

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**MONITORAMENTO DE PARÂMETROS QUALITATIVOS E
QUANTITATIVOS DE LÍQUIDOS PERCOLADOS DE ATERROS
SANITÁRIOS – ESTUDO EM PILOTO EXPERIMENTAL**

GISELE DE SOUZA

FLORIANÓPOLIS – SANTA CATARINA
ABRIL DE 2005

GISELE DE SOUZA

**MONITORAMENTO DE PARÂMETROS QUALITATIVOS E
QUANTITATIVOS DE LÍQUIDOS PERCOLADOS DE ATERROS
SANITÁRIOS – ESTUDO EM PILOTO EXPERIMENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, nível de Mestrado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre.

Área de Concentração: Tecnologias de Saneamento Ambiental

Orientador: Profº Dr. Armando Borges de Castilhos Junior

FLORIANÓPOLIS – SANTA CATARINA

ABRIL DE 2005

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por mais essa conquista.

Ao Prof. Armando Borges de Castilhos Junior que me incentivou na realização deste trabalho, pela sua orientação e amizade.

Ao Prof. Davide Franco pela sua atenção e seu auxílio com as análises estatísticas.

Aos colegas do Laboratório de Resíduos sólidos (LARESO) e também do Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA), pela parceria, ajudas e brincadeiras nas horas mais difíceis.

A Ioana N. Firta pela amizade e incentivo na realização deste trabalho e ao Felipe G. Trennepohl pela amizade e pelo exaustivo trabalho de monitoramento do piloto.

Aos amigos do mestrado que vão ficar na minha memória para sempre (Jackeline, Tatiana, Walter, Paulo Cezar, Sebastian, Claudia...).

Aos meus pais, Faustino e Nivalda, ao meu irmão Fernando e em especial para o meu noivo Ricardo pelo companheirismo e amizade.

Ao CNPq pela bolsa concedida.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – Fases de Degradação dos Resíduos Sólidos.....	13
FIGURA 2.2 – Variação de Parâmetros.....	15
FIGURA 2.3 – Normas da ABNT sobre Resíduos.....	31
FIGURA 2.4 – Legislação Federal sobre Resíduos.....	31
FIGURA 3.1 – Fluxograma Metodológico.....	32
FIGURA 3.2 – Layout do Piloto Experimental.....	34
FIGURA 3.3 – Piloto Experimental.....	35
FIGURA 3.4 – Pluviômetro.....	38
FIGURA 3.5 – Evaporimetro.....	39
FIGURA 3.6 – Caixa Coletora de Líquidos Percolados.....	40
FIGURA 4.1 – Gráfico da DBO ₅ em Função do Tempo.....	47
FIGURA 4.2 – Gráfico da DQO em Função do Tempo.....	49
FIGURA 4.3 – Gráfico dos ST em Função do Tempo.....	50
FIGURA 4.4 – Gráfico da Condutividade em Função do Tempo.....	51
FIGURA 4.5 – Gráfico do pH em Função do Tempo.....	52
FIGURA 4.6 – Gráfico de DBO ₅ /DQO em Função do Tempo.....	53
FIGURA 4.7 – Gráfico da Precipitação Diária x Tempo.....	59
FIGURA 4.8 – Gráfico da Precipitações x Tempo.....	60
FIGURA 4.9 – Gráfico do Percolados. Diário x Tempo.....	61
FIGURA 4.10 – Gráfico dos Perc. x Tempo.....	62
FIGURA 4.11 – Gráfico da Precipitação. x Percolado. Diário.....	62
FIGURA 4.12 – Gráfico da Evaporação Diária x Tempo.....	63
FIGURA 4.13 – Gráfico das Evaporações x Tempo.....	64
FIGURA 4.14 – Gráfico do Fluxo Superficial x Tempo.....	65
FIGURA 4.15 – Gráfico do Fluxo Fundo x Tempo.....	66
FIGURA 4.16 – Gráfico da Variação de Umidade x Tempo.....	66
FIGURA 4.17 – Gráfico da Umidade Média Acumulada x Tempo.....	67
FIGURA 4.18 – Gráfico de Prec, Perc, FS e FFPico x DUPico.....	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – Produtos Intermediários do Processo de Degradação dos RSU	14
TABELA 2.2 – Produtos Finais do Processo de Degradação dos RSU	15
TABELA 3.1 - Composição Gravimétrica dos Resíduos	34
TABELA 3.2 – Metodologias de Análises	35
TABELA 4.1 – Estatística Descritiva da DBO_5	48
TABELA 4.2 – Estatística Descritiva da DQO	48
TABELA 4.3 – Estatística Descritiva dos ST	50
TABELA 4.4 – Estatística Descritiva da Condutividade	51
TABELA 4.5 – Estatística Descritiva do pH.....	52
TABELA 4.6 – Estatística Descritiva do DBO_5/DQO	53
TABELA 4.7 – Correlações de Spearman dos Parâmetros Físico-Químicos	56
TABELA 4.8 – Correlações Pearson dos Parâmetros Físico-Químicos.....	56
TABELA 4.9 – Estatística Descritiva da Prec. Diária.....	59
TABELA 4.10 – Estatística Descritiva do Percolado Diário.....	61
TABELA 4.11 – Estatística Descritiva da Evap. Diária.....	63
TABELA 4.12 – Correlações Não Paramétricas dos Parâmetros Quantitativos.....	68
TABELA 4.13 – Correlação de Spearman entre os Parâmetros Qualitativos e Quantitativos.....	70
TABELA 4.14 – Correlações de Spearman para os Parâmetros Qualitativos Corrigidos	71
TABELA 4.15 – Correlações de Spearman para os Parâmetros Qualitativos Corrigidos	71

LISTA DE SIMBOLOS, ABREVIACOES E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APHA	American Public Health Association
C	Carbono
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
cm	centímetro
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cond.	Condutividade
COT	Carbono Orgânico Total
CO ₂	Gás Carbnico
CH ₄	Gás Metano
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DU	Variacão da Umidade
Evap	Evaporação
FF	Fluxo de Fundo
Fig.	Figura
FS	Fluxo Superficial
H ₂ O	gua
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Kgf	Quilograma Força
km	Quilometro
L	Litro
M	Média
m ³	Metro cúbico
mg	Miligrama
N	Nitrogênio
N.º	Número
NBR	Norma Brasileira
O ₂	Oxigênio

OD	Oxigênio Dissolvido
P	Fósforo
p	Probabilidade de Significância
Perc	Percolado
pH	Potencial Hidrogeniônico
Prec	Precipitação
R_p	Coefficiente de correlação de Pearson
R_s	Coefficiente de correlação de Spearman
S	Desvio Padrão
S^2	Variância
SO_4^{-2}	Sulfato
SFT	Sólidos Fixos Totais
SVT	Sólidos Voláteis Totais
ST	Sólidos Totais
Tab.	Tabela
U	Umidade
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
w_d	Umidade gravimétrica seca contida
W_w	Peso de água;
W_s	Peso seco dos resíduos sólidos
μS	Micro Seins
$^{\circ}C$	Graus Celsius

LISTA DE EQUAÇÕES

2.1 – Umidade Gravimétrica Seca	24
2.2 – Umidade Gravimétrica Úmida	24
2.3 – Semi-reação de Redução do Dicromato.....	26
3.1 – Fluxo na Superfície Média.....	41
3.2 – Fluxo no Fundo Médio	41
3.3 – Fluxo no Fundo de Pico.....	41
3.4 – Variação da Umidade Média	41
3.5 – Umidade Diária.....	42
3.6 – Variância	44
3.7 – Desvio Padrão.....	44
3.8 – Coeficiente de Correlação de Spearman.....	45
3.9 – Equação de Regressão Múltipla	46
4.1 – Equação de Regressão da DQO	58
4.2 – Equação de Regressão do 1/Ln(ST)	58
4.3 – Equação de Regressão do pH.....	58
4.4 – Equação da DBO em função da Umidade Média Acumulada	70
4.5 – Equação da DQO em função da Umidade Média Acumulada	70
4.6 – Equação dos ST em função da Umidade Média Acumulada	70
4.7 – Equação da Cond. em função da Umidade Média Acumulada.....	71
4.8 – Equação do pH. em função da Umidade Média Acumulada.....	71

Resumo

Na realização deste estudo, utilizou-se uma instalação piloto que teve por finalidade de simular um aterro sanitário, onde foram monitorados os volumes de líquidos percolados gerados, as evaporações e as precipitações (parâmetros quantitativos) e as concentrações dos líquidos percolados em termos de poluentes (parâmetros qualitativos). O objetivo geral deste estudo foi avaliar o comportamento dos parâmetros qualitativos, determinados através das análises físico-químicas dos líquidos percolados, e os parâmetros quantitativos relacionados, observando se as componentes hidrológicas exercem ou não influência nas concentrações dos líquidos percolados e as alterações qualitativas ocorrentes em termos de suas concentrações. Foram coletadas amostras semanais entre fevereiro e dezembro de 2002 e analisadas para os seguintes parâmetros físico-químicos: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais (ST), Condutividade e pH, e em campo na área do piloto foram monitorados diariamente a precipitação, a evaporação e a quantidade de líquidos percolados gerados. Nas análises estatísticas foram utilizados: o Teste de Shapiro Wilk's, para verificar a normalidade dos dados, a correlação de Spearman (dados não paramétricos), a correlação de Pearson (dados paramétricos) e a Regressão Múltipla (determinar os modelos Estatísticos). Os resultados obtidos nas análises físico-químicas foram correlacionados entre si e com os parâmetros quantitativos. Os parâmetros qualitativos apresentaram correlações de Spearman e de Pearson coerentes e justificáveis entre si, sendo comprovado teoricamente a relação físico-química existente entre: a DBO_5 com a DQO, a DBO_5 com o inverso do pH, a DQO com a Cond, a DQO com o inverso do pH e os ST com a Cond. Entre as componentes quantitativas, observou-se que a precipitação de pico apresentou correlação de Spearman positiva significativa com a evaporação de pico, com o percolado de pico, com o fluxo superficial de pico, com a variação de volume dentro da célula e correlação inversa com o fluxo de pico no fundo. Nas correlações entre os parâmetros quantitativos e qualitativos, a Umidade dentro da célula do piloto apresentou correlação com todos os parâmetros qualitativos (DBO, DQO, ST, e Cond.), com exceção do pH. A variação de pico no volume dentro da célula apresenta correlação inversa com os sólidos totais. A Evaporação de pico apresenta correlação positiva com a condutividade. Pode-se afirmar

que não a precipitação diária, mas sim o “histórico” hidrológico ocorrido ao longo de todo o período de análise, representado pela umidade média acumulada, exerceu influência nas concentrações dos parâmetros qualitativos. O monitoramento dos líquidos percolados é de grande importância para o acompanhamento do processo de estabilização dos resíduos sólidos e dos impactos ambientais que estes podem causar ao meio ambiente e os danos a saúde pública.

Palavras chaves: Líquidos percolados, parâmetros qualitativos e parâmetros quantitativos.

Abstract

In the present work, a scaled pilot plant was used to simulate a landfill, in which the leachate volumes, evaporation and precipitation (quantitative parameters) and the pollutant (qualitative parameters) were monitored. The purpose of this work was to evaluate the behavior of the qualitative parameters determined through physical and chemical analyses of the leachate, and the related quantitative parameters, and to evaluate the influence of the hydrological components on the concentration of the leachate and their qualitative alterations. Weekly samples were collected between February and December 2002, and the following physical and chemical parameters were analyzed: Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Solids (TS), conductivity and pH. Precipitation, evaporation and volume of leachate were daily monitored in field. In the statistical analysis, the Shapiro-Wilk's Test (to check the normality of the data), Spearman Correlation Test (non-parametric data), Pearson Correlation Test (parametric data) and Multiple Regression (to determine the statistical models) were used. The results of the physical-chemical analysis were correlated among each other and with the quantitative parameters. The qualitative parameters showed consistent and justifiable Spearman and Pearson correlations, theoretically proving the physical-chemical relationship of BOD with COD, BOD with the inverse of pH, COD with conductivity, COD with the inverse of pH and TS with conductivity. The Spearman correlation among the quantitative parameters shows that the correlations of the peak precipitation with the peak evaporation, peak leachate, peak superficial flow, variation of the cell's volume were positive and significant, and a negative correlation with bottom flow. In the correlation of the qualitative and quantitative parameters, the moisture in the cell influences all the quantitative parameters (BOD, COD, TS, conductivity) with exception of the pH. The peak volume variation showed negative correlation with TS and evaporation positive correlation with conductivity. It can be stated that concentration of the qualitative parameters weren't influenced by the precipitation but by the hydrological "historic" along all the analyzed period, represented by the mean moisture accumulated in the cell. The monitoring of the leachate is of great importance for the study of the stabilization process of the solid

waste and the environmental impacts that can be caused in the environment and its harm to the health.

Key Word: Leachate, qualitative parameters and quantitative parameters.

SUMARIO

AGRADECIMENTOS	i
LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE SIMBOLOS, ABREVIACOES E SIGLAS.....	iv
LISTA DE EQUACOES	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT	ix
CAPITULO I.....	1
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 Objetivo geral.....	3
1.3.2 Objetivos especificos.....	3
CAPITULO II	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Resíduos Sólidos.....	4
2.1.1 Conceitos	4
2.1.2 Classificao	5
2.1.3 Caracterizao.....	6
2.2 Técnicas de Disposio de Resíduos Sólidos	7
2.3 Processo de Degradao dos Resíduos Sólidos.....	10
2.4 Método do Balanço Hídrico em Aterro Sanitário	16
2.4.1 Precipitao Volumétrica.....	17
2.4.2 Evaporao	17
2.4.3 Líquidos Percolados	18
2.4.4 Umidade Diária da Célula.....	23
2.4.5 Produo de Biogás	24
2.5 As Principais Análises Físico-Químicas dos Líquidos Percolados	25
2.5.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	25
2.5.2 Demanda Química de Oxigênio	26
2.5.3 Sólidos Totais.....	26
2.5.4 Nitrogênio Total.....	27
2.5.5 Condutividade	28
2.5.6 Medida do pH	28
2.5.7 Metais	28
2.5.8 Indicador DBO ₅ /DQO	30
2.6 Legislao Referente a Resíduos Sólidos	30
CAPITULO III	32
3 METODOLOGIA	32
3.1 Procedimentos Operacionais	32
3.2 Caracterizao do Piloto Experimental	33
3.3 Procedimentos Analíticos	35
3.3.1 Análise de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅).....	35
3.3.2 Análise da Demanda Química de Oxigênio	36
3.3.3 Medida dos Sólidos Totais.....	36
3.3.4 Medida da Condutividade	37
3.3.5 Medida de pH.....	37
3.4 Medioes no Piloto Experimental	37
3.4.1 Precipitao Volumétrica.....	38
3.4.2 Evaporao	39
3.4.3 Volume de Líquidos Percolados Gerados	40

3.4.4 Fluxo Hídrico na Superfície e no Fundo da Célula.....	40
3.4.5 Variação da Umidade	41
3.4.6 Umidade Diária da Célula e Umidade Média Acumulada	42
3.5 Estatística Utilizada.....	42
CAPITULO IV	47
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	47
4.1 Resultados dos Parâmetros Analíticos Qualitativos	47
4.1.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO ₅	47
4.1.2 Demanda Química de Oxigênio – DQO	48
4.1.3 Sólidos Totais.....	49
4.1.4 Condutividade.....	50
4.1.5 pH.....	51
4.1.6 Indicador DBO ₅ /DQO	52
4.2 Relação entre os Parâmetros Qualitativos	54
4.2.1 Normalização dos Dados Qualitativos.....	54
4.2.2 Correlação entre os Parâmetros Qualitativos	55
4.3 Análise de Regressão entre os parâmetros Qualitativos (Físico-Químicos)	58
4.4 Parâmetros Analíticos Quantitativos (Hidrológicos).....	58
4.4.1 Precipitação.....	59
4.4.2 Resultados obtidos para geração de líquidos percolados.....	60
4.4.3 Resultados obtidos para evaporação	63
4.4.4 Resultados Obtidos para os Fluxos Hídricos na Superfície e no Fundo do Piloto	64
4.4.5 Resultados Obtidos para a Variação de Umidade (Volume)	66
4.4.6 Resultados Obtidos para a Umidade Média Acumulada dentro da Célula	67
4.5 Resultados da Correlação entre os Parâmetros do Balanço Hídrico.....	68
4.6 Resultados das Correlações entre os Parâmetros Quantitativos e Qualitativos	69
4.6.1 Umidade e os Parâmetros Qualitativos (Físico-Químicos).....	70
CAPITULO V	73
5.1 CONCLUSÕES	73
5.2 RECOMENDAÇÕES	76
CAPITULO VI.....	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS	
APÊNDICES	

CAPITULO I

1.1 INTRODUÇÃO

Toda atividade humana, independente da sua natureza, tem como resultado, a geração de resíduos sólidos. A quantidade de resíduos gerada encontra-se diretamente correlacionada ao crescimento populacional, grau de desenvolvimento da sociedade e de industrialização. Parte destes resíduos, hoje em dia, são reaproveitados em diversos ramos industriais e aqueles que não tem uma finalidade útil, são encaminhados para uma destinação final adequada, onde uma das técnicas mais utilizadas para a disposição dos resíduos sólidos é o aterro sanitário.

A técnica de aterro sanitário tem grande aceitação em diversas partes do mundo, e as principais razões são as seguintes: (a) estudos comparativos em vários países, entre os diferentes métodos de disposição para os resíduos sólidos urbanos, têm mostrado que o aterro sanitário é a opção mais econômica (LEMA et al., 1988, citado em TATSI & ZOUBOULIS, 2002) e (b) além das vantagens financeiras, os aterros sanitários permitem que a maioria dos resíduos sólidos sejam decompostos em condições controladas, até sua eventual transformação em material estabilizado e relativamente inerte (TATSI & ZOUBOULIS, 2002).

Por outro lado, os líquidos percolados representam a principal fonte de poluição em aterros sanitários, sendo os mesmos gerados pela infiltração de água das chuvas que percolam através da massa de resíduos, carreando os produtos da decomposição biológica e os elementos minerais em dissolução. Estes efluentes representam um problema de poluição potencial para as águas superficiais e principalmente, para as águas subterrâneas.

A caracterização dos líquidos percolados permite conhecer um pouco melhor a evolução dos processos biológicos que ocorrem dentro de um aterro sanitário, bem como a idade do aterro e a composição dos resíduos sólidos urbanos dispostos. Outrossim, esta caracterização qualitativa, é de fundamental importância para a definição da configuração dos sistemas de tratamento destes efluentes.

Segundo LEDESMA e GEE citados em SILVA (2002), a estimativa de produção dos líquidos percolados ao longo da vida de um aterro sanitário, bem como o tempo que levam para serem formados, são dados valiosos para minimizar o impacto destes ao meio ambiente.

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo principal avaliar, através das análises físico-químicas, qualitativamente os líquidos percolados e os parâmetros quantitativos relacionados, buscando observar a influência direta das componentes hidrológicas nas concentrações dos diversos elementos, em termos de poluição.

Para a realização deste trabalho e alcance dos objetivos propostos, utilizou-se um piloto experimental, construído com a finalidade de simular um aterro sanitário. O piloto compõem-se de três células preenchidas com resíduos urbanos provenientes da coleta regular da cidade de Florianópolis-SC. Foram monitorados os volumes de líquidos percolados gerados para as células do piloto, a evaporação, as precipitações e a partir destes foram estimadas as componentes hidrológicas de fluxo superficial e de fundo, variação de umidade e a umidade média acumulada dentro da célula e as suas concentrações em termos de poluentes para os líquidos percolados.

As concentrações nos líquidos percolados foram avaliadas através de análises laboratoriais dos seguintes parâmetros: DBO₅, DQO, sólidos totais, condutividade e pH.

Com a determinação das componentes hidrológicas (quantitativas) e das análises físico-químicas (qualitativas), pode-se avaliar se os parâmetros hidrológicos afetam ou não a qualidade dos líquidos percolados, verificando se são mais diluídos quanto maior for a quantidade de água infiltrada no aterro, ou se ocorre uma linearidade entre as concentrações em poluentes e a quantidade de líquidos percolados.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo é avaliar o comportamento dos parâmetros qualitativos, determinados através das análises físico-químicas dos líquidos percolados, e comportamento dos parâmetros quantitativos, observando se as componentes hidrológicas exercem influência nas concentrações dos líquidos percolados.

1.3.2 Objetivos específicos

- Estabelecer as características dos líquidos percolados, através de análises físico-químicas em laboratório dos parâmetros qualitativos (DBO₅, DQO, Sólidos Totais, Condutividade e pH);
- Monitoramento dos parâmetros quantitativos (precipitação, evaporação, vazão de líquidos percolados,...) e calcular as componentes de fluxo superficial e de fundo, a umidade média acumulada e a variação de umidade dentro da célula;
- Estabelecer correlação entre os parâmetros qualitativos analisados e apresentar as equações estatísticas por meio de regressão múltipla;
- Avaliar a influência da quantidade de água dentro da célula, através da correlação dos parâmetros qualitativos com os parâmetros quantitativos, para observar se ocorre diluição das concentrações dos líquidos percolados.

CAPITULO II

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos Sólidos

Serão apresentados nos próximos itens os conceitos, classificação e caracterização para os resíduos sólidos.

2.1.1 Conceitos

Os resíduos sólidos urbanos são comumente conhecidos como lixo. Via de regra, estes materiais são percebidos como algo que não presta, coisas inúteis, velhas, sem valor e que são jogadas fora. Observe-se que esta percepção negativa vem evoluindo positivamente nos últimos anos. Neste sentido, estes materiais podem ser definidos como os resíduos provenientes das atividades humanas, composto basicamente por sobras de alimentos, papéis, papelões, plásticos, trapos, couros, madeiras, latas, vidros, lamas, gases, poeiras e outras substâncias descartáveis.

A NBR 10004 (ABNT, 2004) define: “resíduos sólidos podem estar nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. São incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem com determinados líquidos cujas particularidades, tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água, ou que exijam soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face de melhor tecnologia disponível”.

Os resíduos sólidos urbanos são considerados, como sendo aqueles constituídos por diferentes categorias de resíduos produzidos nas cidades: domésticos, comerciais,

industriais, de varrição, de coletas especiais (entulho de construção civil e de estabelecimentos de saúde), etc...

2.1.2 Classificação

A Norma da NBR 10004 (ABNT, 2004), classifica os resíduos sólidos em duas categorias principais:

- | | | |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ Resíduos classe I – perigosos; ➤ Resíduos classe II – não perigosos | } | <ul style="list-style-type: none"> - Resíduos classe II A – não-inertes - Resíduos classe II B – inertes |
|--|---|--|

Os resíduos perigosos são aqueles que apresentam ao menos uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade e periculosidade. Resíduos classe II – A, não-inertes, que não se enquadram na classe I e nem na classe II – B, inertes, ele pode apresentar propriedades tais quais: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. Os resíduos classe II – B resíduos inertes, são quaisquer resíduos que, quando amostrados segundo a NBR 10.007, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, de acordo com os testes de solubilização, determinados pela NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, com exceção dos padrões de turbidez, cor, dureza e sabor (ABNT, 2004).

BIDONE & POVINELLI (1999), classificam os resíduos sólidos de acordo com a origem em:

- Urbanos: enquadram-se os resíduos residenciais, comerciais, de varrição, de feiras livres, de capinação e de poda;
- Industriais: nestes entram os lodos provenientes do processo de tratamento de efluentes líquidos industriais, em alguns casos tóxicos e perigosos;
- Serviços de saúde: incluem os resíduos hospitalares, de clínicas médicas e veterinárias, de centros de saúde, de consultórios odontológicos e de farmácias;

- Radioativos: estão inseridos os resíduos de origem atômica;
- Agrícolas: entram os resíduos resultantes dos processos de produção de defensivos agrícolas e suas embalagens.

A classificação dos resíduos sólidos também pode ser feita de acordo com o grau de degradabilidade, conforme apresentada a seguir (BIDONE & POVINELLI, 1999):

- Facilmente degradáveis: a matéria orgânica presente nos resíduos sólidos de origem urbana;
- Moderadamente degradáveis: são os papéis, papelão e material celulósico;
- Dificilmente degradáveis: pedaços de pano, retalhos, aparas e serragens de couro, borracha e madeira;
- Não degradáveis: entram os vidros, metais, plásticos, pedras, terra, entre outros.

2.1.3 Caracterização

Segundo CASTILHOS et al. (2003), o conhecimento das características químicas dos resíduos sólidos possibilita a seleção adequada de processos de tratamentos e de técnicas de disposição final. E apresenta algumas características básicas de interesse como sendo, o poder calorífico, pH, composição química (nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre e carbono), relação carbono/nitrogênio, sólidos totais fixos, sólidos voláteis e o teor de umidade.

O autor afirma também que a determinação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos é essencial. Os resíduos urbanos, geralmente dispostos em aterros sanitários, apresentam a seguinte composição gravimétrica média: matéria orgânica putrescível, metais ferrosos, metais não ferrosos, papel, papelão, plástico, trapos, vidro, borracha, couro, madeira, entre outros.

Segundo BIDONE & POVINELLI (1999), a composição física (gravimétrica) dos resíduos sólidos apresenta as porcentagens (geralmente em peso) das várias frações dos materiais constituintes do lixo. O conhecimento dessa composição é essencial para a definição do gerenciamento dos resíduos urbanos, desde a coleta até o seu destino final,

de uma forma economicamente viável, considerando que cada comunidade gera resíduos diversos.

A composição química dos resíduos sólidos está relacionada principalmente, a componentes orgânicos, e engloba a quantificação de parâmetros como carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco, ferro, manganês, sódio e enxofre, que compõem o elenco básico de macro e micronutrientes, a relação C/N, o pH e as concentrações de sólidos totais, fixos e voláteis.

2.2 Técnicas de Disposição de Resíduos Sólidos

Neste trabalho será considerada uma ênfase maior à técnica de disposição final em aterro sanitário. Porém também são citadas outras técnicas, como abaixo.

➤ *Redução, Reutilização e Reciclagem*

TEIXEIRA e BIDONE (1999) define a redução da produção na origem como sendo a redução do peso e/ou do volume de resíduos, através de alterações de matéria prima, ou seja, mudando o material empregado ou sua composição. Segundo CASTILHOS et al. (2003), reciclagem é a incorporação do material residual num processo de fabricação para obtenção de um mesmo produto. Por outro lado, reutilização é o prolongamento do período de utilização para obtenção de um outro produto.

➤ *Compostagem*

LIMA (1995), define a compostagem como sendo o ato ou ação de transformar os resíduos orgânicos, através de processos físicos, químicos e biológicos, em uma matéria biogênica mais estável e resistente à ação das espécies consumidoras. Cita também que o processo de compostagem da matéria orgânica atinge dois importantes estágios, sendo em primeiro lugar a digestão e o outro corresponde à fase de fermentação na qual a matéria alcança a bioestabilização.

