

RITA DE CASCIA AVELINO SUASSUNA

**CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS PRODUZIDOS
NA ETE CABANGA - RECIFE - PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Recursos hídricos

SUB-ÁREA: Engenharia Sanitária e Ambiental

ORIENTADORES: Prof^a Annemarie König

Prof. Rui de Oliveira

Campina Grande - Paraíba

- 1995 -



S939c Suassuna, Rita de Cascia Avelino
Caracterizacao dos lodos produzidos na Ete Cabanga -
Recife - Pernambuco / Rita de Cascia Avelino Suassuna. -
Campina Grande, 1995.
91 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) -
Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e
Tecnologia.

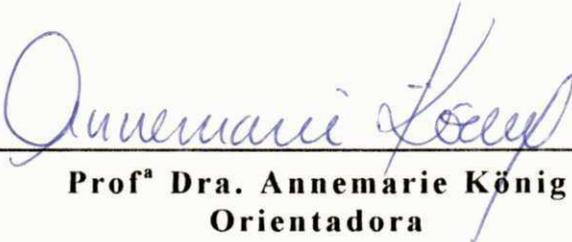
1. Lodo - 2. Lodo Cru - 3. Meio Ambiente 4. Dissertacao
I. Konig, Annemarie, Dra. II. Oliveira, Rui de Oliveira,
Dr. III. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande
(PB)

CDU 628.336(813.4)(043)

**CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS PRODUZIDOS NA ETE CABANGA
RECIFE - PERNAMBUCO**

RITA DE CASCIA AVELINO SUASSUNA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 01 / 12 / 95



Profª Dra. Annemarie König
Orientadora



Prof. Dr. Rui de Oliveira
Orientador



Profª Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos
Examinadora Interna



Prof. Dr. Hênio Normando de S. Melo
Examinador Externo

Campina Grande - Paraíba

- 1995 -

AGRADECIMENTOS

- À professora Annemarie König e ao professor Rui de Oliveira pela orientação e dedicação dispensadas à realização deste trabalho.
- À Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA - por ter permitido a execução deste trabalho, especialmente a Júlio Sérgio Maia pela sua valiosa colaboração.
- Ao corpo docente da Área de Engenharia Sanitária e Ambiental (AESAs) do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba pelos ensinamentos prestados durante o curso, e aos funcionários dessa área pela dedicação dispensada no decorrer do curso e na realização dos experimentos.
- À Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários - EXTRABES - nas pessoas dos professores Salomão Anselmo Silva e Rui de Oliveira pela pronta disposição à determinação de alguns parâmetros da pesquisa.
- À professora Lúcia Helena Garófalo Chaves, aos funcionários José Wilson S. Barros e Francisco de Assis O. Clementino e demais colaboradores que fazem parte do Laboratório de Irrigação e Salinidade - LIS - do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Paraíba pelo apoio prestado durante as análises de salinidade.
- A Rolemberg Barros de França e a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Oferecimento:

A Deus pela minha existência, e a minha família genealógica, em destaque minha mãe RITA SUASSUNA e minhas irmãs, TEREZINHA, SOCORRO, VERÔNICA E MARTA que desde cedo, e sempre, estiveram do meu lado.

RESUMO

A pesquisa foi realizada na Estação de Tratamento de Esgotos de Cabanga situada em Recife (PE), pertencente à Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Nessa estação, o esgoto bruto afluente era submetido ao processo de gradeamento para retenção de sólidos grosseiros e posteriormente ao desarenamento em caixas de areia. Destas, seguia para os decantadores primários onde era gerado o lodo cru a ser digerido posteriormente nos digestores primário e secundário. Após a digestão, o lodo era descarregado para os leitos de secagem onde ocorria a sua desidratação através da drenagem e evaporação do líquido intersticial (líquido drenado).

O objetivo deste trabalho foi a caracterização do lodo cru originado nos decantadores primários, do lodo digerido efluente do digestor secundário nos diversos períodos de secagem e do líquido drenado dos leitos de secagem. Além disso foi avaliada a qualidade físico-química e sanitária do lodo final seco da ETE Cabanga e a possível utilização desse lodo na agricultura como fertilizante e condicionador do solo.

As amostras de lodo cru foram analisadas no período de 16/08/93 a 20/08/93 e de 27/09/93 a 01/10/93 nos experimentos 01 e 02, respectivamente. Em ambos os experimentos as coletas foram realizadas a cada dois dias nos horários de 9, 13 e 17 h. No período de 05/03/93 a 25/10/93 foram realizados seis experimentos para caracterizar o lodo digerido. Em cada experimento foram coletadas amostras de lodo no primeiro dia de secagem e ao longo do processo de secagem em intervalos de tempo variados. As amostras para caracterização do líquido drenado foram coletadas em cada experimento realizado com lodo digerido, desde que o leito utilizado para a secagem possuísse acesso à tubulação que coletava esse líquido. No primeiro dia de

secagem foram coletadas as amostras iniciais e as subsequentes a cada três dias, caso houvesse líquido escoando através da camada drenante.

Os parâmetros analisados foram: temperatura, ST, STF, STV, peso específico, teor de umidade, pH, nitrogênio total, amônia, fósforo total, salinidade e ovos de helmintos.

A análise dos resultados experimentais de caracterização permitiu concluir que o lodo cru e digerido (líquido e seco) e o líquido drenado dos leitos da ETE possuem uma excessiva salinidade devida à entrada de água do mar na rede de esgoto. O movimento das marés (preamar e baixa-mar) provocou variações nas concentrações de cloreto (7005 - 14224 mg/l) e de sódio (5137 - 8318 mg/l) do lodo cru. Durante a secagem do lodo digerido as concentrações de cloreto variaram de 4200 a 12175 mg/l e as de sódio de 3067 a 15330 mg/l, enquanto no líquido drenado dos leitos de secagem estas variações foram de 4118 a 10889 mg/l e de 2277 a 11270 mg/l, respectivamente.

Além da salinidade, os lodos cru e digerido da ETE Cabanga apresentaram ainda elevados números de ovos de helmintos. No lodo cru, as concentrações de ovos de A. lumbricoides e T. trichiura variaram de 8600 a 45467 ovos/l e de 533 a 1667 ovos/l, respectivamente. O lodo final seco também apresentou elevados números de ovos de A. lumbricoides (15378 a 37422 ovos/l) e de T. trichiura (133 a 1267 ovos/l).

A elevada salinidade e a considerável quantidade de ovos de helmintos presentes no lodo seco inviabilizam o seu uso agrícola, uma vez que pode prejudicar o solo e o desenvolvimento das plantas e contaminar o meio ambiente.

ABSTRACT

This research was carried out at Cabanga Sewage Treatment Plant, Recife-Pernambuco state (8° 10' 52" S, 34° 54' 0" O, 2m a.s.l.), belonging to COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento). After preliminary treatment, raw sewage was conducted to primary settling tanks and raw sludge was treated in anaerobic digesters. The final sludge was unloaded into drying beds and dewatered through evaporation and drainage.

This work aimed the characterization of (a) raw sludge from primary settling tanks; (b) digested sludge from anaerobic digesters; (c) dried sludge, after several drying periods and (d) drained liquid.

From March to October 1993 samples were taken at regular intervals and analysed for temperature, pH, total, fixed and volatile solids, specific weight, humidity, total nitrogen, ammonia, total phosphorus, salinity and helminth eggs.

Results showed a drained liquid and raw and digested sludge with high levels of salinity due to presence of sea water in the sewerage collecting system. Tide movement promoted in raw sludge a wide variation of chloride and sodium concentration (7005 - 14244 mg/l and 5137 - 8318 mg/l respectively).

During dewatering of digested sludge, chloride and sodium concentration were also high, varying from 4200 - 12175 mg/l and 3067 - 15330 mg/l respectively. Drained liquid presented of values varying from 4118 to 10880 mg/l for chloride and from 2277 - 11270 mg/l for sodium.

Helminth eggs counts were high in raw and digested sludge Ascaris lumbricoides varied in the former from 8600 - 45467 eggs/l and within the range 15378 - 37422 eggs/l in the latter. For Trichuris trichiura this variation comprised values from 533 to 1667 eggs/l and 133 - 1267 eggs/l respectively.

Dried sludge high salinity and helminth eggs contents restricted its agricultural use once they would cause soil and plant damage and environmental contamination.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....	01
2 - REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1 - Tipos de estações onde há geração de lodo.....	03
2.1.1 - Estações de tratamento de águas (ETAs).....	03
2.1.2 - Estações de tratamento de esgotos (ETEs).....	04
2.2 - Lodos produzidos em estações de tratamento de esgoto.....	04
2.2.1 - Lodo resultante de estações convencionais de tratamento primário do tipo Cabanga.....	04
2.2.2 - Lodo resultante do processo de filtração biológica.....	06
2.2.3 - Lodo resultante do processo de lodo ativado.....	07
2.3 - Tipos e caracterização de lodos gerados em ETEs.....	12
2.3.1 - Lodo resultante do tratamento primário.....	12
2.3.1.1 - Lodo primário.....	12
2.3.2 - Lodo resultante do tratamento secundário.....	12
2.3.2.1 - Lodo ativado.....	12
2.3.2.2 - Lodo de filtração biológica.....	13
2.3.3 - Lodo digerido.....	14
2.4 - Digestão anaeróbia de lodo.....	14
2.4.1 - Fatores que influenciam na digestão anaeróbia.....	16
2.4.1.1 - Temperatura.....	16
2.4.1.2 - pH e capacidade de tamponação.....	17
2.4.2 - Digestão anaeróbia em dois estágios.....	18
2.5 - Processos de secagem.....	19
2.5.1 - Secagem natural.....	19
2.5.1.1 - Lagoas de secagem de lodo.....	19
2.5.1.2 - Leitões de secagem.....	20

2.5.2 - Secagem artificial.....	25
2.5.2.1 - Filtros - prensa	25
2.5.2.2 - Filtros rotativos a vácuo.....	25
2.5.2.3 - Centrífugas.....	27
2.6 - Disposição final do lodo	27
2.6.1 - Incineração	28
2.6.2 - Aterro sanitário	28
2.6.3 - Uso do lodo líquido na compostagem de lixo.....	29
2.6.4 - Uso do lodo como fertilizante e condicionador do solo	30
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1 - Descrição das instalações amostradas	40
3.2 - Descrição dos experimentos	45
3.2.1 - Experimentos com lodo cru	45
3.2.2 - Experimentos com lodo digerido	46
3.2.3 - Experimentos com líquido drenado	48
3.3 - Procedimento de coleta.....	48
3.3.1 - lodo cru	49
3.3.2 - lodo digerido.....	49
3.3.2.1 - Ponto de descarga	49
3.3.2.2 - Seção 1, Seção 2 e Seção 3	50
3.3.3 - Líquido drenado.....	50
3.4 - Parâmetros analisados.....	51
4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	54
4.1 - Volumes de esgoto bruto afluente à ETE	54
4.2 - Volumes de lodo cru aduzidos para o digestor primário.....	54
4.2.1 - Caracterização do lodo cru	56
4.3 - Volumes de lodo digerido descarregado nos leitos	60
4.3.1 - Caracterização do lodo digerido nos vários períodos de secagem	61

4.3.1.1 - Amostra de descarga	61
4.3.1.2 - Seções 1,2 e 3 no período de secagem t_0	65
4.3.1.3 - Seções 1,2 e 3 a partir do período de se- cagem t_0	67
4.4 - Líquido drenado	74
5 - DISCUSSÃO.....	81
6 - CONCLUSÃO	85
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

1.0 - INTRODUÇÃO

O lançamento de águas residuárias sem qualquer tratamento em corpos receptores produz alterações nas características físicas (cor, turbidez, temperatura), químicas (salinidade, pH, concentrações de gases dissolvidos como oxigênio e dióxido de carbono) e biológicas (organismos patogênicos como vírus, bactérias, protozoários e helmintos) dessas águas e podem contribuir para a disseminação de doenças de veiculação hídrica como o cólera, a febre tifóide, a disenteria, entre outras. Para reduzir a veiculação de doenças, o lançamento de águas residuárias em corpos receptores está geralmente condicionado ao seu tratamento prévio, de modo a preservar o meio ambiente, mantendo os corpos receptores livres desses inconvenientes, e contribuindo para a melhoria da saúde.

Os processos de tratamento de esgotos são formados por uma série de operações unitárias que se destinam à remoção de substâncias indesejáveis. O tratamento preliminar consiste no gradeamento para a remoção de sólidos de grandes diâmetros contidos nos esgotos e do desarenamento realizado em caixas de areia. Por sua vez, o tratamento primário destina-se à remoção de sólidos sedimentáveis presentes nas águas residuárias através do processo de decantação. Os sólidos resultantes desse processo geram os lodos de esgotos que devem ser removidos para evitar o assoreamento dos corpos receptores.

O tratamento do lodo de esgoto consiste, geralmente, na sua decomposição anaeróbia e tem por objetivo a estabilização da matéria orgânica, a redução do número de organismos patogênicos, do volume de lodo a ser manipulado e torná-lo de fácil desidratação. Após a digestão, o lodo apresenta grande quantidade de água e a sua desidratação torna-se necessária para a redução do volume e para

facilitar sua disposição final. O lodo pode ser desidratado através de processos de secagem artificiais (filtros rotativos a vácuo, filtros-prensa e centrífugas) e naturais (lagoas de lodo e leitos de secagem). Nos leitos de secagem, o lodo digerido é espalhado sobre uma superfície permeável composta de brita e areia que permite a percolação da água intersticial do lodo. Após esse breve período de drenagem, a secagem prossegue através do processo de evaporação. O tempo necessário para a desidratação do lodo depende do clima e condições meteorológicas da região.

Quanto à sua disposição final, o lodo seco pode ser submetido ao processo de incineração seguido de aterramento das cinzas resultantes, disposto em aterro sanitário ou utilizado na agricultura. O uso do lodo como possível recurso para fins agrícolas está relacionado principalmente com a sua capacidade de condicionador do solo e com o seu valor fertilizante (fator N : P : K), embora, comparado aos fertilizantes comerciais, o lodo seco seja considerado pobre em nutrientes. No entanto, a constatação de elevadas concentrações de ovos de helmintos e de elevada salinidade pode tornar o seu uso agrícola impraticável.

2.0 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Tipos de estações onde há geração de lodo

2.1.1 - Estações de Tratamento de Águas (ETAs)

A água no seu estado natural pode conter organismos nocivos à saúde humana além de apresentar cor, odor e sabor que a tornam imprópria, por exemplo, para uso doméstico (HARDENBERGH, 1964). Para torná-la adequada ao consumo é necessário melhorar suas características organoléticas, físicas, químicas e bacteriológicas (SESP, 1981).

O tipo e o grau de tratamento dispensados à água dependem de sua qualidade, que é função de sua origem (MACEDO FILHO & BRANCO, 1964). Águas superficiais muito turvas, são submetidas, em estações convencionais de tratamento de águas, a um tratamento preliminar que consiste numa sedimentação prévia para remoção de areia, silte e argilas, antes do tratamento químico. No entanto, as águas subterrâneas geralmente apresentam turbidez reduzida e dispensam o tratamento preliminar, sendo submetidas diretamente ao tratamento primário, que consiste na clarificação através da coagulação, decantação e filtração (HAMMER, 1979).

Os lodos produzidos em ETAs são provenientes principalmente dos decantadores e filtros e são constituídos de resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos provenientes da água bruta e de compostos químicos utilizados no processo de coagulação (GRANDIN *et al.*, 1993).

Os métodos utilizados para tratamento de lodos gerados em ETAs são os mesmos utilizados para processamento de lodos gerados em Estações de Tratamento de Esgotos e serão descritos posteriormente.

2.1.2 - Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs).

O tratamento dos esgotos (domésticos e industriais) é necessário para reduzir a contaminação de corpos receptores (rios, lagos, açudes, etc.), minimizando assim impactos ambientais (por exemplo a eutrofização) e disseminação de doenças de veiculação hídrica.

Em geral o esgoto doméstico é composto de 99,9% de água e 0,1% de sólidos em suspensão e dissolvido (MARA, 1976; STEEL, 1966). Essa fração sólida é composta de material orgânico e inorgânico classificados como sólidos voláteis e fixos, respectivamente (STEEL, 1966). O material sólido sedimentável submetido ao processo de decantação origina o lodo de esgoto bruto, também denominado lodo primário, quando retido por decantadores primários. Em estações que empregam o tratamento secundário de esgotos, como lodos ativados e filtração biológica, além do lodo primário, o processo produz lodo secundário nos decantadores secundários.

2.2 - Lodos produzidos em estações de tratamento de esgotos.

2.2.1 - Lodo resultante de estações convencionais de tratamento primário do tipo Cabanga.

Em estações convencionais de tratamento primário, o esgoto bruto afluente é submetido ao processo de gradeamento para remoção de sólidos grosseiros e após a medição de vazão é submetido ao desarenamento. O tratamento primário do esgoto bruto é constituído de unidades de tratamento preliminar (gradeamento e desarenamento) e de unidades de decantação primária para remoção de sólidos sedimentáveis,

além de unidades destinadas à digestão e desidratação do lodo gerado nos decantadores (Figura 2.1).

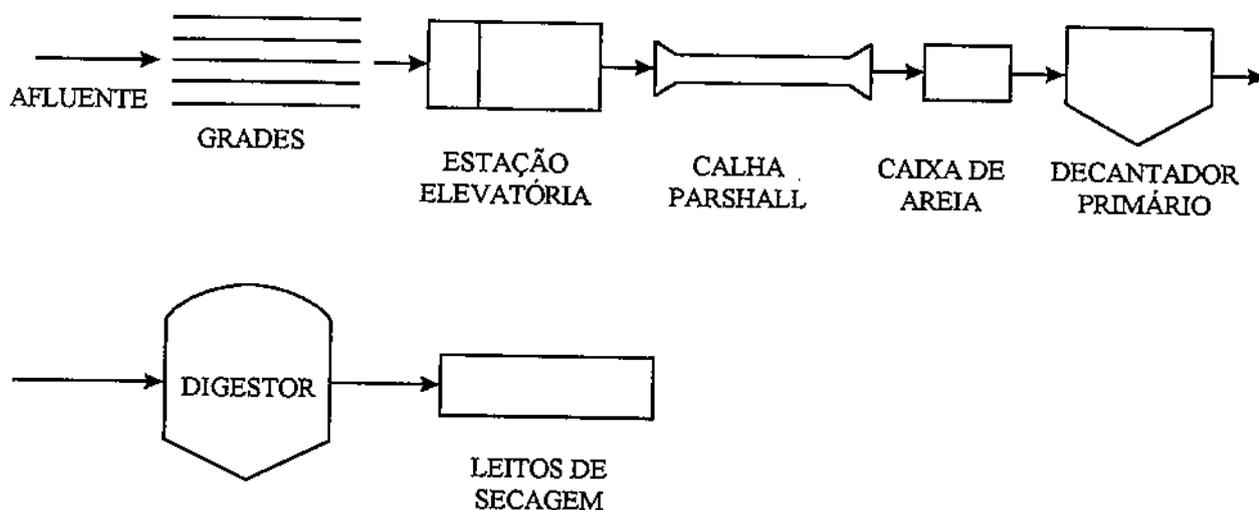


Figura 2.1. Esquema de uma Estação de Tratamento de Esgotos Primária do tipo Cabanga - Recife (PE).

Fonte: Adaptado de HAMMER (1979).

As grades são dispositivos formados por barras metálicas paralelas dispostas uma ao lado da outra com o mesmo espaçamento entre elas. Geralmente constituem a primeira unidade de uma Estação de Tratamento e se destinam a reter sólidos grosseiros. A Calha Parshall permite a determinação da vazão afluente, e as caixas de areia se destinam a reter areia e outros detritos minerais inertes e pesados, como silte, que se encontram nos esgotos (AZEVEDO NETTO, 1977). Essa remoção é necessária para proteger equipamentos mecânicos contra abrasão, evitar a obstrução de canalizações e para impedir a formação de depósitos de areia nos decantadores, digestores e tubulações (IMHOFF & IMHOFF, 1986).

A decantação primária é realizada em tanques circulares, quadrados ou retangulares, de fundo inclinado ou chato e com poços de lodo (JORDÃO & PESSOA, 1975). Esta decantação tem como objetivo separar a fase líquida da sólida do esgoto. Os sólidos decantados originam o lodo primário que se acumula num poço no fundo do tanque, de onde é encaminhado para posterior tratamento e disposição (HAMMER, 1979). Esse tratamento consiste geralmente, na digestão anaeróbia seguida da desidratação em leitos de secagem.

2.2.2 - Lodo resultante do processo de filtração biológica

A Figura 2.2. mostra um esquema de uma ETE que utiliza a filtração biológica como tratamento secundário. Os filtros biológicos consistem em tanques rasos, circulares e de grandes diâmetros, cheios com brita ou cascalho (HAMMER, 1979).

O esgoto afluente é submetido a uma decantação primária onde ocorre a remoção dos sólidos sedimentáveis de maior dimensão. O efluente do decantador é aplicado uniformemente, por meio de um distribuidor rotativo, na superfície do meio filtrante percolando através

dele. O contato contínuo do esgoto com o meio inerte faz com que ele fique revestido por uma fina película constituída de bactérias, fungos e protozoários que se alimentam de matéria orgânica do esgoto. O efluente do filtro é então submetido a uma decantação secundária para remoção dos sólidos constituídos de frações de lodo biológico desprendidos no meio filtrante. Parte desse lodo é recirculada e a outra é submetida a tratamento juntamente com o lodo produzido no decantador primário (HAMMER, 1979). O tratamento do lodo resultante desse tipo de estação pode ser realizado ou através de digestão anaeróbia seguida de secagem em leitos ou espalhamento no solo, ou de filtração a vácuo seguida de aterro sanitário (HAMMER, 1979). Esses métodos de tratamento de lodo são ilustrados esquematicamente na Figura 2.3.

