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 08 mar., Seção 1. Brasília, 2005.

BRITO, E. do N. & MOREIRA, I. V. D. (Orgs) *Legislação Ambiental Básica*. Rio de Janeiro: Fundação Estadual de Engenharia do Ambiente, 1992.

CAPELO NETO, J.; MOTA, S.; SILVA, F. J. A. Geração de Percolado em Aterro Sanitário no Semi-Árido Nordeste. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 160 – 167, 1999.

CIÊNCIA & MEIO AMBIENTE. Lixo Urbano. Janeiro/Junho de 1999.

DUTRA, D. A. **Uso dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Arroio Ferreira Santa Maria/RS**. 2001. 127f. Monografia (Trabalho de Graduação A, apresentado ao Curso de Geografia, como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

EHRIG, H. J., *Cantidad y Contenidos de Lixiviados de Rellenos de Desechos Domésticos*, In: Proyecto CEPIS/GTZ Fortalecimiento Técnico de CEPIS, San José, Costa Rica, (1992).

EMBRAPA. Banco de Dados Climáticos do Brasil. Disponível em: <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/>>. Acesso em: 08 nov.2004.

FARQUHAR, G. J. Leachate: Production and Characterization. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Waterloo, Canadá, 1988.

FIÚZA, J. M. S. *et alii*. Monitoramento do Chorume do Aterro Centro de Salvador. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais...**, Porto Alegre, 3 a 8 Dezembro de 2000.

FNS .- FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – MINISTÉRIO DA SAÚDE. 1999. Manual de Saneamento. 3ª edição. Brasília/DF.

FLECK, E. *et alii*. A Metodologia de Monitoramento Ambiental e Operacional dos Aterros Sanitários de Porto Alegre e Municípios Conveniados. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais...**, Porto Alegre, 3 a 8 Dezembro de 2000.

FEPAGRO FLORESTAS - RS. Fundação Estadual de Pesquisas Agropecuárias.

GARIGLIO, L. P. & MELO, G. C. B. de. Metodologia Racional para Monitoramento Ambiental de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais...**, Joinvile, 14 a 19 Setembro de 2003.

GERMANO, P. C. C. *et alii*. Relação DQO x DBO Em Sistema Aeróbio de Disposição de Resíduos Sólidos do Aterro Sanitário – Capão da Canoa / RS. In.: VI SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS – ABES – 22 a 25 de Setembro de 2002 – Gramado, RS

HERRERA, R. G.; CÁRDENAS, L. K.; CASTILLO, R. R. Basureros Activos. Simulación de La Lixiviación - El Caso de Mérida, México. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais...**, Porto Alegre, 3 a 8 Dezembro de 2000.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Quantidade diária de lixo coletado, por unidade de destino final do lixo coletado, segundo as Grandes Regiões, Unidades da Federação, Regiões Metropolitanas e Municípios das Capitais-2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 12 out.2003.

_____ In: Coleta e Disposição Final do Lixo: Aterros, 1989. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/>>. Acesso em: 18 de mar. 2005.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Agrometeorologia - Balanço Hídrico. Disponível em: <http://reia.inmet.gov.br/agrometeorologia/agro_menu.php?opc=4>. Acesso em: 28 mar.2005.

JANG, Y. -S.; KIM, Y. -W.; LEE, S. -I. Hydraulic properties and leachate level analysis of Kimpo metropolitan landfill, Korea. (2001). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com> >. Acesso em: 13 Mar.2003.

JUCÁ, J. A. T. A Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil . In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL – REGEO'2003. Porto Alegre/RS, 2003.

KJELDEN, P. *et alii*. Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, (2002). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com> >. Acesso em: 8 Set. 2003.

LECHNER, P. Water Balance and Leachate Quantity. In: Curso Internacional sobre Diseño y Disposición Final de Resíduos Sólidos (Rellenos Sanitarios), (1994). Disponível em: <<http://www.resol.com.br>>. Acesso em: 5 Set. 2003.

LEDESMA, M. T. O. *et alii*. Método de Balance de Água para La Estimación de La Generación de Lixiviados en Rellenos Sanitarios. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais...**, Porto Alegre, 3 a 8 Dezembro de 2000.