➤ ***Incineração***

Segundo LORA (2000), este método de tratamento é baseado na decomposição térmica por oxidação, com o objetivo de tornar o resíduo menos volumoso, menos tóxico ou atóxico, ou em alguns casos, eliminá-los. Comparando a incineração com a disposição em aterros sanitários, a incineração não apresenta o problema da geração e tratamento de lixiviado, além das emissões gasosas permanentes que caracterizam os aterros sanitários. Porém, o investimento inicial e de manutenção do processo são muito maiores.

O autor afirma também que a incineração não é aplicável como um método universal de tratamento de resíduos, considerando que:

- Alguns materiais, como resíduos com alto conteúdo de umidade ou solo não combustíveis, não são incineráveis;
- O controle dos metais pesados (chumbo, cromo, cádmio, mercúrio, níquel, arsênio, etc) no processo de incineração de resíduos inorgânicos é complexo;
- Podem existir a emissão de dioxinas e furanos com os gases de combustão;
- Necessita-se de combustíveis complementares para levar o incinerador até a temperatura de incineração e manter a mesma;
- Requerem operários qualificados.

➤ ***Aterros Sanitários***

O aumento do número de habitantes no planeta, associado à concentração de grande parcela da população nas cidades, são fatores que agravam a problemática do lixo e sua destinação adequada. Durante a evolução da ciência, o homem passou a vincular algumas doenças ou vetores, com a destinação incorreta do lixo que produzia, sendo assim passou a destinar o lixo para lugares distantes, afastados do seu ambiente.

Em algumas localidades ainda são utilizados os lixões como forma de disposição de resíduos. Segundo o IBGE no censo de 2000, observou-se que no Brasil cerca de

63,6% dos municípios utilizavam os lixões para destinação dos resíduos. Entretanto, outras localidades evoluíram e passaram a ter os aterros sanitários, que são locais propriamente escolhidos e preparados para receber a destinação correta do resíduo, tentando causar o menor impacto ambiental.

O aterro sanitário se destaca dentre as diferentes técnicas para tratamento dos resíduos sólidos de origem urbana, como um método tecnicamente e economicamente adequado para as condições do país. Segundo a NBR 8419 (ABNT, 1984) “o aterro sanitário é uma técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, sem causar danos à saúde pública e a sua segurança, minimizando os impactos ambientais”.

BIDONE & POVINELLI (1999) observam que o aterro sanitário é uma forma de disposição dos resíduos sólidos urbanos no solo, utilizando critérios de engenharia e normas operacionais específicas, proporcionando o confinamento adequado dos resíduos sólidos.

Os principais impactos derivados deste método incluem a possibilidade de poluição das águas superficiais e subterrâneas pela ação dos líquidos percolados, a formação de gases nocivos e de odor desagradável. Por este motivo, o monitoramento dos aterros sanitários é de grande importância para a redução dos impactos ambientais causados.

A finalidade do monitoramento de um aterro sanitário é avaliar a evolução do processo de decomposição dos resíduos sólidos do interior do aterro e avaliar a influência deste processo sobre o meio ambiente. Por meio do monitoramento podem ser avaliados os seguintes processos (REICHERT, 2000):

- Avaliar as alterações causadas pelo aterro nas águas de superfície;
- Verificar se houve alteração na qualidade das águas subterrâneas, do aquífero livre;
- Avaliar a vazão e características físico-químicas dos líquidos percolados que forneçam informações sobre os processos do interior do aterro;

- Avaliar a vazão e a produção de biogás em diferentes locais do aterro ao longo do tempo avaliando os estágios do processo de degradação;
- Obter dados sobre a degradação da matéria orgânica no aterro sanitário;
- Observar e controlar os recalques e deslocamento horizontal da massa de resíduos sólidos;
- Verificar a eficiência do sistema de tratamento de líquidos percolados, se está em conformidade com os padrões de emissões definidos pelos Órgãos Ambientais.

No Brasil o monitoramento se restringe ao aspecto ambiental ao redor do aterro e da qualidade do efluente final, sendo pouco monitorado o processo de degradação que ocorre no interior do aterro. Os estudos existentes nesta área do monitoramento do processo de degradação são pesquisas geralmente realizadas pelas universidades.

2.3 Processo de Degradação dos Resíduos Sólidos

Segundo EHRIG (1983), para prever a qualidade dos líquidos percolados é útil um entendimento dos processos biológicos que ocorrem no aterro sanitário. Em um aterro, ocorrem basicamente os processos biológicos aeróbios e anaeróbios, sendo que a penetração do oxigênio no aterro é baixa, com exceção da área da superfície. Por esta razão, o processo anaeróbio é predominante no aterro sanitário.

LU et al. (1985) afirmam que a estabilização dos resíduos sólidos municipais em um aterro sanitário pode ser separada em duas etapas biológicas principais: a fase de degradação aeróbica e uma fase de decomposição anaeróbica, que se desenvolve uma vez que o oxigênio originalmente presente no aterro sanitário é consumido. A transformação da fase aeróbia para a fase anaeróbia pode ocorrer rapidamente após a disposição do resíduo, em alguns casos, em questões de horas, ou pode ser postergar onde persistir oxigênio, por exemplo, próximo à superfície do aterro. Afirmam também que a fase de decomposição aeróbica é geralmente curta, devido à alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) dos resíduos e função do oxigênio presente em um aterro. O percolato produzido durante esta fase é caracterizado pelo arrastamento do

material particulado, a alta dissolução de sais solúveis que inicialmente estão presentes no aterro sanitário e a presença relativamente pequena de substâncias de espécies orgânicas para a degradação aeróbia. Os líquidos percolados formados nessa fase inicial são provavelmente resultado da umidade restante da compactação do resíduo durante a construção da célula.

Os autores afirmam que no início do processo de degradação anaeróbia é a fermentação ácida que prevalece, tendo como consequência líquidos percolados de baixo pH, alta concentração de ácidos voláteis e concentrações consideráveis de íons inorgânicos (por exemplo: Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+). Nesta condição o pH geralmente diminui conforme a produção de ácidos graxos voláteis, o aumento parcial da pressão de CO_2 , o aumento na concentração de cátions e ânions, provavelmente resulta da lixiviação de materiais rapidamente solúveis, incluindo aqueles originalmente disponíveis na massa do resíduo e aqueles gerados pela biodegradação da matéria orgânica.

BARROS (2004), afirma que de acordo com os valores de pH e de DBO_5 é possível supor em que fase de decomposição se encontram os resíduos urbanos: a fase inicial, acidogênica, ou de fermentação ácida, caracteriza-se por valores de pH baixos e DBO_5 elevados. A segunda fase de fermentação metanogênica, caracteriza-se por valores de pH mais elevados e DBO_5 menores. Nessa fase há decomposição dos produtos da fermentação ácida, sendo convertidos em metano (CH_4), substâncias úmidas e água.

A Fig. 2.1 apresenta cinco fases de degradação dos resíduos sólidos mostradas e descritas por WILLIAMS (2002). As descrições das cinco fases de degradação dos resíduos sólidos são apresentadas a seguir:

- Fase I: Degradação aeróbia ou Hidrólise: ocorre em condições oxigenadas ou aeróbias, sendo uma fase rápida podendo durar dias ou semanas, dependendo da disponibilidade de oxigênio.

Os microrganismos são do tipo aeróbios e eles metabolizam o oxigênio disponível e uma fração orgânica dos resíduos para produtos simples como: hidrocarbonetos, dióxidos de carbonos, água e calor. O calor gerado pela reação de degradação exotérmica pode elevar a temperatura dos resíduos para valores elevados. A água e o ácido carbônico são os principais produtos, com dióxido de carbono liberado como gás ou absorvido pelo resíduo para formar ácido carbônico que aumentam a acidez dos líquidos percolados. Os líquidos percolados produzidos durante esta fase inicial são provavelmente resultados de umidade aterrada com o lixo durante a compactação e construção das células.

➤ Fase II: Hidrólise e Fermentação: Os microrganismos presentes nesta fase são facultativos, que podem tolerar a condição de redução do oxigênio. Hidrocarbonetos, proteínas e lipídios, que são o maior componente estrutural do bioreator, sendo hidrolisados para açúcares, que favorecem a decomposição do dióxido de carbono, hidrogênio, amônia e ácidos orgânicos. Os líquidos percolados gerados contêm nitrogênio amoniacal em alta concentração. Os ácidos orgânicos são principalmente: acético, propiônico, butírico, láctico e fórmico e ácidos derivados. A temperatura varia entre 30 e 50°C durante esta fase. As concentrações de DQO variam na faixa de 480 a 18.000 mgO₂/l e ácidos orgânicos voláteis na faixa de 100 a 3.000 mg/l podem ser encontradas nos líquidos percolados.

➤ Fase III: Acetogênica: o ácido orgânico formado na fase II é convertido por microrganismos acetogênicos para ácido acético e derivados, dióxido de carbono e hidrogênio durante as condições anaeróbias. Outros organismos convertem hidrocarbonetos diretamente para ácido acético na presença de dióxido de carbono e hidrogênio. As condições ácidas desta fase aumentam a solubilização dos íons metálicos e aumentam as concentrações no lixiviado. A presença de ácidos orgânicos em geral deixa o pH na faixa de 4 ou menos. Altas concentrações de DBO₅ na faixa de 1.000 a 57.700 mg O₂/l, DQO de 1.500 a 71.100 mg O₂/l, ocorrem durante esta fase.

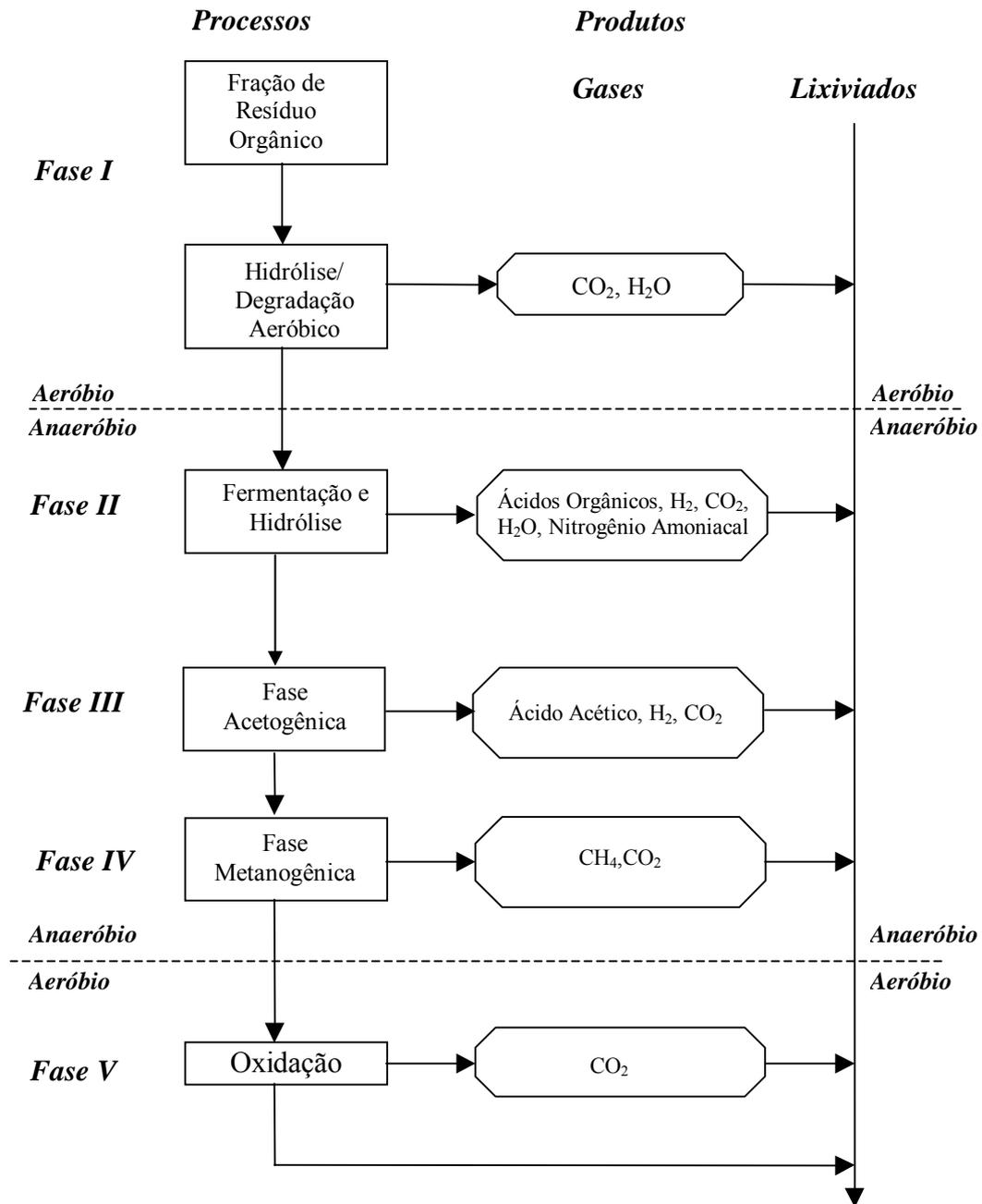


FIGURA 2.1 – Fases de Degradação dos Resíduos Sólidos
 Fonte: WILLIAMS (2002)

- Fase IV: Metanogênica: Esta é a principal fase da produção de gás, onde gera aproximadamente 60 % de metano e 40 % de dióxido de carbono. Níveis baixos de hidrogênio são requeridos para manter os organismos, as bactérias metanogênicas, que geram dióxido de carbono e metano. O metano pode ser também resultado direto da conversão por microrganismos do hidrogênio e

dióxido de carbono para metano e água. Existem dois tipos de microrganismos envolvidos desta fase, as bactérias mesofílicas, que são ativadas na faixa de temperatura de 30°C a 35°C e as bactérias termofílicas, que são ativadas na faixa de temperatura de 45°C a 65°C. Como as concentrações de ácidos caem, a faixa de pH sobe entre 7 a 8. Esta fase pode ser a mais longa ocorrida no aterro, variando entre seis meses até vários anos. Concentrações significantes de metano são geradas entre 3 e 12 meses, dependendo do desenvolvimento dos microrganismos e dos produtos da degradação dos resíduos. A produção de gás pode continuar por um período entre 15 e 30 anos depois da deposição dos resíduos sólidos, dependendo dos resíduos e das características locais do aterro. Nesta fase, sulfatos e nitratos são reduzidos para sulfitos e amônia, e as concentrações de DBO₅ e DQO declinam. Alguns metais são removidos por complexação e precipitação.

- Fase V: Oxidação: Ocorre durante o estágio de estabilização final no aterro, os nutrientes e substratos disponíveis tornam-se limitados e a atividade biológica é reduzida. A produção de gás diminui e os líquidos percolados permanecem com concentrações mais baixas.

CASTILHOS et al. (2003) apresentam os produtos intermediários do processo de degradação dos resíduos urbanos (Tabela 2.1) e mencionam que os principais efeitos dos metabólitos intermediários são a poluição dos líquidos percolados por meio das matérias orgânicas (medidas por meio da DBO, da DQO e do COT), a ação complexante de determinados produtos (ácidos aminados e compostos aminocarboxílicos) sobre os metais e a estimulação da atividade biológica (contaminação bacteriana).

TABELA 2.1 – Produtos Intermediários do Processo de Degradação dos RSU

Natureza da Matéria Degradada	Principais Classes de Produtos Intermediários
Proteínas	Polipeptídeos, ácidos aminados
Graxas	Ácidos graxos
Hidratos de Carbono	Polissacarídeos, açúcares, aldeídos
Hidrocarbonetos	Ácidos graxos, aldeídos

Fonte: CASTILHOS et al. (2003)

CASTILHOS et al. (2003) mostram também os produtos finais do processo de degradação anaeróbia (Tabela 2.2) e afirmam que os principais efeitos desses metabólitos são a influência do CO_2 , dos bicarbonatos e carbonatos sobre o pH do meio aquoso e sua capacidade tampão ácido-base em função do pH, insolubilizando os íons metálicos sob forma de hidróxidos, fosfatos, carbonatos pouco solúveis, ou solubilização metais e a liberação de elementos eutrofizantes para as águas (nitrato e fosfatos).

TABELA 2.2 – Produtos Finais do Processo de Degradação dos RSU

Elementos Constituintes da Matéria Orgânica	Produtos Finais da Biodegradação Aeróbia
H	Água H_2O
C	Gás carbônico CO_2 , bicarbonatos e Carbonatos
N	Nitratos NO_3^-
P	Fosfato PO_4^{3-}
S	Sulfatos SO_4^{--}
Metais	Seus hidróxidos ou carbonatos

Fonte: CASTILHOS et al. (2003)

A Fig. 2.2 mostra a variação de parâmetros durante as cinco fases de estabilização da matéria orgânica, de acordo com POHLAND & GOULD (1984), citados em PAES (2003).

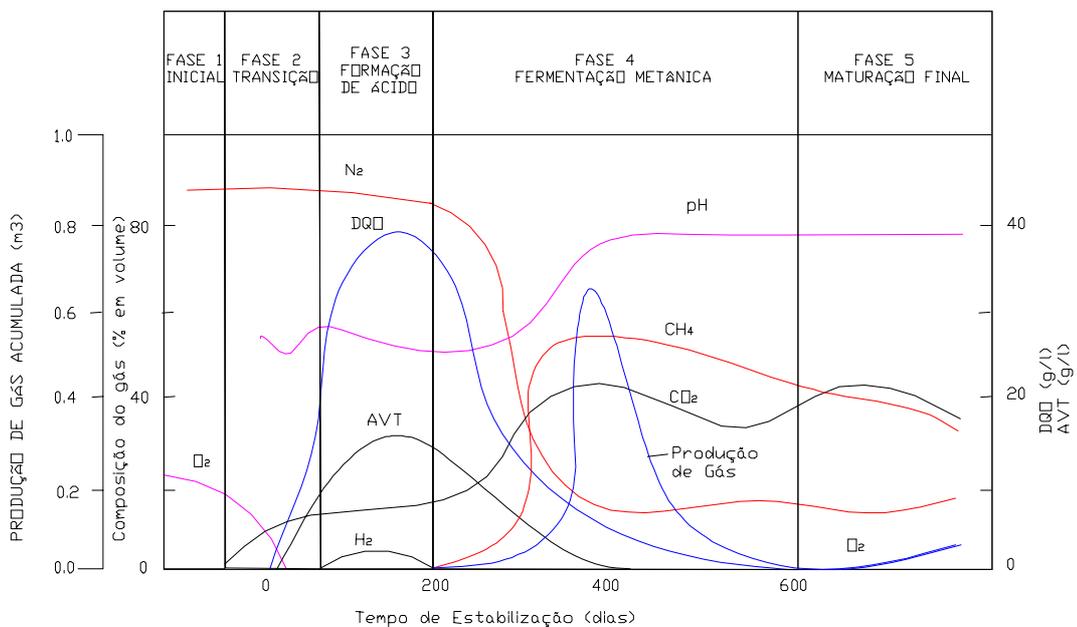


FIGURA 2.2 – Variação de Parâmetros

Fonte: Citado em PAES (2003)

2.4 Método do Balanço Hídrico em Aterro Sanitário

De acordo com BIDONE (1999) devem ser utilizados métodos empíricos para a avaliação dos volumes de líquidos que são gerados em uma célula de aterro, os quais normalmente levam em consideração as chuvas que ocorrem na região onde está localizado o aterro.

Para a quantificação dos líquidos percolados gerados em um aterro sanitário, é necessário determinar todos os fatores que contribuem para a sua formação. O método do balanço hídrico aplicado no aterro sanitário corresponde à soma de quantidades de água que entram, subtraindo as quantidades de água que são consumidas nas reações químicas e as quantidades que deixam o aterro como percolado e como vapor. A quantidade potencial de líquidos percolados corresponderá à quantidade de água que excede a capacidade de retenção de umidade do material aterrado (TCHOBANOGLOUS et al, 1993).

LU et al.(1985) afirmam que há disponíveis mais de 240 métodos de cálculo diferentes, com combinações variadas dos dados de: quantidade e duração das chuvas, tipo de solo, topografia, cobertura vegetal, inclinação da superfície, área do aterro, escoamento superficial, capacidade de infiltração, temperatura diária, ventos, evaporação, evapotranspiração, perdas de água, umidade do solo de cobertura, umidade dos resíduos, capacidade de campo, latitude do local, entre outros fatores. FENN et al. (1975) determinaram um método detalhado para o balanço hídrico e posteriormente DASS et al. (1977) desenvolveram uma metodologia de cálculo baseada no balanço de umidade no aterro sanitário de Wisconsin.

A seguir estão apresentados alguns fatores envolvidos diretamente no cálculo do balanço hídrico em aterros sanitários.

2.4.1 Precipitação Volumétrica

A precipitação é o principal parâmetro que tem influência direta na formação e nos volumes de líquidos percolados gerados no aterro sanitário. De acordo com FENN et al. (1975), a fração da precipitação que infiltra num aterro sanitário é a principal fonte de contribuição de umidade para a geração de líquidos percolados.

O pluviômetro é um aparelho dotado de uma superfície de captação horizontal delimitada e de um reservatório para acumular a água recolhida, ligado à área de captação.

Segundo LU et al. (1985), as precipitações variam com a localização geográfica e com as estações do ano e isso é bem documentado na maioria da literatura hidrológica. Efeitos regionais como a latitude, montanhas, grandes lagos e oceanos também influenciam os padrões de chuva.

2.4.2 Evaporação

A evaporação de água da superfície do solo é controlada pelos mesmos fatores que a evaporação da água. Uma diferença é que partículas de solo tendem a colar as moléculas de água dificultando a evaporação (PENMAN, 1948, citado em LU, 1985).

A evaporação é proporcional à diferença da pressão de vapor entre a água no solo e no ar, desta forma o aumento da temperatura pode não ter efeito proporcional à razão da evaporação e deste modo, uma alta correlação entre a temperatura do ar e a evaporação pode não ser esperada.

Segundo HAMADA & ABECHÉ (2000) citados por SILVA (2002), a quantidade de umidade disponível para a evaporação em um aterro sanitário é afetada pelo tipo de solo de cobertura e da respectiva vegetação existente. A evaporação em um determinado local pode ser calculada ou é medida. Muitos autores propuseram métodos que permitissem estimar a evaporação utilizando sistemas medidores de evaporação.

2.4.3 Líquidos Percolados

Segundo REICHERT (2000), os líquidos percolados são definidos como aquele proveniente de três fontes principais: umidade natural dos resíduos, água de constituição dos vários materiais que sobra durante a decomposição e líquido proveniente da dissolução de materiais orgânicos por enzimas expelidas pelas bactérias. Os líquidos percolados que chegam no fundo do aterro provêm principalmente das águas das precipitações, das águas que se infiltram no local da disposição e outras infiltrações.

Os aterros sanitários podem acumular volumes importantes de líquidos percolados, apesar dos procedimentos operacionais utilizados para limitar o fluxo destes efluentes. Os principais fatores que afetam a geração dos percolados são: a precipitação, a infiltração, o escoamento superficial, a evapotranspiração e a capacidade de retenção de água dos resíduos (CASTILHOS, 1991).

- Precipitação: constitui a principal fonte de líquidos percolados nos aterros. É caracterizada pela intensidade, frequência e duração, expressa em milímetros de água por unidade de tempo.
- Escoamento superficial: é a água que escorre na superfície do aterro sem infiltrar. Sofre influência da topografia do terreno, tipo de solo e da presença ou não de cobertura vegetal.
- Evapotranspiração: é o volume de água de evapora através da transpiração das plantas. Este fenômeno se manifesta quando a cobertura do aterro apresenta-se com vegetação, reduzindo o volume de percolados. É influenciado pela temperatura e umidade do ar.
- Infiltração: é o fluxo de água que atravessa o aterro. É influenciada pelas características do material de cobertura (porosidade), dos resíduos, e pelas condições de drenagem.
- Capacidade de retenção de água: a água da chuva infiltrada num aterro sanitário provocará a umidificação dos resíduos até sua máxima capacidade de retenção, além da qual, volumes importantes de percolados podem se formar.

- Grau de compactação do solo: o tipo de compactação do solo, no qual o trator é utilizado.
- Composição dos resíduos: estes materiais depositados em aterros sanitários constituem fonte potencial de carga de elementos orgânicos e inorgânicos que podem ser lixiviados nos líquidos percolados. Dependendo de: condições do meio, grau de degradação dos resíduos, do volume de água infiltrada, da superfície de contato, bem como do tempo de contato água – resíduo.
- Trituração dos resíduos: a redução do tamanho das partículas dos resíduos tem por resultado o aumento da superfície de contato dos resíduos, deixando-os mais disponíveis à ação dos microorganismos e a ação erosiva da água.
- Idade dos resíduos: em função principalmente da natureza dos processos de estabilização dos resíduos em aterros sanitários, as concentrações dos diversos componentes dos líquidos percolados são estreitamente relacionados com a idade dos resíduos.

Segundo LU (1985), as condições que afetam a disponibilidade de água incluem diretamente a precipitação, intrusão de água no solo, irrigação, decomposição do resíduo e co-disposição de água ou esgoto com o resíduo. Destas fontes de água, o principal contribuinte direto é a precipitação.

RUSSO e VIEIRA (2000) mostra que a água das precipitações que percola e infiltra na massa de resíduos aterradas é indispensável para criar condições metabólicas devido a transformações microbianas em seu leito, dando origem assim a uma mistura de líquidos com grande variabilidade, tendo complexidade orgânica solúvel, inorgânica, biológica e com fração de sólidos suspensos que é transportado até o fundo, constituindo desta forma o lixiviado do aterro sanitário, sendo mais poluente quanto mais água percola sobre a massa de resíduos.

EHRIG (1983) num estudo feito num aterro sanitário na Alemanha verificou que a precipitação é o fator mais importante para a produção dos líquidos percolados, mas a infiltração não pode ser determinada por causa da evaporação e do escoamento superficial. Ele também relata que após alguns anos o aterro atinge a sua capacidade

máxima de umidade e os líquidos percolados passam a apresentar um comportamento linear nas suas concentrações.

CASTILHOS (1991) afirma que a variação da composição dos percolados é relativamente bem estudada; as análises físico-químicas destes efluentes dizem respeito a vários parâmetros. Todavia, uma composição “*Standard*” (padrão) do percolado de aterro sanitário é difícil de ser estabelecida e os resultados numéricos que a literatura pode nos fornecer são válidos apenas para aterros sanitários específicos.

CINTRA et al. (2002) avaliou a qualidade de líquidos percolados, os quais eram drenados e conduzidos a um tanque na extremidade do aterro. Os líquidos percolados foram analisado por um período de 6 meses para os parâmetros DBO₅, DQO, pH e realizada a correlação destes parâmetros com o regime pluviométrico e as atividades de disposição do aterro. Os resultados atingidos pelo autor foram os seguintes:

- A DBO₅ variou de 1.050 mg/l a 18.320 mg/l e afirmaram que este parâmetro variou bastante durante o período 19 de julho a 14 de dezembro de 2000, e concluíram que a DBO₅ para o período de análise esteve correlacionada aos índices pluviométricos.
- A DQO variou no mesmo período de 3.940 mg/l a 29.920 mg/l e afirmaram que a DQO também teve os seus valores elevados no período de maiores precipitações.
- O pH variou entre 6 e 7,6, sendo que os seus resultados sofreram redução para o período de maiores chuvas. Os autores mencionaram que esta redução pode estar relacionada com o aumento da DBO₅ e da DQO.