2.2.3 - Lodo resultante do processo de lodo ativado

O sistema de lodo ativado é composto basicamente de um reator e um decantador operando em série. O lodo ativado, que segundo VAN HAANDEL & LETTINGA (1994) é formado principalmente por microorganismos vivos que constituem uma parte dos sólidos orgânicos do lodo, é misturado com águas residuárias sob aeração mecânica. Essa aeração fornece o oxigênio necessário ao metabolismo dos microorganismos presentes nos flocos do lodo e facilita a mistura do esgoto e lodo. No decantador ocorre a separação da fase sólida da líquida.

A Figura 2.4 mostra um esquema de uma estação de tratamento de esgoto com utilização do processo de lodo ativado, de acordo com STEEL (1966). Segundo esse autor, o esgoto bruto é submetido a uma pré-sedimentação com o objetivo de diminuir o excesso de lodo, antes de seguir para o estágio de aeração. Esta etapa é seguida por uma separação de sólidos (decantação secundária) de onde parte do lodo

obtido é recirculado para ser misturado com o esgoto no tanque de aeração, e a outra fração, o lodo de excesso, passa por um tratamento. Este consiste geralmente na digestão aeróbia ou anaeróbia (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994) seguida de desidratação em leitos de secagem e disposição final. O efluente líquido do decantador secundário pode ser lançado em um corpo receptor ou retornado ao início do processo.

Outras alternativas para processamento dos lodos gerados em sistemas de lodos ativados são mostradas na Figura 2.5.

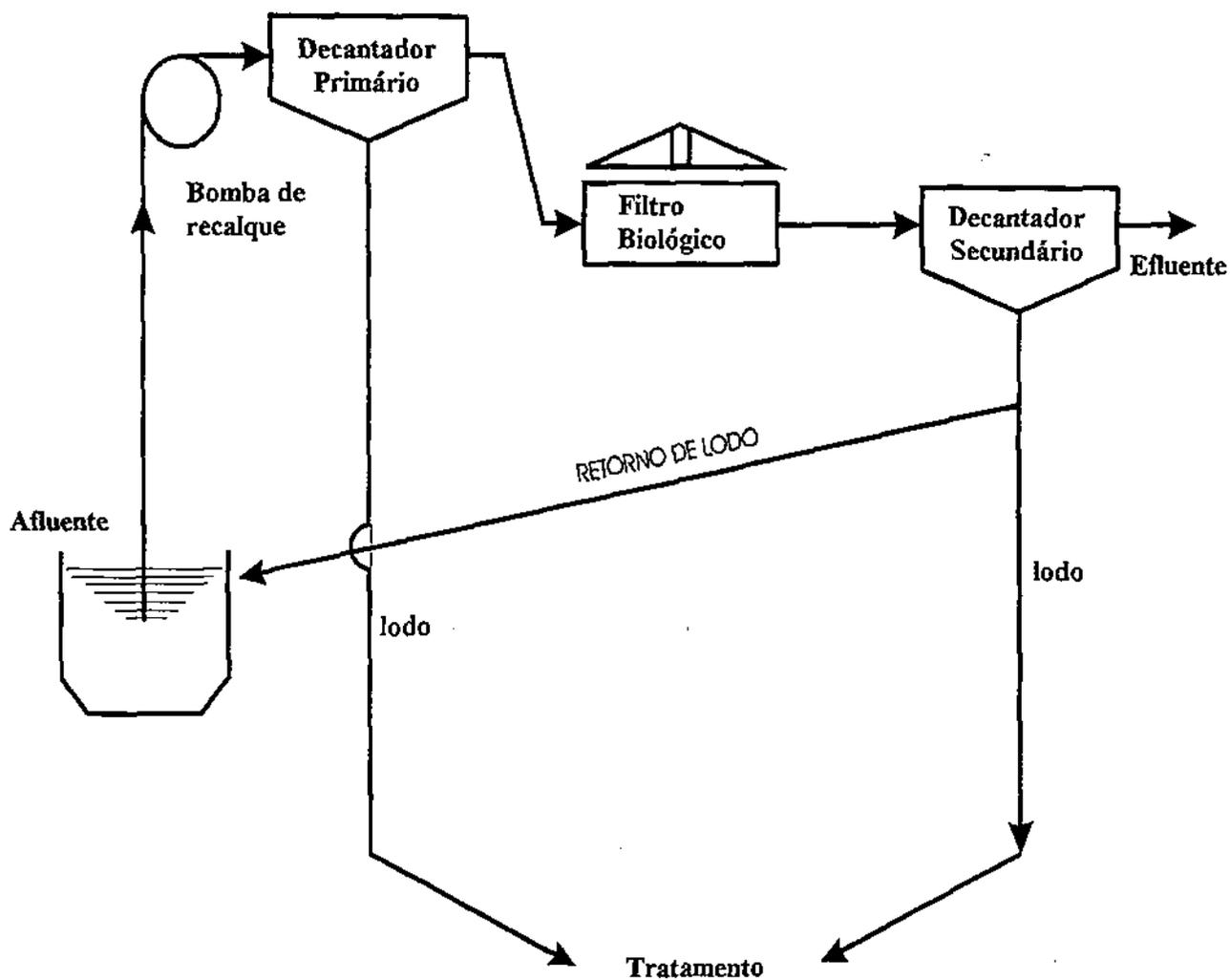


Figura 2.2. Esquema de uma ETE que emprega a filtração biológica de estágio único, alta taxa e com recirculação de lodo (HAMMER, 1979)

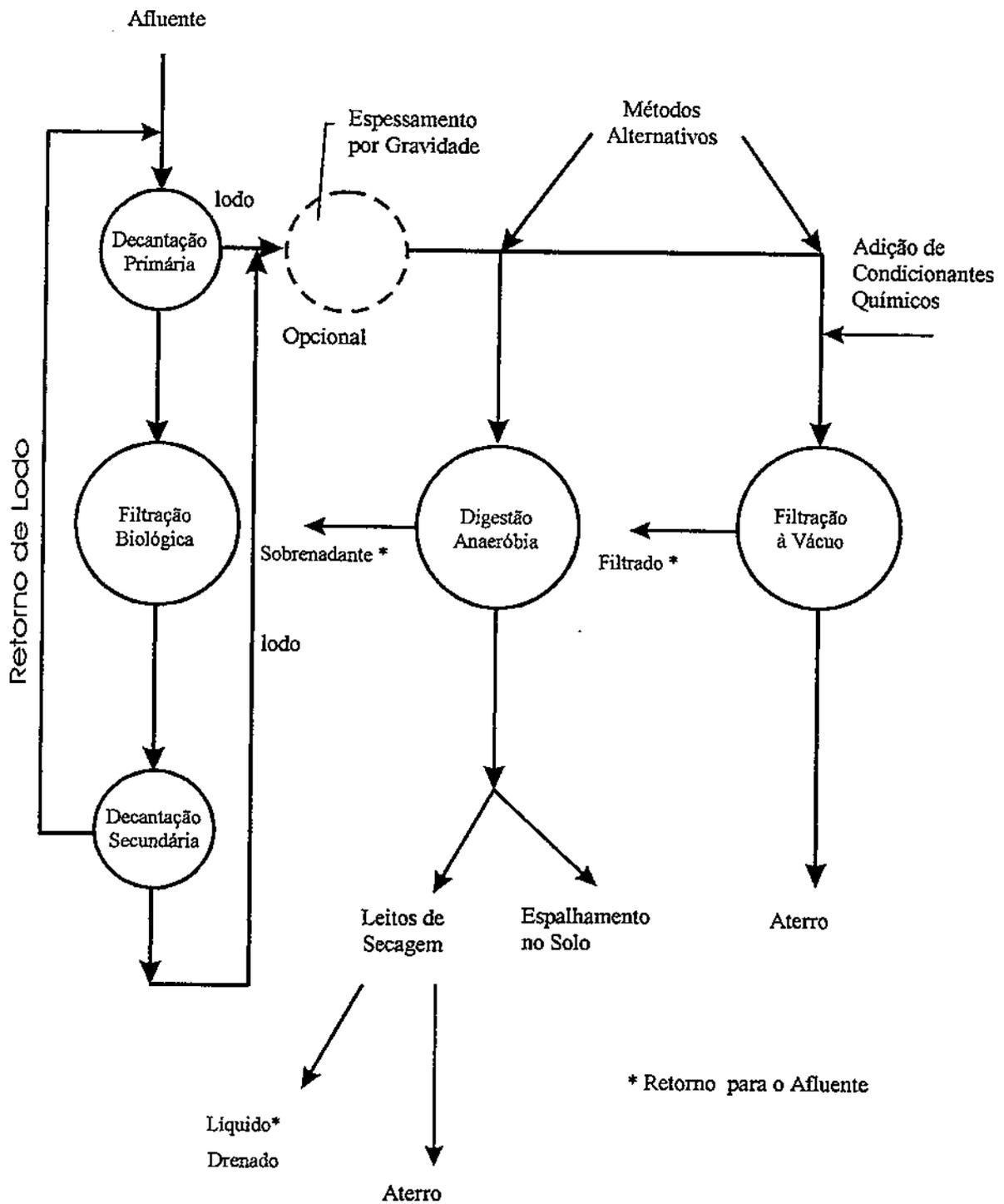


Figura 2.3 - Métodos de tratamento de lodo gerado em estações que utilizam a filtração biológica (HAMMER, 1979)

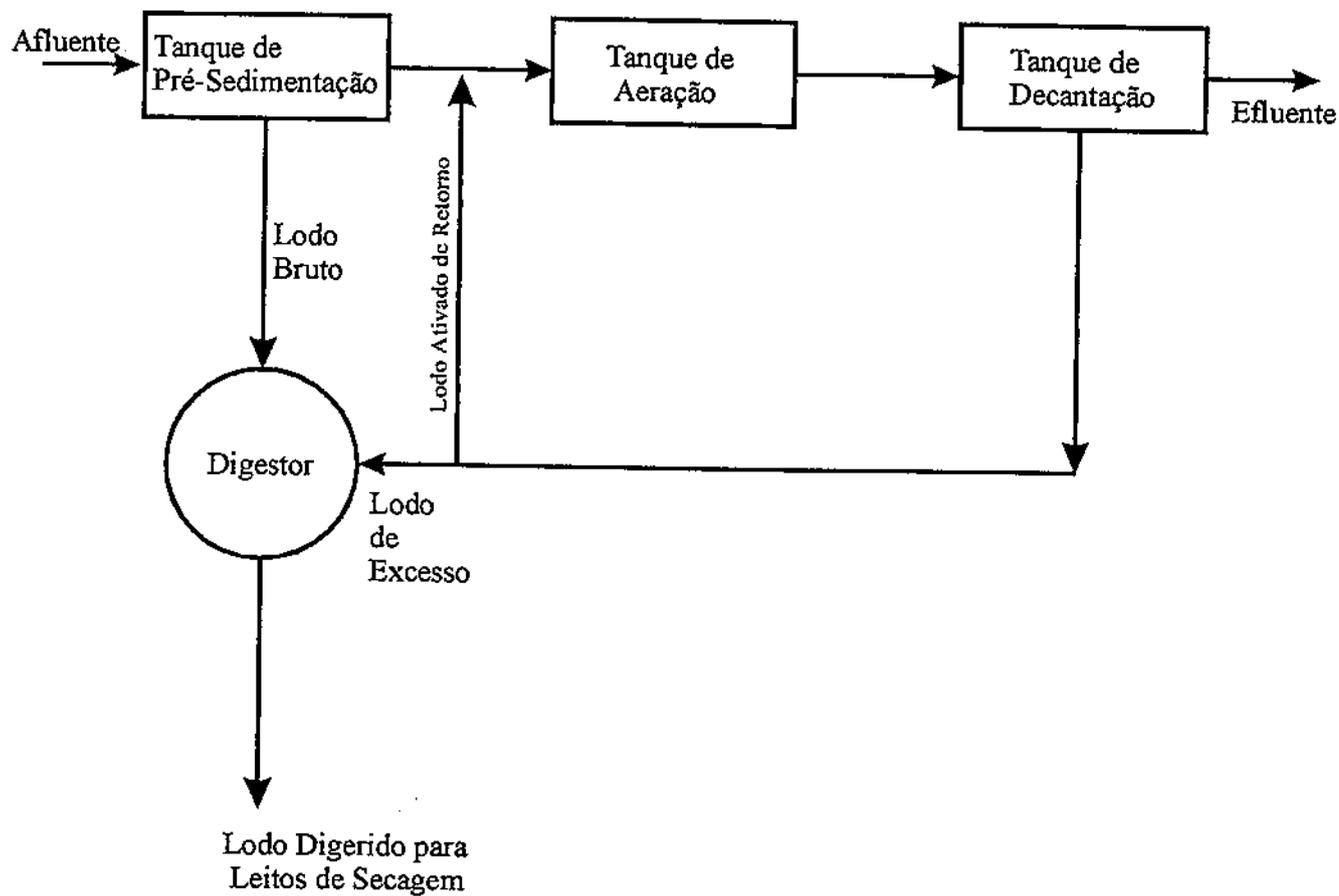


Figura 2.4 - Esquema de uma ETE que utiliza lodo ativado como tratamento secundário e realiza o tratamento do lodo por digestão anaeróbia (STEEL, 1966).

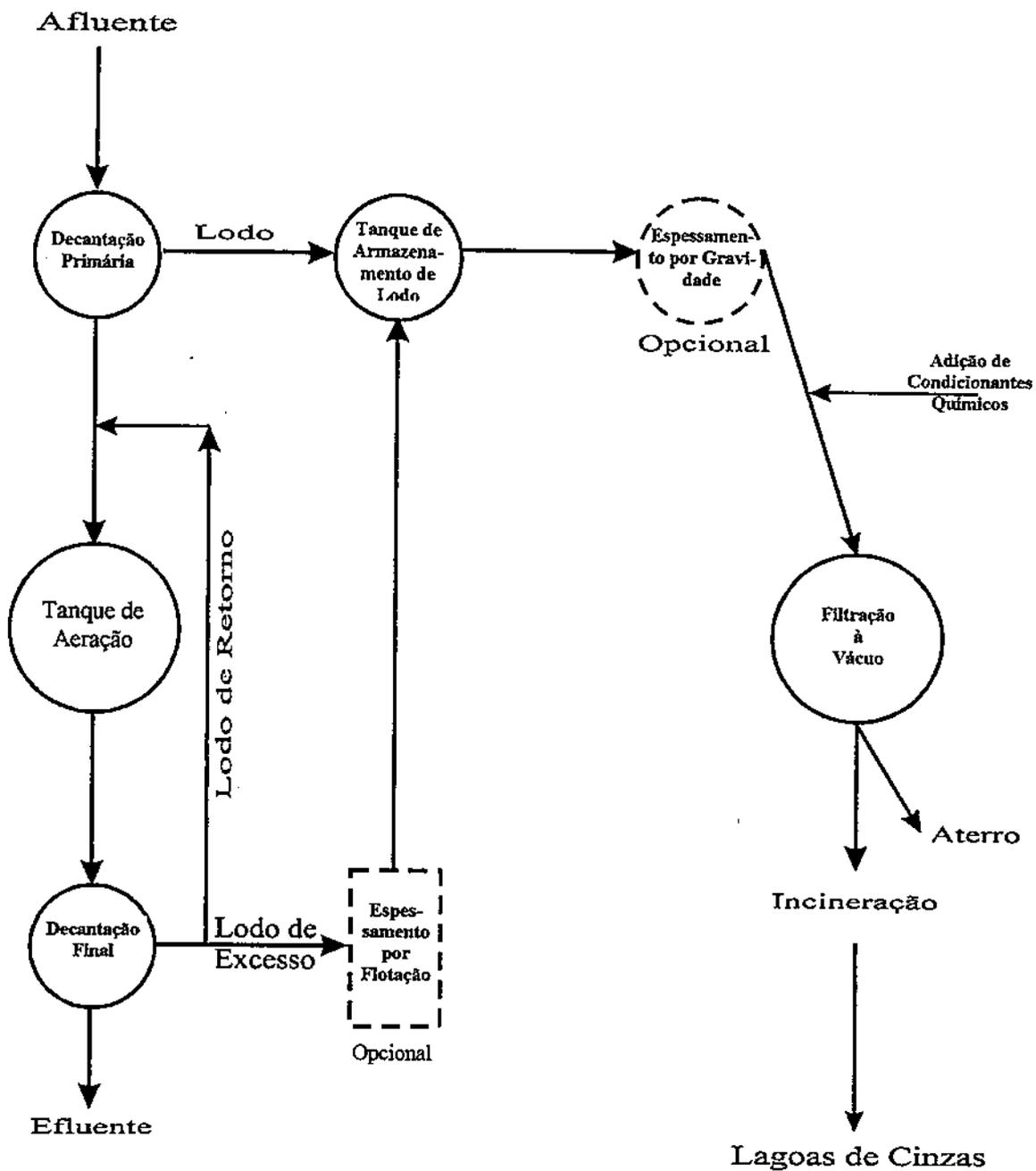


Figura 2.5 - Métodos alternativos de tratamento de lodo de estações de lodo ativado (HAMMER, 1979).

2.3 - Tipos e caracterização de lodos gerados em ETEs

2.3.1 - Lodo resultante do tratamento primário

2.3.1.1 - Lodo primário

Os lodos gerados em decantadores primários através de sedimentação do esgoto bruto constituem os lodos primários e são também denominados lodos brutos, crus ou frescos (AZEVEDO NETTO, 1977).

São lodos anaeróbios de coloração parda e odor bastante desagradável (AZEVEDO NETTO, 1977; IMHOFF & IMHOFF, 1986; METCALF & EDDY, 1991). A percentagem de sólidos totais secos varia de 2 a 8%, sendo que 60-80% desses corresponde à fração volátil (METCALF & EDDY, 1991). A umidade geralmente é elevada com valores de 95,0 - 97,5% (AZEVEDO NETTO, 1977), de 94-96% (STEEL, 1966) e de 95% (HARDENBERGH, 1960). O pH varia entre 5 e 8 (METCALF & EDDY, 1991) e a concentração de nitrogênio total é de aproximadamente 4500 mg/l (AZEVEDO NETTO & HESS, 1970 citados por AMORIM *et al.*, 1981).

A digestão para esse tipo de lodo é necessária para converter o lodo bruto num material mais estável e de fácil desidratação em leitos de secagem.

2.3.2 - Lodo resultante do tratamento secundário

2.3.2.1 - Lodo ativado

O lodo ativado consiste de flocos que apresentam na sua estrutura uma população de bactérias aeróbias, protozoários e fungos, além de material orgânico e inorgânico. Segundo METCALF & EDDY

(1991), o lodo ativado é relativamente livre de odores quando fresco mas pode tornar-se séptico quando armazenado sem aeração. Tem coloração parda, aparência flocculenta e o teor de sólidos totais é baixo (0,83 a 1,16%), com a fração volátil variando entre 59 e 88%. Segundo AZEVEDO NETTO (1977) o teor de umidade varia entre 98,5 e 99,5% podendo atingir, às vezes, valores mais elevados. Porém, LINSLEY & FRANZINI (1964) citam a faixa de 98 a 99%. A faixa de variação de pH é de 6,5 a 8,0 (METCALF & EDDY, 1991) e a concentração de nitrogênio total é de aproximadamente 6.200 mg/l (AZEVEDO NETTO & HESS, 1970 citados por AMORIM *et al.*, 1981).

Quanto à secagem, as partículas finas e dispersas dificultam sua desidratação em leitos de secagem, a menos que haja um prévio condicionamento químico.

2.3.2.2 - Lodo de filtração biológica

O lodo secundário resultante do processo de filtração biológica é, também, denominado de humus (HARDENBERGH, 1960). Quando fresco o odor não é ofensivo e a coloração é parda (AZEVEDO NETTO, 1977; METCALF & EDDY, 1991). A aparência é flocculenta e a umidade varia de 92 a 95% (AZEVEDO NETTO, 1977) e de 96 a 97% (STEEL, 1966). Ainda de acordo com esse último, as frações voláteis variam de 45 a 70%.

AZEVEDO NETTO (1977) afirma que em algumas instalações, esse tipo de lodo é encaminhado diretamente aos leitos para secagem, porém, HAMMER (1979) sugere a digestão anaeróbia e a filtração a vácuo como métodos alternativos de tratamento de lodo, seguidas de secagem em leitos ou espalhamento no solo e aterro sanitário.

2.3.3 - Lodo digerido

O lodo digerido é o resultado da estabilização aeróbia ou anaeróbia do lodo cru. O lodo digerido anaerobicamente apresenta coloração escura e quando recente tem cheiro de alcatrão (AZEVEDO NETTO, 1977; STEEL, 1966). A percentagem de sólidos totais secos é de 6 a 12% e os sólidos voláteis representam 30 a 60% dessa matéria sólida (METCALF & EDDY, 1991). O teor de umidade depende do tempo de digestão e do tipo de lodo. STEEL (1966) afirma que nos lodos primários bem digeridos este teor é de 88 a 94%. No entanto, AZEVEDO NETTO (1977) cita para esse tipo de lodo um teor de umidade de 87%. O pH no lodo digerido varia de 6,5 a 7,5 (METCALF & EDDY, 1991) e a concentração de nitrogênio total é de aproximadamente 2.200 mg/l (AZEVEDO NETTO & HESS, 1970 citados por AMORIM *et al.*, 1981). ANDREOLI *et al.* (1994) afirmam que 25 a 50% do nitrogênio contido no lodo digerido corresponde à fração amoniacal resultante do processo de decomposição da matéria orgânica presente no lodo cru.