LINS, E. A. M. **A Utilização da Capacidade de Campo na Estimativa do Percolado Gerado no Aterro da Muribeca**. 2003. 142f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Dezembro de 2003.

_____ & JUCÁ, J. A. T. A Utilização de Métodos Empíricos para a Estimativa do Percolado Gerado no aterro da Muribeca. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais...**, Joinville, 14 a 19 Setembro de 2003.

LOPES, W. S.; LEITE, V. D.; PRASAD, S. Avaliação dos Impactos Ambientais Causados por Lixões: Um Estudo de Caso. In: XXVII CONGRESSO

INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais...**, Porto Alegre, 3 a 8 Dezembro de 2000.

OLIVEIRA, S. de & PASQUAL, A. Monitoramento do Lixiviado de Aterro Sanitário. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais...**, Porto Alegre, 3 a 8 Dezembro de 2000.

PESSIN, N. *et alii*. Avaliação do Processo de Degradação dos Resíduos Sólidos Dispostos em Duas Células-Piloto de Aterramento. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais...**, Joinville, 14 a 19 Setembro de 2003.

PINHEIRO, R. J. B. *et alii*. A importância da geologia nos problemas geotécnicos na região de Santa Maria, Rio Grande do Sul. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. **Anais...**, Ouro Preto, 25 a 28 de Agosto de 2002.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA. Projeto Executivo de Aterro Controlado para Resíduos Sólidos Domésticos – Elaborado por PRT – Prestação de Serviços Ltda, Janeiro de 2003.

ROBAINA, L. E. S. *et alii*. Áreas para Instalação de Aterro Sanitário – Santa Maria - RS. Projeto encomendado para a Prefeitura Municipal de Santa Maria, Agosto de 2001.

ROBAINA, L. E. S., OLIVEIRA, E. L. A., PIRES, C. A. F. Estudo para Instalação de um Aterro Sanitário no Município de Santa Maria – RS. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. **Anais...**, Ouro Preto, 25 a 28 de Agosto de 2002.

SCHNEIDER, I. A. H.; NAIME, R.; CAUDURO, F. Qualidade das Águas em uma Antiga Área de Recebimento de Resíduos Sólidos Urbanos de Passo Fundo – RS. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais...**, Porto Alegre, 3 a 8 Dezembro de 2000.

Secretaria da Saúde e Meio Ambiente do Estado do R.S.- Governo do Estado do Rio Grande do Sul, **Portaria** 05/89 – Norma Técnica 01/89 - SSMA, 1989.

SEGATO, L. M. & SILVA, C. L. Caracterização do Chorume do Aterro Sanitário de Bauru. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais...**, Porto Alegre, 3 a 8 Dezembro de 2000.

SILVA, J. A. da. **Análise da Qualidade da Coleta e Disposição Final dos Resíduos Sólidos Domiciliares da Cidade de Ivaiporã – Estado do Paraná.** 2000. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

SISINO, C. L. S. & OLIVEIRA, R. M. de. Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde. Uma visão multidisciplinar. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2000, p.72.

TOPOGRAPHIA & PLANEJAMENTO RURAL S/C LTDA. Levantamento Topográfico Plani-Altimétrico do Aterro da Caturrita, elaborado para a Prefeitura Municipal de Santa Maria/RS – 1999.

YUEN, S. T. S. **Bioreactor Landfills Promoted By Leachate Recirculation: A Full-Scale Study.** 1999. 329f. Tese (Doutorado em Pesquisas de Aterros Sanitários) – Universidade de Melbourne, Melbourne, Austrália, 1999. Disponível em: <<http://www.civag.unimelb.edu.au/~syu/>>. Acesso em: 13 Mar.2003.

_____ *et alii.* The Role of Water in Landfills a Full-Scale Hydrological Study. In: AWWA 17 TH FEDERAL CONVENTION. Melbourne, Austrália, Março de 1997. Disponível em: <<http://www.civag.unimelb.edu.au/~syu/>>. Acesso em: 13 Mar.2003.

ANEXOS

$\Sigma_{neg} (I-EP)$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
460	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
470	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
480	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
490	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
500	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
510	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
520	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
530	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
540	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
550	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
560	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
570	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
580	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
590	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
600	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
610	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
620	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
630	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: Rocca (1981) *apud* Lins (2003).