Os autores afirmaram que variação da qualidade dos líquidos percolados é muito grande ao longo do ano, sendo dependente fundamentalmente das chuvas.

A influência do volume de água infiltrada provoca discordância entre autores, alguns afirmam que os líquidos percolados são mais diluídos quanto maior for a vazão

de água infiltrada, e outros constatam uma linearidade entre a concentração em poluentes e a quantidade de líquidos percolados coletada no aterro sanitário.

BARROS (2004), comenta que o volume de percolado decresce durante períodos de seca, mas existem relatos conflitantes na literatura, quanto ao efeito dessa redução. Enquanto LO (1996) reportou que a concentração dos percolados em Hong Kong não variou sazonalmente, isto é, entre as épocas de chuva e seca, TATSI & ZOUBOULIS (2002), observaram que os percolados produzidos em aterros localizados na Grécia, na época de seca, foram mais concentrados do que os produzidos na época de chuva e afirmam que qualquer tentativa de se relacionar a quantidade de água de chuva que infiltra no aterro com a composição do percolado é no mínimo arriscado, senão se levar em conta o grau de estabilização e a capacidade de retenção de água dos resíduos sólidos urbanos.

LU et al. (1985) observaram que a variação na concentração dos líquidos percolados, as quais são atribuídas a inúmeros dos fatores (idade do resíduo, a razão de aplicação de água, umidade do resíduo, projeto do aterro e operação) e à interação dos líquidos percolados com o meio ambiente, também pode ser atribuída a procedimentos de amostragem, preservação, manipulação, conservação das amostras e métodos analíticos, usados para a caracterização dos líquidos percolados.

BARROS (2004), afirma que a elevada precipitação no início e no final de um experimento diluiu os líquidos percolados e correlacionou a queda dos valores com a grande incidência de chuvas ocorridas. Nota que a redução dos sólidos totais no final do experimento tem relação com as chuvas ocorridas, diluindo assim os sólidos dissolvidos. O pH também é correlacionado com as chuvas. Observa que a redução da condutividade elétrica pode ser explicada pela redução dos sólidos, uma vez que a condutividade esta relacionada com a quantidade de sólidos dissolvidos na amostra.

MONTEIRO et al. (2000) realizaram um trabalho com o objetivo de analisar o comportamento dos aterros, em particular o aterro sanitário da Muribeca (Recife-Pe), visando o entendimento dos vários processos existentes dentro da massa de resíduo e

estabelecendo correlações entre os parâmetros estudados com as condições climáticas locais, para o entendimento do processo de degradação dos resíduos ao longo do tempo.

BAGCHI citado por MONTEIRO et al. (2000) observa que a quantidade de líquidos percolados aumenta com um volume maior de água percolante, porém essa maior coluna também dilui os contaminantes dos líquidos percolados. Cita também que na estação chuvosa tem-se efeito de diluição mais acentuado, interferindo diretamente na qualidade dos líquidos percolados e corresponde a um dos principais responsáveis pela redução das concentrações dos seus componentes físico-químicos.

As condições climáticas, especialmente a precipitação, interferem fortemente no processo de degradação anaeróbia, sendo refletida especialmente na contagem de microrganismos aeróbios e anaeróbios. Quando a precipitação é intensa tem-se uma quantidade maior de microrganismos aeróbios em relação à estação seca devido à presença de oxigênio dissolvido na água. As variações no balanço hídrico interferem na velocidade de degradação dos resíduos devido à predominância de determinadas populações de microrganismos presente na massa do resíduo. Por fim, o autor conclui que as condições climáticas mostram-se como fator determinante no comportamento do aterro, influenciando diretamente diversos parâmetros físico-químicos durante o processo de degradação dos resíduos.

ALUKO et al. (2003) realizaram uma pesquisa de caracterização dos líquidos percolados durante o período chuvoso e seco, para o aterro de Ibadan na Nigéria, e obtiveram os seguintes resultados e conclusões:

- O pH para o período chuvoso teve valor médio de $8,28 \pm 0,38$ e para o seco de $8,03 \pm 0,36$, eles concluíram que esses valores são típicos de resíduos velhos;
- A condutividade com valor médio de $5662 \mu\text{S} \pm 2565,90$ para o período chuvoso e de $4807 \mu\text{S} \pm 1738,37$ para o período seco;
- Sólidos totais apresentou valor médio de $4819,6 \text{ mg/l} \pm 1333,63$ para o período chuvoso e de $38883,43 \text{ mg/l} \pm 1995,80$ para o período seco;

- DBO apresentou valor médio de 990,60 mg/l \pm 626,47 para o período chuvoso e de 675,57 mg/l \pm 82,42 para o período seco;
- DQO para o período chuvoso apresentou o valor médio de 3066,60 mg/l \pm 1538,48 e de 2802,14 mg/l \pm 531,50 para o período seco;

Desta forma os autores concluíram que a condutividade, os sólidos totais, a DBO5 e a DQO apresentaram, durante o período chuvoso, concentrações de poluentes mais altas.

TATSI & ZOUBOULIS (2002) realizaram um estudo investigativo da quantidade e da qualidade dos líquidos percolados para o aterro de resíduos sólidos urbanos em clima Mediterrâneo, em Thessaloniki – Grécia, onde foram avaliados os parâmetros físico-químicos DBO, DQO, ST, Condutividade e pH, para o percolado novo e velho (após a estabilização) e avaliado em função do período seco e do período chuvoso. Os autores concluíram que as concentrações de muitos poluentes são elevadas durante o período seco (verão), devido à redução da percolação, e que durante o período chuvoso (inverno/primavera) a percolação das águas das chuvas até a base dos resíduos, extraem, dissolvem e solubilizam muitos constituintes, produzindo um volume grande de percolado diluído.

No Anexo I, apresentam-se os resultados para a análise dos líquidos percolados para os parâmetros físico-químicos encontrados por PESSIN et al. (1997), TCHOBANOGLIOUS (1993), CINTRA et al. (2002), SEGATO (2000), TATSI & ZOUBOULIS (2002) e HUGHES, POHLAND, MINISTRY, MERZ, EMCON, FUNGAROLI, CHUN, são citados em LU et al. (1985).

2.4.4 Umidade Diária da Célula

De acordo com PAES (2003), a umidade na massa de resíduos é necessária para o transporte de nutrientes e transferência de calor, ou seja, o fluxo de umidade através de um aterro estimula a atividade microbiana de biodegradação, fornecendo melhor acesso dos substratos insolúveis e dos nutrientes solúveis aos microrganismos.

QIAN et al. (2002), apresentam 2 tipos de umidade que são usados no projeto dos aterros sanitários. O primeiro tipo de umidade contida é definida como a porcentagem do peso de água pelo peso do resíduo seco, é escrito como:

$$w_d = \left(\frac{W_w}{W_s} \right) \cdot 100 \quad (2.1)$$

onde:

w_d é a umidade gravimétrica seca contida em %;

W_w é o peso de água;

W_s é o peso seco dos resíduos sólidos.

Os autores apresentam o segundo tipo de umidade contida com base no peso úmido dos resíduos de acordo com a seguinte equação:

$$w_w = \left(\frac{W_w}{(W_s + W_w)} \right) \cdot 100 \quad (2.2)$$

onde:

w_w é a umidade gravimétrica úmida contida em %;

W_w é o peso de água;

W_s é o peso seco dos resíduos sólidos.

A umidade dentro da massa de resíduos pode ser medida com o auxílio de sondas, em diferentes perfis.

2.4.5 Produção de Biogás

Nos últimos anos a produção de gás está sendo vista pelo aspecto da possibilidade de valorização energética. Depois de um processo de purificação este é comprimido adequadamente e o biogás pode ser utilizado em caldeiras ou até em substituição ao combustível líquido tradicional de veículos automotores (REICHERT, 2000).

No Brasil são poucas experiências relacionadas ao processo de valorização e utilização do biogás, mas existem muitas pesquisas com grande potencial de aplicação no futuro.

CASTILHOS (1991) cita elementos que influenciam a produção de biogás:

- Granulometria dos Resíduos: A redução do tamanho das partículas contribui para o acréscimo da produção de gás em função do aumento da superfície do substrato disponível para a atividade enzimática.
- Umidade: o teor de umidade tem influência na degradação dos resíduos e na geração de biogás. O teor de umidade ótima indicada é de 40 a 80%.
- pH e nutrientes: maior parte dos fenômenos vitais está dentro da faixa de pH de 5 a 9, e as bactérias metanogênicas se desenvolvem nessa faixa de pH.
- Temperatura: a temperatura tem influência nas atividades enzimáticas das bactérias. A temperatura é difícil de ser controlada no caso dos aterros sanitários, sendo influenciada pela atividade bacteriana e a temperatura ambiente.

2.5 As Principais Análises Físico-Químicas dos Líquidos Percolados

CASTILHOS et al. (2003) afirmam que as principais análises realizadas no monitoramento de águas subterrâneas e superficiais, com o objetivo de detectar possíveis contaminações por líquidos percolados são a DBO, DQO, sólidos, OD, pH, metais, fósforo e nitrogênio total e amoniacal.

2.5.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio

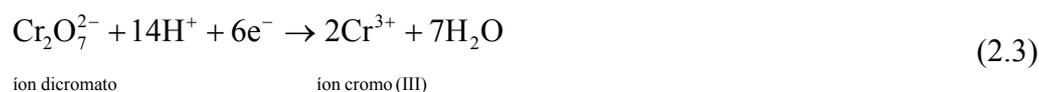
É a quantidade em peso de oxigênio utilizada pelos microorganismos para degradar os compostos carbonados e nitrogenados presentes na amostra pelo período de cinco dias. Valores elevados de DBO₅ indicam grande quantidade de matéria orgânica e alta atividade biológica na amostra, enquanto valores baixos indicam que a amostra tem pouca matéria orgânica e baixa atividade biológica.

Os valores de DBO₅ são expressos em mg O₂/L (APHA, 1992).

2.5.2 Demanda Química de Oxigênio

É a quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente todos os compostos sujeitos a esta reação (oxi-redução) presentes em uma determinada amostra. A DQO é diretamente proporcional a poluição de um corpo d'água, ou seja, rios altamente poluídos têm DQO elevada. Os valores são expressos em mg O₂/L (APHA, 1992). De acordo com BAIRD (2002), o íon dicromato Cr₂O₇²⁻, na forma de Na₂Cr₂O₇ um de seus sais, é digerido por ácido sulfúrico, tendo como resultado um forte agente oxidante.

A semi-reação de redução do dicromato que ocorre na oxidação da matéria orgânica é:



íon dicromato

íon cromo (III)

Este procedimento pode sofrer interferência de cloretos, brometos e iodetos, que reagem com o sulfato de prata e produzem um precipitado que será oxidado apenas parcialmente. Esta dificuldade pode ser superada, embora não completamente, adicionando-se sulfato de mercúrio (HgSO₄) antes da digestão.

2.5.3 Sólidos Totais

A carga de sólidos representa o conjunto de substâncias de natureza orgânica e inorgânica dissolvidas (resíduos fixos, portanto, menos os gases dissolvidos) e em suspensão. A classificação dos sólidos pode ser física ou química. Fisicamente os sólidos estão classificados segundo suas dimensões: sólidos dissolvidos (colóides e dissolvidos) possuem dimensões inferiores a 2,0 μm, e os em suspensão, dimensões superiores a esta. Do ponto de vista químico, os sólidos são classificados em voláteis e fixos. Os voláteis são aqueles que se volatilizam a temperatura inferior a 65°C, sejam estas substâncias orgânicas ou sais minerais que evaporam a esta temperatura. Os fixos

são aqueles que permanecem após a completa evaporação da água (em geral os sais). (LAURENTI, 1997).

Os sólidos totais são resíduos de uma amostra após a sua evaporação e secagem a 103°C – 105°C, os sólidos fixos são resíduos dos sólidos totais em suspensão ou dissolvidos que permanecem após calcinação da amostra a 550°C e os sólidos voláteis consistem na perda de peso dos sólidos totais em suspensão ou dissolvidos após calcinação da amostra a 550°C. Os sólidos voláteis são geralmente usados como estimativa dos sólidos orgânicos, embora alguns sais minerais (cloretos e nitratos e carbonatos) sejam perdidos durante a calcinação. Elevado teor de sólidos voláteis confirma a fase inicial de decomposição e aponta para uma grande quantidade de matéria orgânica.

VENKATARAMANI et.al., (1983) citados em BARROS (2004), ressaltam a importância da análise da relação sólidos voláteis totais por sólidos fixos totais, ou seja (SVT/SFT), na determinação da tratabilidade biológica do percolado, sendo que quanto maior for esta relação, maior também será a probabilidade de um bom tratamento biológico.

2.5.4 Nitrogênio Total

Geralmente a presença de compostos nitrogenados na água são resultados da decomposição das proteínas (matéria orgânica), sendo este um nutriente importante para várias culturas. A presença de nitrogênio em corpos d'água pode ocasionar o aparecimento de algas, que provocam elevada coloração, odor e sabor. A amônia ou o nitrogênio amoniacal podem estar naturalmente presentes nas águas de superfície ou subterrâneas como resultado da decomposição da matéria orgânica, sendo que a amônia é tóxica. A concentração de nitrogênio é diretamente proporcional à presença de matéria orgânica em uma amostra.

2.5.5 Condutividade

A condutividade de uma solução aquosa, a uma determinada temperatura, é a medida da sua habilidade em transmitir corrente elétrica. Para que ocorra o transporte de energia é fundamental que estejam presentes bons condutores, ou seja, partículas carregadas (íons). Os fatores que afetam a condutividade são a presença dos cátions e ânions e suas concentrações absolutas e relativas, a valência dos íons, a temperatura da solução durante a medida. A condutividade é determinada fisicamente através da medida da resistência específica de uma célula eletrolítica conectada a um circuito externo, através de uma ponte de Wheastone, alimentada por uma corrente alternada de baixa voltagem e perfeitamente simétrica (LAURENTI, 1997).

2.5.6 Medida do pH

A medida do pH é um dos testes mais importantes para a caracterização físico-química da água (líquidos percolados), interferindo diretamente na estabilidade e solubilidade de metais. O pH pode ser determinado de várias formas, utilizando indicadores e papéis indicadores, colorimetricamente ou potenciometricamente. O método mais utilizado é o potenciométrico, através de um instrumento chamado pHmetro.

As soluções com pH menor de 7 são soluções ácidas, com pH maior de 7 são soluções básicas e com pH igual a 7 são neutras. Basicamente a medida do pH não sofre interferências, mas é dependente da temperatura, sendo assim, todas as medidas realizadas devem ser acompanhadas também da temperatura na qual foi realizada a medida.

2.5.7 Metais

REIS & ELLWANGER (2004) citam que os metais pesados, principalmente cádmio, cobre, chumbo e zinco, estão presentes na fração orgânica do composto do resíduo urbano, em concentrações relativamente elevadas.

➤ **Chumbo**

A contaminação da água pelo chumbo provoca a destruição de hemoglobina dos peixes e retarda o crescimento de vários organismos. No homem o chumbo é acumulativo, no cérebro provoca encefalites graves, além disso, pode causar enfermidades como anemias, problemas renais, paralisia, melancolia, glaucoma e outras doenças. Valores mais elevados nas amostras do aterro podem ser devido à degradação dos resíduos ali depositados, uma vez que o chumbo está presente em muitos materiais, principalmente as tintas.

➤ **Zinco**

A presença de zinco em águas para consumo é controlada, pois quando ultrapassa o valor de 15 mg/l nos padrões brasileiros, confere a água sabor desagradável. O óxido de zinco é muito utilizado na confecção de tintas, produtos de borracha, cosméticos, e indústria farmacêutica. As principais fontes poluentes de zinco no solo são as atividades de mineração, uso agrícola de lodo de esgoto, resíduos e subprodutos de processos industriais e o uso de agroquímicos, tais como fertilizantes. Para os peixes é tóxico em concentrações a partir de 4 mg/l.

➤ **Mercúrio**

O mercúrio raramente ocorre livre na natureza e as jazidas minerais mercuríferas, na maioria das vezes, são raras; todavia, já que nas jazidas o mineral é relativamente concentrado, o metal não é considerado particularmente raro. É estável ao ar e à água, ao ar seco não se oxida, mas depois de longa permanência ao ar úmido, cobre-se com uma camada fina de óxido. Não reage com álcalis, bem como com a maioria dos ácidos, exceto ácido nítrico concentrado. O mercúrio tem um coeficiente de expansão notável, ele não é bom condutor de eletricidade, de calor e tem uma tensão superficial muito elevada; o mercúrio, portanto, não banha superfícies com as quais entra em contato. Liga-se com muitos metais, mesmo a frio, formando as amálgamas. O mercúrio e seus sais são extremamente venenosos. Possui efeito cumulativo nos organismos dos animais.

➤ Cromo

De acordo com BRANCO & ROCHA (1977), cromatos e dicromatos de sódio, potássio e de amônio são solúveis, assim como o cloreto, o nitrato e o sulfato (trivalentes). São largamente empregados na indústria, principalmente os hexavalentes, porém as formas trivalentes são consideradas inócuas a saúde, há evidências de que os cromatos, em doses elevadas têm efeito corrosivo no aparelho digestivo e produzem nefrite.

2.5.8 Indicador DBO₅/DQO

Um indicador utilizado para avaliar a fase de decomposição dos resíduos sólidos é a razão entre a DBO₅ e a DQO. Segundo HAMADA (1997), a biodegradabilidade do percolado varia com o tempo e pode ser determinada pela variação da relação DBO₅/DQO. Em aterros novos, a relação DBO₅/DQO fica em torno de 0,5. Índices entre 0,4 e 0,6 são indicadores de melhor biodegradabilidade. Já em aterros mais velhos, esta relação varia geralmente entre 0,05 e 0,2.

Segundo MARTIN et al., (1995), valor baixo na razão DBO₅/DQO, é considerada uma condição necessária, mas insuficiente para afirmar a estabilidade dos líquidos percolados. Isso por que os líquidos percolados infiltram pelos resíduos e são coletados na base do aterro, onde os resíduos são degradados mais rápidos e onde o valor baixo da razão DBO₅/DQO dos líquidos percolados indica um processo de baixa atividade biológica.

2.6 Legislação Referente a Resíduos Sólidos

A Fig. 2.3 apresenta normas da NBR referente a resíduos sólidos.

Normas da ABNT	
NBR 10.004	“Classificação dos Resíduos Sólidos”
NBR 10.005	“Lixiviação dos Resíduos”
NBR 10.006	“Solubilização dos Resíduos”
NBR 10.007	“Amostragem de Resíduos”
NBR 10.703	“Degradação do Solo; Terminologia”

NBR 8.419	“Apresentação de Projeto de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos”
NBR 9.897	“Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores”
NBR 9.690	“Mantas de polímeros para impermeabilização (PVC)”
NBR 9.898	“Preservação e Técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores”

FIGURA 2.3 – Normas da ABNT sobre Resíduos

A Fig. 2.4 apresenta legislações federais sobre resíduos sólidos.

Legislação Federal sobre Resíduos	
Constituição Federal de 1988	artigos 21, 23 e 201
Resolução CONAMA N° 06, de 1986	“Dispõe sobre o controle de licenciamento de atividades industriais geradoras de resíduos e dá outras providências.”
Resolução CONAMA N° 08, de 1991	“Dispõe sobre a entrada no País de materiais residuais”
Portaria Normativa N° 138-N, 1992	“Dispõe sobre a proibição de importação de resíduos”
Instrução Normativa N° 40, 1993	“Complementa a Portaria N° 138-N/92”
Decreto N° 875, 1993	“Promulga o texto da Convenção de Basileia sobre o controle de movimento transfronteiriços de resíduos perigosos e seu depósito”
Resolução CONAMA N° 05, 1993	“Define as normas mínimas para tratamento de resíduos sólidos oriundos de serviços de saúde, portos e aeroportos e terminais rodoviários e ferroviários”

FIGURA 2.4 – Legislação Federal sobre Resíduos

CAPITULO III

3 METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho consiste no monitoramento de um piloto experimental que tem a finalidade de simular um aterro sanitário. Foram monitorados diariamente os parâmetros hidrológicos (quantitativos), precipitação, evaporação e volumes de líquidos percolados gerados. A concentração dos líquidos percolados (qualitativo) foi determinada através de análises laboratoriais semanais dos parâmetros físico-químicos: Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Sólidos Totais, Condutividade e pH.

3.1 Procedimentos Operacionais

O monitoramento consiste nas leituras diárias da precipitação, evaporação e da geração de líquidos percolados para a célula 3 (três) do piloto experimental. As coletas das amostras foram realizadas semanalmente, no período entre fevereiro a dezembro de 2002. As amostras foram analisadas imediatamente após as coletas, no Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) da Universidade Federal de Santa Catarina. A Fig. 3.1 apresenta o fluxograma metodológico adotado.

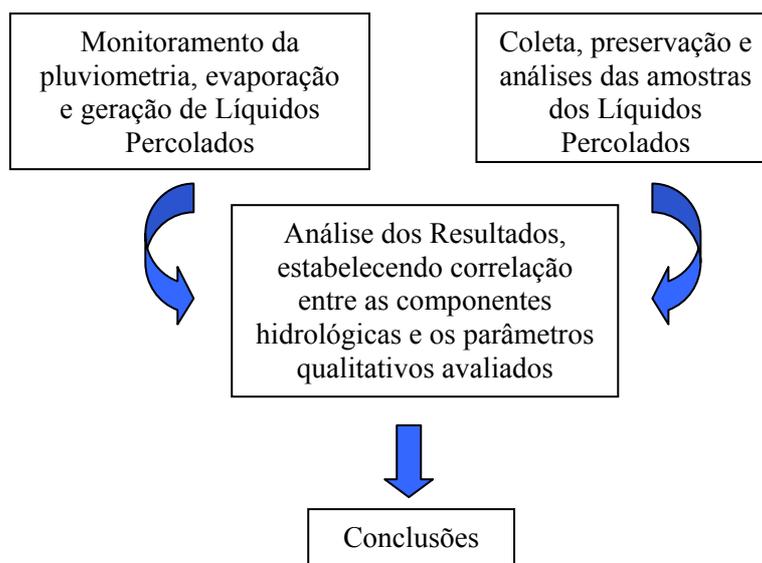


FIGURA 3.1 – Fluxograma Metodológico

3.2 Caracterização do Piloto Experimental

O piloto experimental foi montado com o objetivo de simular um aterro sanitário, auxiliando no estudo das variações das concentrações dos líquidos percolados. A Fig. 3.2 apresenta o *Layout* esquemático do piloto. O piloto experimental, mostrado na Fig. 3.3, localiza-se próximo ao Laboratório de Hidráulica da Universidade Federal de Santa Catarina, nos fundos do Hospital Universitário. O piloto é constituído de três células, sendo que cada célula apresenta o volume de 4,9 m³ de resíduos urbanos, proveniente dos roteiros de coleta dos Bairros Capoeiras e Vila São João, em Florianópolis, do roteiro K 8V da COMCAP - Companhia Melhoramentos da Capital.

Os resíduos sólidos urbanos foram compactados manualmente e para cobertura final foi utilizada uma camada de areia grossa. Todas as células foram equipadas com sistema de drenagem de líquidos percolados, ficando expostas ao ambiente, chuvas e evaporação natural. A infiltração de líquidos através das células é medida com a diferença entre a precipitação decorrente e o escoamento superficial. Devido ao tipo de solo de cobertura utilizado, o escoamento superficial é considerado igual a zero, ou seja, o que precipita não esco, infiltrando diretamente nos resíduos urbanos depositados.

Para a medição das precipitações foi utilizado um pluviômetro construído e montado no local do piloto experimental. Na etapa de caracterização dos resíduos, foram retiradas amostras de cinco pontos distintos (topo e 4 laterais) e transferidos para tonéis de 200 litros cada, no momento em que os sacos foram rompidos para o preenchimento dos tonéis. Os resultados da caracterização são apresentados na Tabela 3.1 e maiores detalhes são citados em SILVA (2002).

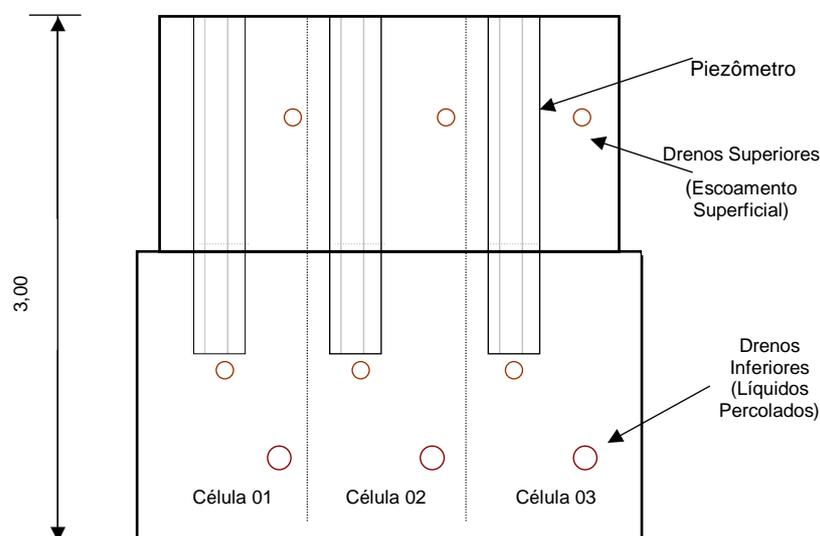
Os pesos específicos dos resíduos medidos nas três células foram: Célula 1 = 325,2 kgf/m³; Célula 2 = 298,3 kgf/m³; Célula 3 = 343,9 kgf/m³. Segundo MEDEIROS et al. (2002) estes valores situam-se um pouco abaixo dos aterros considerados de “fraca compactação”. Isso se deve à dificuldade de efetuar a compactação dentro da célula, que acabou sendo de forma manual.

TABELA 3.1 - Composição Gravimétrica dos Resíduos

Produto	Peso (kg)	Percentual total (%)
Resíduo orgânico	34,45	57,56
Papel	4,1	6,85
Papelão	1,85	3,09
Plástico mole	5,95	9,94
Plástico duro	1,45	2,42
Vidro	0,70	1,17
Multicamadas	0,70	1,17
Alumínio	0,30	0,50
Ferro	0,40	0,67
Madeira	1,20	2,01
Trapos e couro	2,80	4,68
Tóxicos (pilhas, lâmpadas)	0,05	0,08
Fraldas e lixo sanitário	5,20	8,69
Inertes	0,30	0,50
Rejeitos	0,40	0,67
TOTAL	59,85	

Fonte: MEDEIROS et al. (2002)

Para a escolha de qual célula seriam realizadas as coletadas de amostras, foi levado em consideração a que teve maior produção de líquidos percolados nos meses anteriores a primeira coleta, sendo escolhida a unidade de célula número três.