2.4 - Digestão anaeróbia de lodo

A disposição do lodo de esgoto sem tratamento pode ter como consequência a poluição do solo e de recursos hídricos constituindo-se num problema de ordem estética, pública e ambiental (SOUZA *et al.*, 1993).

A digestão anaeróbia do lodo fresco é empregada para reduzir e estabilizar a matéria orgânica presente, diminuir o número de organismos patogênicos, reduzir o volume de lodo a ser manipulado, facilitar a sua desidratação, etc. (AZEVEDO NETTO, 1977).

Esse processo de estabilização biológica de lodo pode ser simplificado em dois estágios sucessivos, de acordo com a Figura 2.6.

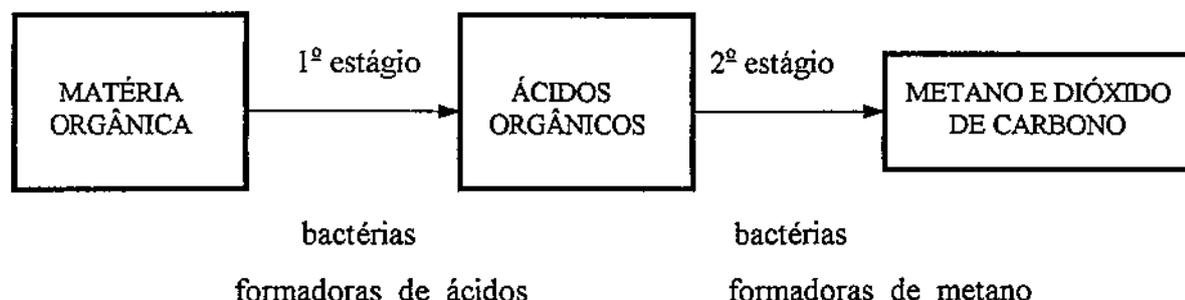
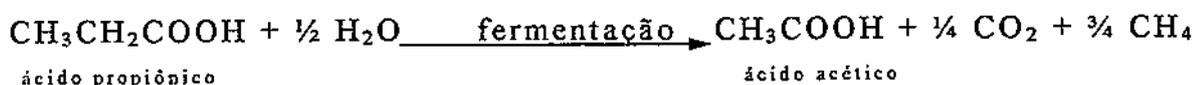
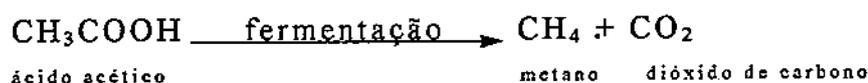


Figura 2.6 - Esquema simplificado da digestão anaeróbica de lodo de esgoto.

Na primeira etapa, as bactérias anaeróbio-facultativas atacam as substâncias orgânicas complexas através de mecanismos combinados de hidrólise e fermentação e convertem proteínas, carboidratos e gorduras em ácidos orgânicos, principalmente ácido acético e propiônico (SAWYER & McCARTY, 1967). No segundo estágio, as bactérias denominadas metanogênicas são as responsáveis pela estabilização da matéria orgânica e transformam, em condições anaeróbicas, os ácidos orgânicos resultantes do primeiro estágio em metano e dióxido de carbono, de acordo com as equações 2.1 e 2.2 (de OLIVEIRA, 1983).



Equação 2.1



Equação 2.2

2.4.1 - Fatores que influenciam na digestão anaeróbia

2.4.1.1 - Temperatura

OSWALD (1968), citado por de OLIVEIRA (1983), classifica os valores de temperatura em mínimo, ótimo e máximo para os dois estágios do processo de digestão anaeróbia como sendo, respectivamente, 4, 25 e 40°C para o primeiro estágio e de 15, 32 e 40°C para o segundo estágio.

A Tabela 2.1 apresenta o período de digestão em função da temperatura do processo. Na prática, a faixa de temperatura utilizada para a digestão anaeróbia está compreendida entre 30 e 35°C (AZEVEDO NETTO, 1977; HAMMER, 1979; STEEL, 1966; VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994; JORDÃO & PESSOA, 1975). Porém METCALF & EDDY (1991) citam que as faixas de temperatura ótimas são a mesofílica (30-38°C) e a termofílica (49-57°C).

VAN HAANDEL & LETTINGA (1994) relatam ainda que o valor da temperatura do esgoto (ou lodo) a ser digerido depende do clima da região onde ele é produzido, mas geralmente apresenta um valor de temperatura abaixo do valor ótimo para a digestão anaeróbia.

Tabela 2.1 - Influência da temperatura sobre o período de digestão anaeróbia.

TEMPERATURA (°C)	8	10	15	20	25	30	20	25	30	35
PERÍODO DE DIGESTÃO (d)	120	90	60	45	30	27	45	35	30	25
TIPO DE DIGESTÃO	MESÓFILA						MESÓFILA			
FONTE	IMHOFF & IMHOFF (1986)						AZEVEDO NETTO (1977)			

2.4.1.2 - pH e capacidade de tamponação

BABBITT & BAUMANN (1958) citam como satisfatória para a digestão anaeróbia a faixa de pH entre 7,0 e 8,0, no entanto, VAN HAANDEL & LETTINGA (1994) citam como ótima a faixa de 6,5 a 7,5, com valores em torno do neutro. Tanto o valor como a estabilidade do pH no reator anaeróbio são muito importantes, uma vez que as bactérias metanogênicas são mais sensíveis a variações de pH do que as acidogênicas, e, segundo estes últimos, a taxa de metanogênese diminui rapidamente em valores inferiores a 6,3 ou superiores a 7,8.

As substâncias tamponadoras de maior interesse para a digestão anaeróbia são os bicarbonatos que, em equilíbrio com o ácido carbônico, tendem a regular a concentração de íons hidrogênio, de acordo com as equações abaixo (SAWYER & McCARTY, 1967):

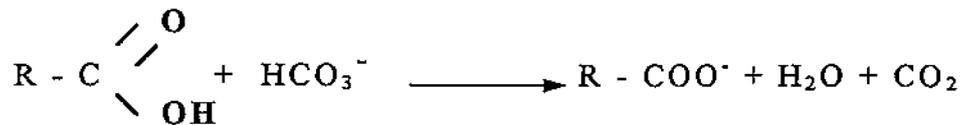


Equação 2.3

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

Equação 2.4

O segundo estágio da digestão deve se desenrolar paralelamente ao primeiro, a fim de que seja mantida a reação alcalina. Quando isso não acontece, os ácidos orgânicos produzidos no primeiro estágio se acumulam no digestor e destroem a alcalinidade produzida pelos bicarbonatos, aumentando a concentração de gás carbônico (Equação 2.5).



Equação 2.5

Se a concentração de bicarbonatos diminuir a valores abaixo de 1000 mg CaCO₃/l, o pH diminui muito rapidamente em função da acumulação de ácidos orgânicos (SAWYER & McCARTY, 1967). Nesse caso faz-se necessária a correção com a adição de álcalis para manter o pH próximo do valor favorável à digestão.

A amônia, resultante da degradação de compostos nitrogenados, também funciona como agente tamponador (de OLIVEIRA, 1983), de acordo com a equação abaixo:



Equação 2.6

2.4.2 - Digestão anaeróbia em dois estágios

A digestão em dois estágios emprega dois digestores, normalmente de mesma dimensão operando em série. No primeiro tanque ocorre a digestão mais ativa e o segundo, em geral, é empregado para armazenamento e adensamento do material bastante digerido, promovendo a melhor qualidade do sobrenadante (METCALF & EDDY, 1991). O primeiro digestor, geralmente, é provido de dispositivos para mistura completa e de aquecimento (dependendo do clima local) com o objetivo de otimizar a decomposição biológica, enquanto o segundo

digestor é mantido sem aquecimento e sem agitação (AZEVEDO NETTO, 1977).

Fatores como a capacidade da estação de tratamento, método de disposição final do lodo, capacidade de armazenamento necessária e condições climáticas, determinam o uso da digestão em dois estágios ou da digestão convencional de apenas um estágio. Em estações de grande porte que operam com um grande número de digestores, a operação em série freqüentemente fornece a melhor utilização da capacidade do digestor (HAMMER, 1979). Nesse caso, o lodo efluente do digestor secundário é, periodicamente, removido para desidratação e disposição.

2.5 - Processos de secagem

O propósito da desidratação do lodo digerido é reduzir o seu teor de umidade a um grau adequado para sua disposição final. Essa desidratação promove uma redução do seu volume original e, conseqüentemente os custos com tratamento posterior e transporte (IDE, 1994).

Os processos de secagem empregam o mecanismo da secagem natural (lagoas de secagem de lodo e leitos de secagem) e mecanismos artificiais (filtros-prensa, filtros rotativos a vácuo e centrífugas).

2.5.1 - Secagem natural

2.5.1.1 - Lagoas de secagem de lodo

As lagoas de secagem de lodo são unidades que realizam a remoção de umidade do lodo digerido através de percolação (por isto devem possuir um sistema de drenagem para evitar a contaminação de águas subterrâneas) e evaporação. Essas lagoas têm finalidade e

funcionamento idênticos aos leitos de secagem, diferenciando-se no dimensionamento, detalhes construtivos e operação (STEEL, 1966).

De acordo com o período de secagem, as lagoas são classificadas em temporárias e permanentes. Nas lagoas temporárias o lodo é retirado após a secagem para disposição final, enquanto nas lagoas permanentes a remoção do lodo não é obrigatória, embora este possa ser retirado após vários anos de aplicação (JORDÃO & PESSOA, 1975).

Algumas vantagens desse processo de secagem são a simplicidade de operação, a flexibilidade e a adequação para estações de qualquer capacidade, e algumas desvantagens são a possibilidade de poluir águas subterrâneas e exalação de odores, caso o lodo não esteja completamente digerido.

2.5.1.2 - Leitos de secagem

São unidades empregadas em ETEs de pequeno e médio portes, especialmente quando há disponibilidade de grandes áreas para sua construção (DALTRO FILHO *et al.*, 1994). São tanques retangulares, em geral com dimensões de 6 a 9 metros de largura, até 38 metros de comprimento e de 30,0 a 37,5 centímetros de profundidade (STEEL, 1966). A área necessária para os leitos de secagem de lodo depende das condições climáticas da região, da população e do tipo de tratamento que foi aplicado ao lodo (AZEVEDO NETTO, 1977). Na Tabela 2.2 são listados coeficientes per capita de área requerida para a secagem de lodo de diferentes tipos de ETEs.

As unidades constituintes de um leito de secagem são o tanque de armazenamento, a camada drenante e a cobertura, sendo essa última opcional. Nos países de clima temperado onde há grande precipitação de neve, adotam-se telhas transparentes para a cobertura (JORDÃO & PESSOA, 1975).

Os tanques de armazenamento geralmente são de forma retangular construídos com paredes de alvenaria ou concreto (JORDÃO & PESSOA, 1975).

A camada drenante é constituída de uma camada suporte, meio filtrante e sistema de drenagem. A camada suporte tem por finalidade uniformizar a espessura da lâmina de lodo no leito, evitar que o lodo se misture com a areia do meio filtrante, facilitar a remoção do lodo seco e evitar a formação de buracos no leito após a retirada do material seco. Essa camada é, normalmente, feita com tijolos dispostos de acordo com a Figura 2.7, assentados com cerca de 2 a 3 centímetros de distância um do outro e rejuntados com areia grossa (JORDÃO & PESSOA, 1975).

Tabela 2.2 - Áreas per capita requeridas para leitos de secagem em diferentes tipos de estações de tratamento de esgotos.

PROCESSO	ÁREA DOS LEITOS (m ² / hab)	
TRATAMENTO PRIMÁRIO	0,05	0,09
FILTRAÇÃO BIOLÓGICA	0,08	0,15
LODO ATIVADO	0,15	0,28
FONTE	IMHOFF & IMHOFF (1986)	*AZEVEDO NETTO (1977)

* Estes dados se referem a 8-9 descargas de lodo por ano, com espessura de 25 cm de lâmina de lodo líquido no leito.

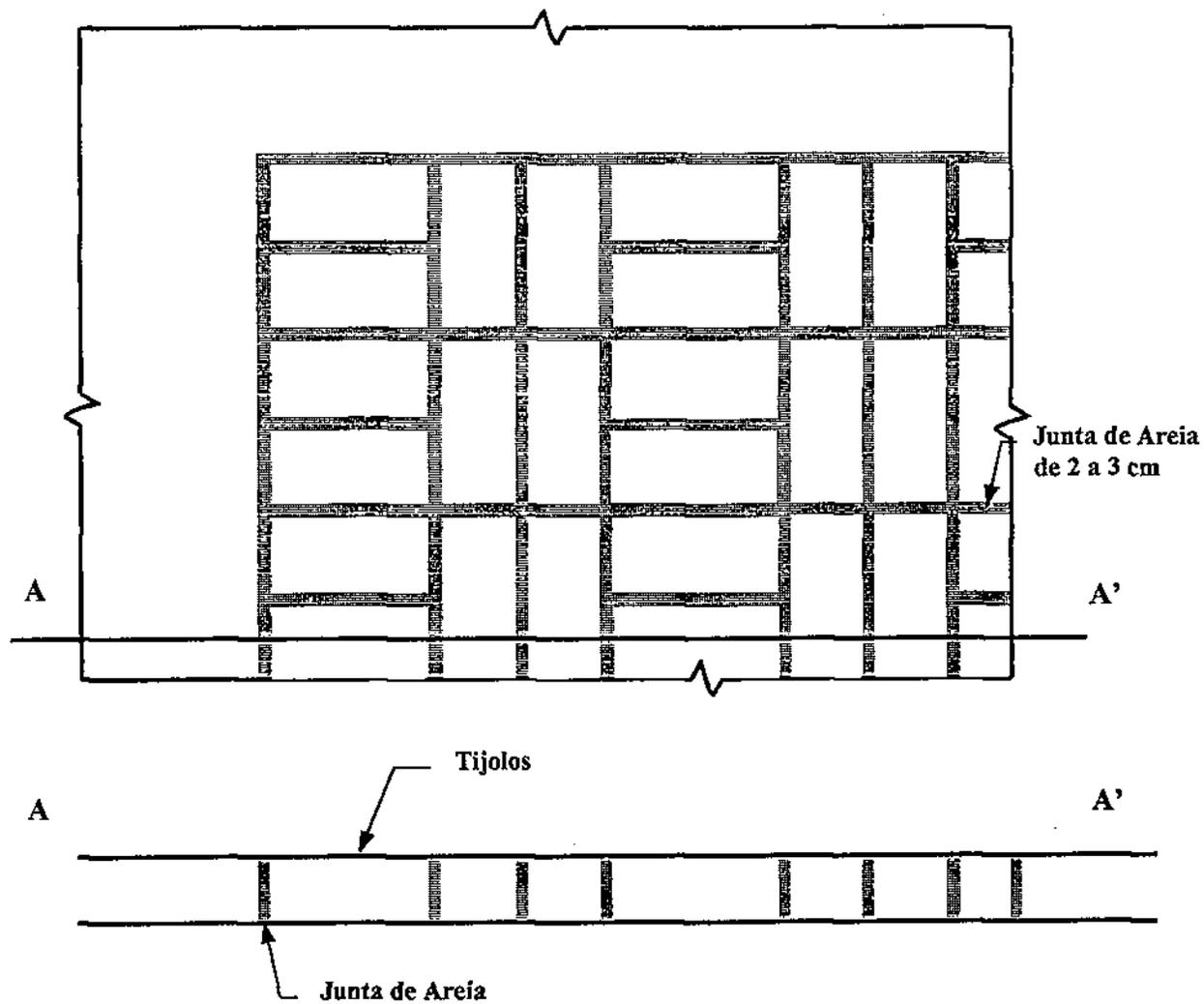


Figura 2.7 - Disposição dos tijolos da camada suporte de leitos de secagem (JORDÃO & PESSOA, 1975).

De acordo com JORDÃO & PESSOA (1975), o meio filtrante é constituído de três camadas de britas. A camada superior de 75 mm de espessura constituída de britas de diâmetros médios variando de 1/16" (1,6 mm) a 1/4" (6,4 mm), a camada intermediária de 50 mm de espessura com britas de diâmetros médios variando de 1/4" (6,4 mm) a 7/8" (22,2 mm), e a última de espessura variável, o necessário para formar uma camada em nível, com espessura total mínima de 150 mm e diâmetro médio variando de 3/4" (19 mm) a 2" (50,8 mm) (Figura 2.8). Por sua vez, VAN HAANDEL & LETTINGA (1994) citam que os leitos são constituídos de camadas estratificadas de areia e cascalho com diâmetros aumentando de 1 mm na superfície até 25 mm no fundo, e espessura de 300 mm e 600 mm, respectivamente.

A camada superior de brita é recoberta com uma de areia grossa para evitar que o lodo percole através das britas e para facilitar o assentamento, em nível, dos tijolos da camada suporte.

O sistema de drenagem do leito é constituído de tubulações dispostas no fundo dos tanques, abaixo do meio filtrante, destinado a coletar o líquido percolado através das camadas superiores de areia e brita. Para facilitar a manutenção e o acesso a essas tubulações, o sistema de drenagem deve convergir para fora dos tanques, próximo às suas paredes laterais.

A operação de secagem se inicia com a descarga para o leito do lodo digerido líquido armazenado no fundo do digestor. A lâmina de lodo líquido no leito deve ter aproximadamente 20 (vinte) centímetros (IMHOFF & IMHOFF, 1986). Ao longo do período de secagem esta espessura diminui devido a drenagem e evaporação da água intersticial do lodo.

JORDÃO & PESSOA (1975) citam que, dependendo do clima da região, um lodo poderá ser removido do leito após um período que varia de 20 a 40 dias com valores de umidade entre 60 e 70%. No entanto, ECKENFELDER (1970) cita o teor de umidade final para o

lodo de 50 a 70% e não especifica o período de secagem. Já DALTRO FILHO *et al.* (1994) dizem que não existe qualquer especificação quanto ao teor de umidade final do lodo seco nem quanto ao seu período de secagem, embora existam algumas recomendações. De acordo com KAMIYAMA *et al.* (1988) a elevada umidade do ar e o alto índice pluviométrico são fatores que dificultam o processo de secagem do lodo. Esses autores relatam ainda que o lodo digerido aerobicamente é de difícil secagem em leitos devido à presença de crostas rijas que se formam na superfície e dificultam a evaporação da água intersticial do lodo que se encontra nas camadas abaixo da crosta.

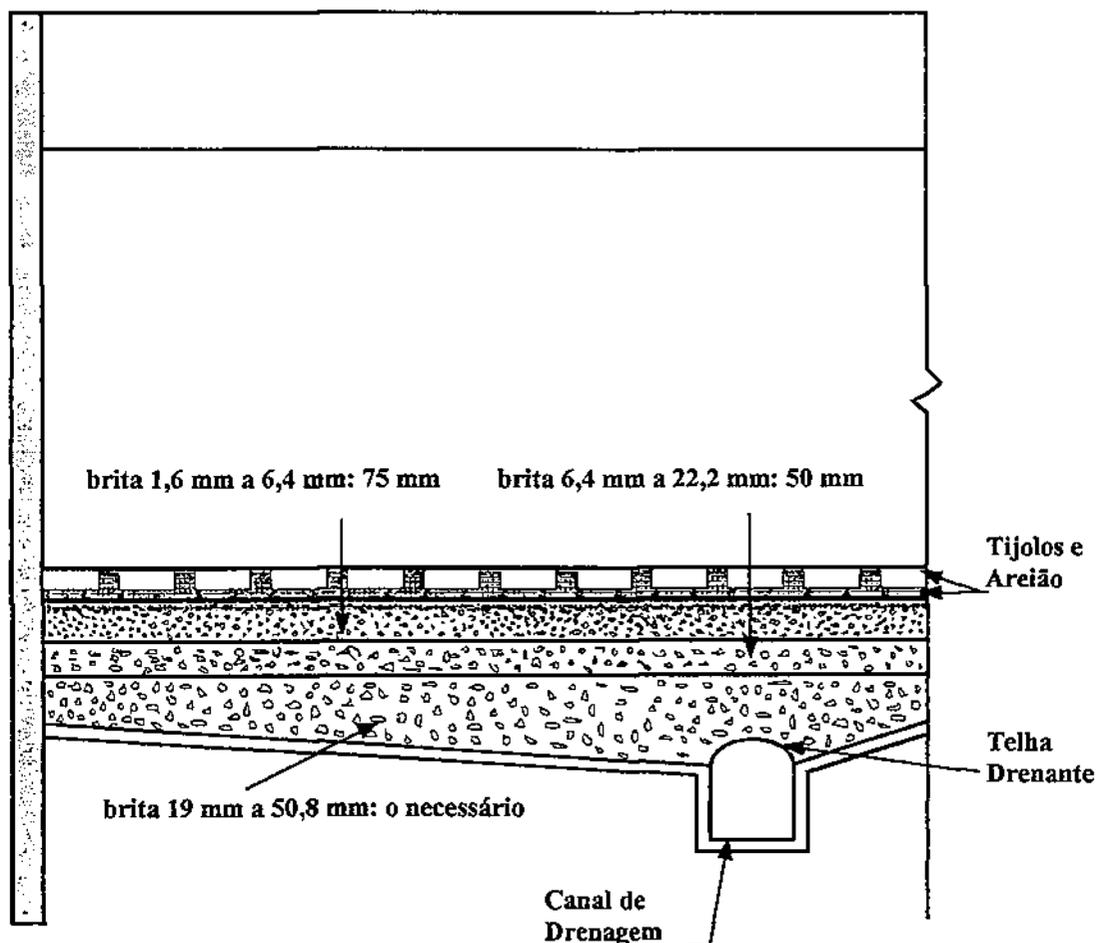


Figura 2.8 - Camada drenante dos leitos de secagem
Fonte: JORDÃO & PESSOA (1975).