ANEXO B

QUADRO 10 – Resultados dos parâmetros de qualidade da água analisados na pesquisa

Parâmetro	Data	13/8/2003	25/9/2003	21/10/2003	21/11/2003	11/5/2004
	Pontos					
DBO (mg/L)	Montante Arroio	6,61	1,51	2,81	0,73	1,52
	Jusante Arroio	181,54	97,58	33,27	208,89	178,05
	Efluente Lagoas	665,63	518,18	445,83	1088,22	421,29
	Afluente Lagoas	2157,58	1860,87	2139,13	3559,84	779,05
DQO (mg/L)	Montante Arroio	11,88	8,37	13,06	5,52	11,66
	Jusante Arroio	397,48	380,41	78,37	281,38	666,66
	Efluente Lagoas	1709,91	2883,4	2233,47	2041,38	1783
	Afluente Lagoas	3899,81	3673,82	3947,76	3917,24	1900
pH	Montante Arroio	6,73	7,07	6,99	7,17	6,06
	Jusante Arroio	8,22	8,13	7,22	8,17	8,03
	Efluente Lagoas	8,27	8,2	7,88	8,15	8,03
	Afluente Lagoas	7,79	7,78	8,05	7,49	7,45
Turbidez (NTU)	Montante Arroio	102,14	42,3	82,53	43,45	70,13
	Jusante Arroio	110,82	66,9	73,78	121,72	116,94
	Efluente Lagoas	221,88	137,27	276,49	130,02	109,32
	Afluente Lagoas	420,59	341,73	94,64	232,04	431,67
Condutividade (µS/cm)	Montante Arroio	50	54,9	61,9	36,2	36,6
	Jusante Arroio	1878	2040	373	2970	2180
	Efluente Lagoas	7030	7260	6630	6070	5660
	Afluente Lagoas	12430	12780	10310	6260	5210
Sólidos Totais (mg/L)	Montante Arroio	-	-	-	-	151
	Jusante Arroio	-	-	-	-	1676
	Efluente Lagoas	-	-	-	-	4255
	Afluente Lagoas	-	-	-	-	3608
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	Montante Arroio	50	55	62	36,2	90,8
	Jusante Arroio	1880	2040	373	2970	1609
	Efluente Lagoas	7030	7260	6630	6070	4128
	Afluente Lagoas	12430	12780	10310	6260	3461
Sólidos Suspensos (mg/L)	Montante Arroio	-	-	-	-	60,23
	Jusante Arroio	-	-	-	-	67
	Efluente Lagoas	-	-	-	-	127
	Afluente Lagoas	-	-	-	-	146,67
OD (mg/L)	Montante Arroio	-	-	-	-	7,1
	Jusante Arroio	-	-	-	-	3,27
	Efluente Lagoas	-	-	-	-	0,51
	Afluente Lagoas	-	-	-	-	0,64
Temperatura da água (°C)	Montante Arroio	-	-	-	-	18,1
	Jusante Arroio	-	-	-	-	17,9
	Efluente Lagoas	-	-	-	-	20,4
	Afluente Lagoas	-	-	-	-	23,3
Temperatura do ar (°C)	Montante Arroio	-	-	-	-	21,6
	Jusante Arroio	-	-	-	-	22,2
	Efluente Lagoas	-	-	-	-	22
	Afluente Lagoas	-	-	-	-	23,2