**FIGURA 3.2** – Layout do Piloto Experimental

Fonte: SILVA (2002)



FIGURA 3.3 – Piloto Experimental

3.3 Procedimentos Analíticos

Os parâmetros escolhidos de acordo com o grau de importância e a disponibilidade dos equipamentos laboratoriais foram a DBO₅, DQO, ST, Condutividade e o pH. Os parâmetros analisados e os métodos utilizados são apresentados na Tabela 3.2 seguir.

TABELA 3.2 – Metodologias de Análises

Parâmetros	Método de Análise
DBO ₅	Manométrico
DQO	Colorimétrico
Sólidos Totais	Norma da CETESB
Condutividade	Condutivímetro
pH	Potenciométrico

3.3.1 Análise de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

A análise de DBO foi feita de acordo com o Método 5210 B. do *Standard Methods*, 1985. Esta análise tem por finalidade medir as concentrações de oxigênio

dissolvidos em um período de tempo usualmente de 5 dias, onde a amostra fica selada e mantida a temperatura constante, normalmente 20°C. O resultado da DBO₅ é expresso em mg/litro.

Segundo o manual do fabricante Hach – DBO₅, aparelho utilizado para esta análise, a medida do pH deve estar na faixa entre 7 e 8, sendo essa a faixa ótima para o desenvolvimento bacteriano.

3.3.2 Análise da Demanda Química de Oxigênio

Utilizou-se o método calorimétrico - Método 508 do *Standard Methods*, 1985. A amostra é aquecida em frasco fechado em meio fortemente ácido com uma quantidade de dicromato. Após a digestão, o dicromato de potássio foi reduzido e pôde ser medido contra padrões, que é uma curva de soluções padrões utilizados para calibrar o espectrofotômetro de UV, Marca Hach. O resultado da DQO é expresso em unidades de mg/litro.

A DQO representa um dos principais parâmetros de contaminação existentes no líquidos percolados, indicando a carga de matéria orgânica transportada e a quantidade de oxigênio necessária para sua estabilização (JUNQUEIRA et al., 1999).

Em geral as amostras altamente poluídas apresentam valores elevados de DQO, podendo atingir valores acima de 80.000 mg/l, no caso de um aterro sanitário (VARGAS, 1998).

3.3.3 Medida dos Sólidos Totais

A medida é realizada de acordo com a Norma L5.149 da CETESB, foi utilizado o método A, para resíduo total. O procedimento se inicia com o preparo da cápsula (cadinho de porcelana), deve-se deixar a cápsula limpa na mufla a 550°C por uma hora, esfriar no dessecador, pesar com precisão de 0,1 mg e deixar no dessecador até o momento do uso.

Após isto, uma porção homogênea de amostra de volume adequado é transferida quantitativamente para uma cápsula de evaporação, a evaporação é feita em banho-maria ou em chapa, e seca na estufa.

O aumento do peso em relação ao peso da cápsula vazia corresponde ao resíduo total. A determinação do resíduo fixo é feita após a determinação do resíduo total, este é submetido à ignição a 550°C por uma hora na mufla, o material restante representa o resíduo fixo. A determinação do resíduo volátil se dá pela diferença entre o resíduo total e o resíduo fixo.

3.3.4 Medida da Condutividade

A medida da condutividade é feita de forma direta, colocando-se o eletrodo em contato com a amostra. O condutivimêtro utilizado foi da Marca Orion.

3.3.5 Medida de pH

Para a medida do pH utilizo-se o pH-metro digital, marca Orion e a medida foi feita de forma direta, assim como a condutividade, colocando-se o eletrodo em contato direto com a amostra. A calibração do aparelho foi feita de acordo com as orientações da Norma CETESB -L5.145.

3.4 Medições no Piloto Experimental

A variáveis (parâmetros) hidrológicas, apresentadas a seguir, foram medidas ou calculadas a partir de dados diários. Para obter-se uma escala temporal compatível com a das análises físico-químicas, que foram semanais, utilizou-se o artifício de calcular os valores médios e de pico ocorridos entre as datas das análises físico-químicas para os parâmetros hidrológicos.

3.4.1 Precipitação Volumétrica

Foram coletados dados referentes à precipitação diária (em mm convertidos para litros/dia), por meio de um pluviômetro montado próximo ao local do piloto experimental (FIRTA et al., 2003). Para a medida da precipitação utilizou-se um pluviômetro construído para a pesquisa, onde se determinou que a precipitação corresponderia a série histórica natural da precipitação total de um dia medida pelo pluviômetro. O pluviômetro é um aparelho dotado de uma superfície de captação horizontal delimitada e de um reservatório para acumular a água captada. A água acumulada no aparelho foi medida diariamente.

Na Fig. 3.4 apresenta-se o pluviômetro construído para esta pesquisa.



FIGURA 3.4 – Pluviômetro
Fonte: MEDEIROS et al. (2002)

No piloto experimental o material de cobertura utilizado foi areia grossa, por este motivo considerou-se que a infiltração era igual à precipitação, não ocorrendo escoamento superficial.

3.4.2 Evaporação

MEDEIROS et al. (2002), desenvolveram uma pequena unidade para medição da evaporação real de solo nu, sendo que esta unidade para medida da evaporação foi usada para o estudo de Balanço Hídrico.

A Fig. 3.5 a seguir apresenta o evaporímetro utilizado para a medição da evaporação.



FIGURA 3.5 – Evaporímetro
Fonte: MEDEIROS et al. (2002)

Este modelo em escala reduzida para a medição da evaporação é composto por um cilindro de PVC com diâmetro interno de 19,5 cm e altura de 70 cm, contendo uma camada de 30 cm de material de cobertura, sendo este material de cobertura igual ao usado nas células do piloto experimental. O material de cobertura é colocado sobre uma camada de 0,30 cm de resíduos, o qual é igualmente o mesmo utilizado no preenchimento das células do piloto e equipado com um sistema de drenagem de líquidos percolados, composto por uma placa de PVC perfurada, permitindo assim a sua passagem até um reservatório inferior. O evaporímetro está equipado com uma escala graduada em centímetros, onde se pode notar a variação do volume de água em seu interior.

3.4.3 Volume de Líquidos Percolados Gerados

Cada célula do piloto tem montado em sua base um sistema de drenagem para líquidos percolados, sendo este sistema composto de uma camada de brita N.º 2, e tubulação de PVC de diâmetro interno de 50 mm e declividade igual a 4 %. Neste tubo foram feitos cortes transversais atingindo sua metade, com largura de 8 mm espaçados a cada 2 cm.

Este sistema está conectado a reservatórios plásticos (caixas coletoras) com capacidade de 40 litros para cada célula.

Os volume de líquidos percolados foram medidos logo após o seu armazenamento na caixa coletora, mostrada na Fig. 3.6, sendo que esta caixa tem uma torneira e com o auxílio de uma proveta fazia-se a medida manual do líquido gerado diariamente.



FIGURA 3.6 – Caixa Coletora de Líquidos Percolados

3.4.4 Fluxo Hídrico na Superfície e no Fundo da Célula

O fluxo na superfície do piloto é representado pelo balanço hídrico nas componentes de Precipitações e da Evaporação.

O fluxo na superfície média é dado pela expressão apresentada a seguir:

$$FSM = PrecM - EvapM \quad (3.1)$$

O fluxo na superfície de pico foi obtido a partir da determinação do FSM_{Max} (Fluxo na Superfície Máximo), ocorrido no período entre as coletas e o cálculo do FSM_{Min} (Fluxo na Superfície Mínimo), desta forma considerou-se o maior valor ocorrido, sendo este pico positivo ou negativo.

O fluxo no fundo do piloto é representado pelos líquidos percolados que sai do piloto, desta forma o Fluxo no Fundo é dado pelas expressões apresentadas a seguir.

$$\text{Fluxo no Fundo Médio} \rightarrow FFM = -PercM \quad (3.2)$$

$$\text{Fluxo no Fundo de Pico} \rightarrow FFPico = -PercPico \quad (3.3)$$

3.4.5 Variação da Umidade

A variação da umidade dentro da célula do piloto foi determinada através da seguinte equação para a DUM (Variação da Umidade Média) correspondente ao período de análise.

$$DUM = FSM + FFM \quad (3.4)$$

onde o FSM é o fluxo na superfície médio e o FFM é o fluxo no fundo médio.

A variação da umidade de Pico foi obtida a partir da determinação do DUM_{Max} (Variação da Umidade Máxima) ocorrido no período entre as coletas e o cálculo do DUM_{Min} (Variação da Umidade Mínimo), desta forma considerou-se o maior valor ocorrido, sendo este pico positivo ou negativo.

3.4.6 Umidade Diária da Célula e Umidade Média Acumulada

A umidade diária dentro da célula do piloto foi determinada através da seguinte equação do balanço hídrico:

$$Ut_t = \sum_0^t P - \sum_0^t Evap - \sum_0^t LPG + U_{iRS} \quad (3.5)$$

$(Ut)_t$ = Umidade diária da célula três, no tempo t

$\sum_0^t P$ = Precipitação do tempo inicial até o tempo t.

$\sum_0^t Evap$ = Evaporação do tempo inicial até o tempo t.

$\sum_0^t LPG$ = Líquidos percolados gerados pela célula três, do tempo inicial até o

tempo t.

U_{iRS} = Umidade inicial dos Resíduos + Umidade Solo de Cobertura

O cálculo da umidade inicial dos resíduos encontra-se apresentado em detalhes no trabalho realizado por MEDEIROS et al. (2002), sendo que o valor de U_{iR} encontrado para a célula três foi de 964,55 litros, a partir deste momento o valor da umidade passou a ser calculado. Os demais valores de precipitação, evaporação e líquidos gerados foram monitorados diariamente, desta forma empírica obteve-se os valores correspondentes à umidade, que é correspondente à quantidade total de água dentro da célula do piloto experimental. Com a determinação da umidade acumulada para o período das análises físico-químicas (semanais), calculou-se os valores médios da umidade acumulada entre os dias de análises.

3.5 Estatística Utilizada

Para auxiliar na interpretação dos resultados obtidos, utilizou-se neste trabalho métodos estatísticos do Software *Statistica*® e uma pequena base conceitual referente

aos métodos será apresentada neste item. Inicialmente foram apresentados os dados dos parâmetros qualitativos variando em função do tempo. A normalidade de cada parâmetro foi testada através do Teste de Shapiro-Wilk's, em seguida se correlacionou os dados pela correlação de Spearman (para dados não paramétricos) e pela correlação de Pearson (para os dados parametrizados).

Após a normalização dos dados qualitativos, aplicou-se a regressão multivariada para encontrar o modelo estatístico correspondente para os parâmetros DBO, DQO, ST, Condutividade e pH. Para os dados quantitativos (precipitação, evaporação, líquidos percolados, fluxos, umidade média acumulada e a variação da umidade), apresentaram-se os gráficos em função do tempo e avaliou-se a correlação entre os parâmetros. Posteriormente foi avaliada a correlação entre os parâmetros qualitativos e os parâmetros quantitativos, na tentativa de observar a ocorrência de interferência dos parâmetros hidrológicos nas concentrações dos líquidos percolados.

a) Software Statistica®

De acordo com OGLIARI & PACHECO (2004), o *Statistica* é um programa integrado para o gerenciar análises estatística e bases de dados, caracterizando uma ampla seleção do processo analítico, do básico ao avançado, permitindo a realização da mineração dos dados (*Data Mining*). O programa não inclui somente procedimentos estatísticos e gráficos gerais, mas também, módulos especiais tais como: análise de regressão, análise de sobrevivência, séries temporais, análise fatorial, análise discriminante e diversos outros módulos.

b) Estatística Descritiva

b.1) Média Aritmética

Para se obter a média de um conjunto de dados basta fazer a soma dos valores de todos os dados e dividir pelo número de dados. É uma medida de tendência central porque dá a abscissa de um ponto em torno do qual os dados se distribuem.

b.2) Variância

É uma medida de dispersão que fornece uma idéia de como os dados são distribuídos (variabilidade) em torno da média. O grau de dispersão de um conjunto de dados pode ser medido pelos desvios dos valores observados em relação à média.

Os desvios em relação a média medem a dispersão, no entanto é preciso considerar que cada dado tem um desvio em relação à média. A soma dos desvios é sempre igual a zero porque os desvios, com sinais positivos e negativos se compensam. Dado pela seguinte fórmula:

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n - 1} \quad (3.6)$$

onde $n - 1$ é o grau de liberdade, que é igual ao número de dados menos 1.

b.3) Desvio Padrão

É a raiz quadrada com sinal positivo, da variância. O desvio padrão pode ser representado por S . Na prática o desvio padrão é preferido em relação a variância, pois ele é expresso na mesma unidade dos dados originais.

$$S = \frac{\sqrt{\sum (x_i - \bar{X})^2}}{n - 1} \quad (3.7)$$

c) Teste de Shapiro- Wilks para Normalidade

Alguns resultados na estatística apresentam a hipótese que a população é considerada Gaussiana, ou a hipótese de normalidade assintótica, neste caso o teste de normalidade são válidos. Para realizar o teste de normalidade pode-se utilizar o teste de Shapiro-Wilks, onde o valor de p calculado deve ser maior que 5% ($p > 0,05$), para que a hipótese de Gaussianidade seja aceita, com o nível de significância estabelecido nesta pesquisa de 5%. O valor p ou probabilidade de significância é definido como a

probabilidade estatística do teste de acusar um resultado próximo ou distante do esperado.

d) Coeficiente de Correlação de Pearson

O valor do coeficiente de Pearson (R_p) não depende da unidade de medida dos dados e é utilizado para dados lineares. A correlação entre duas variáveis pode ser perfeita. A correlação é perfeita positiva quando acréscimos constantes em uma das variáveis determinam acréscimos constantes na outra variável. A correlação é perfeita negativa quando acréscimos constantes em uma variável determinam decréscimos constantes na outra variável. A correlação raramente é perfeita. O grau de correlação varia bastante. Para medir o grau de correlação entre duas variáveis usa-se o coeficiente de correlação. O R_p varia entre -1 e 1 . Quanto mais próximo dos extremos estiver o valor do coeficiente de correlação, maior será a correlação entre as variáveis. O valor 1 ou -1 indica a correlação perfeita positiva ou negativa.

e) Coeficiente de Correlação de Spearman

Se os dados de uma variável em estudo apresentarem uma distribuição muito assimétrica (não normal), a análise de correlação pelo coeficiente de Pearson pode não ser satisfatória. Desta forma um dos coeficientes muito usados é o coeficiente de Spearman, que se utiliza apenas da ordenação dos valores.

$$R_s = 1 - \frac{6 \sum D^2}{n(n^2 - 1)} \quad (3.8)$$

Onde D : é a diferença entre os postos das duas variáveis, calculado para cada elemento;

$\sum D^2$: é a soma dos quadrados dos valores de D ; e

n : é número de elementos observados (tamanho da amostra).

Assim como o coeficiente de Pearson, o coeficiente de Spearman varia entre -1 e $+1$.

f) Regressão Múltipla

A análise de regressão múltipla, procura construir modelos estatísticos que estuda objetivamente a relação entre as variáveis independentes e a variável dependente.

A partir do modelo tenta-se conhecer a influência de cada variável independente, e prever a variável dependente em função do conhecimento das variáveis independentes.

$$y = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (3.9)$$

A análise de regressão múltipla parte de um conjunto de observações $(x_1, x_2, \dots, x_k, y)$, relativas as variáveis X_1, X_2, \dots, X_k e Y . Onde y é a variável dependente, α e $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ são parâmetros estimados e ε representa o efeito aleatório.

CAPITULO IV

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos do monitoramento dos parâmetros qualitativos e quantitativos dos líquidos percolados e as análises estatísticas dos dados realizados com o auxílio do *Software Statistica 6.0*.

4.1 Resultados dos Parâmetros Analíticos Qualitativos

No Apêndice I, são apresentados os resultados das análises semanais realizadas em laboratório para os parâmetros físico-químicos analisados.

4.1.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO₅

O gráfico da Fig. 4.1 apresenta a DBO₅ variando em função do tempo.

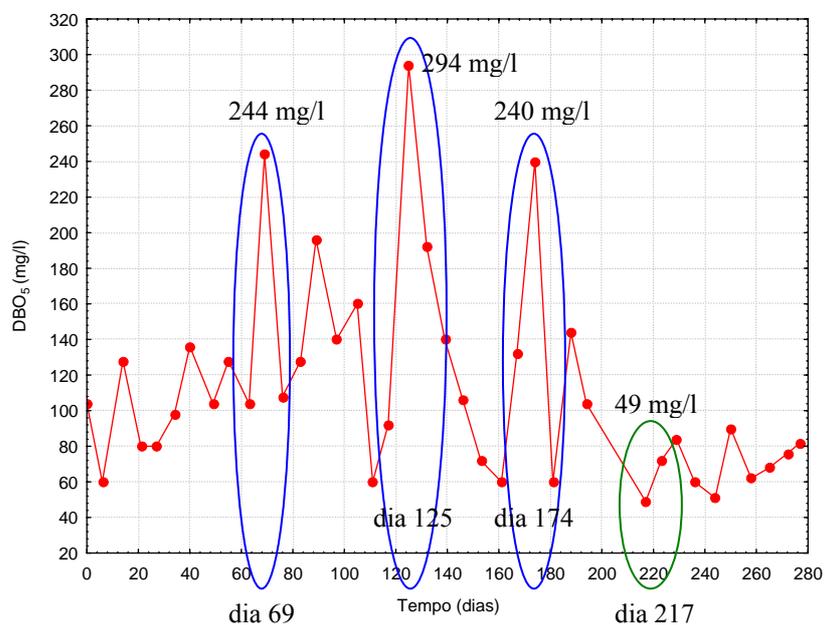


FIGURA 4.1 – Gráfico da DBO₅ em Função do Tempo

Com o gráfico da Fig. 4.1, observa-se que os valores da DBO₅ não apresentam comportamento linear ao longo do tempo, tendo variabilidade maior entre os dias 63 e 181, onde ocorreram três picos na DBO₅.

O primeiro pico de 244 mg/l ocorreu por volta do dia 69, o maior pico de 294 mg/l foi no dia 125 e o terceiro pico de 240 mg/l no dia 174 e o valor mínimo da DBO₅ de 49 mg/l ocorreu no dia 217, sendo que a partir do dia 217 os valores de DBO₅ permaneceram continuamente baixos. A Tabela 4.1 a seguir apresenta os valores da média, mínimo, máximo, variância e desvio padrão, para a DBO₅.

TABELA 4.1 – Estatística Descritiva da DBO₅

	N*	Média	Mínimo	Máximo	S ²	S
DBO₅	39	112,51	49,00	294	3217,9	56,73

* Numero de Amostras

A DBO₅ apresentou valores baixos ao longo de todo o período de análise sendo a faixa de variação encontrada de 49 a 294 mg/l. Comparando a faixa de DBO₅ encontrada nas análises com os valores referenciados na literatura (apresentados no Anexo I), pode-se afirmar que a faixa dos valores encontrados são semelhantes àquelas pesquisadas por TCHOBANOGLOUS et al. (1993) para um aterro com idade maior que dez anos.

4.1.2 Demanda Química de Oxigênio – DQO

A Fig. 4.2 apresenta os valores de DQO em função do tempo. A Tabela 4.2 a seguir apresenta a estatística descritiva da DQO na forma dos valores da média, mínimo, máximo, variância e desvio padrão.

TABELA 4.2 – Estatística Descritiva da DQO

	N*	Média	Mínimo	Máximo	S ²	S
DQO	39	866,94	120,00	2299,00	271437	521,00

* Numero de Amostras

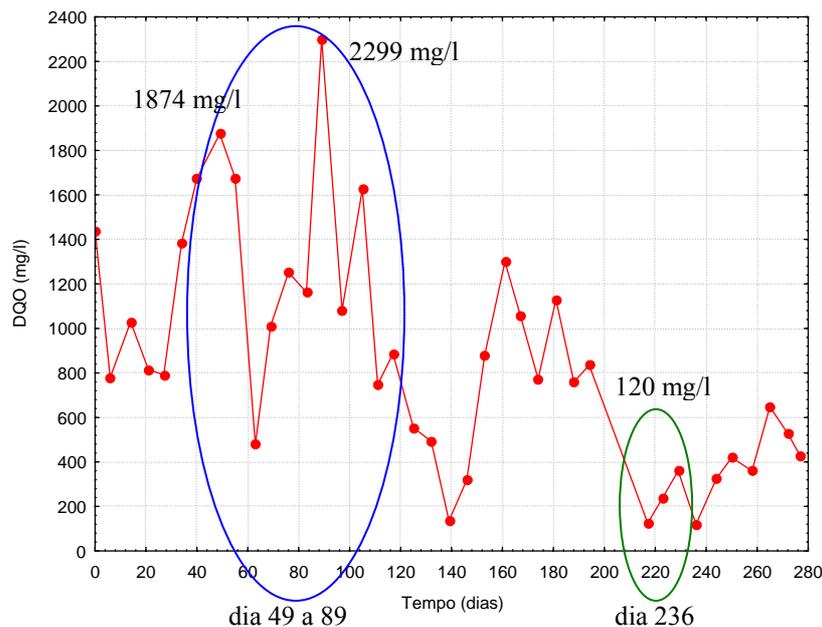


FIGURA 4.2 – Gráfico da DQO em Função do Tempo

De acordo com o gráfico da Fig. 4.2, pode-se visualizar que as ocorrências dos maiores picos foram entre os dias 49 e 89, e os menores valores ocorreram entre os dias 217 e 277. Não foram encontrados valores elevados para a DQO sendo que a faixa variou de 120 a 2299 mg/l durante o período de análise.

Comparando-se os valores de DQO obtidos para o piloto com os valores encontrados na literatura (anexo I), sendo que estes são próximos da faixa de valores encontrados por MCBEAN et al. (1995), pode-se afirmar que os valores da DQO são representativos para um aterro considerado velho, ou seja, em estado de degradação avançado.

4.1.3 Sólidos Totais

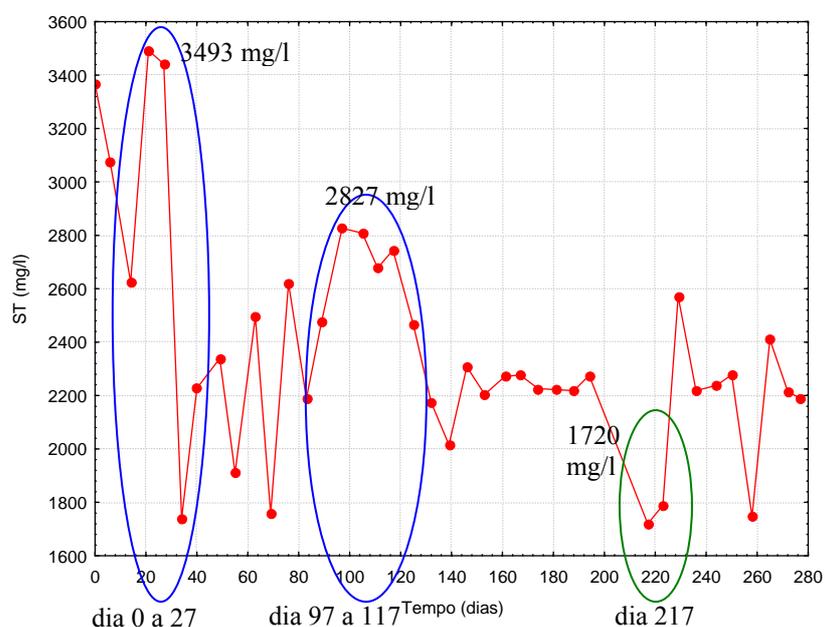
O gráfico da Fig. 4.3, apresenta os ST variando em função do tempo. A Tabela 4.3 a seguir apresenta os valores da média, mínimo, máximo, variância e desvio padrão, para os ST.

TABELA 4.3 – Estatística Descritiva dos ST

	N*	Média	Mínimo	Máximo	S ²	S
Sólidos Totais	39	2380,81	1720	3493	192537	438,79

* Numero de Amostras - ** Desvio Padrão

De acordo com o gráfico da Fig. 4.3, pode-se visualizar que as ocorrências dos maiores picos nos valores dos ST foram entre os dias 0 e o 27, e mais adiante entre os dias 97 e 117 ocorreu uma pequena elevação nos valores dos ST, e o valor mínimo ocorreu no dia 217.

**FIGURA 4.3** – Gráfico dos ST em Função do Tempo

A faixa de variação para os ST foi de 1720 a 3493 mg/l ao longo do período de análise. Os valores dos ST apresentaram queda ao longo do período em relação os pontos iniciais.

4.1.4 Condutividade

O gráfico da Fig. 4.4 apresenta os dados de condutividade variando em função do tempo. De acordo com o gráfico da Fig. 4.4 a ocorrência do pico ocorreu entre os dias 0 e 21, após esse período de picos a condutividade apresentou redução ao longo de todo o tempo de análise e o valor mínimo foi registrado no dia 265.

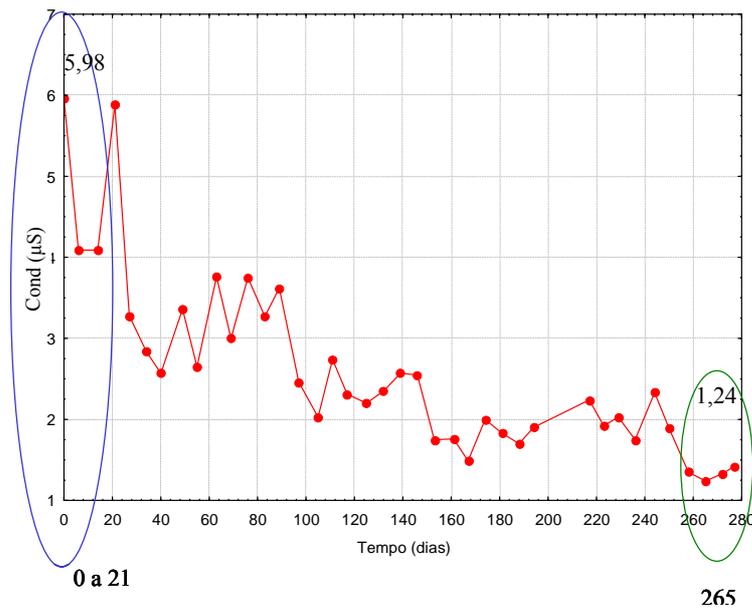


FIGURA 4.4 – Gráfico da Condutividade em Função do Tempo

A Tabela 4.4 a seguir apresenta os valores da média, mínimo, máximo, variância e desvio padrão para a condutividade. Durante o período de análise as faixas dos valores encontrados para a Condutividade ficaram entre 1,24 e 5,96 μS .