2.5.2 - Secagem artificial

2.5.2.1 - Filtros-prensa

Os filtros-prensa são filtros de pressão constituídos por uma série de placas verticais de ferro geralmente com dimensões de 0,8 m x 0,8 m até 1,5 m x 1,5 m. Cada filtro pode ter de 20 a 100 placas revestidas individualmente com tela filtrante em ambas as faces. O lodo é introduzido entre as placas através de uma bomba e mantido sob pressão crescente (que pode atingir 15 kgf/cm² ou mais) durante um período de 30 (trinta) minutos a 2 (duas) horas. O líquido intersticial atravessa as telas filtrantes e é encaminhado à entrada da estação de tratamento. A torta de lodo produzida é removida com umidade em torno de 40-50% (AZEVEDO NETTO, 1977). Já IMHOFF & IMHOFF (1986) citam uma redução de umidade do lodo de 95 para 65% e relatam que uma bomba operando por um período de 1 a 2 horas com pressão entre 6 e 8 atm, pode reduzir o volume do lodo a um sétimo do original.

As grandes vantagens dos filtros-prensa são o baixo teor de umidade final do lodo (40-50%) e o pequeno volume final de lodo seco que, em geral, sai da prensa com espessura variando de 2 a 3 centímetros. Porém, geralmente se faz necessário um pré-tratamento do lodo com o objetivo de melhorar sua permeabilidade (AZEVEDO NETTO, 1977). Este pré-tratamento é realizado através do uso de um condicionante químico (p. e. cloreto férrico) que proporciona a floculação do lodo e facilita a sua desidratação.

2.5.2.2 - Filtros rotativos a vácuo

Os filtros a vácuo são tambores rotativos de movimento lento (variando de 1/8 a 1 rpm) cujo contorno é revestido com uma tela

filtrante. O tambor, dividido internamente em compartimentos que são submetidos a vácuo, é mergulhado parcialmente em uma cuba contendo o lodo líquido. A extração da água é realizada através do vácuo que aspira o lodo, sugando a água intersticial, durante a rotação do tambor, para dentro do mesmo. A torta de lodo fica retida sobre a tela filtrante de onde é retirada posteriormente (AZEVEDO NETTO, 1977). O teor de umidade final do lodo nesse processo varia entre 72 e 78% (Tabela 2.3).

A área ocupada por este equipamento é de aproximadamente um milésimo da área destinada a leitos de secagem, porém a redução de umidade é menos eficiente. No entanto, no caso de estações onde a área disponível é pequena ou no caso em que o lodo tenha resíduos industriais ou outros constituintes que dificultam a secagem natural, os filtros a vácuo podem ser utilizados em substituição aos leitos de secagem. (AZEVEDO NETTO, 1977).

Da mesma forma que nos filtros-prensa, nos filtros rotativos a vácuo existe a necessidade de um pré-tratamento do lodo através de coagulantes químicos (ex.: cloreto férrico) para facilitar sua desidratação através da coagulação de partículas coloidais (AZEVEDO NETTO, 1977).

Tabela 2.3 - Percentagem de umidade resultante do uso de filtros rotativos para diferentes tipos de lodos.

ORIGEM DO LODO DIGERIDO	UMIDADE DO LODO RESULTANTE (%)
TRATAMENTO PRIMÁRIO	72
FILTROS BIOLÓGICOS	74
LODOS ATIVADOS	78

FONTE: AZEVEDO NETTO (1977)

2.5.2.3 - Centrífugas

A centrífuga é um tambor rotativo cilíndrico e seção cônica numa das extremidades. O lodo é introduzido na parte central através de um tubo e mantido contra as paredes do tambor pela ação da força centrífuga. Dentro do tambor existe um parafuso transportador que remove os sólidos separados pela centrifugação para a extremidade cônica do mesmo. Do lado oposto é descarregado o líquido intersticial do lodo, que não escoar para a seção cônica devido à diferença de altura entre as duas extremidades, de acordo com a Figura 2.9 (AZEVEDO NETTO, 1977).

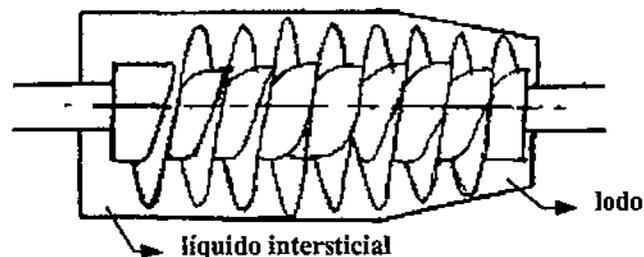


Figura 2.9 - Centrífuga (modificado de HAMMER, 1979)

O processo de centrifugação não produz um lodo seco mas um lodo mais concentrado com umidade final entre 80 e 85% (ECKENFELDER, 1970), e por isso é mais apropriada ao adensamento do lodo bruto antes de enviá-lo aos digestores do que para a secagem, uma vez que esse é o método menos eficiente dos processos de secagem.

2.6 - Disposição final do lodo

Existem diversas opções para a disposição final dos lodos de esgoto. No entanto, a necessidade de dispor os lodos de forma econômica e segura do ponto de vista sanitário e ambiental, pode restringir o uso de algumas dessas práticas. Na Europa são feitas sérias restrições aos processos de incineração e aterramento, e a partir de 1998, em todas as cidades com população superior a 10.000 habitantes,

a prática de disposição de lodo no mar será proibida (STENTIFORD & PEREIRA NETO, 1993; SIMON & TEDESCO, 1993).

2.6.1 - Incineração

Na incineração os lodos secos são calcinados em fornos a altas temperaturas, geralmente entre 700 e 900°C (AZEVEDO NETTO, 1977). Nos fornos verticais de prateleiras, o lodo seco é introduzido na parte superior e é empurrado através de braços giratórios ligados a um eixo vertical passando pelo centro do forno, caindo sucessivamente sobre as prateleiras, de cima para baixo em contracorrente com o ar aquecido. As cinzas resultantes são inertes, não apresentam valor fertilizante e praticamente nenhum efeito condicionador do solo. Podem ser dispostas em aterros ou espalhadas sobre o solo sem preocupações de ordem sanitária (AZEVEDO NETTO, 1977).

As vantagens desse processo são a eliminação de todos os microorganismos e de toda a matéria orgânica, além da máxima redução de volume de lodo seco. No entanto, existem restrições com relação a emissão de gases de dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e dióxido de carbono, que causam problemas de poluição atmosférica (EPA, 1975).

2.6.2 - Aterro sanitário

AZEVEDO NETTO (1977) relata que os aterros sanitários são usados para disposição final de lodos brutos ou digeridos, líquidos ou secos. No entanto, HAMMER (1979) recomenda o aterro sanitário para disposição final de lodos brutos e digeridos desidratados e para as cinzas resultantes da incineração. Esse autor cita que as operações básicas no aterro incluem o espalhamento, compactação e o cobrimento diário com terra.

As desvantagens apresentadas por esse tipo de disposição de lodo são a possibilidade de contaminação de águas superficiais e subterrâneas e os problemas de ordem estética (aspecto e cheiro) nos aterros que não são cobertos diariamente com terra (HAMMER, 1979; IMHOFF & IMHOFF, 1986).

2.6.3 - Uso do lodo não desidratado na compostagem de lixo

STENTIFORD & PEREIRA NETO (1993) definem a compostagem com um processo biológico, aeróbio que consiste na produção de um composto orgânico a partir de uma mistura de resíduos sólidos (lixo urbano) com lodo de esgoto, sob condições controladas de temperatura, umidade e oxigenação. De acordo com PEREIRA NETTO (1989) citado por NÓBREGA (1991), esse processo necessita de água para que seja garantida a atividade microbiana e, conseqüentemente, a degradação da matéria orgânica. Para IMHOFF & IMHOFF (1986), essa umidade necessária à compostagem do lixo é fornecida pelo lodo de esgoto. Além disso, o lodo atua como inóculo de microorganismos que irão decompor a matéria orgânica do lixo.

As vantagens da compostagem são a reciclagem do lodo de esgoto e do lixo urbano eliminando o problema de disposição desses resíduos e a produção do composto orgânico. LACAVA (1988) relata a produção média de 50 toneladas mensais desse composto na Estação Experimental de Biotecnologia de Novo Horizonte (SP) com uma tecnologia desenvolvida pela Companhia Tecnológica de Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB). Segundo OBENG & WRIGHT (1987) citados por NÓBREGA (1991), o composto formado bem maturado não apresenta odores e agentes contaminantes e, de acordo com STENTIFORD & PEREIRA NETO (1993), pode ser utilizado na agricultura como fertilizante e condicionador dos solos, melhorando suas propriedades estruturais. PEREIRA NETO (1989) apud NÓBREGA

(1991) cita, ainda, o uso do composto como matéria-prima no processamento de fertilizantes industriais, em reflorestamento, parques, jardins, etc.

2.6.4 - Uso de lodo como fertilizante e condicionador do solo

A utilização do lodo de esgoto na agricultura se deve ao fato de que esse lodo geralmente contém nitrogênio, fósforo e potássio (fator N:P:K), matéria orgânica e micronutrientes (cobre, zinco, ferro, manganês) favoráveis à fertilização e condicionamento do solo (ANDREOLI *et al.*, 1994; SIMON & TEDESCO, 1993). Apesar do seu valor fertilizante, em relação aos fertilizantes comerciais, o lodo é considerado pobre, e por isso a sua maior utilização prende-se às suas propriedades de condicionador do solo, transformando a terra dura e argilosa em um material mais permeável, com um maior poder de retenção de água (AZEVEDO NETTO, 1977). No entanto, a presença de organismos patogênicos, metais pesados e alta salinidade no lodo pode restringir o seu uso agrícola, para que não ocorra a contaminação do meio ambiente, a produtividade do solo não seja reduzida e a qualidade das culturas para alimentação não seja comprometida. No caso específico de lodos domésticos, é necessária uma maior atenção sobre a presença de organismos patogênicos (SIMON & TEDESCO, 1993). HÄNEL (1988) apud IDE (1994) relata que o lodo de esgoto pode conter vírus, bactérias, protozoários, helmintos e fungos patogênicos originários do esgoto bruto em decorrência da contribuição de descargas hospitalares, de sanitários, etc. Ainda de acordo com esse autor, os ovos de helmintos apresentam densidade maior que 1 (um), consequentemente 80% deles são eliminados na decantação primária com um tempo de detenção de 1,5 horas, e, portanto, passam a fazer parte da massa de lodo. A Tabela 2.4 apresenta outros processos de tratamento e suas eficiências na redução e destruição desses ovos.

Esses microorganismos associados ao lodo aplicado aos solos agrícolas podem causar graves problemas de contaminação de plantas, além da disseminação de ovos viáveis ou infectantes e outros patógenos, apresentando um perigo à saúde humana. A sobrevivência dos ovos de Ascaris lumbricoides no solo é, normalmente, favorecida pelo frio, umidade e sombreamento do solo. A exposição ao sol e a dessecação reduzem consideravelmente o tempo de sobrevivência desses ovos. Segundo TORPEY *et al.*, 1984 apud IDE (1994), os ovos de Ascaris lumbricoides são destruídos quando submetidos a tratamento termofílico. Uma exposição desses ovos a uma temperatura de 50°C por um período de 60 minutos ou a 55°C por um tempo de exposição de 7 minutos são suficientes para destruí-los. Além disso os processos anaeróbios diminuem a viabilidade desses ovos.

A presença de organismos patogênicos requer cuidados no manuseio do lodo e a presença de ovos de Ascaris lumbricoides restringe o seu uso, tornando-o inadequado em hortas e culturas de vegetais que sejam ingeridos crus.

AZEVEDO NETTO, (1977) cita que o lodo seco em leitos de secagem, filtros a vácuo, filtros-prensa e centrifugas contém uma quantidade significativa de organismos patogênicos e não deve ser utilizado no cultivo de legumes e frutas que entram em contato com o solo. Pode ser empregado em gramados, parques, cemitérios e outras áreas onde o contato direto com as pessoas é mínimo.

As altas concentrações de metais pesados nos lodos são, normalmente, resultantes de descarga de efluentes industriais. Outras fontes como atividades comerciais, corrosão de tubulações, etc., podem contribuir para aumentar essas concentrações nos lodos (IDE, 1994).

De acordo com ANDREOLI *et al.* (1994) entre os metais de pequeno risco estão alumínio, ferro, magnésio e cromo. O antimônio, arsênio, mercúrio e selênio são também considerados de pequeno risco porque estão normalmente presentes no lodo em quantidades muito

pequenas. Os elementos de perigo significativo são o molibdênio, cádmio, níquel, cobre e zinco, sendo o cádmio o de maior risco. As concentrações limites de alguns metais no lodo para uso agrícola são mostradas na Tabela 2.5.

TABELA 2.4 - Processos de tratamento e seus efeitos sobre os ovos de Ascaris lumbricoides

OPERAÇÃO UNITÁRIA	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO
PROCESSOS DE REMOÇÃO	
Decantadores (primário e secundário)	—> 80% dos ovos (depende das condições de operação)
Filtro biológico	—> 38% dos ovos (através da agregação dos ovos nos flocos biológicos) promove o desenvolvimento de ovos devido a aerobiose do processo.
PROCESSOS DE ESTABILIZAÇÃO (afetando o estado do ovo)	
Digestores anaeróbios	—> Retarda o desenvolvimento do ovo devido a anaerobiose e promove a destruição com o aumento da temperatura do processo.
Digestores aeróbios	—> Favorece o desenvolvimento do ovo devido a oxigenação e promove a destruição com o aumento da temperatura.
Lodo ativado	—> Promove o desenvolvimento do ovo devido a oxigenação.
PROCESSOS DE DESCONTAMINAÇÃO (possível destruição do ovo)	
Incineração	—> 100% de destruição
Filtração a Vácuo	—> nenhum efeito
Centrifugação	—> nenhum efeito
Leitos de Secagem	—> 100% de morte para um teor de umidade do lodo < 5%
Compostagem	—> 100% eficaz se a massa de compostagem alcançar 60°C

FONTE: modificado de LEFTWICH et al., 1979 apud IDE, 1994.

Como as concentrações de metais pesados nos lodo geralmente são maiores do que nos solos, a utilização agrícola do lodo pode aumentar essa concentração e causar problemas de toxicidade para as plantas e saúde dos homens e animais (WEBBER *et al.*, 1984 apud IDE, 1994).

TABELA 2.5 - Concentrações limites (mg/kg) de metais pesados no lodo de esgoto para utilização na agricultura propostas pela Holanda até o ano 2000.

METAL	CONCENTRAÇÕES LIMITES (mg / kg)	
	1992 - 1995	Proposto para 1995 - 2000
MERCÚRIO	3,5	0,75
CÁDMIO	3,5	1,25
NÍQUEL	70	30
COBRE	425	75
CROMO	350	75
CHUMBO	300	100
ZINCO	1400	300

FONTE: DOE, 1989 apud STENTIFORD & PEREIRA NETO, 1993.

A elevada salinidade apresentada por alguns lodos de esgoto está geralmente associada a contribuição da água do mar no sistema coletor de esgotos. Esta água, de elevada salinidade, com condutividade elétrica - C.E. - em torno de 48 mmhos/cm (MOLLE & CADIER, 1992), contribui com quantidades apreciáveis de sais e compromete o uso agrícola do lodo. A utilização do lodo salino pode promover a absorção e a acumulação de certos íons em concentrações elevadas no tecido vegetal, causando danos às culturas e reduzindo sua produtividade. Segundo AYERS & WESTCOT (1985) a magnitude desses danos às culturas depende da quantidade de íons absorvidos e da sensibilidade de cada cultura.

O método mais usado para determinar a salinidade de um solo consiste em medir a condutividade elétrica (C.E.) do extrato de saturação do solo. Esta C.E. tem relação com a concentração de sais solúveis e, portanto, com a salinidade da amostra (DAKER, 1976). A Tabela 2.6 mostra os diferentes tipos de solos, suas salinidades expressas através da C.E. e sua influência para as culturas.

De acordo com DAKER (1976), um solo é realmente considerado salino quando a C.E. do extrato de saturação (líquido intersticial do solo) é superior a 4 mmhos/cm, a 25°C. De acordo com esse autor, as culturas que se desenvolvem nesse tipo de solo apresentam características como manchas, crescimento irregular, folhas com coloração verde-azulada intensa, etc. Nos solos classificados como muito fortemente salinos com C.E. superior a 16 mmhos/cm (Tabela 2.6), pouquíssimas culturas tolerantes se desenvolvem satisfatoriamente. Algumas dessas culturas (por exemplo, algodoeiro, cevada, trigo e tamareira) resistem a elevados valores de salinidade. No entanto, nas culturas sensíveis o rendimento é afetado (Tabela 2.7). Na Tabela 2.8 BERNSTEIN (1964) apud CRUCIANI (1986) mostra como a produção de algumas culturas é afetada em solos com elevada salinidade.

TABELA 2.6 - Teor de salinidade medido pela condutividade elétrica (C.E.) no extrato de saturação do solo e sua influência para as culturas.

CLASSES	CATEGORIA (Tipo do Solo)	C.E. milimhos/cm	INFLUÊNCIA PARA AS PLANTAS
A	Não salinos	0 a 2	A salinidade é praticamente imperceptível
B	Ligeiramente salinos	2 a 4	O rendimento de plantas muito sensíveis pode ser afetado
C	Mediamente salinos	4 a 8	O rendimento de várias plantas é afetado
D	Fortemente salinos	8 a 16	Somente as plantas tolerantes produzem satisfatoriamente
E	Muito fortemente salinos	> 16	Pouquíssimas plantas tolerantes se desenvolvem satisfatoriamente

FONTE: DAKER (1976).

TABELA 2.7 - Tolerâncias de algumas culturas à salinidade

Tolerantes	C.E. ⁽¹⁾ (mmhos/cm)	Moderadamente tolerantes	C.E. ⁽¹⁾ (mmhos/cm)	Moderadamente sensíveis	C.E. ⁽¹⁾ (mmhos/cm)	Sensíveis	C.E. ⁽¹⁾ (mmhos/cm)
Algodão	27,0	Soja	10,0	Amendoim	6,6	Morango	4,0
Cevada	28,0	Abobrinha Italiana	15,0	Pimentão	8,6	Damasco	5,8
Tâmara	32,0	Trigo	20,0	Alface	9,0	Amora	6,0
				Milho	10,0	Feijão	6,3
				Arroz	11,0	Ameixa	7,1
				Batata-doce	11,0	Cebola	7,4
				Repolho	12,0	Laranja	8,0
				Tomate	13,0	Cenoura	8,1

FONTE: Adaptado de MAAS & HOFFMAN (1977) e MAAS (1984) apud AYERS & WESTCOT (1985)

⁽¹⁾ Salinidade máxima, expressa pela condutividade elétrica no extrato de saturação de solo, com a qual cessa o crescimento e desenvolvimento da planta.

TABELA 2.8 - Tolerância de algumas culturas à salinidade

CULTURA	C.E. ⁽¹⁾ com redução da produção de:	
	25%	50%
Cevada	16	18
Beterraba	13	16
Algodão	12	16
Trigo	10	14
Sorgo	9	12
Soja	7	9
Espinafre	7	8
Tomate	6,5	8
Brócoli	6	8
Arroz	6	8
Milho	6	7
Cana-de-açúcar	5	8,5
Couve	4	7
Batata inglesa	4	6
Batata doce	3,5	6
Cebola	3,5	4
Alface	3	5
Cenoura	2,5	4
Feijão verde (vagens)	2	3,5

FONTE: BERNSTEIN (1964) apud CRUCIANI (1986).

⁽¹⁾ Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo expressa em mmhos/cm a 25°C.

Os sais solúveis do solo consistem geralmente dos cátions sódio, cálcio e magnésio e dos ânions cloreto e sulfato. Em quantidades menores são encontrados o cátion potássio e os ânions bicarbonato, carbonato e nitrato (DAKER, 1976). Quando um lodo de alta salinidade é utilizado no solo essas concentrações podem alcançar valores tóxicos para as plantas e reduzir significativamente o seu crescimento. Os íons tóxicos mais importantes são o cloreto, o sódio e o boro, sendo o cloreto aquele que provoca problemas mais freqüentes. Este é absorvido pelas raízes das plantas e translocado às folhas onde, se acumula em consequência do processo de transpiração provocando danos com sintomas como necroses e queimaduras nas folhas (AYERS & WESTCOT, 1985). Em culturas sensíveis como o pêssigo e outras fruteiras de caroços, os cítricos, o abacate e algumas espécies de videira, os problemas de toxicidade podem ocorrer mesmo quando esses íons se encontram em pequenas concentrações (0,2 a 1,8% com base em peso seco de folhas). No entanto, as espécies tolerantes acumulam até 4% de cloreto sem apresentar sintomas de toxicidade (DAKER, 1976).

AYERS & WESTCOT (1985) citam como exemplo de culturas sensíveis ao sódio as fruteiras de caroço, em especial o abacateiro, os cítricos, e os feijões. Os efeitos do sódio sobre as culturas são ligeiramente maiores quando a proporção Ca/Mg no extrato de saturação do solo é menor que 1 (um), ou seja, quando a concentração de cálcio for inferior a de magnésio. Em geral, a toxicidade do sódio é afetada pela disponibilidade de cálcio no solo. No entanto, DAKER (1976) relata que mesmo em proporções mais elevadas, poucos casos de toxicidade pelo sódio tem sido observados. Este autor cita ainda que os efeitos do sódio sobre o desenvolvimento das culturas parecem estar relacionados na verdade com modificações na estrutura do solo. No caso de solo argiloso, altas concentrações de sódio pode torná-lo pesado, impermeável e apresentar baixa aeração e disponibilidade de água para as plantas.