Parâmetro	Data	24/5/2004	4/6/2004	18/6/2004	2/7/2004	16/7/2004
	Pontos					
DBO (mg/L)	Montante Arroio	0,76	1,91	1,55	2,39	1,51
	Jusante Arroio	91,735	79,885	64,78	75,185	64,675
	Efluente Lagoas	276,47	343,035	292,69	339,195	202,85
	Afluente Lagoas	1124,64	1349,005	1927,64	1334,54	1823,915
DQO (mg/L)	Montante Arroio	1,626	6,48	15,56	13,58	6,03
	Jusante Arroio	292,68	323,89	326,85	264,15	286,79
	Efluente Lagoas	1349,59	1344,13	1291,83	1237,73	1267
	Afluente Lagoas	2829,27	3206,48	4264,59	3018,87	4589
pH	Montante Arroio	7,34	7,03	6,27	-	-
	Jusante Arroio	8,33	8,17	8	-	-
	Efluente Lagoas	8,49	8,31	7,65	-	-
	Afluente Lagoas	7,9	7,84	8,18	-	-
Turbidez (NTU)	Montante Arroio	62,2	54,27	121,76	66,71	96,41
	Jusante Arroio	80,86	87,08	98,92	60,96	102,76
	Efluente Lagoas	133,32	143,94	348,13	82,73	120,89
	Afluente Lagoas	353,25	369,31	111,66	273,14	394,78
Condutividade (μ S/cm)	Montante Arroio	43,2	39	23	27,2	28,8
	Jusante Arroio	1483	1377	1256	952	1215
	Efluente Lagoas	4880	5820	11610	5200	4500
	Afluente Lagoas	9600	10250	5620	10500	10800
Sólidos Totais (mg/L)	Montante Arroio	79	146,4	107,6	288,8	119,2
	Jusante Arroio	1068	981,6	913,2	735,2	882,4
	Efluente Lagoas	3605	3819,2	3641,6	3210,8	3096,8
	Afluente Lagoas	5,787	6632	5731,6	6268,4	7068,8
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	Montante Arroio	62,8	130,8	5,2	130,8	67,6
	Jusante Arroio	1027,33	936,4	861,2	690	833,6
	Efluente Lagoas	3553	3707,2	3551,6	3142,8	3041,8
	Afluente Lagoas	5659,66	6475,33	5556,1	6118,4	6804
Sólidos Suspensos (mg/L)	Montante Arroio	16,2	15,6	102,4	158	51,6
	Jusante Arroio	40,67	45,2	52	45,2	48,8
	Efluente Lagoas	52	112	90	68	55
	Afluente Lagoas	127,34	156,67	175,5	150	264
OD (mg/L)	Montante Arroio	7,78	6,4	5,99	-	9,21
	Jusante Arroio	4,26	1,55	4,41	-	-
	Efluente Lagoas	2,4	1,36	1,86	-	-
	Afluente Lagoas	1,01	0,23	0,66	-	-
Temperatura da água (°C)	Montante Arroio	16,7	20,6	17,6	23	15
	Jusante Arroio	16,6	17,1	18	23	17
	Efluente Lagoas	16,4	20,5	19	26	16
	Afluente Lagoas	19,7	22,5	21,3	25	20
Temperatura do ar (°C)	Montante Arroio	16,5	23,4	21,8	-	17
	Jusante Arroio	16,7	21,7	21,8	-	17
	Efluente Lagoas	16,7	23,6	21,8	-	17
	Afluente Lagoas	24,7	23,4	21,8	-	17

Parâmetro	Data	23/7/2004	6/8/2004	20/8/2004	27/8/2004	10/9/2004
	Pontos					
DBO (mg/L)	Montante Arroio	1,17	4,635	0,89	1,11	4,25
	Jusante Arroio	3,49	7,21	146,09	30,535	21,07
	Efluente Lagoas	205,7	356,2	493,59	219,81	351,71
	Afluente Lagoas	1550	430,435	598,61	532,87	352,96
DQO (mg/L)	Montante Arroio	10,16	56,68	14,29	6,3	48,86
	Jusante Arroio	22,03	74,49	349,21	86,61	102,29
	Efluente Lagoas	1322	1182,19	1698,41	1653,53	1328,24
	Afluente Lagoas	5627	2040,49	1746,03	2236,22	1984,73
pH	Montante Arroio	-	-	6,72	6,67	6,61
	Jusante Arroio	-	-	7,61	7,486	7,51
	Efluente Lagoas	-	-	7,93	8,33	8,34
	Afluente Lagoas	-	-	7,9	8,22	8,17
Turbidez (NTU)	Montante Arroio	41,21	-	74,33	41,67	445,8
	Jusante Arroio	46,49	-	94,85	42,14	379,7
	Efluente Lagoas	191,23	-	150,41	73,08	102,3
	Afluente Lagoas	323,8	-	148,8	142,32	378,1
Condutividade (μ S/cm)	Montante Arroio	38,4	-	30,4	39	40
	Jusante Arroio	129,9	-	1142	384	337
	Efluente Lagoas	4560	-	5870	5840	5510
	Afluente Lagoas	13570	-	5160	11470	9340
Sólidos Totais (mg/L)	Montante Arroio	82,4	1204	122,8	71	615
	Jusante Arroio	141,2	1002	780,8	230	611,6
	Efluente Lagoas	3428,4	3276,4	3393,2	3394	3300
	Afluente Lagoas	9687,2	4349,2	3276,8	5395	5193,6
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	Montante Arroio	64	628	93,8	51,4	88
	Jusante Arroio	119,6	164	725,8	210	289,6
	Efluente Lagoas	3201,7	3074,4	3299,2	3290	3267
	Afluente Lagoas	9574,8	4123,2	3172,8	5347	4627,77
Sólidos Suspensos (mg/L)	Montante Arroio	18,4	576	29	19,6	527
	Jusante Arroio	21,6	838	55	20	322
	Efluente Lagoas	226,7	202	94	104	33
	Afluente Lagoas	112,4	226	104	48	565,83
OD (mg/L)	Montante Arroio	6,4	-	8	8,8	8,94
	Jusante Arroio	5,7	-	7,46	4,37	9,89
	Efluente Lagoas	1,48	-	1,84	2,47	1,32
	Afluente Lagoas	0,95	-	1,07	5,54	4,38
Temperatura da água (°C)	Montante Arroio	15	-	18,1	19,3	15,5
	Jusante Arroio	14	-	18	19,9	15,6
	Efluente Lagoas	17	-	17,7	23,6	15,8
	Afluente Lagoas	21	-	18,9	16,6	17,1
Temperatura do ar (°C)	Montante Arroio	22	-	20	20,9	15,2
	Jusante Arroio	22	-	20	20,9	15,2
	Efluente Lagoas	22	-	20	20,9	15,2
	Afluente Lagoas	21	-	20	20,9	15,2