TABELA 4.4 – Estatística Descritiva da Condutividade

	N*	Média	Mínimo	Máximo	S ²	S
Condutividade	39	2,60	1,24	5,96	1,2	1,10

* Número de Amostras

4.1.5 pH

A Fig. 4.5 apresenta os valores de pH em função do tempo. De acordo com o gráfico da Fig. 4.5 pode-se visualizar que as ocorrências dos maiores picos foram entre os dias 167 a 223, e o valor mínimo foi registrado no dia 89.

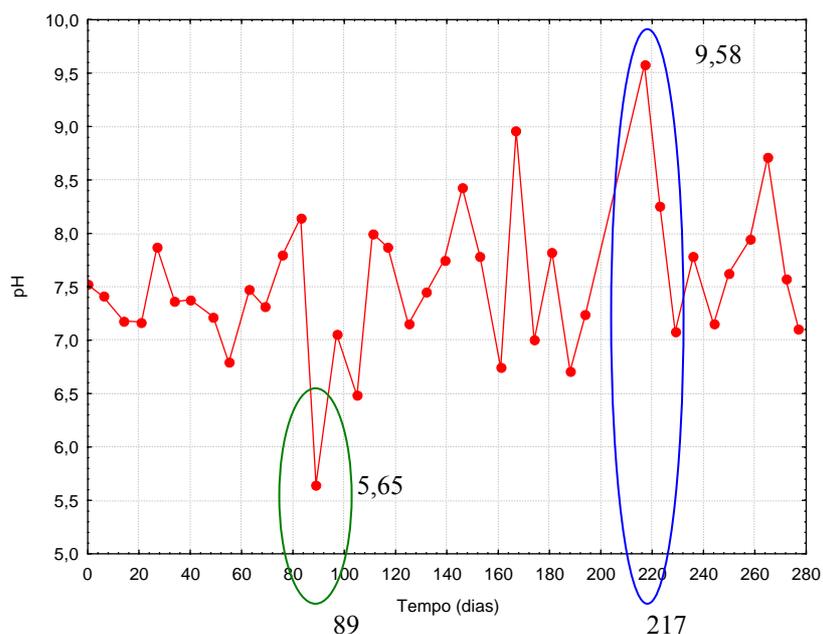


FIGURA 4.5 – Gráfico do pH em Função do Tempo

A Tabela 4.5 abaixo apresenta a análise descritiva para os dados do pH na forma dos valores da média, mínimo, máximo, variância e desvio padrão.

TABELA 4.5 – Estatística Descritiva do pH

	N*	Média	Mínimo	Máximo	S ²	S
pH	39	7,53	5,65	9,58	0,5	0,70

* Numero de Amostras

A variação do pH ao longo do período de análise ficou entre 5,65 e 9,58. A faixa de pH encontrada para o piloto é típica para aterros na fase metanogênica, sendo que esta fase geralmente tem início por volta do 5º ano de funcionamento do aterro.

4.1.6 Indicador DBO₅/DQO

A relação DBO₅/DQO é um indicador utilizado para avaliar a fase de decomposição dos resíduos sólidos, sendo que os valores desta relação estão apresentados no Apêndice I.

A Fig. 4.6 apresenta os valores da relação entre a DBO_5/DQO em função do tempo.

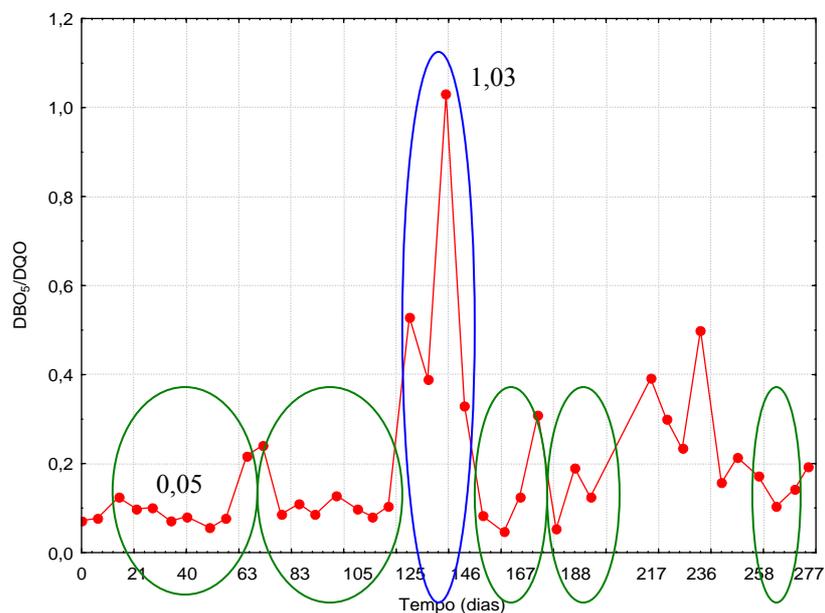


FIGURA 4.6 – Gráfico de DBO_5/DQO em Função do Tempo

No gráfico da Fig. 4.6, pode-se observar que a ocorrência do maior pico foi no dia 139 igual a 1,03 e ocorre no período seco para a precipitação. A Tabela 4.6 abaixo apresenta a análise descritiva para os dados do DBO_5/DQO na forma dos valores da média, mínimo, máximo, variância e desvio padrão.

TABELA 4.6 – Estatística Descritiva do DBO_5/DQO

	N*	Média	Mínimo	Máximo	S ²	S
DBO_5/DQO	39	0,19	0,05	1,03	0,03	0,18

* Numero de Amostras

Neste estudo o indicador DBO_5/DQO se situa entre um mínimo de 0,05 e máximo de 1,03. Estes dois parâmetros são de grande importância para determinar o tipo de tratamento adequado para o efluente, no caso em questão, os líquidos percolados.

O valor médio encontrado para o indicador DBO₅/DQO durante o período de análise foi 0,19. HAMADA (1997) afirma que índices desta relação variando geralmente, entre 0,05 e 0,2 são representativos para aterros mais velhos.

4.2 Relação entre os Parâmetros Qualitativos

Para observar a relação entre os parâmetros qualitativos, primeiramente foi feito o teste da normalidade de Shapiro-Wilks dos dados e aplicada as correlações de Pearson e de Spearman.

4.2.1 Normalização dos Dados Qualitativos

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilks

O teste de normalidade de Shapiro Wilks foi utilizado para verificar se os dados de qualitativos de DBO₅, DQO, ST, Cond e pH, são ou não normais. A normalização dos dados qualitativos, caso seja necessária, será utilizado na correlação de Pearson e também para realização da Regressão, onde são determinadas as equações estatísticas entre os dados.

O valor de p encontrado para a DBO₅ foi 0,014 %, é bem menor do que 5 % ($p < 5\%$) para os dados da DBO₅, significando desta forma que os dados analisados não são normais.

Os dados da DBO₅ foram normalizados aplicando-se o $\ln(\text{DBO}_5)$ e aplicou-se novamente o teste de normalidade de Shapiro-Wilks e encontrando valor de p para o log da DBO₅ igual a 22 %, sendo que o valor de p encontrado foi maior que o p estipulado como significativo ($p > 5\%$).

O valor de p encontrado para a DQO no teste Shapiro Wilks foi 11,84 %, sendo maior do que 5 % ($p > 5\%$), então os dados da DQO são dados normais.

O valor de p encontrado para os ST no teste de Shapiro Wilks foi 0,49 %, sendo bem menor do que 5 % ($p < 5 \%$) para os dados dos ST, significando que os dados não são normais.

Para a normalização dos dados foi aplicado o $1/\text{Ln}(\text{ST})$ e realizado novamente o teste de normalidade de Shapiro-Wilks, onde o valor de p encontrado após a normalização dos dados dos ST foi igual a 5,6 %, sendo o valor do p encontrado maior que o p estipulado como significativo ($p > 5 \%$).

O valor de p encontrado para a condutividade foi 0,032 %, sendo menor do que 5 % ($p < 5 \%$), desta forma os dados de condutividade não são dados normais.

Os dados da condutividade foram normalizados com o $\text{Ln}(\text{Cond})$ e aplicado novamente o teste de normalidade de Shapiro-Wilks, onde o valor de p encontrado após a normalização da condutividade foi igual a 43,2 %, sendo o valor do p encontrado maior que o p estipulado como significativo ($p > 5 \%$).

O valor de p encontrado para o pH foi 17 %, sendo maior do que 5 % ($p > 5\%$), significando que os dados do pH são dados normais.

4.2.2 Correlação entre os Parâmetros Qualitativos

Para essa análise foi realizada a correlação de Spearman para os dados físico-químicos (não linearizados) e a correlação de Pearson para os dados de DBO₅, DQO, Sólidos Totais, Condutividade e pH.

A Tabela 4.7 a seguir são apresentadas as correlações não paramétricas de Spearman, calculada entre os parâmetros qualitativos e a Tabela 4.8 apresenta as correlações de Pearson para os parâmetros linearizados.

TABELA 4.7 – Correlações de Spearman dos Parâmetros Físico-Químicos

	DBO	DQO	ST	Cond	PH
DBO	1,00				
DQO	0,37	1,00			
ST	0,03	0,26	1,00		
Cond	0,24	0,38	0,43	1,00	
pH	-0,42	-0,36	-0,15	-0,12	1,00

TABELA 4.8 – Correlações Pearson dos Parâmetros Físico-Químicos

	LnDBO	DQO	1/LnST	LnCond	pH
LnDBO	1,00				
DQO	0,35	1,00			
1/LnST	0,01	-0,21	1,00		
LnCond	0,18	0,37	-0,50	1,00	
pH	-0,43	-0,50	0,23	-0,22	1,00

Desta forma observa-se que os parâmetros que apresentaram correlação significativa a 5% ($p > 5\%$), entre si foram a DBO₅ e a DQO, DQO e a condutividade, ST e a condutividade, DBO e a pH, e a DQO com o pH. Abaixo estão apresentadas justificativas para a ocorrência de tais correlações.

a. DBO₅ e a DQO

A DBO₅ e a DQO mostram a relação de degradação biológica (DBO₅) e a degradação química (DQO) da matéria orgânica nas amostras. A correlação apresentou R_s positivo igual a 37% e também para o R_p igual a 35%, sendo que a relação DBO₅/DQO é um indicador utilizado para avaliar a fase de decomposição dos resíduos sólidos.

b. DQO e a CONDUTIVIDADE

A DQO e a Cond apresentaram correlação positiva para o R_s de 38% e R_p de 37%. Esta correlação pode ser justificada pelos valores altos de sais presentes na amostra, sendo que os sais conduzem bem a corrente elétrica.

Quantidades elevadas de sais na amostra analisada podem interferir na leitura do valor da DQO, sendo que a determinação da DQO pelo método calorimétrico é feita através da leitura da absorbância de luz pelo espectrofotometro (aparelho utilizado para a leitura), desta forma os sais “turbam” os tubos de leitura, dando diferença na leitura.

c. DBO₅ e o pH

A faixa ótima para o desenvolvimento bacteriano é com valores de pH entre 7 e 8, por isso, antes do ensaio da DBO₅ é feita a leitura do pH e este deve estar na faixa de 7 a 8, caso não esteja é feita a correção do pH, para garantir o desenvolvimento bacteriano. Desta forma a DBO₅ apresentou correlação inversa (negativa) com o pH de 42% para o R_s e também correlação inversa de 43% para o R_p .

d. DQO e o pH

Faixas de pH baixas podem interferir na DQO, sendo que a precipitação de metais pode ocorrer e desta forma, assim como no caso dos sais (cloretos), também interferem no DQO.

A DQO e o pH apresentaram correlação para o R_s inverso de 36% e para o R_p também inverso de 50%.

e. ST e a Condutividade

BARROS (2004) cita que a redução da condutividade elétrica dos líquidos percolados podem ser explicada pela redução dos sólidos, uma vez que a condutividade elétrica está relacionada com a quantidade de sólidos dissolvidos na amostra.

Os ST e a Condutividade apresentam correlação positiva de 43% para o R_s e correlação inversa para o R_p de 50%.

4.3 Análise de Regressão entre os parâmetros Qualitativos (Físico-Químicos)

Com os dados qualitativos normalizados pode-se aplicar a regressão para tentar encontrar um modelo estatístico correspondente:

1. A DQO apresentou regressão múltipla com o $\ln(\text{Cond})$ e com o pH, sendo o erro zero e o R^2 ajustado igual a 81%, onde o R^2 ajustado explica quanto a variável DQO pode ser explicada a partir da equação estatística apresentada a seguir:

$$DQO = 421,73 \ln(\text{Cond}) - 286,27 \text{ pH} \quad (4.1)$$

2. $1/\ln(\text{ST})$ apresentou regressão múltipla com $\ln(\text{DBO}_5)$ e com o pH, sendo o erro zero e o R^2 ajustado igual a 99%, onde o R^2 ajustado explica quanto a variável $1/\ln(\text{ST})$ pode ser explicada a partir da equação estatística apresentada a seguir:

$$1/\ln(\text{ST}) = 0,012 \ln(\text{DBO}_5) + 0,0096 \text{ pH} \quad (4.2)$$

3. O pH apresentou regressão múltipla com a DQO e com $1/\ln(\text{ST})$, sendo o erro aproximadamente zero e o R^2 ajustado igual a 99%, onde o R^2 ajustado explica quanto a variável pH pode ser explicada a partir da equação estatística apresentada a seguir:

$$\text{pH} = -0,00051 DQO + 76,64 (1/\ln(\text{ST})) \quad (4.3)$$

Observação: o pH é função de n (muitos) parâmetros/fenômenos físico-químicos. Estas análises de Regressão são apenas aproximações estatísticas.

4.4 Parâmetros Analíticos Quantitativos (Hidrológicos)

No Apêndice II-A, estão apresentados os resultados das medidas diárias realizadas na área do piloto experimental para os parâmetros precipitação, líquidos percolados e evaporação.

No Apêndice II-B são apresentados os dados médios e de pico para as precipitações, líquidos percolados, evaporações, fluxos superficiais e de fundo, umidades acumuladas e as variações da umidade, calculados a partir dos dados diários para o período entre os dias que ocorreram as análises físico-químicas.

4.4.1 Precipitação

Os valores de precipitação diária durante todo o período de análise são apresentados no Apêndice II-A e na Fig. 4.7, a seguir.

Na Fig. 4.7. pode-se observar que o maior pico de precipitação registrado ocorreu próximo ao dia 150, apresentando o valor de 154,76 litros/dia, o período seco ocorreu entre o 62° e 153° dias.

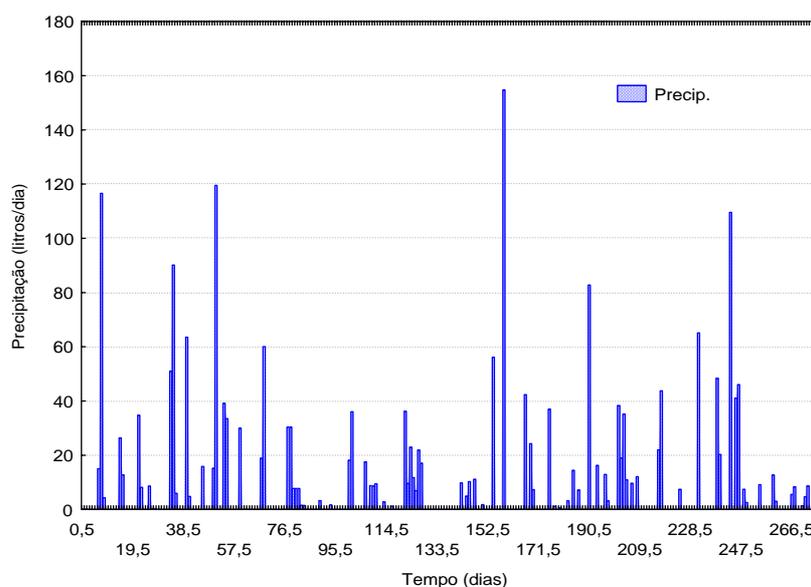


FIGURA 4.7 – Gráfico da Precipitação Diária x Tempo
Fonte: Firta et al. (2003)

A Tabela 4.9 abaixo apresenta a análise estatística descritiva da precipitação diária, na forma dos valores da média, mínimo, máximo, variância e desvio padrão.

TABELA 4.9 – Estatística Descritiva da Prec. Diária

	N	Média	Mínimo	Máximo	S ²	S
Prec.	278	8,12	0,00	154,76	404,00	20,10

* Numero de Amostras

O gráfico da Fig. 4.8 e o Apêndice II-B apresentam a PrecPico (que são valores mais altos entre os dias de coleta), a PrecM (precipitação média entre os dias de coleta) e a PrecMR (precipitação média entre os dias de coleta, para os dias em que ocorrem as precipitações) em função do tempo, com a finalidade de observar a diferença entre utilizar os valores de picos e valores médios no período entre as análises.

O valor de correlação de Spearman entre a PrecPico e a PrecM foi igual a 94% e a PrecPico com a PrecMR apresentou correlação também igual a 94%, portanto na seqüência deste trabalho será utilizado a PrecPico para a correlação com os demais parâmetros.

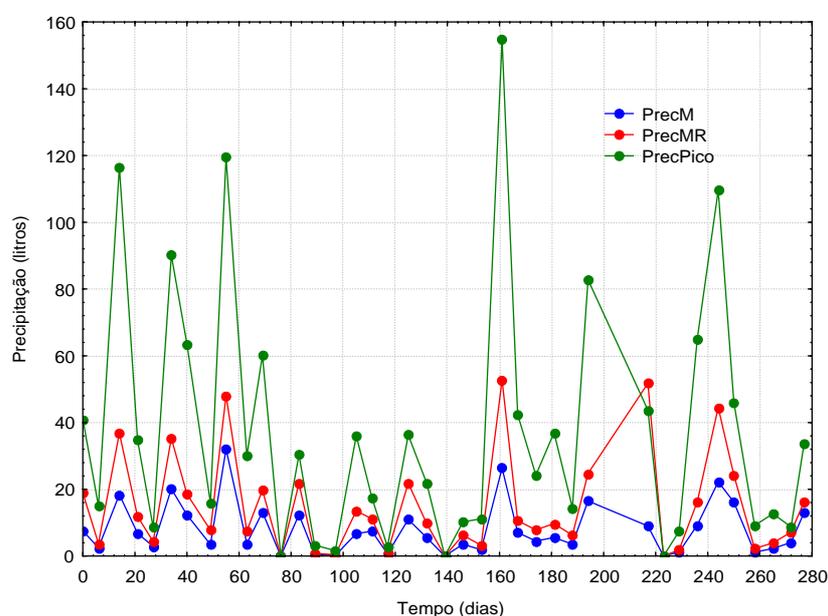


FIGURA 4.8 – Gráfico da Precipitações x Tempo

4.4.2 Resultados obtidos para geração de líquidos percolados

Os valores referentes aos líquidos percolados gerados diariamente na célula três do piloto são apresentados na Fig. 4.9 e no Apêndice II-A. A Tabela 4.10 abaixo apresenta a análise estatística descritiva dos dados referentes aos líquidos percolados diário, na forma dos valores da média, mínimo, máximo, variância e desvio padrão.

TABELA 4.10 – Estatística Descritiva do Percolado Diário

	N	Média	Mínimo	Máximo	S ²	S
Percolado	278	4,06	0,00	38,02	30,25	5,50

* Numero de Amostras

Os períodos em que ocorreram os maiores picos na geração dos líquidos percolados foram no 7º e 8º dias, 50º a 56º dias e no 154º ao 160º dias.

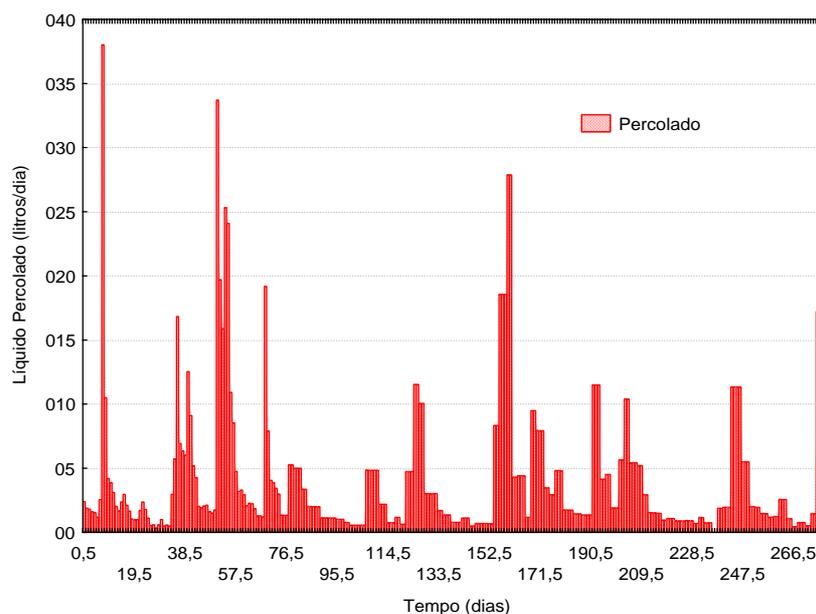


FIGURA 4.9 – Gráfico do Percolados. Diário x Tempo
Fonte: Firta et al. (2003)

O gráfico da Fig. 4.10 e o Apêndice II-B, apresentam o percolado de pico e das médias de percolado em função do tempo, tendo a finalidade de observar a diferença entre utilizar os valores de picos e os valores médios entre o período de análises.

A correlação de Spearman entre os dados do PercM (percolado médio) e o Perc Pico (percolado de pico) apresentou valor igual a 95%, portanto na seqüência deste trabalho será utilizado o PercPico para a correlação com os demais parâmetros.

A Fig. 4.11 mostra o comportamento dos dados dos líquidos percolados e das precipitações em função do tempo.

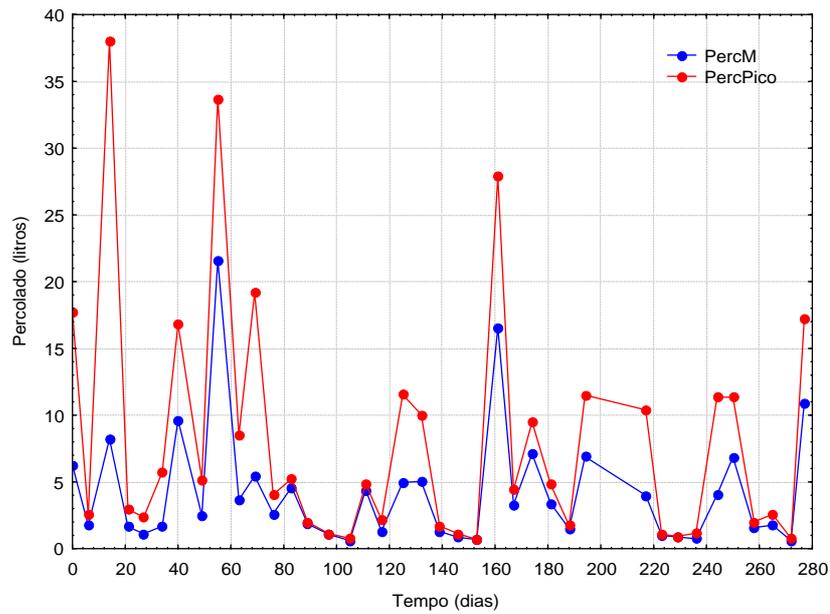


FIGURA 4.10 – Gráfico dos Perc. x Tempo

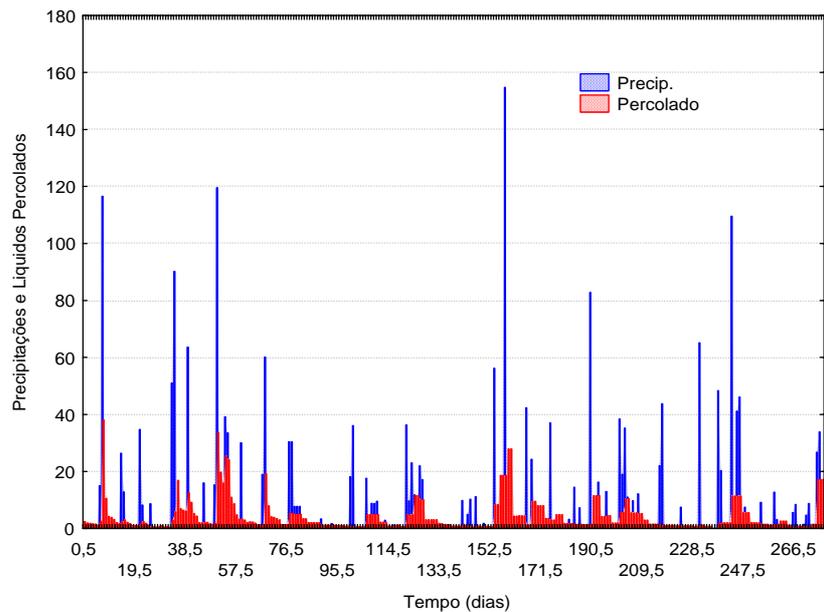


FIGURA 4.11 – Gráfico da Precipitação. x Percolado. Diário
Fonte: Firta et al. (2003)

Observa-se no gráfico da Fig. 4.11, que em geral houve um atraso de 1 a 2 dias, após o pico da precipitação para ocorrer o pico da geração de líquidos percolados.

Isso se justifica pelo fato de não haver escoamento superficial, devido à camada de areia utilizada como material de cobertura e os resíduos sólidos, que juntos tentam

reter os líquidos percolados produzidos até que o gradiente hidráulico no seu interior seja suficiente para liberação do percolado.

4.4.3 Resultados obtidos para evaporação

No Apêndice II-A estão apresentados os resultados referentes à evaporação diária. A Fig. 4.12 mostra os dados da evaporação diária em função do tempo.

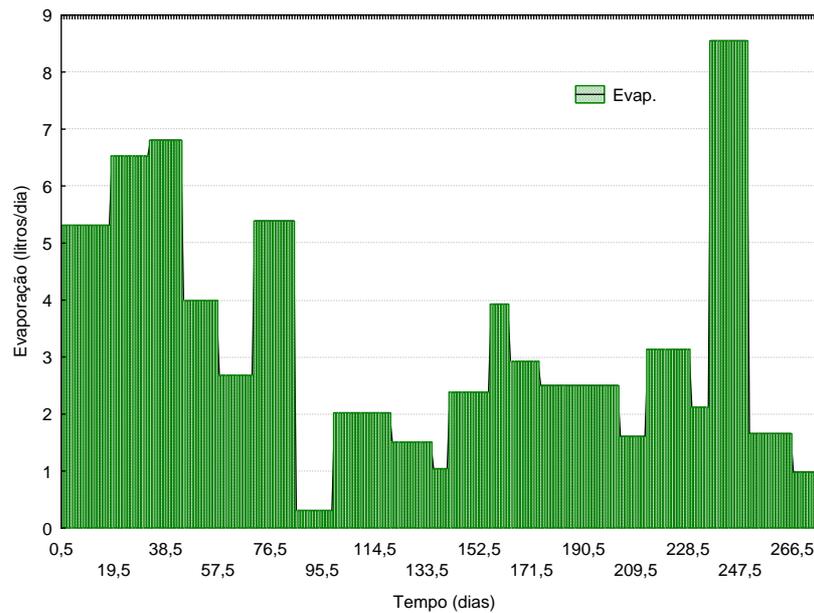


FIGURA 4.12 – Gráfico da Evaporação Diária x Tempo
Fonte: Firta et al. (2003)

A Tabela 4.11 abaixo apresenta a análise estatística descritiva dos dados referentes à evaporação diária, na forma dos valores da média, mínimo, máximo, variância e desvio padrão.