Cálcio, magnésio e potássio são necessários como substâncias nutritivas para as plantas (BRADY, 1986). Segundo DAKER, (1976), os casos de toxicidade ocasionados pelo cálcio não são importantes e quanto a magnésio e potássio, a toxicidade pode ser reduzida pela presença de concentrações relativamente elevadas de cálcio no solo. Segundo AYERS & WESTCOT (1985) o cálcio, aparentemente, reduz o efeito tóxico dos íons magnésio e sódio quando absorvidos pelas raízes. Nesse caso, uma deficiência de cálcio induzida por um excesso de magnésio no solo diminui os rendimentos de culturas como a cevada, o trigo e o milho.

A natureza dos efeitos tóxicos relativos ao íon bicarbonato sobre as culturas varia bastante com as espécies vegetais. Segundo DAKER (1976) os feijões e a maçã são sensíveis à presença desse ânion, enquanto alguns capins forrageiros são muito tolerantes.

A redução da umidade do solo faz com que os sais dissolvidos se depositem na superfície do solo, aumentando, dessa forma, a sua salinidade (DAKER, 1976). AYERS & WESTCOT (1985) citam como solução para os solos salinos, entre outros processos, a lixiviação ou lavagem dos sais solúveis. Esse processo consiste em aplicar suficiente água ao solo para remover ou pelo menos extrair parte desses sais. No entanto, quando a salinidade é excessivamente elevada, a quantidade de água requerida pode também ser demasiadamente grande, tornando o processo inadequado. Outra prática para a solução do problema de salinidade consiste em empregar culturas mais tolerantes à salinidade. Entretanto, essa prática só deve ser utilizada quando alternativas menos severas não conseguirem obter produção econômica.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Descrição das instalações amostradas

A pesquisa foi realizada na Estação de Tratamento de Esgotos de Cabanga, situada na zona sul da cidade de Recife-PE (8°10'52"S, 34°54'0"O, 2m a.n.m). A estação, pertencente à COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento), foi projetada para uma vazão de 80.000 m³/d mas, até recentemente, funcionava somente com 25% de sua capacidade (PINHO, 1993). O sistema de drenagem contribuinte da ETE tinha uma extensão de 149 km e esgotava uma área de 1718 ha, servindo a dez bairros da cidade de Recife-Pe.

A ETE realizava os tratamentos preliminar e primário do efluente através de unidades operacionais, cujas características estão descritas abaixo (PINHO, 1993):

a. TRATAMENTO PRELIMINAR

a.1. Duas grades de barras mecanizadas (médias)

Dorr - Oliver - tipo "S"

Canal

Largura	1,20 m
N. A. Máximo	1,80 m
N. A. de Operação (médio)	1,20 m

Grades

Espaçamento	2,54 cm
Espessura	1,91 cm
Largura total	1,20 m

a.2. Duas caixas de areia

Tanque

Forma prismática com fundo circular

Diâmetro do fundo 8,75 m

Profundidade 0,71 m

Área 60,10 m²

Volume 42,67 m³

Equipamentos de remoção de areia

Tração tipo central

Raspador chapas paralelas de arraste
para a periferia

Transportador de movimento alternativo

Parâmetros de projeto por cada unidade

Vazão média diária 50.000 m³

Taxa de escoamento superficial 831,65 m³/m²/dia

Velocidade do fluxo 0,30 m/s

Material removido

Diâmetro máximo 0,2 mm

Densidade 2,65

Matéria orgânica 3%

Quantidade máxima 1600 l/dia

Destino do material removido

Aterros localizados dentro ou fora da estação

b. TRATAMENTO PRIMÁRIO

b.1. Quatro decantadores primários

Tanque

Forma	cilíndrica
Diâmetro	26 m
Profundidade média	1,73 m
Área	530,93 m ²
Volume	918,51 m ³

Equipamento de raspagem de lodo

Tipo de tração	periférica
Raspadores	duas lâminas curvas

Parâmetro de projeto

Vazão média diária	20.000 m ³
Taxa de Escoamento Superficial	37,67 m ³ /m ² /dia

b.2. Dois digestores anaeróbios operando em série

Tanque

Forma	cilíndrica com fundo cônico e cúpula em forma de abóbada
Diâmetro interno.....	12,20 m
Altura da parte cilíndrica (útil)	8,23 m
Volume útil.....	962 m ³

b.3. Quinze células para secagem de lodo digerido

Tanque

Forma prismática retangular
Secção (área superficial) 22,55 m x 9,13 m

Camada drenante

camada suporte

Tijolo e areião 0,15 m

meio filtrante

Brita 1/16" a 1/4" 0,075 m

Brita 1/4" a 7/8" 0,05

Brita 3/4" a 2" variável

b.4. Dois queimadores de gás (desativados)

b.5. Um depósito de gás (desativado)

c. DISPOSIÇÃO FINAL

c.1. Um emissário sub-aquático

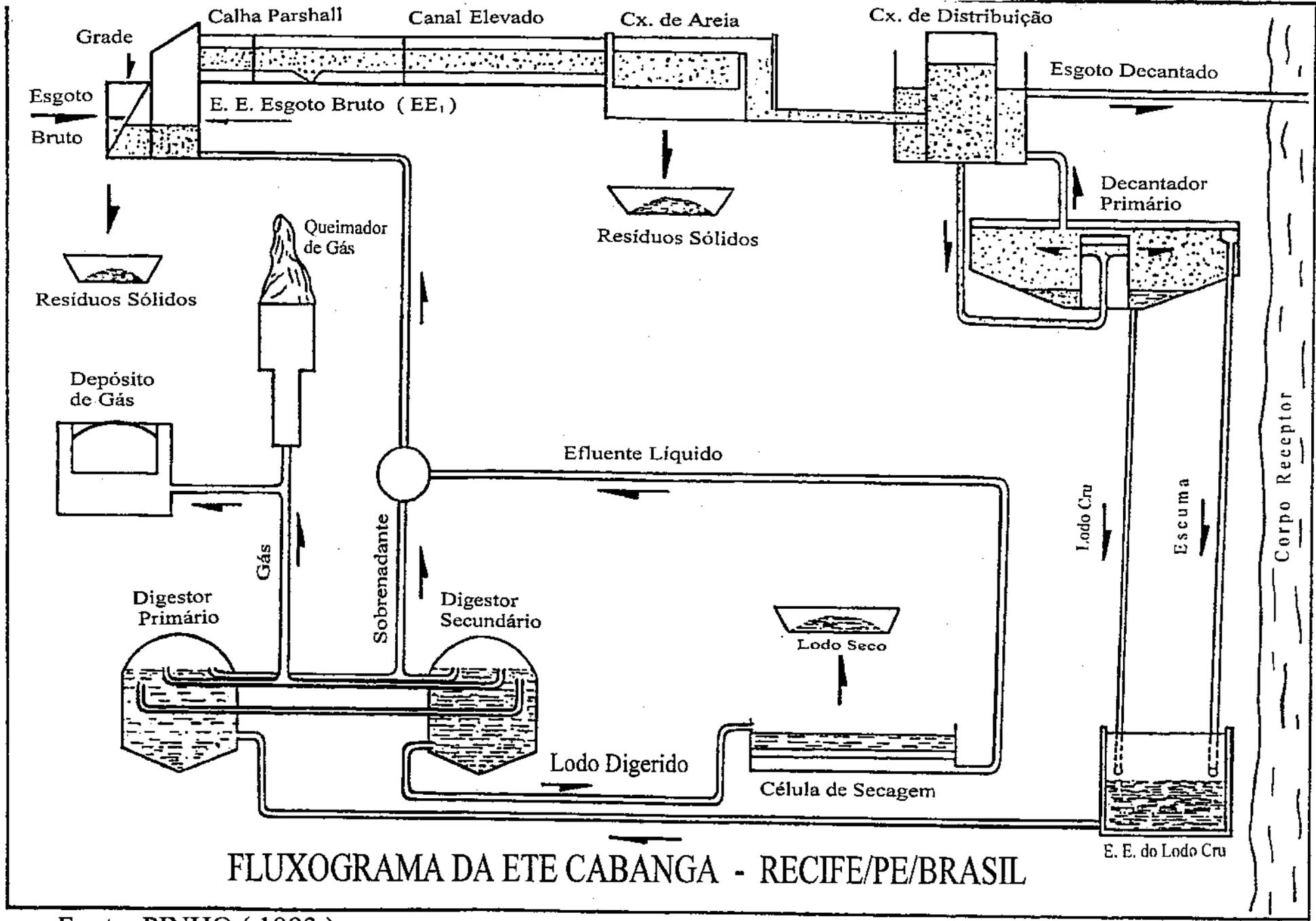
Material ferro fundido

Diâmetro 900 mm

Extensão 180 m

O fluxograma da Estação de Tratamento de Esgotos de Cabanga é mostrado na Figura 3.1.

O esgoto afluyente à ETE, após o gradeamento, era recalcado pela Estação Elevatória Principal (EE₁) para um canal elevado. Após a medição de vazão na calha Parshall, o esgoto seguia por este canal de aproximadamente 82 m de comprimento até ser descarregado nas caixas de areia. Após o desarenamento, o esgoto era encaminhado através de tubulações para uma caixa de distribuição constituída por dois cilindros concêntricos. O cilindro interno recebia o esgoto efluente da caixa de areia distribuindo-o aos quatro decantadores, e o externo recebia o efluente líquido clarificado dos decantadores e o lançava no estuário do Rio Jiquiá através do emissário sub-aquático.



FLUXOGRAMA DA ETE CABANGA - RECIFE/PE/BRASIL

Fonte: PINHO (1993)

O lodo decantado e a espuma superficial dos decantadores eram encaminhados através de tubulações para uma Estação Elevatória de lodo cru. Do poço úmido da elevatória de seção retangular de 1,54m x 4,45m, o lodo cru era recalçado para o digestor primário através de duas bombas submersas numa vazão de bombeamento de aproximadamente 23 l/s (PINHO, 1993). Após a digestão primária, o lodo era encaminhado para o digestor secundário. O lodo digerido era descarregado periodicamente, por gravidade, do digestor secundário para as células de secagem. O sobrenadante dos digestores juntamente com o líquido drenado das células retornava para o poço úmido da Estação Elevatória de Esgoto Bruto (EE₁).

Os gases gerados durante a digestão eram liberados para a atmosfera, pois nem o depósito nem o queimador de gases estavam em funcionamento. O depósito de gás servia como um reservatório de água que era utilizada na limpeza das tubulações de descarga de lodo digerido para as células de secagem.

As células de secagem, num total de quinze, eram dispostas lado a lado e constituídas de tanques de armazenamento de lodo e camada drenante. Por sua vez, a camada drenante era constituída de uma camada suporte, meio filtrante e sistema de drenagem conforme ilustrado na Figura 3.2.

3.2 - Descrição dos experimentos

3.2.1 - Experimentos com lodo cru

Os volumes de esgoto bruto aduzidos à ETE eram determinados através do produto entre o tempo de funcionamento dos conjuntos

elevatórios (PINHO, 1993) e suas respectivas capacidades de bombeamento.

Os volumes de lodo cru eram determinados através do produto entre a vazão de cada bomba responsável pelo recalque do lodo (23 l/s ou 1,40 m³/d) e o seu respectivo tempo de funcionamento nos horários de 9, 13 e 17 horas. A partir dos volumes de lodo produzidos em cada dia, eram calculados os volumes mensais.

O lodo cru era descarregado periodicamente nos horários de 9, 13 e 17 h dos decantadores para o tanque de reunião da estação elevatória de lodo cru, de onde era bombeado para o digestor primário. No tanque de reunião eram coletadas as amostras de lodo, e no período entre agosto e outubro de 1993 foram realizados dois experimentos para caracterização desse lodo.

3.2.2 - Experimentos com lodo digerido

O lodo digerido, efluente do digestor secundário, era descarregado periodicamente em leitos de secagem de onde eram tomadas amostras para caracterização nos diferentes estágios de secagem.

Em cada experimento eram determinados os volumes de lodo digerido líquido descarregados nos leitos e de lodo seco resultante, a partir das lâminas de lodo iniciais e finais, respectivamente. Essas lâminas de lodo eram medidas nos leitos durante os seis experimentos e usadas para cálculos dos volumes da seguinte forma:

$$V = l \times A$$

Equação 3.1

Onde:

V - volume de lodo líquido (inicial) ou seco (final)

l - lâmina inicial ou final de lodo no leito

A - área do leito

A área de cada leito era determinada através do produto entre o comprimento (22,55m) e a largura (9,13m).

Cada descarga de lodo digerido líquido no leito definia um experimento e no período de março a outubro de 1993 foram coletados dados referentes a seis experimentos (Tabela 3.1).

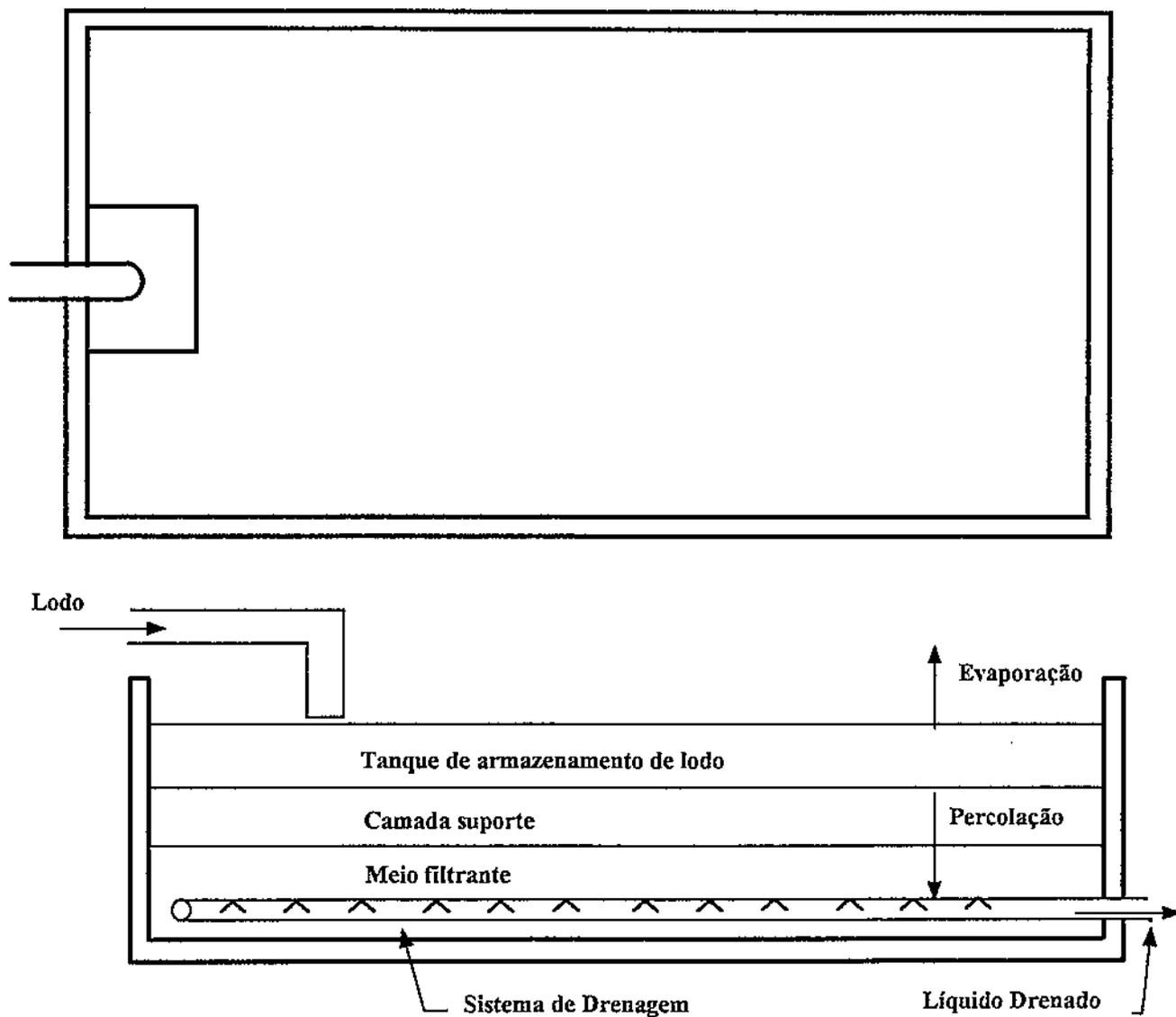


Figura 3.2 - Representação esquemática de um leito de secagem de lodo. Fonte: Adaptado de VAN HAANDEL & LETTINGA (1994).

Tabela 3.1 - Experimentos realizados para caracterização do lodo digerido com datas de início e término de cada experimento, períodos de secagem e intervalos de amostragens.

Nº do Experimento	Início	Término	Período de secagem (dias)	Intervalos de amostragens⁽²⁾
01	05/03/93	18/03/93	13	t ₀ , t ₃ , t ₅ , t ₁₀ , t ₁₃
02	20/04/93	29/04/93	09	t ₀ , t ₃ , t ₆ , t ₉
03	26/05/93	06/06/93	11	t ₀ , t ₂ , t ₅ , t ₈ , t ₁₁
04 ⁽¹⁾	22/07/93	09/08/93	18	t ₀ , t ₁₃ , t ₁₅ , t ₁₈
05	25/08/93	09/09/93	15	t ₀ , t ₂ , t ₅ , t ₈ , t ₁₂ , t ₁₅
06	07/10/93	25/10/93	18	t ₀ , t ₄ , t ₇ , t ₁₁ , t ₁₄ , t ₁₈

(1) Nesse experimento o intervalo de amostragem referente à segunda coleta (t₁₃) foi longo devido a problemas ocorridos no sistema de refrigeração utilizado para conservação das amostras.

(2) t₀, t₂, t₃, t₄, t₅, t₆, t₇, t₈, t₉, t₁₀, t₁₁, t₁₂, t₁₃, t₁₄, t₁₅, t₁₈: tempos de secagem e intervalos de coletas das amostras de lodo digerido.

3.2.3 - Experimentos com líquido drenado

Em cada experimento com lodo digerido eram coletadas, sempre que possível, amostras de líquido drenado percolado através dos leitos de secagem para caracterização. Dos leitos utilizados para secagem de lodo digerido apenas o leito número 08 possuía acesso ao sistema de drenagem e por isso as coletas só foram possíveis nos experimentos 01 e 02 quando esse leito foi utilizado.

3.3 - Procedimento de coleta

Durante a pesquisa foram utilizados os seguintes procedimentos de coleta para a caracterização do lodo cru e digerido:

3.3.1 - Lodo cru

Nos horários de 9, 13 e 17 h, o lodo era descarregado do decantador primário para o tanque de reunião da Estação Elevatória de lodo cru, onde eram coletadas as amostras correspondentes a cada horário, como mostra a Tabela 3.2. Na ocasião eram determinados os valores de temperatura e pH de cada amostra e, posteriormente, os outros parâmetros.

Tabela 3.2 - Experimentos realizados para caracterização do lodo cru afluente do digester primário da ETE - Cabanga - Recife (PE), com datas e horários de amostragem.

Nº do Experimento	Data	Hora de Coleta
01	16/08/93	9 - 13 - 17
	18/08/93	9 - 13 - 17
	20/08/93	9 - 13 - 17
02	27/09/93	9 - 13 - 17
	29/09/93	9 - 13 - 17
	01/10/93	9 - 13 - 17

3.3.2 - Lodo digerido

Os pontos escolhidos para coletas de amostras de lodo digerido estão representados na Figura 3.3.

3.3.2.1 - Ponto de descarga

Quando o lodo digerido era descarregado do digester secundário para um leito de secagem era iniciado um experimento. A

duração de cada descarga nos experimentos variava entre dez e cinquenta minutos, e seu término era definido quando a lâmina de lodo no leito atingia uma altura de aproximadamente vinte centímetros. Durante o experimento e junto à tubulação de entrada do leito de secagem, eram coletadas, a intervalos regulares, cerca de sete sub-amostras de 200 ml que, misturadas, originavam uma amostra denominada amostra de descarga.

3.3.2.2 - Seção 1, Seção 2 e Seção 3

Após três horas do término de cada descarga, eram coletadas, dentro do leito, as amostras correspondentes às seções 1, 2 e 3, distantes, respectivamente 5,5 , 11 e 17 metros da tubulação de entrada de lodo no leito. Ao longo da seção 1 eram coletadas três sub-amostras distantes aproximadamente 2,3 , 4,6 e 6,9 metros da parede lateral do leito, para compor a amostra dessa seção. O mesmo procedimento era repetido para as seções 2 e 3 (Figura 3.3). Essa amostragem era denominada t_0 e se referia ao primeiro dia de secagem.

Nos seis experimentos realizados, as seções 1, 2 e 3 eram amostradas em intervalos de tempos variados para caracterizar o lodo digerido nos diferentes estágios de secagem (Tabela 3.1). A última coleta de lodo era feita entre o nono e o décimo oitavo dias de secagem, dependendo do estágio de desidratação do lodo.

3.3.3 - Líquido drenado

Dependendo do leito utilizado em cada experimento para a secagem do lodo, era possível ou não o acesso à tubulação que coletava o líquido percolado através da camada drenante. Essa coleta, quando possível, era também realizada três horas após cada descarga (período

de tempo t_0) e nas amostragens subsequentes , caso houvesse líquido escoando.