Parâmetro	Data	24/9/2004	8/10/2004	22/10/2004	5/11/2004	22/11/2004
	Pontos					
DBO (mg/L)	Montante Arroio	0,87	0,45	0,5	5,46	83,44
	Jusante Arroio	226,63	0,75	2,19	5,49	67,36
	Efluente Lagoas	937,44	473,50	615,81	239,88	153,15
	Afluente Lagoas	1912,19	541	5336,03	2174,31	874,7
DQO (mg/L)	Montante Arroio	11,94	7,27	2,79	77,03	115,05
	Jusante Arroio	388,06	8,73	11,15	172,97	99
	Efluente Lagoas	1283,58	1607	1714,19	1013,51	842,81
	Afluente Lagoas	3194,02	2938	11916,38	5054,05	2541,81
pH	Montante Arroio	7,018	7,04	6,96	7,412	-
	Jusante Arroio	8,295	6,97	7,05	7,232	-
	Efluente Lagoas	8,363	8,18	8,4	8,49	-
	Afluente Lagoas	7,665	8,07	7,1	8,022	-
Turbidez (NTU)	Montante Arroio	55,67	31,26	41,4	521,53	-
	Jusante Arroio	329	34,68	47,9	502,22	-
	Efluente Lagoas	167,9	160,34	176,6	109,13	-
	Afluente Lagoas	321,3	384,4	538,5	459,26	-
Condutividade (μ S/cm)	Montante Arroio	33,2	42,5	32,6	162,8	-
	Jusante Arroio	1537	65,5	76,5	165,5	-
	Efluente Lagoas	8680	6247	4840	2050	-
	Afluente Lagoas	4710	15350	15480	10380	-
Sólidos Totais (mg/L)	Montante Arroio	84,4	77,2	143,43	798	-
	Jusante Arroio	1208	87,2	145,62	905,2	-
	Efluente Lagoas	2842	3185	142,7	2809,6	-
	Afluente Lagoas	5220,4	7748	147,45	7195,6	-
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	Montante Arroio	67,2	67,2	33	380	-
	Jusante Arroio	889	75,8	76	319,2	-
	Efluente Lagoas	5048,4	3141	4840	2743,6	-
	Afluente Lagoas	2791	7661	15480	6725,6	-
Sólidos Suspensos (mg/L)	Montante Arroio	17,2	10	20,34	418	-
	Jusante Arroio	319	11,4	19,72	586	-
	Efluente Lagoas	51	95,18	22,67	66	-
	Afluente Lagoas	172	87	20,46	470	-
OD (mg/L)	Montante Arroio	11,1	7,58	7,38	7,1	4,3
	Jusante Arroio	4,85	7,34	6,12	6,73	3,1
	Efluente Lagoas	1,7	2,31	2,78	0,58	3,7
	Afluente Lagoas	0,8	1,25	0,05	0,27	0,1
Temperatura da água (°C)	Montante Arroio	16,8	22,1	23,3	19,9	22
	Jusante Arroio	17,6	21,1	23	19,9	21,4
	Efluente Lagoas	18,6	22,5	24,6	19,9	24,9
	Afluente Lagoas	21,6	24	23,7	21,8	20,5
Temperatura do ar (°C)	Montante Arroio	18,7	23,3	24	22	24,3
	Jusante Arroio	18,7	23,2	24	22	24,3
	Efluente Lagoas	18,7	23,3	24	22	24,3
	Afluente Lagoas	18,7	23,3	24	22	24,3