TABELA 4.11 – Estatística Descritiva da Evap. Diária

	Nº *	Média	Mínimo	Máximo	S ²	S
Evaporação	278	3,30	0,31	8,55	4,51	2,12

* Numero de Amostras

No gráfico da Fig. 4.12 observa-se que os maiores picos da evaporação ocorreram entre 0° ao 43° dia e o grande pico ocorreu entre os dias 236° e 249°.

No gráfico da Fig 4.13 e no apêndice II-B, apresenta-se a evaporação de pico e as médias da evaporação em função do tempo, que tem a finalidade de observar a diferença entre utilizar os valores de picos e os valores médios.

A correlação de Spearman entre os dados da EvapMédia e a EvapPico, apresentou valor igual a 89%, portanto na seqüência deste trabalho será utilizado a EvapPico para a correlação com os demais parâmetros.

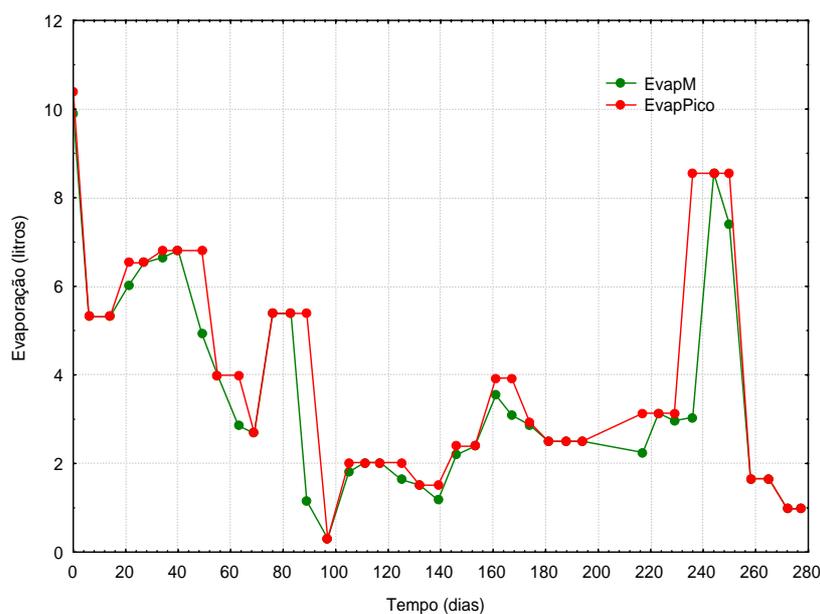


FIGURA 4.13 – Gráfico das Evaporações x Tempo

4.4.4 Resultados Obtidos para os Fluxos Hídricos na Superfície e no Fundo do Piloto

Os valores referentes aos fluxos de pico e médios estão apresentados no Apêndice II-B.

O gráfico da Fig. 4.14 apresenta o FSM (Fluxo Superficial Médio) e o FSPico (Fluxo Superficial de Pico) em função do tempo, sendo que a finalidade é observar a diferença entre utilizar os valores de picos e os valores médios. O FSM e o FSPico apresentam aparentemente comportamento semelhante com a PrecM e com a PrecPico, sendo sugerido desta forma que a precipitação (média e pico) são componentes que

exercem maior interferências nos fluxos superficiais, sendo isto verificado na correlação entre os parâmetros do balanço hídrico.

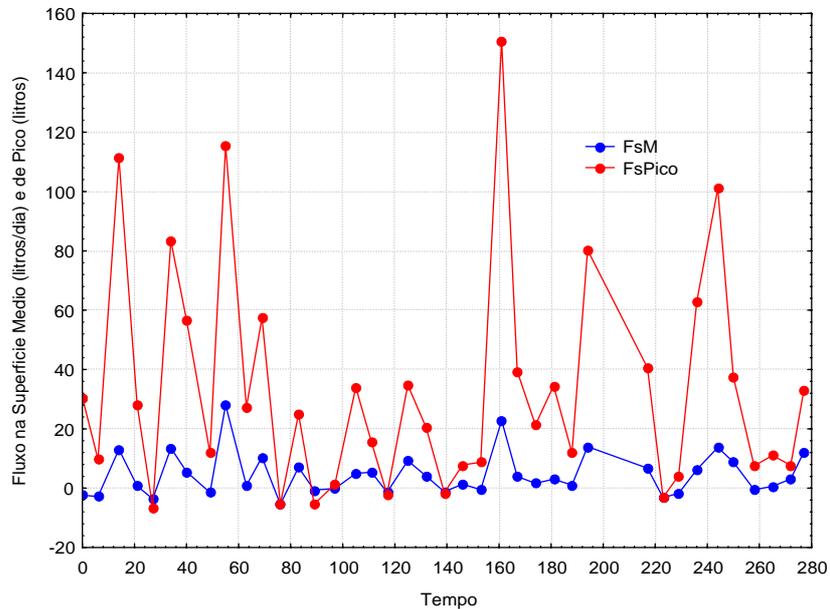


FIGURA 4.14 – Gráfico do Fluxo Superficial x Tempo

A correlação de Spearman entre o FSM e o FSPico apresentou valor elevado igual a 87%. Na seqüência do trabalho será utilizado o FSPico para a correlação com os demais parâmetros.

O gráfico da Fig. 4.15 apresenta o FFM (Fluxo de Fundo Médio) no período das coletas e o FFPico (Fluxo de Pico no Fundo) em função do tempo. A finalidade é observar a diferença entre utilizar os valores de picos e os médios. A correlação de Spearman entre o FFM e o FFPico apresentou valor igual a 95%; na seqüência deste trabalho será utilizado o FFPico para a correlação com os parâmetros.

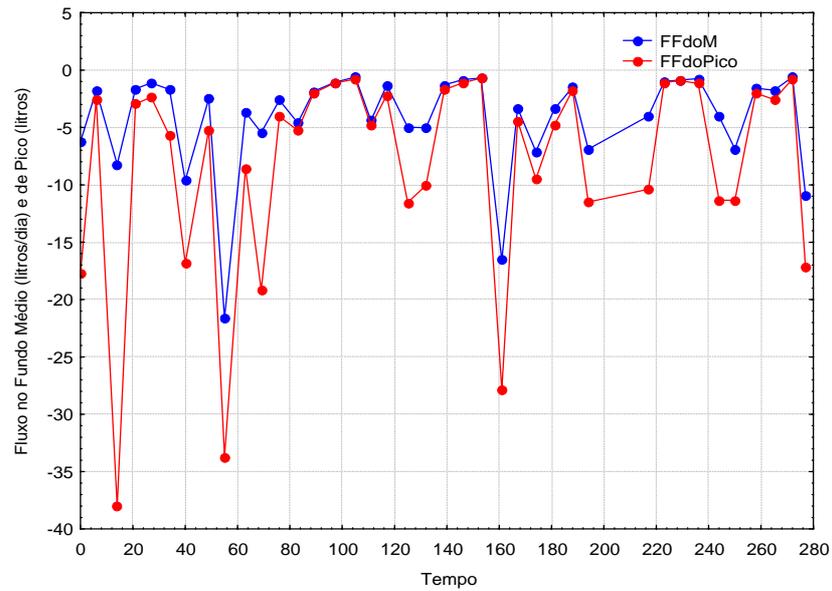


FIGURA 4.15 – Gráfico do Fluxo Fundo x Tempo

4.4.5 Resultados Obtidos para a Variação de Umidade (Volume)

O gráfico da Fig. 4.16 apresenta os resultados de variação média de umidade e variação de pico na umidade. A DUM (Variação da Umidade Média) e a DUPico (Variação da Umidade de Pico), apresentam aparentemente comportamento semelhante com a PrecM e com a PrecPico, indicando desta forma que a precipitação (média e pico) são componentes que exercem influência nas variações de umidade, sendo verificado isto na correlação entre os parâmetros do balanço hídrico.

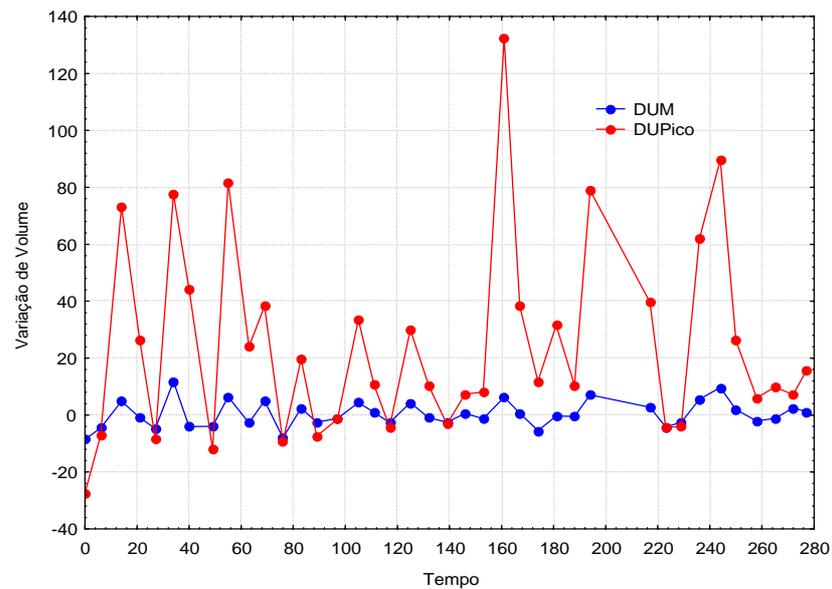


FIGURA 4.16 – Gráfico da Variação de Umidade x Tempo

A correlação de Spearman entre a DUM e a DUPico apresentou valor elevado igual a 87%, desta forma na seqüência do trabalho será utilizado a DUPico para a correlação com os demais parâmetros.

4.4.6 Resultados Obtidos para a Umidade Média Acumulada dentro da Célula

O gráfico da Fig. 4.17 e o Apêndice II-B, apresentam os resultados da UM (Umidade Média) acumulada no período de análises. Os valores de UM ao longo do período de análise sugerem uma retenção de “água” dentro da célula do piloto.

BENGTSSON (1994), no seu estudo mostra que enquanto a capacidade de campo (que corresponde à umidade retida no solo previamente saturado, após sua drenagem natural por gravidade) não é atingida em todas as partes de um aterro sanitário, parte da água que percola entre os resíduos sólidos poderá ficar armazenada nos mesmos.

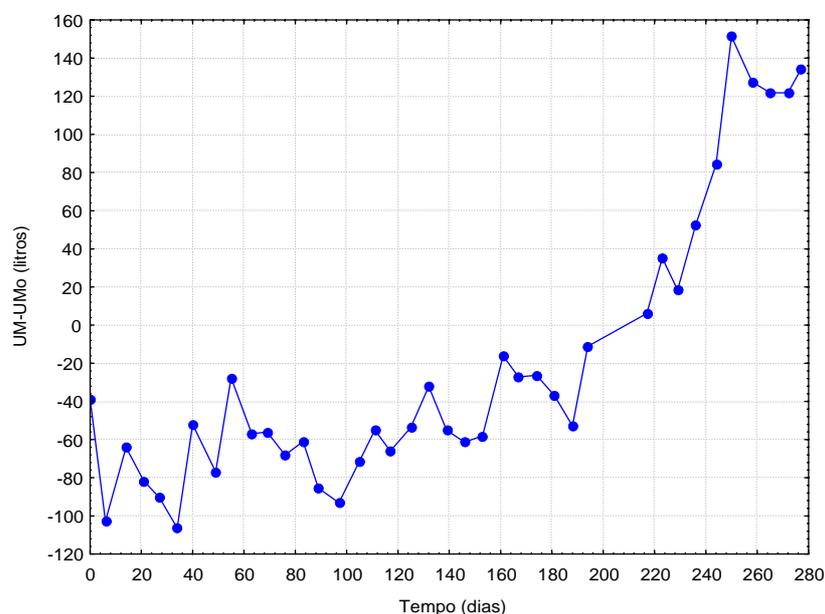


FIGURA 4.17 – Gráfico da Umidade Média Acumulada x Tempo

4.5 Resultados da Correlação entre os Parâmetros do Balanço Hídrico

Nesta etapa foi feita a correlação de Spearman para os dados do Balanço Hídrico (precipitação de pico, evaporação pico, percolado pico, fluxo superfície de pico, fluxo de pico no fundo, variação da umidade de pico e a umidade acumulada). A Tabela 4.12, apresenta as correlações não paramétricas de Spearman para os parâmetros quantitativos.

Os parâmetros que apresentaram correlação significativa a 5% entre si foram a PrecPico com os parâmetros: EvapPico, PercPico, FSPico, FFPico e DUPico; a EvapPico com os parâmetros: PercPico, FSPico, FFPico; o PercPico com: FSPico e DUPico; FSPico com: FFPico e DUPico; e o FFPico com: DUPico.

A PrecPico apresentou correlação de Spearman positiva significativa com a EvapPico (igual a 42%), sendo que uma maior ou menor disponibilidade de água pode interferir na Evap.

TABELA 4.12 – Correlações Não Paramétricas dos Parâmetros Quantitativos

	PrecPico	EvapPico	PercPico	FSPico	FFPico	DUPico	UM-UMo
PrecPico	1,00						
EvapPico	0,42	1,00					
PercPico	0,74	0,32	1,00				
FSPico	0,99	0,32	0,72	1,00			
FFPico	-0,74	-0,32	-1,00	-0,72	1,00		
DUPico	0,87	0,14	0,53	0,91	-0,53	1,00	
UM-UMo	0,22	-0,16	0,17	0,26	-0,17	0,27	1,00

A correlação entre a PrecPico e o PercPico (igual a 74%) já estava aparente no gráfico da Fig. 4.10, onde quando ocorreram picos de precipitações, com um atraso de poucos dias, ocorre o pico nos percolados. O mesmo ocorreu para a FFPico, porém com sinal contrário ao Perc. A correlação existente entre a PrecPico e o FSPico (igual a 99%), sendo que o comportamento do FSPico é semelhante a variação apresentada pela PrecPico de acordo com o gráfico da Fig. 4.14.

O gráfico da Fig. 4.18 apresenta a relação que ocorre entre a variação de volume e a PrecPico, o PercPico e os Fluxos.

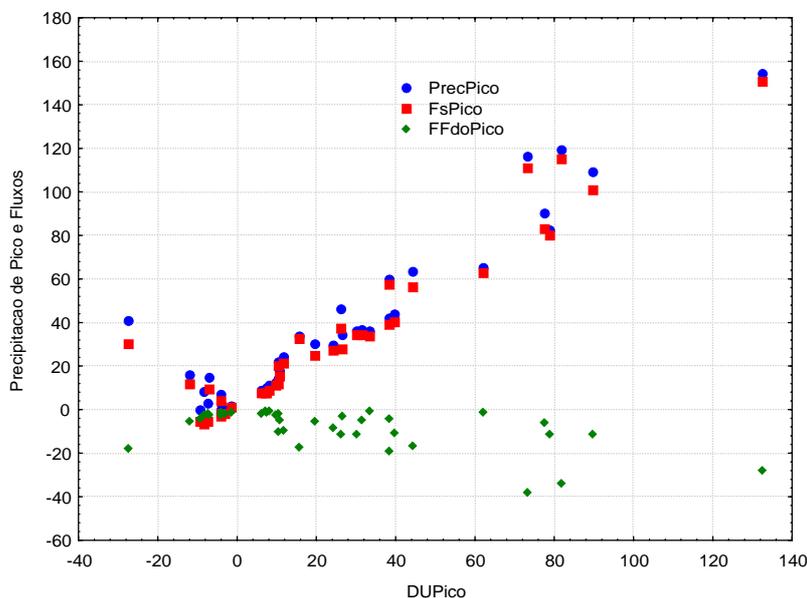


FIGURA 4.18 – Gráfico de Prec, Perc, FS e FFPico x DUPico

A variação da umidade dentro da célula é influenciada pela precipitação de pico, pelo percolado de pico e também pelo fluxo superficial de pico e com o fluxo de pico no fundo, são as componentes do balanço hídrico que exercem maior influência na variação da umidade. Como a precipitação é a componente que interfere diretamente no percolado de pico, no fluxo superficial de pico e no fluxo de pico no fundo, pode-se desta forma afirmar que a precipitação de pico é o que exerce realmente grande interferência na variação da umidade.

4.6 Resultados das Correlações entre os Parâmetros Quantitativos e Qualitativos

A Tabela 4.13, a seguir apresenta as correlações não paramétricas de Spearman para os parâmetros qualitativos e quantitativos.

TABELA 4.13 – Correlação de Spearman entre os Parâmetros Qualitativos e Quantitativos

	DBO	DQO	ST	Cond	pH
PrecPico	-0,07	0,21	-0,19	0,01	-0,24
EvapPico	-0,14	0,28	0,18	0,49	-0,05
PercPico	0,13	0,26	-0,11	0,26	-0,22
FSPico	-0,04	0,15	-0,26	-0,06	-0,25
FFdoPico	-0,13	-0,26	0,11	-0,26	0,22
DUPico	-0,05	0,03	-0,34	-0,21	-0,21
UM-UMo	-0,34	-0,54	-0,46	-0,72	0,16

A umidade dentro da célula do piloto exerce influência direta nos parâmetros qualitativos, com exceção do pH: com a DBO (igual a -34%), com a DQO (igual a -54%), com os ST (igual a -46%), a Cond (igual a -72%). A variação de pico no volume dentro da célula apresenta correlação inversa com os sólidos totais (igual a -34%). A evaporação de pico apresenta correlação positiva com a condutividade (igual a 49%).

Pode-se afirmar que não a precipitação diária, mas sim o “histórico” hidrológico ocorrido ao longo de todo o período de análise, representado pela umidade média acumulada, exerceu influência nas concentrações dos parâmetros qualitativos.

4.6.1 Umidade e os Parâmetros Qualitativos (Físico-Químicos)

Sendo que uma maior ou menor quantidade de água dentro da célula do piloto pode exercer interferência nos parâmetros qualitativos, nesta etapa do trabalho, tentou-se eliminar essa influência da umidade nos parâmetros qualitativos.

Desta forma foram estabelecidas as equações estatísticas entre os parâmetros e a umidade média acumulada, conforme apresentado abaixo. A partir destas equações, recalculou-se os valores corrigidos para a DBO₅, DQO, ST, Cond e pH.

$$DBO = 106,71 - 0,27 * (UM - UMo) \quad (4.4)$$

$$DQO = 788,16 - 3,70 * (UM - UMo) \quad (4.5)$$

$$ST = 2333,30 - 2,23 * (UM - UMo) \quad (4.6)$$

$$COND = 2,42 - 0,0084 * (UM - UM_o) \quad (4.7)$$

$$pH = 7,57 + 0,0022 * (UM - UM_o) \quad (4.8)$$

Realizou-se a correlação não paramétrica de Spearman entre os parâmetros qualitativos corrigidos e os quantitativos, retirando a interferência da umidade, conforme apresentado na Tabela 4.14 a seguir:

TABELA 4.14 – Correlações de Spearman para os Parâmetros Qualitativos Corrigidos

	CorrDBO	CorrDQO	CorrST	CorrCond	pH
CorrDBO	1,00				
CorrDQO	0,21	1,00			
CorrST	-0,16	0,04	1,00		
CorrCond	-0,14	0,07	0,31	1,00	
corrPH	-0,42	-0,32	-0,14	0,02	1,00

Comparando os resultados encontrados na Tabela 4.14 com a 4.7, de correlação de Spearman para os dados qualitativos, pode-se observar que quando eliminada a interferência da umidade acumulada nos parâmetros físico-químicos, a correlação de Spearman, diminui e também o número de correlação existente entre os parâmetros.

Desta forma, pode-se afirmar que a umidade exerce interferência nos parâmetros qualitativos e que quando tenta-se retirar essa interferência a relação entre as variáveis tornam-se quase que imperceptível. Para completar a análise estatística retirando a interferência da umidade, realizou-se a correlação de Spearman entre os parâmetros qualitativos corrigidos e os quantitativos, conforme apresentado na Tabela 4.15 a seguir:

TABELA 4.15 – Correlações de Spearman para os Parâmetros Qualitativos Corrigidos

	PrecPico	EvapPico	PercPico	FsPico	FFPico	DUPico	UM-UMo
CorrDBO	0,01	-0,25	0,17	0,06	-0,17	0,06	0,13
CorrDQO	0,25	0,22	0,27	0,21	-0,27	0,07	-0,02
CorrST	-0,16	0,07	-0,13	-0,21	0,13	-0,29	-0,12
CorrCond	0,05	0,50	0,31	-0,03	-0,31	-0,21	-0,06
corrPH	-0,28	-0,02	-0,23	-0,29	0,23	-0,26	-0,04

Comparando os resultados encontrados na Tabela 4.15 com os resultados da Tabela 4.13, verifica-se que eliminando-se a interferência da umidade acumulada dos

parâmetros qualitativos e correlacionando com os parâmetros quantitativos por Spearman, diminuem o número de correlação existente entre os parâmetros qualitativos e quantitativos. Sendo assim, pode-se afirmar que quando retirada a interferência da umidade, a correlação entre os parâmetros qualitativos e quantitativos praticamente desaparece.

CAPITULO V

5.1 CONCLUSÕES

- As análises físico-químicas dos líquidos percolados, bem como o seu processo de degradação ao longo do tempo e a determinação dos fatores que interferem na sua estabilização, são de grande importância para que se possa minimizar os impactos ambientais.
- As análises laboratoriais qualitativas apresentaram valores baixos durante praticamente todo o período de análise. Comparando esses valores com os de aterros reais, pode-se concluir que a célula do piloto analisada encontra-se na fase metanogênica de degradação, sendo que os resultados encontrados são representativos para um aterro com idade aproximada entre 5 a 10 anos.
- Pode-se afirmar que estando a célula do piloto no segundo ano de funcionamento, ocorreu aceleração no processo de degradação da célula. Aceleração esta que pode ter sido causada pela grande quantidade de água que entrou na célula, uma vez que não houve escoamento superficial devido ao solo de cobertura das células serem de areia grossa.
- Os parâmetros qualitativos apresentaram correlações não paramétricas de Spearman entre si coerentes e justificáveis, sendo comprovado teoricamente a relação físico-química existente da DBO_5 com a DQO, DBO_5 com o pH, DQO com a Cond, DQO com o pH e os ST com a Cond. As correlações linearizadas de Pearson para os parâmetros qualitativos apresentaram valores bem próximos aos encontrados no R_s de Spearman.
- Com a linearização dos parâmetros qualitativos foi possível encontrar através da regressão linear múltipla as equações estatísticas representativas aos parâmetros.

- Pelo comportamento da vazão dos líquidos percolados em relação à precipitação, pode-se afirmar que existe um pequeno atraso de 1 a 2 dias, do pico da precipitação até que ocorra o pico da vazão do percolado, sendo que o gradiente hidráulico dentro da célula deve ser suficiente para realizar a liberação do percolado.
- Devido ao solo de cobertura das células do piloto serem de areia grossa, isto interferiu no tempo de escoamento da água, fazendo com que este fosse mais rápido do que quando o solo de cobertura é argila.
- Para todos os componentes quantitativos (hidrológicos) do balanço hídrico, não houve diferenciação elevada entre os valores de pico e os valores médios, podendo-se desta forma utilizar os dados de pico para realização das análises estatísticas.
- A precipitação de pico interferiu diretamente no percolado de pico, no fluxo superficial de pico e com o fluxo de pico no fundo, podendo-se desta forma afirmar que a precipitação de pico é o que exerce realmente grande interferência na variação de umidade dentro da célula.
- Para a correlação entre os parâmetros quantitativos e qualitativos, encontrou-se que a umidade dentro da célula do piloto exerce influência direta em todos os parâmetros qualitativos, com exceção do pH.
- Pode-se afirmar que a precipitação não exerceu influência nas concentrações dos parâmetros qualitativos, mas sim o “histórico” hidrológico ocorrido ao longo de todo o período de análise, representado pela umidade média acumulada.
- Observou-se que umidade média acumulada dentro da célula exerce interferência nas concentrações dos parâmetros qualitativos, com isso tentou-se eliminar essa influência nos parâmetros qualitativos. Quando eliminada a

interferência da umidade acumulada nos parâmetros físico-químicos, a correlação de Spearman diminui o número de correlações existentes entre os parâmetros. Desta forma pode-se afirmar que a umidade exerce influência nos parâmetros qualitativos e que quando se tenta retirar essa influência a relação entre as variáveis torna-se quase imperceptível. Isso também ocorreu quando tentou-se correlacionar novamente os parâmetros qualitativos (sem a interferência da umidade média acumulada) com os parâmetros quantitativos por Spearman, diminuem também o número de correlações existentes entre os parâmetros qualitativos e quantitativos. Pode-se concluir que quando retirada a interferência da umidade a correlação entre os parâmetros qualitativos e quantitativos praticamente desaparece.

- O pH não se correlacionou com a precipitação e nem com a umidade diária, tendo-se em vista, que o pH das chuvas é neutro e desta forma uma maior ou menor quantidade de água não interfere (não dilui) nos valores do pH.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Com a finalidade de continuidade deste trabalho, algumas recomendações são propostas a seguir:

- Em pesquisas futuras o período de análise deveria acompanhar todo o processo de degradação ocorrido no piloto.
- O solo de cobertura do piloto experimental deve ser semelhante ao de um aterro real, para que dessa forma possa simular mais adequadamente no aterro.
- Realização das análises qualitativas nas três células do piloto e testar novas metodologias de análise físico-químicas.
- Controlar o parâmetro de entrada precipitação, podendo variar a exposição a precipitação de uma célula para outra.
- Medir a umidade dentro das células com sondas em diferentes alturas.
- Realização deste estudo em um aterro real, com a finalidade de verificação do comportamento dos líquidos percolados em escala real.

CAPITULO VI

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALUKO, O.O., SRIDHAR, M.K.C, OLUWANDE, P.A. **Characterization of leachates from a municipal solid waste landfill site in Ibadan, Nigéria.** Journal of Environmental Health Research, Volume 2, Issue 1, 2003, p. 32-37.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos – Procedimentos:** NBR 8419. São Paulo. 1984. p. 13.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos – Classificação:** NBR 10004. Rio de Janeiro. 2004. p. 71.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos – Solubilização:** NBR 10006. Rio de Janeiro. 2004. p. 3.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostragem de Resíduos – Procedimentos:** NBR 10007. Rio de Janeiro. 2004. p. 21.