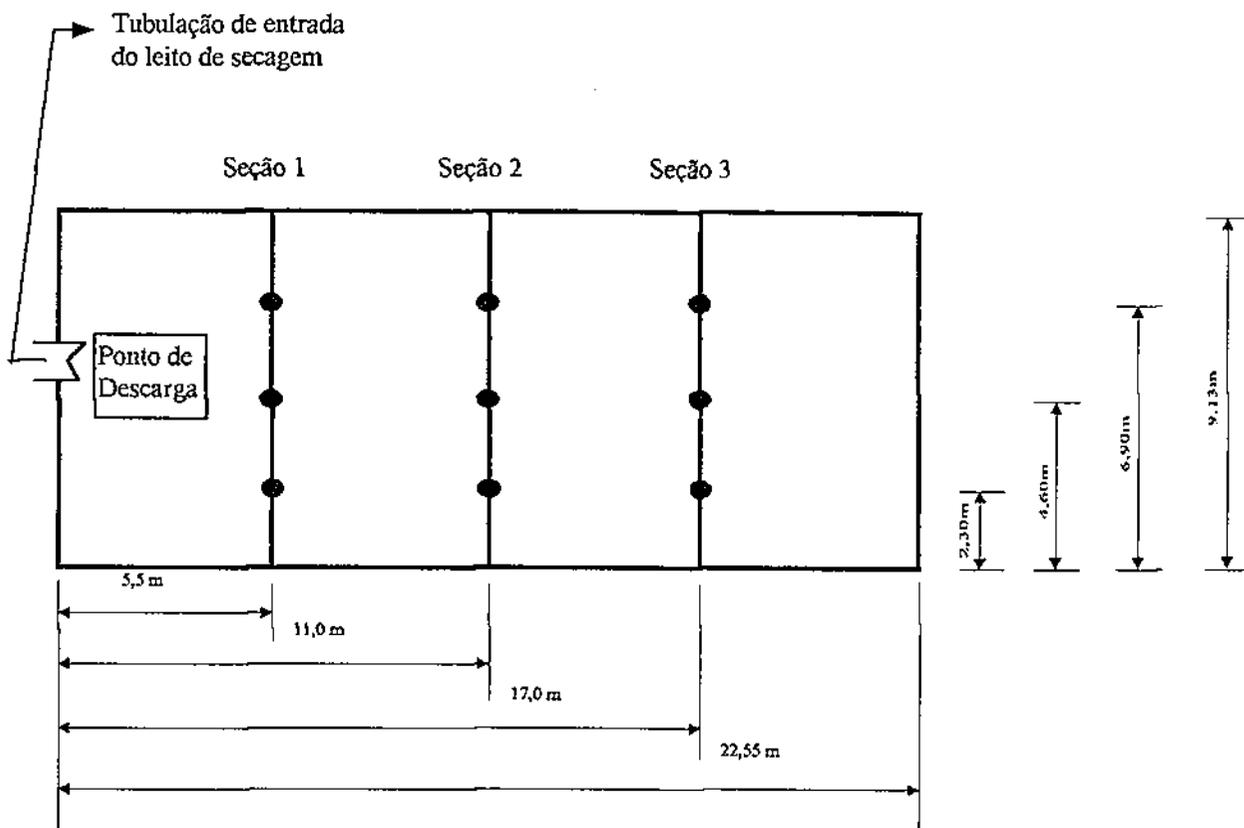


Figura 3.3 - Localização do ponto de descarga e das seções para coleta de amostras de lodo digerido nos leitos de secagem da ETE Cabanga - Recife (PE).

3.4 - Parâmetros analisados

Os parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados nas diversas amostras durante o período experimental estão resumidos na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Parâmetros físico-químicos e biológicos utilizados na caracterização do lodo cru, do lodo digerido nas amostras de descarga das seções 1, 2 e 3 e no líquido drenado, gerados na ETI Cabanga - Recife (Pe) no período de março a outubro de 1993.

PARÂMETROS	MÉTODO	REFERÊNCIA	LODO CRU	LODO DIGERIDO		LÍQUIDO DRENADO
				Amostra de Descarga	Seções 1, 2 e 3	
Temperatura (°C)	-	APHA (1989)	+	+	-	-
Sólidos Totais ⁽¹⁾	Gravimétrico	APHA (1989)	+	+	+	+
Sólidos Totais Fixos ⁽¹⁾	Gravimétrico	APHA (1989)	+	+	+	+
Sólidos Totais Voláteis ⁽¹⁾	Gravimétrico	APHA (1989)	+	+	+	+
Peso Específico (g/l) ⁽²⁾	Gravimétrico	APHA (1989)	+	+	+/-	-
Teor. de Umidade (%)	Gravimétrico	APHA (1989)	-	+	+	-
pH	Potenciométrico	APHA (1989)	+	+	-	-
Amônia (mgN/l) ⁽³⁾	Nesslerização Direta/macro Kjeldahl	APHA (1989)	+	+	+/-	+
Nitrogênio Total ⁽⁴⁾	macro Kjeldahl	APHA (1989)	-	+	+/-	+
Fósforo Total (mg/l)	Ácido Ascórbico	APHA (1989)	-	-	-	+
Salinidade (mg/l)	Volumétrico	EMBRAPA (1979)	+	+	+	+
Helminthos (nº de ovos/l) ⁽⁵⁾	Contagem direta	MEYER <i>et al.</i> (1978)	+	+	*	-

NOTAS EXPLICATIVAS DA TABELA 3.3

(+) Parâmetro determinado

(-) Parâmetro não-determinado

(+/-) Parâmetro determinado somente no primeiro dia de secagem.

(*) Parâmetro determinado no primeiro e último dias de secagem. Para determinação desse parâmetro no último dia de secagem (lodo seco) foi realizada a seguinte modificação na técnica utilizada: foram tomadas 100 g de lodo liquidificado com 150 ml de água destilada, e do volume de lodo líquido resultante foram retirados 75 ml para a determinação, seguindo o procedimento normal.

(1) Valores expressos em g/l para o lodo líquido e em g/100g lodo nas amostras semi-líquidas e sólidas.

(2) e (3) Determinações feitas para as amostras líquidas no primeiro dia de secagem.

(3) Nas amostras de lodo cru foi utilizado o método de Nesslerização direta e nas demais, o método macro kjeldahl..

(4) Valores expressos em mgN/l para as amostras de lodo líquido.

(5) Os helmintos pesquisados foram Ascaris lumbricoides e Trichuris trichiura.

4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 - Volumes de esgoto bruto afluente à ETE

A Tabela 4.1 apresenta os volumes mensais de esgoto bruto afluente à ETE Cabanga - Recife (PE) no período de março a outubro de 1993. O volume médio foi de 348.295 m³ com mínimo e máximo de 296.318 e 438.486 m³ nos meses de março e julho, respectivamente. Nos meses de maior precipitação atmosférica como junho (140,9 mm) e julho (84,8 mm) (Tabela 4.2) foi verificado um aumento nos volumes de esgoto bruto (395.839 e 438.486 m³, respectivamente) associados à contribuição de águas pluviais para as canalizações de esgoto. Em contrapartida, no mês de março quando a precipitação atmosférica foi mínima (23,1 mm), o volume de esgoto bruto afluente à ETE atingiu o valor mínimo de 296.318 m³.

4.2 - Volumes de lodo cru aduzidos para o digestor primário

Os volumes mensais de lodo cru produzido nos decantadores primários da ETE Cabanga são mostrados na Tabela 4.3. Os volumes médio, mínimo e máximo foram de 1260, 973 e 1586 m³, respectivamente. Foi verificado que as produções máxima e mínima de lodo cru nos decantadores estiveram relacionadas com os respectivos volumes máximo e mínimo de esgoto bruto afluente à ETE e, possivelmente, com a quantidade de sólidos sedimentáveis presentes no mesmo (PINHO, 1993).

Tabela 4.1 - Volumes mensais de esgoto bruto afluyente à ETE Cabanga - Recife (PE) no período de março a outubro de 1993.

MESES 1993	VOLUME DE ESGOTO BRUTO (m ³)*
março	296.318
abril	308.970
maio	320.312
junho	395.839
julho	438.486
agosto	366.056
setembro	327.364
outubro	333.021
MÉDIA	348.295

* Dados fornecidos pela ETE Cabanga - Recife(PE)

Tabela 4.2 - Parâmetros meteorológicos para a cidade de Recife (PE) no período de março a outubro de 1993.

ANO	PARÂMETROS METEOROLÓGICOS ⁽¹⁾				
1993	Temperatura do ar (°C)		Precipitação altura total (mm)	Insolação (horas e décimos)	Evaporação Total (mm)
MÊS	Médias Máximas	Médias Mínimas			
março	31,5	20,6	23,1	285,0	190,7
abril	30,1	20,8	52,1	231,2	109,1
maio	29,2	20,5	30,5	210,6	93,5
junho	26,7	18,9	140,9	184,3	55,9
julho	26,1	18,3	84,8	199,9	70,0
agosto	27,8	18,7	32,9	249,6	101,4
setembro	29,7	19,5	24,5	255,3	129,4
outubro	30,7	20,1	29,9	268,9	159,1

⁽¹⁾ Dados fornecidos pelo 3^o Distrito de Meteorologia - Recife-PE - do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Tabela 4.3 - Volumes mensais de lodo cru produzidos nos decantadores primários (afluente ao digestor primário) no período de março a outubro de 1993.

Meses 1993	Volume de Lodo Cru (m³)^(*)
Março	973
Abril	1332
Mai	980
Junho	1586
Julho	1508
Agosto	1302
Setembro	1092
Outubro	1308
Média	1260

* Dados fornecidos pela ETE Cabanga - Recife(PE)

4.2.1 - Caracterização do lodo cru

A Tabela 4.4 mostra os valores médios dos parâmetros físico-químicos, nos horários de 9, 13 e 17 horas, determinados para caracterização do lodo cru.

A temperatura do lodo cru não apresentou grandes variações e oscilou entre 29 e 30° C. Estas temperaturas, típicas da região tropical onde o lodo foi produzido, foram ligeiramente inferiores à faixa usual considerada como favorável para a atividade dos microrganismos responsáveis pelo processo de digestão anaeróbia (30-35° C).

As concentrações de Sólidos Totais (ST) apresentaram valores mínimo de 74,8g/l e máximo de 94,2g/l. A fração volátil dos sólidos totais variou entre 51 e 59%, com valor médio de 56%. Pode ser observado que este lodo apresentou uma quantidade de matéria volátil ligeiramente superior à fixa, quando deveria ser muito superior, entre

60 e 80% do ST (METCALF & EDDY, 1991). A elevada fração fixa, que variou entre 49 e 41%, sugere uma relação com a considerável quantidade de sais provenientes do esgoto afluyente devido à infiltração das marés na rede coletora de esgoto.

O valor médio do peso específico variou entre 1016 e 1034g/l. Essa variação é provável consequência da granulometria não-uniforme do lodo e conseqüentemente da diferença de densidade das partículas de lodo que permitiu a determinação de amostras de lodo de pesos específicos diferentes.

O pH do lodo cru variou entre 6,8 e 7,2 e esteve de acordo com a faixa de variação (de 5 a 8) citada por METCALF & EDDY (1991). Com relação à influência do pH no processo de digestão anaeróbia, a faixa de variação desse parâmetro no lodo cru se apresentou favorável a esse processo, de acordo com VAN HAANDEL & LETTINGA (1994).

As concentrações médias de amônia no lodo cru variaram entre 231 e 295 mg/l. Como no lodo cru o nitrogênio total se encontra em grande parte na forma combinada de proteína e uréia (nitrogênio orgânico), é esperado que, após a digestão anaeróbia desse lodo, a concentração de amônia aumente devido à transformação do nitrogênio orgânico em amônia através do processo de degradação biológica.

Os valores mínimo (16,3 mmhos/cm) e máximo (23,0 mmhos/cm) de condutividade elétrica no lodo cru estiveram associadas às concentrações mínimas e máximas de cloreto (7005 e 14224 mg/l) e de sódio (5137 e 8.318 mg/l), respectivamente. No entanto, esse resultado não foi verificado no caso dos íons bicarbonato (1702 e 2408 mg/l), magnésio (529,3 e 823,0 mg/l), cálcio (103,6 e 196,2 mg/l), potássio (28,9 e 51,6 mg/l) e carbonato (0,0 e 11,0 mg/l), em decorrência da água do mar infiltrada na rede de esgoto possuir maior quantidade dos íons cloreto e sódio do que dos demais.

A Tabela 4.5 mostra a variação do número de ovos de helmintos no lodo cru, nos horários de 9, 13 e 17 horas correspondentes às descargas de lodo dos decantadores para os digestores.

Tabela 4.4 - Resultado dos parâmetros físico-químicos dos experimentos de caracterização do lodo cru (efluente do digestor primário) da ETE Cabanga - Recife (PE) no período de agosto a outubro de 1993.

PARÂMETROS	EXPERIMENTO Nº 01			EXPERIMENTO Nº 02		
	16/08/93	18/08/93	20/08/93	27/09/93	29/09/93	01/10/93
FÍSICOS						
Temperatura (°C)	30,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0
Sólidos Totais (g/l)	83,0	94,2	86,2	74,8	75,2	87,3
Sólidos Totais fixos (g/l)	36,6	44,2	42,1	31,0	31,4	36,1
Sólidos Totais Voláteis (g/l)	46,6	50,0	44,1	43,8	43,8	51,2
Peso Específico (g/l)	1033	1034	1032	1017	1016	1025
QUÍMICOS						
pH	7,2	6,9	7,0	6,9	6,8	6,8
Amônia (mg/l)	231,0	252,0	268,7	294,0	285,3	29,50
Salinidade (mg/l)						
C.E. ⁽¹⁾	16,3	22,4	23,0	18,5	17,2	19,7
Cloreto (Cl ⁻)	7005	8102	14224	7644	7650	10118
Sódio (Na ⁺)	5137	7743	8318	5367	6172	7437
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	1806	2038	2076	2255	1702	2408
Magnésio (Mg ⁺⁺)	529,3	823,0	753,8	552,5	545,5	775,9
Cálcio (Ca ⁺⁺)	170,8	179,9	196,2	135,3	121,9	103,6
Potássio (K ⁺)	40,3	49,7	51,6	28,9	36,4	51,6
Carbonato (CO ₃ ⁻)	0,0	10,0	11,0	4,5	5,1	0,0

⁽¹⁾ C. E.: Condutividade elétrica determinada no extrato de saturação do lodo, expressa em milimhos/cm (mmhos/cm) = milisiemens/cm (ms/cm).

Tabela 4.5 - Concentrações de ovos de helmintos determinadas nos horários de 9, 13 e 17 para o lodo cru produzido na ETE Cabanga - Recife (PE)

EXPERIMENTO	DATA	Nº ovos/litro					
		Ascaris lumbricoides			Trichuris trichiura		
		9	13	17	9	13	17
01	16/08/93	45467	38000	27533	1267	1567	1133
	18/08/93	31733	32533	26000	1000	1000	1200
	20/08/93	26333	23533	22000	867	867	800
02	27/09/93	22333	28667	23933	1667	1467	867
	29/09/93	16733	17467	16200	1200	1000	1133
	01/10/93	12467	9200	8600	733	600	533

Em ambos os experimentos as concentrações de ovos de helmintos no lodo cru foram elevadas e o número de ovos de Ascaris lumbricoides foram superiores ao de Trichuris trichiura. Foi observado que as concentrações de ovos de Ascaris lumbricoides no primeiro experimento foram superiores às do segundo provavelmente devido a um maior volume de esgoto afluente à ETE no mês de realização do experimento 01 do que no mês de realização do experimento 02, que pode ter contribuído com uma maior quantidade destes ovos. Foi verificado que nas amostragens das segundas-feiras (dias 16/08/93 e 27/09/93) as concentrações foram maiores do que nas das quartas e sextas-feiras provavelmente devido a uma maior contribuição de dejetos por parte da população contribuinte durante o final de semana. As concentrações de ovos de Ascaris lumbricoides variaram entre um mínimo de 8.600 ovos/l no experimento 02 (01/10/93) e um máximo de 45.467 ovos/l no experimento 01 (16/08/93) nas descargas realizadas às

17 e 9 horas, respectivamente. Da mesma forma, os números de ovos de Trichuris trichiura apresentaram valor mínimo de 533 ovos/l e máximo de 1667 ovos/l no experimento 02 nos dias 01/10/93 e 27/09/93 nos horários de 17 e 9 horas, respectivamente. Estes resultados permitiram observar que, na maioria das vezes, no horário de realização da primeira descarga (9 horas), os valores encontrados foram máximos devido ao intervalo de 16 horas que transcorria desde a última descarga de um dia, realizada às 17 horas, até a primeira descarga do dia seguinte (9 horas). Durante esse longo período de decantação um maior número de ovos se acumulava no lodo refletindo na quantidade de ovos da primeira descarga do dia seguinte. Os valores mínimos encontrados foram referentes à última descarga do lodo em cada experimento (17 horas) em consequência do curto período de decantação (de quatro horas) entre as descargas das 13 e 17 horas.

4.3 - Volume de lodo digerido descarregado nos leitos

Os resultados dos seis experimentos realizados para a caracterização do lodo digerido são mostrados na Tabela 4.6.

No experimento 02, a lâmina inicial de lodo descarregado no leito (23 cm) foi superior aos demais experimentos, o que resultou num volume máximo de lodo de 47,6 m³. Neste mesmo experimento foi verificado que após o tempo mínimo de secagem de nove dias houve uma redução de 70% do volume inicial de lodo. Esta elevada eficiência certamente foi consequência do alto teor de umidade do lodo, além de influência de fatores climatológicos como temperatura do ar (máximo de 30,1 e mínimo de 20,8°C) e período de insolação (231,2 horas) ocorridos no mês de abril (Tabela 3.2). Já a menor percentagem de redução de volume, de 50%, ocorreu no experimento 03 realizado no fim do mês de maio e início de junho. A secagem do lodo nesse experimento certamente sofreu a influência de fatores climáticos, uma vez que no mês de junho ocorreu a maior precipitação atmosférica

(140,9 mm), o período de insolação foi pequeno (184 horas) e a evaporação foi mínima (55,9 mm). Nos demais experimentos, a percentagem de redução do volume de lodo variou entre 55 e 65%.

Tabela 4.6 - Espessura da lâmina e volume iniciais do lodo digerido, período de secagem, lâmina e volume finais de lodo seco e percentagem de redução de volume de lodo para os seis experimentos realizados na ETE Cabanga - Recife (PE) no período de março a outubro de 1993.

NÚMERO DO EXPERIMENTO	DATAS		Lâmina inicial de lodo (cm)	Volume de lodo líquido descarregado no leito (m ³)	Período de secagem (dias)	Lâmina final do lodo (cm)	Volume de lodo seco no leito (m ³)	Porcentagem de redução de volume (%)
	Início	Término						
01	05/03/93	18/03/93	20	41,2	13	08	16,5	60
02	20/04/93	29/04/93	23	47,6	09	07	14,4	70
03	26/05/93	06/06/93	20	41,2	11	10	20,6	50
04	22/07/93	09/08/93	20	41,2	18	07	14,4	65
05	25/08/93	09/09/93	20	41,2	15	07	14,4	65
06	07/10/93	25/10/93	20	41,2	18	09	18,5	55

4.3.1 - Caracterização do lodo digerido nos vários períodos de secagem

4.3.1.1 - Amostra de descarga

Os resultados obtidos na caracterização do lodo digerido na amostra de descarga são mostradas na Tabela 4.7.

Durante os seis experimentos realizados, a temperatura do lodo digerido oscilou entre 29 e 31°C. Foi observado que após a digestão ocorreu um discreto aumento na temperatura do lodo. No entanto, esse parâmetro continuou dentro dos limites estabelecidos como favorável ao processo de digestão anaeróbia.

Tabela 4.7 - Resultados dos parâmetros analisados na caracterização do lodo digerido líquido da amostra de descarga nos seis experimentos realizados no período de março a outubro de 1993 na ETE Cabanga - Recife (PE)

PARÂMETROS	EXPERIMENTOS					
	01	02	03	04	05	06
FÍSICOS						
Temperatura (°C)	31	30	30	29	29	29
Sólidos totais (g/l)	103,3	90,0	93,8	99,1	93,6	90,5
Sólidos totais fixos (g/l)	52,5	46,0	48,4	51,8	47,7	46,1
Sólidos totais voláteis (g/l)	50,8	44,0	45,3	47,3	45,9	44,4
Peso específico (g/l)	1028	1029	1020	1020	1032	1021
Teor de umidade (%)	90,0	91,8	90,7	90,1	91,0	91,1
QUÍMICOS						
pH	6,8	7,2	7,2	7,5	7,4	7,3
Nitrogênio total (mg/l)	1193	1125	725	719	844	873
Amônia (mgN/l)	770	772	496	522	649	548
Salinidade (mg/l)						
C.E. ⁽¹⁾	21,2	22,2	19,8	21,0	20,0	20,8
Cloreto (Cl ⁻)	8520	10153	8059	9532	8255	8627
Sódio (Na ⁺)	6440	10810	5520	5635	5980	6510
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	2416	2772	1470	2998	2840	3290
Magnésio (Mg ⁺⁺)	614	754	717	729	593	626
Cálcio (Ca ⁺⁺)	398	405	306	286	390	376
Potássio (K ⁺)	113,4	51,6	23,3	23,5	37,4	40,3
Carbonato (CO ₃ ⁻)	25,8	29,4	42,9	40,0	40,4	24,0
BIOLÓGICOS						
<u>A. lumbricoides</u> (nº ovos/l)	23067	37600	40067	39267	39733	54733
<u>T. trichiura</u> (nº ovos/l)	233	1067	1333	267	267	2267

⁽¹⁾ C. E. expressa em mmhos/cm

As concentrações de ST nas amostras de descarga variaram entre 90,0 e 103,3g/l correspondentes, respectivamente, a 8,7 e 10% de ST secos. Essa faixa ficou dentro dos limites de 6-12% estabelecidos por METCALF & EDDY (1991). Destes sólidos, aproximadamente 50% corresponderam às frações voláteis. Comparando esses resultados com os referentes ao lodo cru, pode ser observado que após a digestão houve um ligeiro decréscimo dessa fração em consequência da transformação de parte da matéria orgânica contida no lodo cru em gases como metano e dióxido de carbono. No entanto, a fração volátil encontrada para o lodo digerido de Cabanga variou dentro dos limites de 30 a 60% citados por METCALF & EDDY (1991).