Parâmetro	Data	3/12/2004	7/1/2005	21/1/2005	18/2/2005	21/3/2005
	Pontos					
DBO (mg/L)	Montante Arroio	1,76	19,05	26,3	20,7	6,5
	Jusante Arroio	1,76	14,54	-	-	-
	Efluente Lagoas	156,11	236,34	248,3	243,5	237,2
	Afluente Lagoas	4204	5193,7	4588	5610,3	3097,87
DQO (mg/L)	Montante Arroio	4,04	10,04	4,1	7,8	11,21
	Jusante Arroio	4,23	8,37	-	-	-
	Efluente Lagoas	848,4	1255,5	808,2	112,2	1258,64
	Afluente Lagoas	13130	9290,7	4794,3	7024,3	5466,24
pH	Montante Arroio	6,97	6,88	7,66	7,45	7,12
	Jusante Arroio	6,97	6,93	7,66	7,45	7,12
	Efluente Lagoas	8,41	9,4	8,5	9,52	9,83
	Afluente Lagoas	7,48	7,97	8,19	8,07	8,39
Turbidez (NTU)	Montante Arroio	22,3	60,2	21,2	29,6	75,57
	Jusante Arroio	22,3	77	21,2	29,6	75,57
	Efluente Lagoas	38,5	315	87,4	236	170,43
	Afluente Lagoas	308	138	135,1	235	176,06
Condutividade (μ S/cm)	Montante Arroio	48,9	50,7	62,3	113	50,09
	Jusante Arroio	48,9	58,7	62,3	113	50,09
	Efluente Lagoas	4260	4190	4410	4460	5230
	Afluente Lagoas	19420	18950	13150	18470	19150
Sólidos Totais (mg/L)	Montante Arroio	132	-	86,4	86,5	147,2
	Jusante Arroio	132	-	-	-	-
	Efluente Lagoas	2814	-	3102	3502	3712,4
	Afluente Lagoas	17300	-	8013	10905,5	9524,8
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	Montante Arroio	1472	-	76,8	77,3	111,2
	Jusante Arroio	1472	-	-	-	-
	Efluente Lagoas	2796,8	-	3027	3360	3546,4
	Afluente Lagoas	16510,4	-	7710,5	10844,5	9440,8
Sólidos Suspensos (mg/L)	Montante Arroio	148	-	9,6	9,2	36
	Jusante Arroio	148	-	-	-	-
	Efluente Lagoas	17,2	-	75	61	166
	Afluente Lagoas	790	-	302,5	142	84
OD (mg/L)	Montante Arroio	6,48	4,3	6,3	5,8	6,98
	Jusante Arroio	6,48	5,15	6,3	5,8	6,98
	Efluente Lagoas	1,93	5,53	1,8	5,6	0,21
	Afluente Lagoas	0,1	1,18	0	0,4	0,16
Temperatura da água (°C)	Montante Arroio	22,8	27,2	34	24	23,4
	Jusante Arroio	22,8	26,7	34	24	23,4
	Efluente Lagoas	23,8	27,8	37,1	23,5	22,3
	Afluente Lagoas	26,7	28,7	34	27,7	24,8
Temperatura do ar (°C)	Montante Arroio	28	32	29	22,6	26,8
	Jusante Arroio	28	32	29	22,6	26,8
	Efluente Lagoas	28	32	29	22,6	26,8
	Afluente Lagoas	28	32	29	22,6	26,8