APHA – American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** Arnold E. Greenberg et al. Washington. 1992. 18 ed. Supplement. p. 70.

BAGCHI, A., **Design, Construction, and Monitoring of Sanitary Landfill.** Wiley Interscience Publication, New York, p. 283. 1990.

BAIRD, COLIN, **Química Ambiental;** Traduzido por Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera – 2 ed. Bookman. Porto Alegre – RS. 2002.

BARROS, H. L., **Estudo de Balanço Hídrico em Aterro Sanitário por Meio de Lisímetros de Grandes Dimensões**, Universidade Federal de Viçosa, **Dissertação de Mestrado**, Minas Gerais, 2004.

BENGTSSON, I., BENDZ, D., HOGGLAND, W., ROSQVIST, H. AKESSON, M. Water Balance for Landfills of Different Age. **Journal of Hydrology**, n. 158, p. 2003-2217. 1994.

BIDONE, F. R. A. **PROSAB - Metodologia e Técnicas de Minimização, Reciclagem e Reutilização de Resíduos Sólidos urbanos**. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – Ambiental (ABES), 1999.

BIDONE, F. R. A. & POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de resíduos Sólidos**. São Carlos – São Paulo. EESC/USP, 1999. p. 120.

BRANCO, S. M & ROCHA, A. A. **Poluição, Proteção e Usos Múltiplos de Represas**. Editora Edgard Blücher - Cetesb. 1997

CASTILHOS Jr., A. B. **Produção de Biogás e Líquidos Percolados em Aterros Sanitários**. Saneamento Ambiental. São Paulo, 1991.

CASTILHOS Jr., A. B., LANGE, L. C., GOMES, L. P., PESSIN, N. **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte**. Programa de pesquisa em Saneamento Básico 3. Rio de Janeiro, 2003. p. 280.

CETESB. **Determinação de pH em Águas**, L5.145 São Paulo, 1978.

CETESB. **Determinação de Resíduos em Águas. Métodos Gravimétricos**, L5.149. São Paulo. 1978.

CHUN, M.J., YOUNG, R.H.F., KAWATACHI, A.S., BULDOC. P.R., **Ground-Water Pollution From Sanitary Landfill Leachate**, Oahu, Hawaii. Technical Report nº 87, U.S. Dept. of the Interior, Washington, D.C., p. 80. 1975.

CINTRA, F. H., HAMADA, J., FILHO, G. S. C. **Fatores que Afetam a Qualidade do Chorume Gerado em Aterro Controlado de Resíduos Sólidos Urbano**. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais ...** Vitória – Espírito Santo, 2002.

DASS, P., TAMKE, G.R., STOFFEL,C.M., **Leachate Production at Sanitary Landfill Sites**, Journal of the Environmental Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 103 (EE6): 981-989. 1977.

EHRIG, H.-J. **Waste Management & Research**. Institut für Satadtbauwesen. TU Braunschweig. West Germany, 1983.

EMCON ASSOCIATES. **Sonoma Count Solid Waste Stabilization Study**. EPA-SW 530 65D. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. p. 228. 1974.

FENN, D.G., HANLEY, K. J., DEGEARE, T.V. **Use of Water Balance Method for Predicting Leachate Generation at Waste Disposal Sites**. Cincinnati (Ohio): U.S. Environmental Protection Agency, 1975, p. 168.

FIRTA, I.N., CASTILHOS Jr, A.B., DELAZARI, P.V.A., TRENNEPOHL, F.G., **A Variação do Volume de Líquidos Percolados com a Precipitação – um Estudo em Escala Experimental**, 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, **Anais...**, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville, SC. 2003.

FUNGAROLI, A.A., **Pollution of Subsurface Water by Sanitary Landfills**. SW-12rg, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 1971.

HAM, R. K.; BROOKTER, TODD J. **Decomposition of Solid Waste in Test Lysimeters**. Journal of the Environmental Engineering Division. American Society of Civil Engineers (ASCE).

HAMADA, J. **Estimativa de Geração e Caracterização do Chorume em Aterros Sanitários**. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu – PR, 1997. **Anais...**

HAMADA, J. & ABEICHE, L. H. T. **Ferramenta Computacional para Estimativa do Volume Mensal de Percolados em Aterros Sanitários**. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, João Pessoa. 2000.

HUGHES, G.M., LANDON, R.A., FARVOLDEN, R.N., **Hidrogeology of Solid Waste Disposal Sites in Northeastern Illinois**. SW-12d, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. p. 115, 1971.

IBGE – Censo 2000 **Atlas de Saneamento**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2000.

IPT/CEMPRE. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 2. ed. São Paulo: IPT: CEMPRE, 2000.

JUNQUEIRA, F.F., PALMEIRA, E.M. **Monitoramento do Comportamento de Lixo em Células Geotecnicamente Preparadas**. 4º Congresso Brasileiro de Geotécnica Ambiental. 1999.

LAURENTI, A., **Qualidade de Água I**. Florianópolis. Imprensa Universitária. UFSC – Florianópolis – SC, Maio de 1997.

LEDESMA, M. T. O., GÓMEZ, J. S., RIVERA, R. C. & VALENCIA, M. N. R. **Método de Balance de Água ara la Estimación de la Generación de Líquidos Percolados em Rellenos Sanitarios.** 27º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000. p. 521, Porto Alegre.

LEMA, J.M., MENDEZ, R., BLAZQUEZ, R., **Characteristics of Landfill Leachates and Alternatives for their treatment: a review.** Water Air Soil Pollut. 40, 223-250. 1988.

LIMA, L. M. Q. **Tratamento e Biorremediação.** Ed. Hemus. 3ª Edição. São Paulo, 1995. p. 265.

LO, I. M. C. **Characteristics and Treatment of Leachate from Domestic Landfills.** Environment International, v. 22, n. 4, p. 433-442, 1996.

LORA, E. E. S. **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energéticos, Industrial e de Transporte.** ANEEL, Brasília – DF, 2000. p. 503.

LU, J. C.S., EICHENBERGER, B., STEARNS, R.J. **Leachate From Municipal Landfills,** New Jersey - US, 1985.

MARTIN, G.M.A., AUZMENTI, A.I., OLOZAGA, C.P. **Landfill Leachate: Variation of Quality with Quantity.** Proceedings of Sardinia 95, 5th International Landfill Symposium, CISA, Cagliari – Italy. 1995.

MCBEAN, E.A., FRANK, A.R., FARQUHAR, G.J., **Solid Waste Landfill Engineering an Design.** p. 517. US, 1995

MEDEIROS, P. A., CASTILHOS Jr., A. B., OLIVEIRA, J.C.S., SOARES, S.R., **Geração de Líquidos Percolados em Resíduos Sólidos Urbanos com Cobertura**

Permeável. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, **Anais...** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vitória. 2002.

MERZ, R.C., **Final Report on the Investigation of Leaching of a Sanitary Landfill.** Publication n. 10, California. State Water Pollution Control Board, Sacramento, California. p. 90, 1954.

MINISTRY OF HOUSING AND LOCAL GOVERNMENT. **Pollution of Water by Tipped Refuse.** Report Tech. Committee on Experimental Disposal of House Refuse in Wet and Dry Pits. Her Majesty's Stationary Office, London, England. p. 141. 1961.

MONTEIRO, V. E. D., JUCÁ, J. F. T., RÊGO, C. C. **Influência das Condições Climáticas no Comportamento do Aterro de Resíduos Sólidos de Muribeca.** 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** João Pessoa – Paraíba, 2000.

NUNES, A. J. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais.** 3ª Edição. Aracaju. 2001.

OGLIARI, P.J., PACHECO, J.A. **Análise Estatística Usando o Software Statistica® Versão 6.0.** Departamento de Informática e Estatística da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 2004.

PAES, R. F. C. **Caracterização do Chorume Produzido no Aterro da Muribeca-PE.** Dissertação de Mestrado – UFCG - Campina Grande – Paraíba, 2003.

PENMAN, H.L. **Natural Evaporation From Open Water,** Dare Soil and Grass. Proceeding of the Royal Society, Series A. 193: 120-145. 1948.

PESSIN, N., SILVA, A. R., BRUSTOLIN, I., MANDELI, S. M. C., PARAROTTO, C. T. **Variação da Composição dos Líquidos Percolados do Aterro Sanitário de São**

Giácomo – Caxias do Sul – RS. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** Foz do Iguaçu – PR, 1997.

POHLAND, F.G., **Sanitary Landfill Stabilization with Leachate recycle an Residual Treatment.** EPA-600/2-75-043. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio. p. 105, 1975.

POHLAND, F.G; GOULD, J.P. **Fate of Heavy Metal During Landfill Stabilization of Solid Wastes Material with Leachate Recycle.** Draft Final report – USA - EPA Project R-806468. Georgia Tech. Proj. N. E-20-666. (1984).

QIAN, X., KOENER, R.M., GRAY, D.H., **Aspects of Landfill Design and Construction.** Prentice – Hall, Jac. 2002.

REICHERT, G. A. **Aterro Sanitário, Projeto, Implantação e Operação.** ABES Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre - RS, Agosto de 2000.

REIS, M. F. P., ELLWANGER, R. M., **Metais Pesados em Compostos de Resíduos Sólidos Urbanos.** IV Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Porto Alegre – RS, Maio de 2004.

RUSSO, M. A. T., VIEIRA, J. M. P., **Estudos Sobre Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos.** IX SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Bahia, Abril de 2000.

SEGATO, L. M. , **Caracterização do Chorume do Aterro Sanitário de Bauru.** 27º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, **Anais...** Porto Alegre RS. 2000.

SILVA, J.D., **Monitoramento da Geração de Líquidos Percolados em Instalação Experimental pelo Método do Balanço Hídrico**. Dissertação de Mestrado. UFSC. Florianópolis – SC. 2002.

SOUZA, G., CASTILHOS Jr, A.B., FIRTA, I.N., **A Influência das Precipitações na Qualidade dos Líquidos Percolados Gerados em Aterros Sanitários (Estudo de Caso)**, 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, **Anais...**, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville, SC. 2003.

TATSI, A. A., ZOUBOULIS, A. I., **A Field investigation of the quantity and quality of leachate from a municipal soil waste landfill in a Mediterranean climate (Thessalaniki, Greece)**. Advances in Environmental Research. Volume 6, Issue 3, p. 207-219. 2002.

TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., VIRGIL, S., **Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management issues**. New York, McGraw-Hill. 1993

TEIXEIRA, E. N., BIDONE, F. R. A. **PROSAB - Metodologia e Técnicas de Minimização, Reciclagem e Reutilização de Resíduos Sólidos urbanos**. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – Ambiental (ABES), 1999.

VARGAS, C. G. **A Disposição de Resíduos Sólidos em Área Degradada por Rejeitos da Mineração de Carvão: Análise do Aterro Controlado de Forquilha – SC**. Dissertação de Mestrado. UFSC. 1998.

VENKATARAMANI, E.S., AHLERT, R.C., CORBO, P., **Biological treatment of landfill leachates**. CRC Critical Reviews in Environmental Control. V. 14, n 4, p. 333-376, 1983.

WILLIAMS, P. T. **Environmental and Health Impact of Solid Waste Management Activities**, in Chapter: Emissions from Solid Waste Management Activities. p. 141-165, Leeds – UK, 2002.

ANEXOS

ANEXO I – RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS ENCONTRADOS NA LITERATURA

APÊNDICES

APÊNDICE I – RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS PARA O PILOTO

APÊNDICE II – A – RESULTADOS QUANTITATIVOS DIARIOS PARA O PILOTO

APÊNDICE II – B - RESULTADOS QUANTITATIVOS SEMANAIS PARA O PILOTO

ANEXO I - RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS ENCONTRADOS NA LITERATURA

Pesquisador	Pessin		Tchobanoglous et al.		Cintra (2000)	Hughes et al* (1971)			Pohland* (1975)		
Local do Estudo	At.São Giacomo		aterros novos e antigos		At. Bauru-SP	Aterro			Celula de controle		
Ano do resíduo	12/1994 a 04/1997		< 2 anos	> 10 anos		F. inicial	5 anos	17 anos	1 ano	2 anos	3 anos
Parametros	Mínimo	Maximo	Faixa	Faixa	Faixa						
DBO (mg/l)	99,00	26799	2000-30000	100-200	1050-18320	54610	14080	225	5300	2090	1937
DQO (mg/l)	588,00	49680	3000-60000	100-500	3940-29960	39680	3000	40	2300	3490	4175
TS (mg/l)	-	-	200-2000	100-400		-	-	-	-	-	-
COND (mS)	-	-			5,03-20,70	-	-	-	5,33	5,3	5,3
pH	-	-	4,5-7,5	6,6-7,5	6,1-7,7	-	-	-	-	-	-

Pesquisador	Ministry*	Merz*	Emcon*	Fungaroli*	Chun *	McBean et al.		Tatsi & Zouboulis (2002)	
Local do Estudo	Celula	Celula	Celula	Laboratorio	Laboratorio	Liq. Percolado		Liquido Percolado	
Ano do resíduo	F inicial	1,5 anos	2 anos	2 anos	F. inicial	Jovem	Velho	Jovem	Velho
Parametros									
DBO (mg/l)	5491	31-33100	3250-19200	-	-	10000-20000	50-100	9500-80795	50-4200
DQO (mg/l)	-	-	3250-20300	1000-51000	2250	20000-40000	500-3000	44000-115000	685-15000
TS (mg/l)	-	-	-	0-42000	2760	-	-	32100-77000	3100-18000
COND (mS)	-	-	-	-	-	-	-	23,0-35,5	6,2-34,0
pH	7,4	5,5-7,5	4,7-5,4	3,7-8,5	5,0-6,3	-	-	4,9-6,7	7,3-8,8

Continuação APÊNDICE I – RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS PARA O PILOTO

Tempo (dias)	Cond (microS)	ln(Cond)	CorrCond	pH	corr pH	DBO/DQO	ln(DBO/DQO)
0	5,96	1,79	3,21	7,52	0,07	0,07	-2,63
6	4,09	1,41	0,81	7,41	0,10	0,08	-2,56
14	4,09	1,41	1,13	7,18	-0,22	0,12	-2,09
21	5,88	1,77	2,77	7,17	-0,19	0,10	-2,32
27	3,28	1,19	0,10	7,87	0,53	0,10	-2,29
34	2,84	1,04	-0,47	7,36	0,05	0,07	-2,65
40	2,57	0,94	-0,29	7,38	-0,05	0,08	-2,51
49	3,36	1,21	0,29	7,22	-0,15	0,06	-2,89
55	2,65	0,97	0,00	6,79	-0,69	0,08	-2,57
63	3,76	1,32	0,86	7,47	0,06	0,22	-1,53
69	3,00	1,10	0,11	7,31	-0,11	0,24	-1,42
76	3,75	1,32	0,76	7,80	0,41	0,09	-2,45
83	3,27	1,18	0,34	8,15	0,74	0,11	-2,21
89	3,62	1,29	0,48	5,65	-1,70	0,09	-2,46
97	2,46	0,90	-0,74	7,06	-0,28	0,13	-2,05
105	2,03	0,71	-0,99	6,48	-0,90	0,10	-2,32
111	2,74	1,01	-0,14	8,00	0,58	0,08	-2,52
117	2,31	0,84	-0,66	7,87	0,48	0,10	-2,27
125	2,20	0,79	-0,67	7,15	-0,27	0,53	-0,64
132	2,35	0,85	-0,34	7,45	-0,02	0,39	-0,94
139	2,57	0,94	-0,31	7,75	0,33	1,03	0,03
146	2,55	0,94	-0,39	8,43	1,02	0,33	-1,10
153	1,75	0,56	-1,16	7,78	0,37	0,08	-2,50
161	1,76	0,57	-0,80	6,74	-0,76	0,05	-3,08
167	1,49	0,40	-1,16	8,96	1,48	0,12	-2,08
174	2,00	0,69	-0,64	7,00	-0,48	0,31	-1,17
181	1,83	0,60	-0,90	7,82	0,36	0,05	-2,94
188	1,70	0,53	-1,16	6,71	-0,71	0,19	-1,66
194	1,90	0,64	-0,61	7,24	-0,28	0,12	-2,08
217	2,24	0,81	-0,13	9,58	2,03	0,39	-0,94
223	1,92	0,65	-0,20	8,26	0,64	0,30	-1,20
229	2,03	0,71	-0,23	7,08	-0,50	0,23	-1,46
236	1,75	0,56	-0,23	7,78	0,12	0,50	-0,69
244	2,33	0,85	0,62	7,15	-0,58	0,16	-1,86
250	1,89	0,64	0,74	7,63	-0,24	0,21	-1,54
258	1,35	0,30	0,00	7,94	0,12	0,17	-1,76
265	1,24	0,22	-0,16	8,71	0,90	0,10	-2,25
272	1,33	0,29	-0,07	7,58	-0,23	0,14	-1,94
277	1,42	0,35	0,13	7,11	-0,72	0,19	-1,65

APÊNDICE II – A – RESULTADOS QUANTITATIVOS PARA O PILOTO

Tempo (dias)	Prec (mm)	Prec (litros)	Evap (mm)	Evap (litros)	Perc[3] (litros)	Fs[3] (litros)	DU[3] (litros/dia)	U[3] (litros)	U[3]-U[3]o (litros)
0	0,00	0,00	2,20	5,31	2,40	-5,31	-7,71	1634,60	670,05
1	0,00	0,00	2,20	5,31	1,88	-5,31	-7,19	1627,41	662,86
2	0,00	0,00	2,20	5,31	1,80	-5,31	-7,11	1620,30	655,75
3	0,00	0,00	2,20	5,31	1,60	-5,31	-6,91	1613,39	648,84
4	0,00	0,00	2,20	5,31	1,54	-5,31	-6,85	1606,53	641,98
5	0,00	0,00	2,20	5,31	1,18	-5,31	-6,49	1600,04	635,49
6	6,22	15,03	2,20	5,31	2,53	9,71	7,18	1607,23	642,68
7	48,22	116,59	2,20	5,31	38,02	111,27	73,25	1680,48	715,93
8	1,79	4,33	2,20	5,31	10,50	-0,98	-11,48	1669,00	704,45
9	0,00	0,00	2,20	5,31	4,19	-5,31	-9,50	1659,50	694,95
10	0,00	0,00	2,20	5,31	3,89	-5,31	-9,20	1650,29	685,74
11	0,00	0,00	2,20	5,31	3,11	-5,31	-8,42	1641,87	677,32
12	0,00	0,00	2,20	5,31	2,03	-5,31	-7,34	1634,53	669,98
13	0,00	0,00	2,20	5,31	1,68	-5,31	-6,99	1627,54	662,99
14	10,92	26,40	2,20	5,31	2,37	21,09	18,72	1646,26	681,71
15	5,29	12,79	2,20	5,31	2,96	7,48	4,52	1650,78	686,23
16	0,00	0,00	2,20	5,31	2,11	-5,31	-7,42	1643,36	678,81
17	0,00	0,00	2,20	5,31	1,66	-5,31	-6,97	1636,38	671,83
18	0,00	0,00	2,70	6,53	1,03	-6,53	-7,56	1628,82	664,27
19	0,00	0,00	2,70	6,53	0,99	-6,53	-7,52	1621,30	656,75
20	0,00	0,00	2,70	6,53	1,00	-6,53	-7,53	1613,77	649,22
21	14,37	34,74	2,70	6,53	1,71	28,21	26,50	1640,28	675,73
22	3,37	8,15	2,70	6,53	2,36	1,62	-0,74	1639,53	674,98
23	0,00	0,00	2,70	6,53	1,79	-6,53	-8,32	1631,21	666,66
24	0,00	0,00	2,70	6,53	1,11	-6,53	-7,64	1623,57	659,02
25	3,56	8,61	2,70	6,53	0,53	2,08	1,55	1625,12	660,57
26	0,15	0,36	2,70	6,53	0,59	-6,17	-6,76	1618,36	653,81
27	0,15	0,36	2,70	6,53	0,35	-6,17	-6,52	1611,84	647,29
28	0,00	0,00	2,70	6,53	0,59	-6,53	-7,12	1604,72	640,17
29	0,00	0,00	2,70	6,53	1,00	-6,53	-7,53	1597,19	632,64

Cont. APÊNDICE II – A – RESULTADOS QUANTITATIVOS PARA O PILOTO

Tempo (dias)	Prec (mm)	Prec (litros)	Evap (mm)	Evap (litros)	Perc[3] (litros)	Fs[3] (litros)	DU[3] (litros/dia)	U[3] (litros)	U[3]-U[3]o (litros)
30	0,00	0,00	2,70	6,53	0,49	-6,53	-7,02	1590,17	625,62
31	0,00	0,00	2,70	6,53	0,57	-6,53	-7,10	1583,07	618,52
32	0,00	0,00	2,82	6,81	0,50	-6,81	-7,31	1575,77	611,22
33	21,10	51,00	2,82	6,81	2,96	44,20	41,24	1617,00	652,45
34	37,29	90,17	2,82	6,81	5,73	83,36	77,63	1694,63	730,08
35	2,47	5,96	2,82	6,81	16,83	-0,84	-17,67	1676,96	712,41
36	0,00	0,00	2,82	6,81	6,92	-6,81	-13,73	1663,24	698,69
37	0,00	0,00	2,82	6,81	6,35	-6,81	-13,16	1650,08	685,53
38	0,00	0,00	2,82	6,81	6,02	-6,81	-12,83	1637,25	672,70
39	26,28	63,53	2,82	6,81	12,53	56,72	44,19	1681,45	716,90
40	1,98	4,78	2,82	6,81	9,11	-2,02	-11,13	1670,31	705,76
41	0,00	0,00	2,82	6,81	5,19	-6,81	-12,00	1658,32	693,77
42	0,00	0,00	2,82	6,81	4,27	-6,81	-11,08	1647,24	682,69
43	0,00	0,00	2,82	6,81	2,03	-6,81	-8,84	1638,40	673,85
44	0,00	0,00	1,65	3,99	1,92	-3,99	-5,91	1632,49	667,94
45	6,57	15,88	1,65	3,99	2,05	11,89	9,84	1642,33	677,78
46	0,00	0,00	1,65	3,99	2,11	-3,99	-6,10	1636,23	671,68
47	0,00	0,00	1,65	3,99	1,62	-3,99	-5,61	1630,61	666,06
48	0,00	0,00	1,65	3,99	1,51	-3,99	-5,50	1625,11	660,56
49	6,29	15,21	1,65	3,99	1,74	11,22	9,48	1634,58	670,03
50	49,44	119,54	1,65	3,99	33,71	115,55	81,84	1716,42	751,87
51	0,00	0,00	1,65	3,99	19,70	-3,99	-23,69	1692,73	728,18
52	0,00	0,00	1,65	3,99	15,87	-3,99	-19,86	1672,86	708,31
53	16,20	39,16	1,65	3,99	25,33	35,17	9,84	1682,70	718,15
54	13,86	33,52	1,65	3,99	24,09	29,52	5,43	1688,13	723,58
55	0,00	0,00	1,65	3,99	10,91	-3,99	-14,90	1673,23	708,68
56	0,00	0,00	1,65	3,99	8,54	-3,99	-12,53	1660,69	696,14
57	0,00	0,00	1,11	2,68	4,75	-2,68	-7,43	1653,26	688,71
58	0,00	0,00	1,11	2,68	3,18	-2,68	-5,86	1647,40	682,85
59	12,41	30,01	1,11	2,68	3,30	27,33	24,03	1671,42	706,87

Cont. APÊNDICE II – A – RESULTADOS QUANTITATIVOS PARA O PILOTO

Tempo (dias)	Prec (mm)	Prec (litros)	Evap (mm)	Evap (litros)	Perc[3] (litros)	Fs[3] (litros)	DU[3] (litros/dia)	U[3] (litros)	U[3]-U[3]o (litros)
60	0,00	0,00	1,11	2,68	2,93	-2,68	-5,61	1665,81	701,26
61	0,00	0,00	1,11	2,68	2,08	-2,68	-4,76	1661,04	696,49
62	0,00	0,00	1,11	2,68	2,27	-2,68	-4,95	1656,09	691,54
63	0,00	0,00	1,11	2,68	2,22	-2,68	-4,90	1651,19	686,64
64	0,00	0,00	1,11	2,68	1,85	-2,68	-4,53	1646,65	682,10
65	0,00	0,00	1,11	2,68	1,29	-2,68	-3,97	1642,68	678,13
66	0,00	0,00	1,11	2,68	1,28	-2,68	-3,96	1638,72	674,17
67	7,82	18,90	1,11	2,68	1,20	16,21	15,01	1653,73	689,18
68	24,86	60,11	1,11	2,68	19,18	57,43	38,25	1691,98	727,43
69	0,00	0,00	1,11	2,68	7,90	-2,68	-10,58	1681,39	716,84
70	0,00	0,00	2,23	5,39	4,05	-5,39	-9,44	1671,96	707,41
71	0,00	0,00	2,23	5,39	3,89	-5,39	-9,28	1662,68	698,13
72	0,00	0,00	2,23	5,39	3,44	-5,39	-8,83	1653,85	689,30
73	0,00	0,00	2,23	5,39	2,98	-5,39	-8,37	1645,49	680,94
74	0,00	0,00	2,23	5,39	1,34	-5,39	-6,73	1638,76	674,21
75	0,00	0,00	2,23	5,39	1,33	-5,39	-6,72	1632,04	667,49
76	0,00	0,00	2,23	5,39	1,33	-5,39	-6,72	1625,33	660,78
77	12,56	30,37	2,23	5,39	5,26	24,99	19,73	1645,05	680,50
78	12,56	30,37	2,23	5,39	5,26	24,99	19,73	1664,78	700,23
79	3,19	7,71	2,23	5,39	5,00	2,32	-2,68	1662,10	697,55
80	3,19	7,71	2,23	5,39	5,00	2,32	-2,68	1659,43	694,88
81	3,19	7,71	2,23	5,39	5,00	2,32	-2,68	1656,75	692,20
82	0,64	1,55	2,23	5,39	3,37	-3,84	-7,21	1649,54	684,99
83	0,62	1,50	2,23	5,39	3,36	-3,89	-7,25	1642,29	677,74
84	0,00	0,00	2,23	5,39	2,01	-5,39	-7,40	1634,90	670,35
85	0,00	0,00	0,13	0,31	2,01	-0,31	-2,32	1632,58	668,03
86	0,00	0,00	0,13	0,31	2,00	-0,31	-2,31	1630,27	665,72
87	0,00	0,00	0,13	0,31	2,00	-0,31	-2,31	1627,96	663,41
88	0,00	0,00	0,13	0,31	2,00	-0,31	-2,31	1625,65	661,10
89	1,36	3,28	0,13	0,31	1,13	2,97	1,84	1627,49	662,94