Com a digestão ocorreu uma uniformização na granulometria do lodo que resultou numa menor variação dos valores de peso específico (1020 a 1032g/l) em relação ao lodo cru.

O teor de umidade do lodo digerido na amostra de descarga variou entre um mínimo de 90% no experimento 01 e um máximo de 91,8% no experimento 02. De acordo com STEEL (1966), essas percentagens são características de um lodo bem digerido, cujo teor de umidade varia de 88 a 94%.

O pH do lodo digerido na amostra de descarga variou entre 6,8 e 7,5 com o limite máximo ligeiramente superior ao lodo cru. Esse resultado pode ser consequência da atuação de substâncias tamponadoras (por exemplo os bicarbonatos) resultantes do processo de digestão que influenciaram no valor e estabilidade do pH. Apesar desse incremento, a faixa de variação se enquadrou dentro da citada (6,5 a 7,5) por METCALF & EDDY (1991) na caracterização de lodo digerido, e não ultrapassou os limites (6,5 a 7,5) citados por VAN HAANDEL & LETTINGA (1994) como favoráveis ao processo de digestão anaeróbia.

As concentrações mínima e máxima de nitrogênio total foram de 719 e 1193 mg/l, respectivamente. Os maiores valores desse parâmetro (1193 e 1125 mg/l) corresponderam aproximadamente a 50% do valor de 2200 mg/l citado por AZEVEDO NETTO & HESS (1970) apud AMORIM *et al.* (1981). As menores concentrações de nitrogênio

total foram de 719 e 725 mg/l e ocorreram nos meses de maior precipitação pluviométrica o que, provavelmente, influenciou na diluição do esgoto afluyente à estação e se refletiu na composição do lodo.

Do nitrogênio total, determinado no lodo digerido da amostra de descarga, a fração amoniacal é consequência da mineralização do material orgânico contido no lodo cru. Esta fração representou 60 a 70% do nitrogênio total e superou a faixa de 25 a 50% citada por ANDREOLI et al. (1994) para um lodo bem digerido.

A condutividade elétrica do lodo digerido apresentou valores mínimo e máximo de 19,8 e 22,2 mmhos/cm, respectivamente. Esses resultados foram semelhantes aos do lodo cru e confirmaram a elevada salinidade do lodo digerido. Esta salinidade foi proveniente de infiltrações das marés na rede de esgoto e não foi removida pelo processo de tratamento estando presente nos lodos cru e digerido. Da mesma forma que no lodo cru, os valores mínimo e máximo de C.E estiveram associados às concentrações mínima e máxima de cloreto (8059 e 10153 mg/l) e de sódio (5520 e 10810 mg/l), respectivamente. As concentrações mínima e máxima de bicarbonato (1470 e 3290 mg/l), magnésio (593 e 754 mg/l), cálcio (286 e 405 mg/l), potássio (23,3 e 113,4 mg/l) e carbonato (24,0 e 42,9 mg/l) não estiveram necessariamente associados aos valores mínimo e máximo de C.E., embora os íons bicarbonato e potássio tenham apresentado concentração mínima no lodo associadas a menor C.E. e o cálcio e magnésio tenham apresentado concentrações máxima correspondentes ao valor máximo de C.E.

Os números de ovos de Ascaris lumbricoides foram elevados nos seis experimentos e sempre superiores aos de Trichuris trichiura. Os primeiros variaram entre um valor mínimo de 23067 ovos/l (no experimento 01) e um máximo de 54733 ovos/l (no experimento 06). Estes mesmos experimentos apresentaram os números mínimo e máximo de ovos de Trichuris trichiura (233 e 2267 ovos/l, respectivamente). As concentrações mínimas de ovos, de helmintos provavelmente estiveram

associadas ao menor volume de esgoto bruto afluyente à ETE verificado no experimento 01. Com exceção dos meses que sofreram maiores influências das precipitações (junho e julho) onde houve maior diluição do esgoto e dos meses anterior (maio) e posterior (agosto) a estes, que também podem ter sofrido essa influência, o mês de outubro foi o que apresentou o maior volume de esgoto bruto e conseqüentemente contribuiu com maior quantidade de ovos.

4.3.1.2 - Seções 1, 2 e 3 no período de secagem t_0

Os valores médios dos parâmetros físico-químicos e biológicos das seções 1,2 e 3 no período de secagem t_0 são mostrados na Tabela 4.8.

As concentrações médias de ST variaram entre 98,9 e 104,6g/l, com limites inferior e superior ligeiramente maiores do que no lodo digerido na amostra de descarga. É provável que esse resultado esteja associado ao tempo de três horas transcorrido desde a coleta da amostra de descarga até coleta das amostras da seções. Durante esse tempo, o líquido intersticial do lodo percolou continuamente através das camadas drenantes do leito. Dessa maneira, o lodo que era coletado nas seções apresentava maior quantidade de sólidos em conseqüência da redução do teor de umidade.

Da mesma forma que na amostra de descarga, as frações voláteis representaram cerca de 50% dos ST.

O peso específico médio do lodo digerido na amostra composta das seções variou mais do que na amostra de descarga, com valores entre 1020 e 1042 g/l. Certamente isso ocorreu devido à maior concentração de sólidos no lodo digerido das seções.

O teor de umidade do lodo nas seções apresentou pequena variação (89,6 a 91,3%) com valores mínimo e máximo inferiores aos da amostra de descarga. O tempo decorrido entre a coleta da amostra de descarga e das seções mais uma vez pode ter sido o responsável por esse

resultado devido a drenagem, nesse período, da água intersticial contida no lodo.

Tabela 4.8 - Valores médios no período de secagem t₀ das seções 1, 2 e 3 para parâmetros físicos e químicos nos seis experimentos realizados na ETE Cabanga no período de março a outubro de 1993.

PARÂMETRO	EXPERIMENTOS					
	01	02	03	04	05	06
FÍSICOS						
Sólidos totais (g/l)	104,6	99,2	104,4	101,2	101,4	98,9
Sólidos totais fixos (g/l)	52,8	49,7	53,2	51,7	51,0	49,8
Sólidos totais voláteis (g/l)	51,8	49,5	51,2	49,5	50,4	49,1
Peso específico (g/l)	1037	1037	1020	1020	1042	1021
Teor de umidade (%)	90,0	90,4	89,6	89,9	90,3	91,3
QUÍMICOS						
Nitrogênio total (mg/l)	1125	1069	760	740	790	771
Amônia (mgN/l)	822	689	476	497	532	539
C.E. (mmhos/cm)	23,0	22,0	21,0	21,0	19,0	19,0
BIOLÓGICOS						
<u>A. lumbricoides</u> (n ^o ovos/l)	21578	24845	40334	34800	44533	47089
<u>T. trichiura</u> (n ^o ovos/l)	222	289	711	711	555	3022

As concentrações de nitrogênio total praticamente não variaram com relação à amostra de descarga e apresentaram nos experimentos 01 e 02 os valores máximos (1125 e 1069 mgN/l) e no experimento 04, o valor mínimo (740mgN/l). Nos demais experimentos, esses valores variaram entre 760 mgN/l (no experimento 03) e 790 mgN/l (no experimento 05). Da mesma forma que na amostra de descarga, o experimento 04 foi aquele que apresentou menor concen-

tração de nitrogênio total provavelmente em virtude da maior precipitação pluviométrica ocorrida no período. As frações referentes à amônia variaram entre 62,6 e 73,1% do valor de nitrogênio total, e não divergiram muito das frações no ponto de descarga.

O lodo digerido das três seções no tempo t_0 apresentou praticamente a mesma faixa de variação de C.E. da amostra de descarga e variou entre 19 e 23 mmhos/cm. O limite superior foi ligeiramente maior ao da amostra de descarga certamente devido à concentração de sais no lodo provocada pela evaporação do líquido intersticial.

As concentrações no tempo t_0 dos íons cloreto, sódio, bicarbonato, magnésio, cálcio, potássio e carbonato serão analisadas no item 4.3.1.3.

O elevado número de ovos de helmintos observado no lodo digerido na amostra de descarga também foi verificado nas seções 1, 2 e 3. A concentração de ovos de Ascaris lumbricoides variou entre 21578 e 47089 ovos/l e a de Trichuris trichiura entre 222 e 3022 ovos/l. Da mesma forma que na amostra de descarga, as concentrações mínimas desses ovos foram observadas no experimento 01 e a máxima no experimento 06 e provavelmente estiveram associadas com os volumes mínimos e máximos de esgoto bruto afluente à ETE.

4.3.1.3 - Seções 1, 2 e 3 nos diversos períodos de secagem (a partir do período de secagem t_0)

A Tabela 4.9 mostra os valores médios, nas seções 1, 2 e 3, dos sólidos totais e das frações fixa e volátil nos diversos períodos de secagem. Esses valores são expressos em g/100g de lodo.

Os valores de ST iniciais mínimo (14,8 g/100g) e máximo (16,9 g/100g) verificaram-se nos experimentos 03 e 06 e corresponderam a períodos de secagem de dois e quatro dias, respectivamente. Apesar da concentração de ST inicial no lodo do experimento 04 ter sido maior do que no lodo do experimento 06, esse valor não foi considerado como

máximo devido ao longo intervalo de amostragem inicial (de treze dias). A concentração mínima inicial não diferenciou muito dos valores referentes aos experimentos 01 (15,1g/100g) e 02 (15,6g/100g) no período de secagem de três dias e do experimento 05 (15,4g/100g) correspondente ao mesmo período de secagem de dois dias. No entanto, a intensa precipitação e o período mínimo de insolação ocorridos no mês de junho (Tabela 4.1) fizeram com que a concentração de ST no experimento 03 fosse mínima. O valor inicial máximo (16,9g/100g) foi verificado no experimento 06 devido ao intervalo de amostragem inicial de quatro dias (maior do que o inicial dos demais experimentos) que contribuiu para um aumento na concentração de ST devido a uma maior desidratação do lodo.

Os valores finais mínimo (22,8g/100g) e máximo (44,9g/100g) de ST foram verificados nos experimentos 03 e 01 para períodos de secagem de onze e treze dias, respectivamente. O valor mínimo esteve relacionado com o período de intensa precipitação (junho) e o máximo com o mês de março quando ocorreu menor precipitação e maior insolação (Tabela 4.1). Embora nos experimentos 04, 05 e 06 os períodos de secagem tenham sido maiores (18, 15 e 18 dias, respectivamente) do que no experimento 01, a intensa insolação ocorrida no mês de março provocou uma maior desidratação do lodo desse último experimento fazendo com que a concentração de sólidos fosse máxima.

As frações fixas dos ST foram superiores às frações voláteis e variaram entre 51 e 56%. Essas frações fixas apresentaram uma tendência de aumento ao longo do processo de secagem em virtude da provável presença de areia desprendida da camada suporte do leito e agregada ao lodo.

Os números de ovos de helmintos (A. lumbricoides e T. trichiura) foram determinados para as amostras das seções 1, 2 e 3 no último dia de secagem e são apresentadas na Tabela 4.10. A quantificação desses ovos revelou valores mínimo e máximo de ovos de A. lumbricoides de 15.378 e 37.222 ovos/l e de T. trichiura de 133 e

1267 ovos/l, respectivamente. Da mesma forma que na amostra de descarga e seções, as concentrações máximas foram observadas no experimento 06 e as mínimas no experimento 01.

Tabela 4.9 - Valores médios das seções 1, 2 e 3 de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis (expressos em g/100 g de lodo) em diferentes tempos de secagem determinados em seis experimentos de caracterização do lodo digerido semi-sólido e sólido da ETE Cabanga - Recife (PE).

NÚMERO DO EXPERIMENTO	PERÍODO DE SECAGEM (dias)	PARÂMETROS (g / 100 g de lodo)		
		Sólidos Totais	Sólidos Totais Fixos	Sólidos Totais Voláteis
01	t ₃	15,1	7,9	7,2
	t ₅	20,8	11,9	8,9
	t ₁₀	31,2	17,1	14,1
	t ₁₃	44,9	24,6	20,3
02	t ₃	15,6	8,5	7,1
	t ₆	18,6	9,9	8,7
	t ₉	23,1	12,5	10,6
03	t ₂	14,8	7,5	7,3
	t ₅	16,5	8,5	8,0
	t ₈	21,3	11,0	10,3
	t ₁₁	22,8	11,9	10,9
04	t ₁₃	19,4	9,9	9,5
	t ₁₅	22,0	11,6	10,4
	t ₁₈	30,1	16,2	13,9
05	t ₂	15,4	8,2	7,2
	t ₅	15,8	8,4	7,4
	t ₈	19,9	10,3	9,6
	t ₁₂	23,7	12,4	11,3
	t ₁₅	31,8	17,9	13,9
06	t ₄	16,9	9,0	7,9
	t ₇	19,3	9,8	9,5
	t ₁₁	31,5	16,9	14,6
	t ₁₄	33,0	17,1	15,9
	t ₁₈	40,9	22,3	18,6

Tabela 4.10 - Números de ovos de Ascaris lumbricoides e Trichuris trichiura correspondente a média das seções 1, 2 e 3 na caracterização do lodo seco (último dia de secagem) gerados na ETE Cabanga - Recife (PE) no período de março a outubro de 1993.

NÚMERO DO EXPERIMENTO	PERÍODO DE SECAGEM (dias)	NÚMERO DE OVOS DE HELMINTOS / LITRO DE LODO	
		<u>A. lumbricoides</u>	<u>T. trichiura</u>
01	t ₁₃	15378	133
02	t ₉	29067	645
03	t ₁₁	34422	511
04	t ₁₈	26733	667
05	t ₁₅	28800	538
06	t ₁₈	37222	1267

A Figura 4.1 mostra a variação do teor de umidade do lodo durante o processo de secagem nos seis experimentos realizados. Com a secagem, foram observados em todos os experimentos reduções do teor de umidade. No entanto, estas reduções foram diretamente influenciados por condições climáticas como precipitação, insolação e evaporação.

A máxima redução do teor de umidade do lodo digerido foi verificada no experimento 01 correspondente a um período de secagem de treze dias. Esse experimento, ocorrido no mês de março, apresentou um lodo com uma umidade final próxima a 56% a qual esteve associada à elevada temperatura do ar (máxima de 31,5°C), à elevada insolação (285 horas) e à maior evaporação total (190,7 mm). Embora nos experimentos 04, 05 e 06 o lodo tenha permanecido mais tempo exposto à secagem (15, 18 e 15 dias, respectivamente) do que no experimento 01, os fatores climatológicos contribuíram para uma melhor secagem

nesse último. Em contrapartida, as mínimas reduções dos teores de umidade do lodo ocorreram nos experimentos 02 e 03 com valores aproximadamente 77% em ambos. No experimento 02 o período de secagem foi o menor, nove dias, e como consequência o lodo apresentou uma baixa redução no teor de umidade final. Já o experimento 03 certamente sofreu influência da elevada precipitação pluviométrica que ocorreu no mês de sua realização e dificultou a sua desidratação.

O valor médio da umidade final do lodo nas três seções e nos seis experimentos foi de aproximadamente 68% correspondente a um período de secagem médio de quatorze dias. Esse resultado permitiu verificar que o processo de secagem da ETE Cabanga foi eficiente e apresentou um teor de umidade final do lodo de 60-70% correspondente a um período de secagem inferior ao de 20 a 40 dias citados por JORDÃO & PESSOA, 1975.

As Figuras de 4.2 a 4.5 mostram as variações médias das concentrações dos íons cloreto (Cl^-), sódio (Na^+), magnésio (Mg^{++}), cálcio (Ca^{++}), potássio (K^+), carbonato (CO_3^{--}) e bicarbonato (HCO_3^-) nas amostras das seções 1, 2 e 3 durante o período de secagem nos seis experimentos realizados.

De um modo geral, as concentrações de cloreto e sódio no lodo apresentam uma tendência ao decréscimo durante a secagem e variaram entre valores mínimo e máximo de 4.200 e 12.175 mg/l para o cloreto e de 3.067 e 15.330 mg/l para o sódio, respectivamente. Nos experimentos 02, 03, 04, 05 e 06 foi observado uma tendência à redução nas concentrações desses sais ao longo do processo de secagem devido à percolação do líquido intersticial do lodo através do meio filtrante, que promove o carreamento desses sais. Além disso, nos experimentos 03 e 04, realizados nos meses em que as precipitações foram mais intensas, esse decréscimo pode estar associado à lixiviação do lodo pela água da chuva. No entanto, no experimento 01 foi verificado um aumento nas concentrações dos sais entre o terceiro e o quinto dias e entre o décimo e décimo terceiro dias. Este aumento esteve associado à intensa insolação ocorrida no mês de março que promoveu uma maior evaporação e contribuiu para o acúmulo desses sais na superfície do lodo (Figura 4.2).

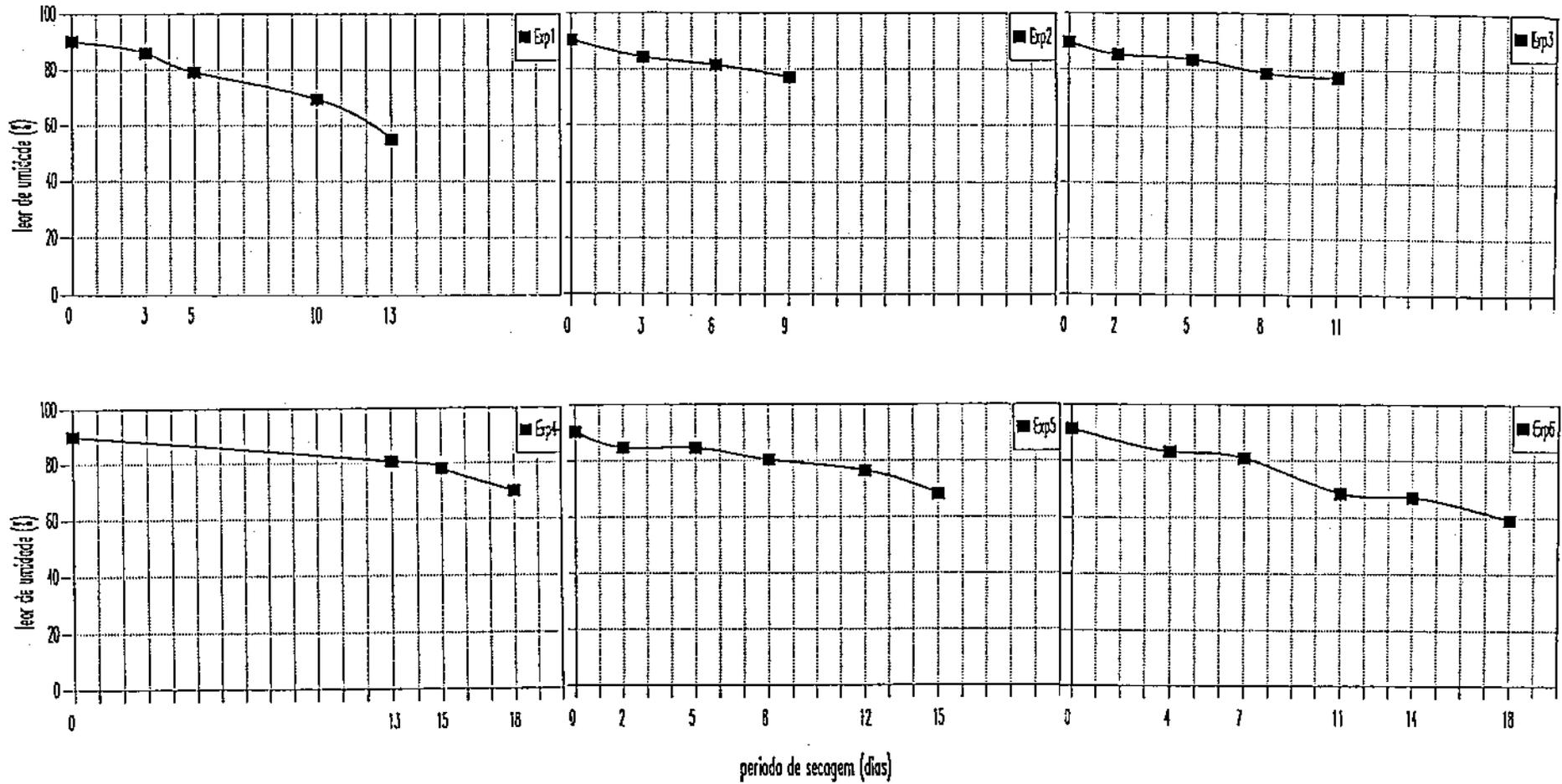


Figura 4.1 - Valores médios do teor de umidade do lodo digerido das seções 1,2 e 3 durante o processo de secagem nos seis experimentos realizados na ETE Cabanga-Recife (Pe) entre março e outubro de 1993.