Cont. APÊNDICE II – A – RESULTADOS QUANTITATIVOS PARA O PILOTO

Tempo (dias)	Prec (mm)	Prec (litros)	Evap (mm)	Evap (litros)	Perc[3] (litros)	Fs[3] (litros)	DU[3] (litros/dia)	U[3] (litros)	U[3]-U[3]o (litros)
90	0,00	0,00	0,13	0,31	1,13	-0,31	-1,44	1626,06	661,51
91	0,00	0,00	0,13	0,31	1,13	-0,31	-1,44	1624,62	660,07
92	0,00	0,00	0,13	0,31	1,12	-0,31	-1,43	1623,19	658,64
93	0,68	1,64	0,13	0,31	1,12	1,33	0,21	1623,40	658,85
94	0,00	0,00	0,13	0,31	1,12	-0,31	-1,43	1621,97	657,42
95	0,00	0,00	0,13	0,31	1,02	-0,31	-1,33	1620,64	656,09
96	0,00	0,00	0,13	0,31	1,02	-0,31	-1,33	1619,31	654,76
97	0,00	0,00	0,13	0,31	1,02	-0,31	-1,33	1617,99	653,44
98	0,00	0,00	0,13	0,31	0,78	-0,31	-1,09	1616,90	652,35
99	0,00	0,00	0,84	2,02	0,77	-2,02	-2,79	1614,11	649,56
100	7,50	18,12	0,84	2,02	0,55	16,10	15,55	1629,66	665,11
101	14,92	36,06	0,84	2,02	0,55	34,04	33,49	1663,15	698,60
102	0,00	0,00	0,84	2,02	0,55	-2,02	-2,57	1660,58	696,03
103	0,00	0,00	0,84	2,02	0,55	-2,02	-2,57	1658,01	693,46
104	0,00	0,00	0,84	2,02	0,55	-2,02	-2,57	1655,44	690,89
105	0,00	0,00	0,84	2,02	0,55	-2,02	-2,57	1652,87	688,32
106	7,27	17,58	0,84	2,02	4,85	15,56	10,71	1663,57	699,02
107	0,00	0,00	0,84	2,02	4,84	-2,02	-6,86	1656,71	692,16
108	3,64	8,79	0,84	2,02	4,84	6,77	1,93	1658,64	694,09
109	3,62	8,74	0,84	2,02	4,84	6,72	1,88	1660,52	695,97
110	3,94	9,52	0,84	2,02	4,84	7,50	2,66	1663,17	698,62
111	0,00	0,00	0,84	2,02	2,19	-2,02	-4,21	1658,96	694,41
112	0,00	0,00	0,84	2,02	2,19	-2,02	-4,21	1654,75	690,20
113	1,17	2,82	0,84	2,02	2,19	0,80	-1,39	1653,36	688,81
114	0,00	0,00	0,84	2,02	0,76	-2,02	-2,78	1650,58	686,03
115	0,00	0,00	0,84	2,02	0,75	-2,02	-2,77	1647,81	683,26
116	0,49	1,18	0,84	2,02	0,75	-0,84	-1,59	1646,22	681,67
117	0,00	0,00	0,84	2,02	1,17	-2,02	-3,19	1643,03	678,48
118	0,00	0,00	0,84	2,02	1,17	-2,02	-3,19	1639,84	675,29
119	0,00	0,00	0,84	2,02	0,63	-2,02	-2,65	1637,19	672,64

Cont. APÊNDICE II – A – RESULTADOS QUANTITATIVOS PARA O PILOTO

Tempo (dias)	Prec (mm)	Prec (litros)	Evap (mm)	Evap (litros)	Perc[3] (litros)	Fs[3] (litros)	DU[3] (litros/dia)	U[3] (litros)	U[3]-U[3]o (litros)
120	0,00	0,00	0,62	1,51	0,63	-1,51	-2,14	1635,05	670,50
121	15,00	36,27	0,62	1,51	4,74	34,76	30,02	1665,07	700,52
122	3,99	9,64	0,62	1,51	4,74	8,13	3,39	1668,46	703,91
123	9,49	22,95	0,62	1,51	4,74	21,44	16,70	1685,16	720,61
124	4,86	11,75	0,62	1,51	11,54	10,24	-1,30	1683,86	719,31
125	2,86	6,91	0,62	1,51	11,54	5,40	-6,14	1677,72	713,17
126	9,06	21,91	0,62	1,51	10,05	20,40	10,35	1688,08	723,53
127	7,06	17,08	0,62	1,51	10,05	15,57	5,52	1693,60	729,05
128	0,00	0,00	0,62	1,51	3,02	-1,51	-4,53	1689,07	724,52
129	0,00	0,00	0,62	1,51	3,02	-1,51	-4,53	1684,54	719,99
130	0,00	0,00	0,62	1,51	3,01	-1,51	-4,52	1680,02	715,47
131	0,00	0,00	0,62	1,51	3,03	-1,51	-4,54	1675,48	710,93
132	0,00	0,00	0,62	1,51	3,03	-1,51	-4,54	1670,94	706,39
133	0,00	0,00	0,62	1,51	1,71	-1,51	-3,22	1667,72	703,17
134	0,00	0,00	0,62	1,51	1,70	-1,51	-3,21	1664,51	699,96
135	0,00	0,00	0,43	1,04	1,36	-1,04	-2,40	1662,11	697,56
136	0,00	0,00	0,43	1,04	1,36	-1,04	-2,40	1659,71	695,16
137	0,00	0,00	0,43	1,04	1,36	-1,04	-2,40	1657,31	692,76
138	0,00	0,00	0,43	1,04	0,78	-1,04	-1,82	1655,49	690,94
139	0,00	0,00	0,43	1,04	0,78	-1,04	-1,82	1653,66	689,11
140	0,00	0,00	0,43	1,04	0,78	-1,04	-1,82	1651,84	687,29
141	0,00	0,00	0,99	2,39	0,78	-2,39	-3,17	1648,67	684,12
142	4,06	9,81	0,99	2,39	1,12	7,42	6,30	1654,97	690,42
143	0,00	0,00	0,99	2,39	1,12	-2,39	-3,51	1651,47	686,92
144	2,03	4,90	0,99	2,39	1,12	2,51	1,39	1652,86	688,31
145	4,24	10,25	0,99	2,39	0,50	7,86	7,36	1660,22	695,67
146	0,00	0,00	0,99	2,39	0,50	-2,39	-2,89	1657,33	692,78
147	4,62	11,16	0,99	2,39	0,70	8,77	8,07	1665,40	700,85
148	0,00	0,00	0,99	2,39	0,70	-2,39	-3,09	1662,31	697,76
149	0,00	0,00	0,99	2,39	0,70	-2,39	-3,09	1659,23	694,68

Cont. APÊNDICE II – A – RESULTADOS QUANTITATIVOS PARA O PILOTO

Tempo (dias)	Prec (mm)	Prec (litros)	Evap (mm)	Evap (litros)	Perc[3] (litros)	Fs[3] (litros)	DU[3] (litros/dia)	U[3] (litros)	U[3]-U[3]o (litros)
150	0,75	1,82	0,99	2,39	0,70	-0,57	-1,27	1657,96	693,41
151	0,00	0,00	0,99	2,39	0,70	-2,39	-3,09	1654,87	690,32
152	0,00	0,00	0,99	2,39	0,67	-2,39	-3,06	1651,81	687,26
153	0,00	0,00	0,99	2,39	0,67	-2,39	-3,06	1648,75	684,20
154	23,22	56,15	0,99	2,39	8,33	53,76	45,43	1694,19	729,64
155	0,00	0,00	0,99	2,39	8,33	-2,39	-10,72	1683,47	718,92
156	0,00	0,00	1,63	3,93	18,56	-3,93	-22,49	1660,98	696,43
157	0,00	0,00	1,63	3,93	18,56	-3,93	-22,49	1638,49	673,94
158	64,01	154,76	1,63	3,93	18,55	150,83	132,28	1770,77	806,22
159	0,00	0,00	1,63	3,93	27,88	-3,93	-31,81	1738,96	774,41
160	0,00	0,00	1,63	3,93	27,87	-3,93	-31,80	1707,16	742,61
161	0,00	0,00	1,63	3,93	4,30	-3,93	-8,23	1698,94	734,39
162	0,00	0,00	1,63	3,93	4,30	-3,93	-8,23	1690,71	726,16
163	0,00	0,00	1,21	2,93	4,42	-2,93	-7,35	1683,36	718,81
164	0,00	0,00	1,21	2,93	4,42	-2,93	-7,35	1676,02	711,47
165	0,00	0,00	1,21	2,93	4,42	-2,93	-7,35	1668,67	704,12
166	17,52	42,35	1,21	2,93	1,17	39,42	38,25	1706,92	742,37
167	0,00	0,00	1,21	2,93	1,17	-2,93	-4,10	1702,83	738,28
168	10,03	24,25	1,21	2,93	9,50	21,32	11,82	1714,65	750,10
169	3,03	7,32	1,21	2,93	9,50	4,40	-5,10	1709,55	745,00
170	0,00	0,00	1,21	2,93	7,94	-2,93	-10,87	1698,68	734,13
171	0,00	0,00	1,21	2,93	7,93	-2,93	-10,86	1687,83	723,28
172	0,00	0,00	1,21	2,93	7,93	-2,93	-10,86	1676,97	712,42
173	0,00	0,00	1,21	2,93	3,48	-2,93	-6,41	1670,57	706,02
174	0,00	0,00	1,03	2,50	3,47	-2,50	-5,97	1664,60	700,05
175	15,30	37,00	1,03	2,50	2,94	34,50	31,56	1696,15	731,60
176	0,00	0,00	1,03	2,50	2,93	-2,50	-5,43	1690,72	726,17
177	0,51	1,23	1,03	2,50	4,82	-1,27	-6,09	1684,64	720,09
178	0,00	0,00	1,03	2,50	4,82	-2,50	-7,32	1677,32	712,77
179	0,25	0,59	1,03	2,50	4,81	-1,91	-6,72	1670,60	706,05

Cont. APÊNDICE II – A – RESULTADOS QUANTITATIVOS PARA O PILOTO

Tempo (dias)	Prec (mm)	Prec (litros)	Evap (mm)	Evap (litros)	Perc[3] (litros)	Fs[3] (litros)	DU[3] (litros/dia)	U[3] (litros)	U[3]-U[3]o (litros)
180	0,00	0,00	1,03	2,50	1,74	-2,50	-4,24	1666,36	701,81
181	0,00	0,00	1,03	2,50	1,74	-2,50	-4,24	1662,12	697,57
182	1,32	3,19	1,03	2,50	1,74	0,69	-1,05	1661,07	696,52
183	0,00	0,00	1,03	2,50	1,73	-2,50	-4,23	1656,84	692,29
184	5,97	14,44	1,03	2,50	1,44	11,94	10,50	1667,34	702,79
185	0,00	0,00	1,03	2,50	1,44	-2,50	-3,94	1663,40	698,85
186	2,98	7,20	1,03	2,50	1,44	4,70	3,26	1666,66	702,11
187	0,00	0,00	1,03	2,50	1,36	-2,50	-3,86	1662,80	698,25
188	0,00	0,00	1,03	2,50	1,36	-2,50	-3,86	1658,94	694,39
189	0,00	0,00	1,03	2,50	1,36	-2,50	-3,86	1655,08	690,53
190	34,24	82,79	1,03	2,50	1,35	80,29	78,94	1734,03	769,48
191	0,00	0,00	1,03	2,50	11,50	-2,50	-14,00	1720,03	755,48
192	0,00	0,00	1,03	2,50	11,50	-2,50	-14,00	1706,03	741,48
193	6,73	16,27	1,03	2,50	11,50	13,77	2,27	1708,29	743,74
194	0,00	0,00	1,03	2,50	4,14	-2,50	-6,64	1701,65	737,10
195	0,00	0,00	1,03	2,50	4,14	-2,50	-6,64	1695,01	730,46
196	5,34	12,90	1,03	2,50	4,51	10,40	5,89	1700,90	736,35
197	1,34	3,23	1,03	2,50	4,51	0,73	-3,78	1697,12	732,57
198	0,00	0,00	1,03	2,50	1,90	-2,50	-4,40	1692,72	728,17
199	0,00	0,00	1,03	2,50	1,90	-2,50	-4,40	1688,32	723,77
200	0,00	0,00	1,03	2,50	1,90	-2,50	-4,40	1683,92	719,37
201	15,85	38,33	1,03	2,50	5,65	35,83	30,18	1714,11	749,56
202	7,85	18,99	1,03	2,50	5,65	16,49	10,84	1724,95	760,40
203	14,54	35,15	0,66	1,61	10,39	33,54	23,15	1748,10	783,55
204	4,54	10,97	0,66	1,61	10,39	9,36	-1,03	1747,07	782,52
205	0,00	0,00	0,66	1,61	5,42	-1,61	-7,03	1740,04	775,49
206	4,01	9,71	0,66	1,61	5,42	8,10	2,68	1742,72	778,17
207	0,00	0,00	0,66	1,61	5,42	-1,61	-7,03	1735,70	771,15
208	4,99	12,07	0,66	1,61	5,20	10,47	5,27	1740,96	776,41
209	0,00	0,00	0,66	1,61	5,20	-1,61	-6,81	1734,16	769,61

Cont. APÊNDICE II – A – RESULTADOS QUANTITATIVOS PARA O PILOTO

Tempo (dias)	Prec (mm)	Prec (litros)	Evap (mm)	Evap (litros)	Perc[3] (litros)	Fs[3] (litros)	DU[3] (litros/dia)	U[3] (litros)	U[3]-U[3]o (litros)
210	0,00	0,00	0,66	1,61	2,93	-1,61	-4,54	1729,62	765,07
211	0,00	0,00	0,66	1,61	2,93	-1,61	-4,54	1725,09	760,54
212	0,00	0,00	0,66	1,61	1,54	-1,61	-3,15	1721,94	757,39
213	0,00	0,00	1,30	3,14	1,53	-3,14	-4,67	1717,28	752,73
214	0,00	0,00	1,30	3,14	1,53	-3,14	-4,67	1712,61	748,06
215	0,00	0,00	1,30	3,14	1,49	-3,14	-4,63	1707,99	743,44
216	9,10	22,01	1,30	3,14	1,48	18,87	17,39	1725,38	760,83
217	18,09	43,74	1,30	3,14	0,95	40,61	39,66	1765,04	800,49
218	0,00	0,00	1,30	3,14	0,95	-3,14	-4,09	1760,95	796,40
219	0,00	0,00	1,30	3,14	1,08	-3,14	-4,22	1756,73	792,18
220	0,00	0,00	1,30	3,14	1,08	-3,14	-4,22	1752,52	787,97
221	0,00	0,00	1,30	3,14	1,08	-3,14	-4,22	1748,30	783,75
222	0,00	0,00	1,30	3,14	0,91	-3,14	-4,05	1744,26	779,71
223	0,00	0,00	1,30	3,14	0,90	-3,14	-4,04	1740,22	775,67
224	3,07	7,43	1,30	3,14	0,90	4,29	3,39	1743,61	779,06
225	0,00	0,00	1,30	3,14	0,90	-3,14	-4,04	1739,57	775,02
226	0,00	0,00	1,30	3,14	0,92	-3,14	-4,06	1735,52	770,97
227	0,00	0,00	1,30	3,14	0,91	-3,14	-4,05	1731,47	766,92
228	0,00	0,00	1,30	3,14	0,91	-3,14	-4,05	1727,43	762,88
229	0,00	0,00	0,88	2,12	0,70	-2,12	-2,82	1724,60	760,05
230	0,00	0,00	0,88	2,12	0,70	-2,12	-2,82	1721,78	757,23
231	26,95	65,16	0,88	2,12	1,16	63,04	61,88	1783,66	819,11
232	0,00	0,00	0,88	2,12	1,16	-2,12	-3,28	1780,37	815,82
233	0,00	0,00	0,88	2,12	0,74	-2,12	-2,86	1777,51	812,96
234	0,00	0,00	0,88	2,12	0,74	-2,12	-2,86	1774,65	810,10
235	0,00	0,00	0,88	2,12	0,74	-2,12	-2,86	1771,79	807,24
236	0,00	0,00	3,54	8,55	0,00	-8,55	-8,55	1763,24	798,69
237	0,00	0,00	3,54	8,55	0,00	-8,55	-8,55	1754,69	790,14
238	20,00	48,36	3,54	8,55	1,88	39,81	37,93	1792,61	828,06
239	8,39	20,29	3,54	8,55	1,88	11,74	9,86	1802,47	837,92

Cont. APÊNDICE II – A – RESULTADOS QUANTITATIVOS PARA O PILOTO

Tempo (dias)	Prec (mm)	Prec (litros)	Evap (mm)	Evap (litros)	Perc[3] (litros)	Fs[3] (litros)	DU[3] (litros/dia)	U[3] (litros)	U[3]-U[3]o (litros)
240	0,00	0,00	3,54	8,55	1,95	-8,55	-10,50	1791,97	827,42
241	0,00	0,00	3,54	8,55	1,95	-8,55	-10,50	1781,47	816,92
242	0,00	0,00	3,54	8,55	1,95	-8,55	-10,50	1770,97	806,42
243	45,31	109,55	3,54	8,55	11,35	101,00	89,65	1860,62	896,07
244	0,00	0,00	3,54	8,55	11,35	-8,55	-19,90	1840,72	876,17
245	17,00	41,10	3,54	8,55	11,35	32,55	21,20	1861,92	897,37
246	19,07	46,11	3,54	8,55	11,34	37,56	26,22	1888,15	923,60
247	0,00	0,00	3,54	8,55	5,50	-8,55	-14,05	1874,10	909,55
248	3,07	7,43	3,54	8,55	5,50	-1,12	-6,62	1867,48	902,93
249	1,07	2,59	3,54	8,55	5,50	-5,96	-11,46	1856,02	891,47
250	0,00	0,00	0,69	1,66	2,01	-1,66	-3,67	1852,35	887,80
251	0,00	0,00	0,69	1,66	2,01	-1,66	-3,67	1848,68	884,13
252	0,00	0,00	0,69	1,66	1,95	-1,66	-3,61	1845,08	880,53
253	0,00	0,00	0,69	1,66	1,95	-1,66	-3,61	1841,47	876,92
254	3,79	9,15	0,69	1,66	1,47	7,50	6,03	1847,49	882,94
255	0,00	0,00	0,69	1,66	1,47	-1,66	-3,13	1844,36	879,81
256	0,00	0,00	0,69	1,66	1,46	-1,66	-3,12	1841,24	876,69
257	0,00	0,00	0,69	1,66	1,18	-1,66	-2,84	1838,41	873,86
258	0,00	0,00	0,69	1,66	1,18	-1,66	-2,84	1835,57	871,02
259	5,26	12,71	0,69	1,66	1,24	11,05	9,81	1845,38	880,83
260	1,26	3,04	0,69	1,66	1,24	1,38	0,14	1845,52	880,97
261	0,00	0,00	0,69	1,66	2,57	-1,66	-4,23	1841,30	876,75
262	0,00	0,00	0,69	1,66	2,57	-1,66	-4,23	1837,07	872,52
263	0,00	0,00	0,69	1,66	2,57	-1,66	-4,23	1832,84	868,29
264	0,00	0,00	0,69	1,66	1,08	-1,66	-2,74	1830,10	865,55
265	0,00	0,00	0,69	1,66	1,07	-1,66	-2,73	1827,37	862,82
266	2,30	5,56	0,41	0,98	0,45	4,58	4,13	1831,50	866,95
267	3,47	8,38	0,41	0,98	0,45	7,40	6,95	1838,45	873,90
268	0,00	0,00	0,41	0,98	0,77	-0,98	-1,75	1836,70	872,15
269	0,00	0,00	0,41	0,98	0,77	-0,98	-1,75	1834,95	870,40

Cont. APÊNDICE II – A – RESULTADOS QUANTITATIVOS PARA O PILOTO

Tempo (dias)	Prec (mm)	Prec (litros)	Evap (mm)	Evap (litros)	Perc[3] (litros)	Fs[3] (litros)	DU[3] (litros/dia)	U[3] (litros)	U[3]-U[3]o (litros)
270	0,58	1,41	0,41	0,98	0,77	0,43	-0,34	1834,61	870,06
271	1,92	4,64	0,41	0,98	0,52	3,67	3,15	1837,76	873,21
272	3,60	8,69	0,41	0,98	0,52	7,72	7,20	1844,95	880,40
273	0,00	0,00	0,41	0,98	1,47	-0,98	-2,45	1842,51	877,96
274	0,00	0,00	0,41	0,98	1,46	-0,98	-2,44	1840,07	875,52
275	11,04	26,69	0,41	0,98	17,21	25,72	8,51	1848,57	884,02
276	14,00	33,85	0,41	0,98	17,21	32,87	15,66	1864,23	899,68
277	2,08	5,03	0,41	0,98	17,21	4,05	-13,16	1851,08	886,53

APÊNDICE II – B – RESULTADOS QUANTITATIVOS SEMANAIS PARA O PILOTO

Tempo (dias)	PrecM (litros)	PrecMR (litros)	PrecPico (litros)	EvapM (litros)	EvapPico (litros)	PercM (litros)	PercPico (litros)	FsM (litros)	FsPico (litros)	DUM (litros/dia)	DUPico (litros)	UM (litros)	UM-UMo (litros/dia)
0	7,59	18,98	40,98	9,89	10,40	6,24	17,69	-2,30	30,58	-8,54	-27,41	1676,43	-38,80
6	2,50	3,76	15,03	5,31	5,31	1,76	2,53	-2,81	9,71	-4,56	-7,19	1612,48	-102,75
14	18,41	36,83	116,59	5,31	5,31	8,22	38,02	13,10	111,27	4,88	73,25	1651,18	-64,05
21	6,79	11,88	34,74	6,01	6,53	1,64	2,96	0,78	28,21	-0,85	26,50	1633,53	-81,71
27	2,91	4,37	8,61	6,53	6,53	1,12	2,36	-3,62	-6,53	-4,74	-8,32	1624,94	-90,29
34	20,17	35,29	90,17	6,65	6,81	1,69	5,73	13,52	83,36	11,83	77,63	1608,94	-106,30
40	12,38	18,57	63,53	6,81	6,81	9,63	16,83	5,57	56,72	-4,05	44,19	1663,21	-52,02
49	3,46	7,77	15,88	4,93	6,81	2,49	5,19	-1,48	11,89	-3,97	-12,00	1638,37	-76,87
55	32,04	48,05	119,54	3,99	3,99	21,60	33,71	28,04	115,55	6,44	81,84	1687,68	-27,56
63	3,75	7,50	30,01	2,85	3,99	3,66	8,54	0,90	27,33	-2,76	24,03	1658,36	-56,87
69	13,17	19,75	60,11	2,68	2,68	5,45	19,18	10,48	57,43	5,03	38,25	1659,19	-56,04
76	0,00	0,00	0,00	5,39	5,39	2,62	4,05	-5,39	-5,39	-8,01	-9,44	1647,16	-68,08
83	12,42	21,73	30,37	5,39	5,39	4,61	5,26	7,03	24,99	2,42	19,73	1654,28	-60,95
89	0,55	0,82	3,28	1,15	5,39	1,86	2,01	-0,61	-5,39	-2,47	-7,40	1629,81	-85,42
97	0,20	0,41	1,64	0,31	0,31	1,09	1,13	-0,10	1,33	-1,19	-1,44	1622,15	-93,09
105	6,77	13,55	36,06	1,81	2,02	0,61	0,78	4,97	34,04	4,36	33,49	1643,84	-71,40
111	7,44	11,16	17,58	2,02	2,02	4,40	4,85	5,42	15,56	1,02	10,71	1660,26	-54,97
117	0,67	1,00	2,82	2,02	2,02	1,30	2,19	-1,35	-2,02	-2,66	-4,21	1649,29	-65,94
125	10,94	21,88	36,27	1,64	2,02	4,97	11,54	9,30	34,76	4,34	30,02	1661,54	-53,69
132	5,57	9,75	21,91	1,51	1,51	5,03	10,05	4,06	20,40	-0,97	10,35	1683,10	-32,13
139	0,00	0,00	0,00	1,18	1,51	1,29	1,71	-1,18	-1,51	-2,47	-3,22	1660,07	-55,16
146	3,56	6,24	10,25	2,20	2,39	0,85	1,12	1,37	7,86	0,52	7,36	1653,91	-61,32
153	1,85	3,24	11,16	2,39	2,39	0,69	0,70	-0,53	8,77	-1,23	8,07	1657,19	-58,04
161	26,36	52,73	154,76	3,54	3,93	16,55	27,88	22,82	150,83	6,27	132,28	1699,12	-16,11
167	7,06	10,59	42,35	3,09	3,93	3,32	4,42	3,97	39,42	0,65	38,25	1688,08	-27,15
174	4,51	7,89	24,25	2,86	2,93	7,11	9,50	1,65	21,32	-5,46	11,82	1688,98	-26,26
181	5,55	9,71	37,00	2,50	2,50	3,40	4,82	3,05	34,50	-0,35	31,56	1678,27	-36,96
188	3,55	6,21	14,44	2,50	2,50	1,50	1,74	1,05	11,94	-0,45	10,50	1662,44	-52,80
194	16,51	24,76	82,79	2,50	2,50	6,89	11,50	14,01	80,29	7,12	78,94	1704,18	-11,05
217	9,00	51,77	43,74	2,25	3,14	4,00	10,39	6,75	40,61	2,76	39,66	1721,34	6,10

Continuação – APÊNDICE II – B – RESULTADOS QUANTITATIVOS SEMANAIS PARA O PILOTO

Tempo (dias)	PrecM (litros)	PrecMR (litros)	PrecPico (litros)	EvapM (litros)	EvapPico (litros)	PercM (litros)	PercPico (litros)	FsM (litros)	FsPico (litros)	DUM (litros/dia)	DUPico (litros)	UM (litros)	UM-UMo (litros/dia)
223	0,00	0,00	0,00	3,14	3,14	1,00	1,08	-3,14	-3,14	-4,14	-4,22	1750,50	35,26
229	1,24	1,86	7,43	2,97	3,14	0,87	0,92	-1,73	4,29	-2,60	-4,06	1733,70	18,47
236	9,31	16,29	65,16	3,04	8,55	0,75	1,16	6,27	63,04	5,52	61,88	1767,57	52,34
244	22,27	44,55	109,55	8,55	8,55	4,04	11,35	13,72	101,00	9,69	89,65	1799,44	84,21
250	16,21	24,31	46,11	7,40	8,55	6,87	11,35	8,81	37,56	1,94	26,22	1866,67	151,44
258	1,14	2,29	9,15	1,66	1,66	1,58	2,01	-0,51	7,50	-2,10	6,03	1842,79	127,55
265	2,25	3,94	12,71	1,66	1,66	1,76	2,57	0,59	11,05	-1,17	9,81	1837,08	121,85
272	4,10	7,17	8,69	0,98	0,98	0,61	0,77	3,12	7,72	2,51	7,20	1836,99	121,76
277	13,12	16,39	33,85	0,98	0,98	10,91	17,21	12,14	32,87	1,22	15,66	1849,29	134,06