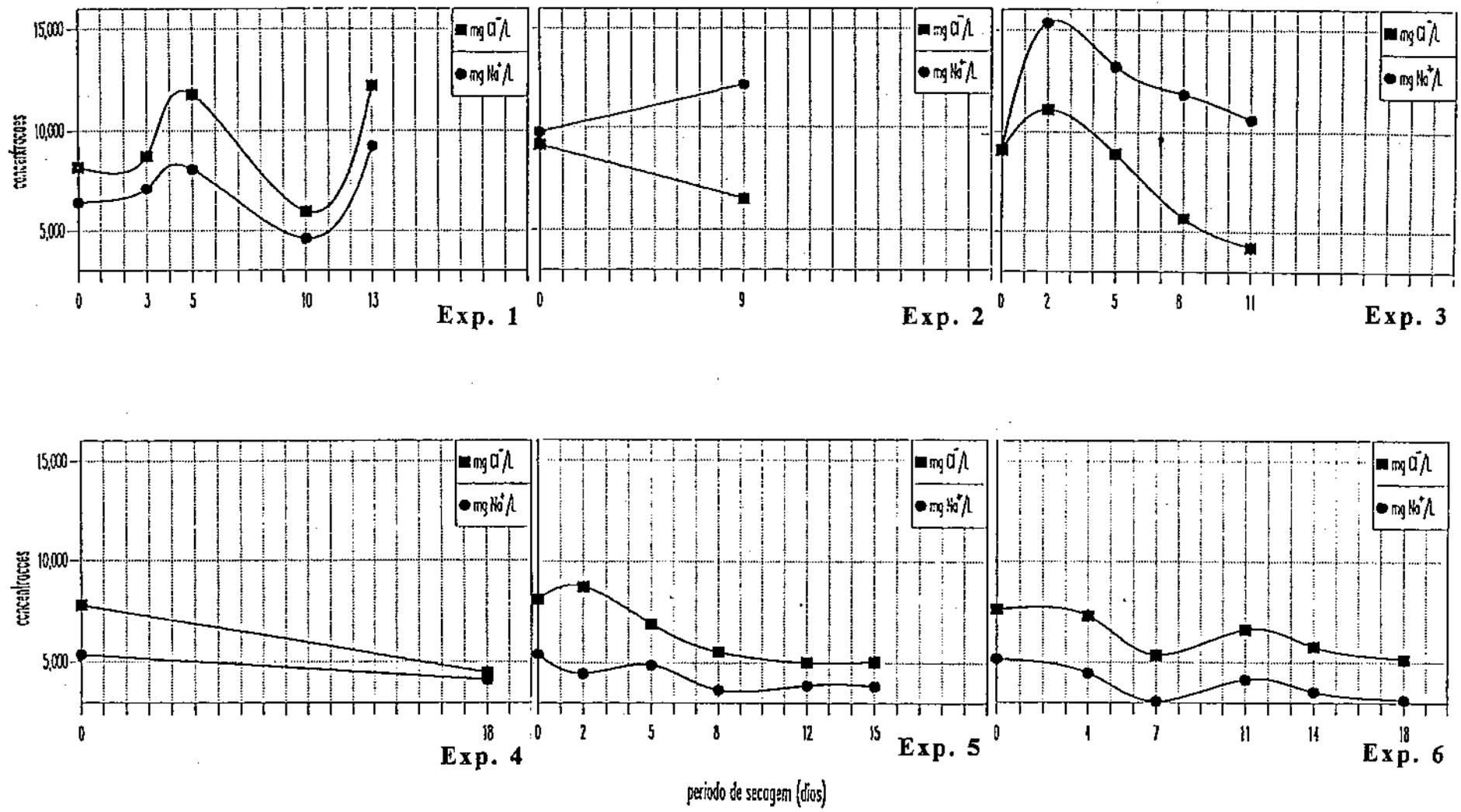


Figura 4.2 - Concentrações médias dos íons cloreto (Cl^-) e sódio (Na^+) do lodo das seções 1,2 e 3 durante o processo de secagem nos seis experimentos realizados .

Da mesma forma que as concentrações de cloreto e sódio, as concentrações mínima e máxima dos íons magnésio (308 e 1114 mg/l), cálcio (147 e 715 mg/l), potássio (18 e 139 mg/l), carbonato (0 e 50 mg/l) e bicarbonato (104 e 2343 mg/l) variaram ao longo do período de secagem em função das condições meteorológicas.

Os íons magnésio e cálcio (Figura 4.3) apresentaram valores de concentrações mínimas nos experimentos 05 e 03, respectivamente. Já os valores máximos foram verificados no experimento 01 no último dia de secagem certamente devido à elevada evaporação ocorrida no mês de sua realização que favoreceu o acúmulo de sais no lodo.

A Figura 4.4 ilustra as variações das concentrações médias dos íons potássio e carbonato no lodo das seções 1, 2 e 3. Nos experimentos 04, 05 e 06 foram observados aumentos discretos nas concentrações do íon potássio em virtude da secagem que promove o acúmulo desse íon no lodo. No entanto, no experimento 03 a tendência foi de decréscimo em consequência de uma provável precipitação, já que durante esse experimento ocorreram os maiores índices pluviométricos. Esse resultado se verificou também nos experimentos 01 e 02. No caso do íon carbonato, sua concentração decresceu durante a secagem em todos os experimentos e chegou ao valor mínimo de 0,0 mg/l nos experimentos 01, 04, 05 e 06.

No caso do íon bicarbonato (Figura 4.5), também foi observado um decréscimo na sua concentração, embora nos experimentos 03 e 05 no segundo dia de secagem tenham ocorrido pequenos aumentos em relação aos valores anteriores.

4.4 - Líquido drenado

A Tabela 4.11 mostra os resultados das análises físico-químicas nos experimentos 01 e 02 efetuados para a caracterização do líquido drenado dos leitos de secagem.

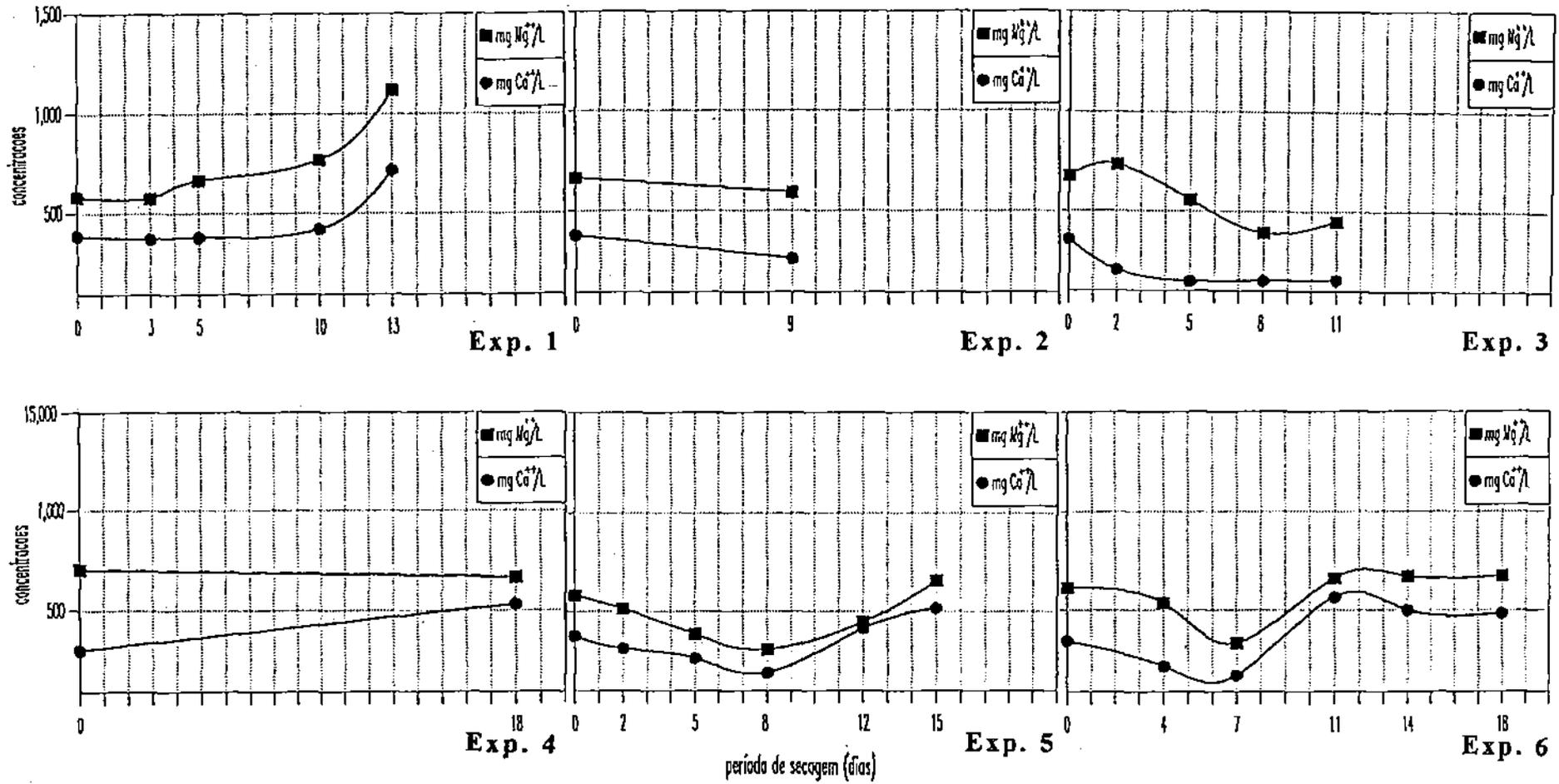


Figura 4.3 - Concentrações médias dos íons magnésio (Mg^{++}) e cálcio (Ca^{++}) do lodo das seções 1,2 e 3 durante o processo de secagem nos seis experimentos realizados .

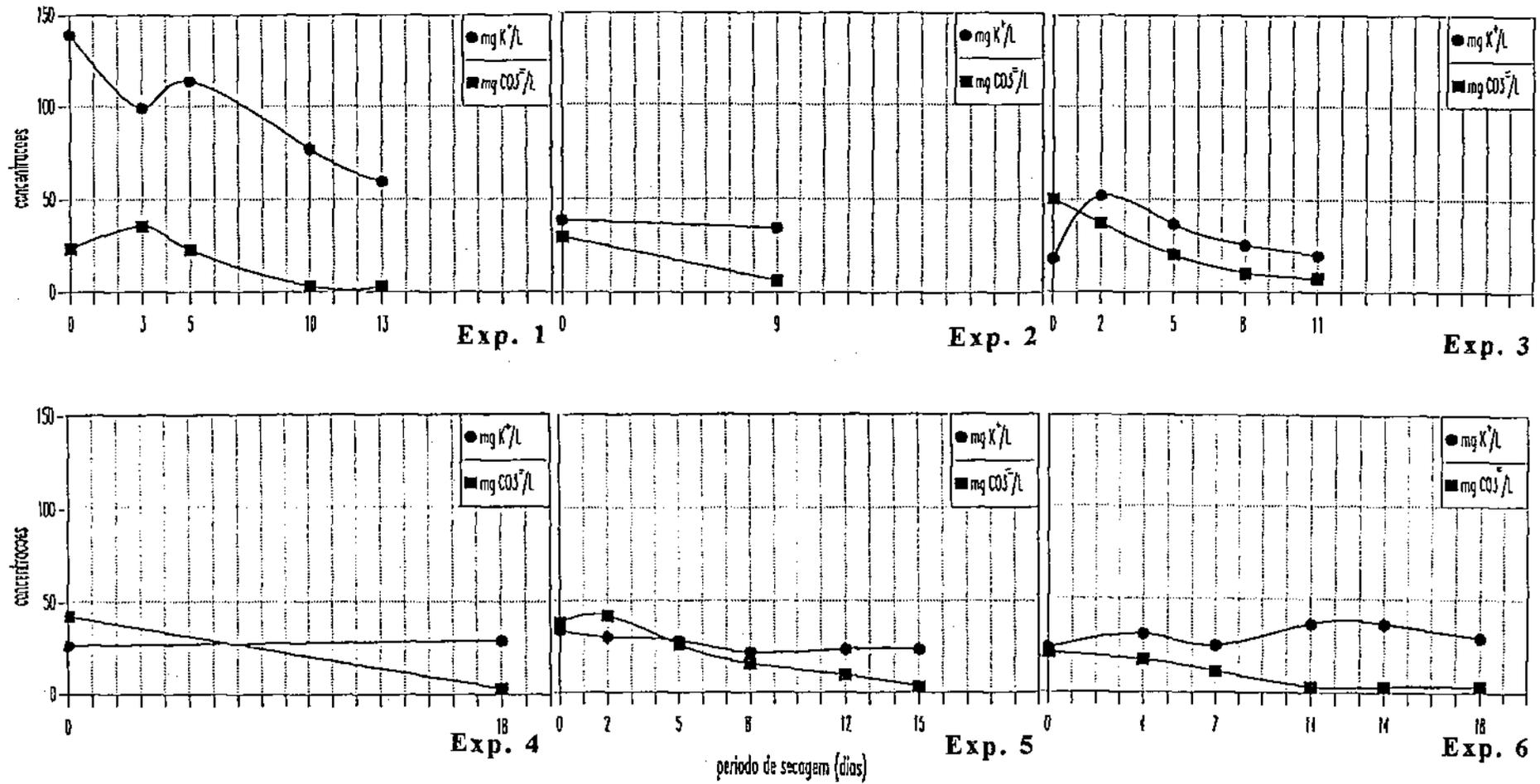


Figura 4.4 - Concentrações médias de potássio (K^+) e carbonato (CO_3^{2-}) do lodo das seções 1,2 e 3 durante o processo de secagem nos seis experimentos realizados .

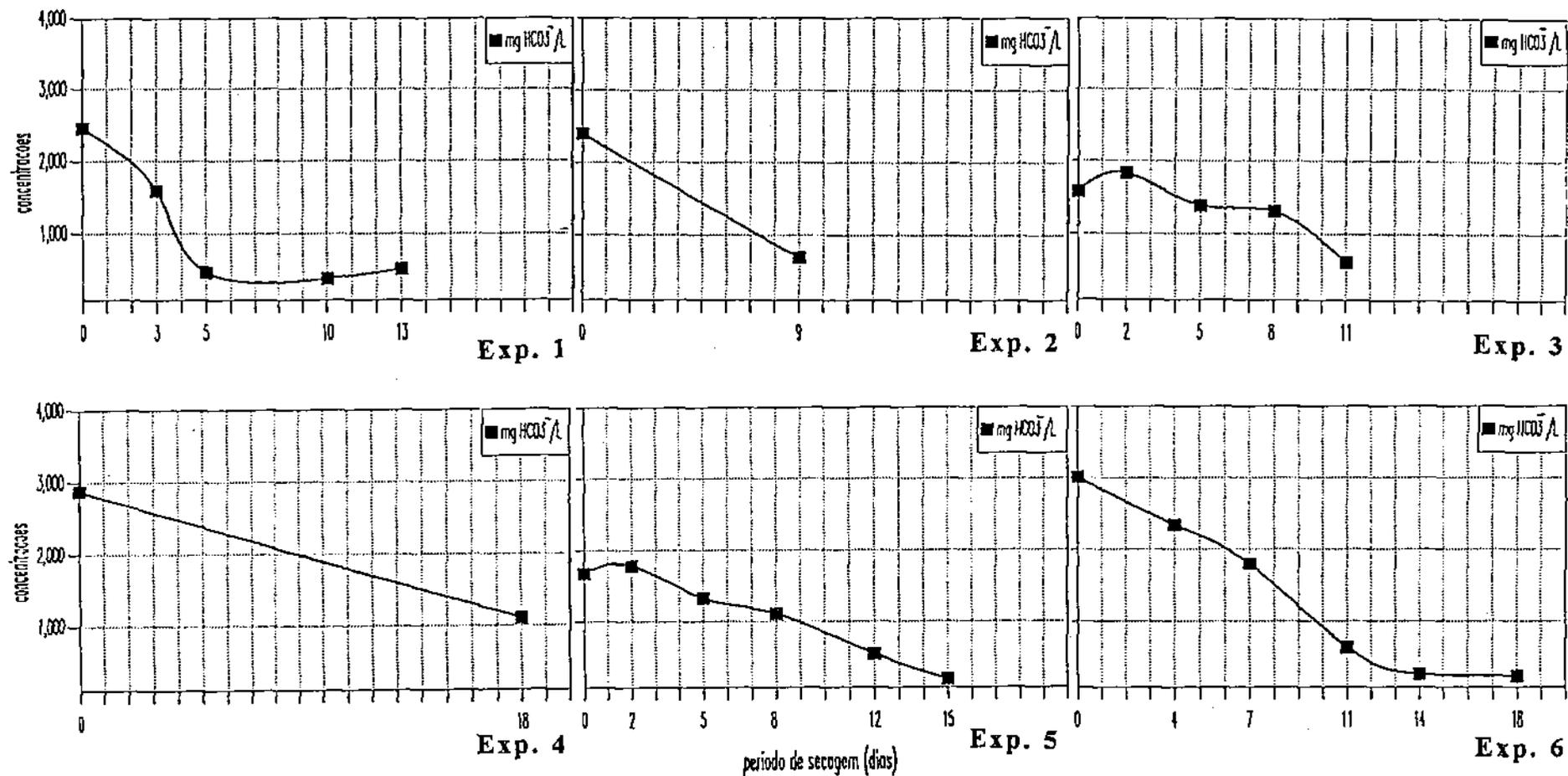


Figura 4.5 - Concentrações médias do íon bicarbonato (HCO_3^-) do lodo das seções 1,2 e 3 durante o processo de secagem nos seis experimentos realizados .

Tabela 4.11 - Resultado das análises físico-químicas no líquido drenado nos diversos períodos de secagem do lodo dos experimentos 01 e 02 realizados na ETE Cabanga - Recife (Pe) no período de março a outubro de 1993.

Número do Experimento	Período de Secagem ⁽¹⁾ (dias)	PARÂMETROS													
		Sólidos Totais (g/l)	S. Totais Fixos (g/l)	S. Totais Voláteis (g/l)	Nitrogênio Total (mg/l)	Amônia (mgN/l)	Fósforo Total (mg/l)	C.E. (mhos/cm)	SALINIDADE (mg/l)						
									Cl ⁻	Na ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	K ⁺	CO ₃ ⁼
01	t ₀	10,0	7,0	3,0	52,0	25,0	17,0	12,4	4118	2277	1050	467	341	117,3	0,0
	t ₃	ND	ND	ND	ND	ND	16,0	23,5	10721	7590	1088	837	438	133,4	0,0
02	t ₀	8,2	5,8	2,4	40,0	16,0	16,0	12,8	4651	5060	345	299	286	23,5	0,0
	t ₃	3,6	2,5	1,1	2,6	0,0	17,0	21,4	10224	11040	162	883	215	40,3	0,0
	t ₆	3,0	2,0	1,0	2,5	0,0	15,0	25,4	10889	11270	155	975	203	40,3	0,0

(ND): Não-determinado - O volume de líquido drenado foi insuficiente para a análise

(1): t₀, t₃, t₆ - períodos de secagem do lodo digerido e intervalos de coletas de líquido drenado.

As concentrações de ST no primeiro dia de secagem nos experimentos 01 e 02 apresentaram valores máximos de 10,0 e 8,2 g/l, respectivamente. Este resultado mostrou uma maior concentração inicial de sólidos totais no líquido drenado do experimento 01 do que no experimento 02 e foi associado às concentrações máxima e mínima de ST do lodo digerido dos experimentos 01 e 02, respectivamente. No entanto, não foi possível afirmar que ao longo do período de secagem este resultado tenha se repetido porque não foi possível a determinação deste parâmetro e suas frações no terceiro e sexto dias de secagem no experimento 01 devido a insuficiente quantidade de líquido drenado dos leitos. Ao longo do processo de secagem do lodo no experimento 02, ocorreram reduções nas concentrações de ST devido à percolação de uma menor quantidade de líquido drenado que favoreceu uma maior filtração por parte das camadas do leito. Dos ST, aproximadamente 70% representou a fração fixa em virtude da provável presença de partículas de areia provenientes das camadas do leito e da apreciável quantidade de sais resultantes da salinidade.

As concentrações de nitrogênio total apresentaram valores máximos no primeiro dia de secagem e corresponderam a 52 mg/l no experimento 01 e 40 mg/l no experimento 02. Esta última foi reduzida significativamente com a secagem e atingiu o valor mínimo de 2,5 mg/l. A fração amoniacal variou de 40 a 48% do nitrogênio total contido no líquido drenado no primeiro dia de secagem, nos experimentos 02 e 01, respectivamente. Já no segundo experimento, no terceiro e sexto dias de secagem, foi observada uma ausência de amônia no líquido drenado do lodo.

As concentrações de fósforo total no líquido drenado oscilaram entre 15 e 17,0 mg/l. Nos dois experimentos não foi observada redução na concentração de fósforo ao longo do período de secagem, e por isso é provável que a secagem não exerça influência sobre a quantidade de fósforo total do líquido drenado.

A C.E. do líquido drenado variou entre 12,4 e 25,4 mmhos/cm nos experimentos 01 e 02, respectivamente. Estes valores de C.E.

expressam uma elevada salinidade do líquido drenado proveniente do lodo digerido, uma vez que o valor máximo de C.E. do líquido drenado esteve associado ao valor máximo de C.E. do lodo digerido na amostra de descarga (experimento 02). Mais uma vez foi observado que os valores mínimo e máximo de C.E. estiveram associados às concentrações mínimas e máximas de cloreto (4.118 e 10.889 mg/l) e de sódio (2.277 e 11.270 mg/l), respectivamente. Ao longo do período de secagem foi observado um acréscimo nas concentrações desse íons, do magnésio e do potássio em virtude do acúmulo de sais no lodo provocado pelo processo de evaporação concentrando esses íons no líquido drenado. No entanto, as concentrações de bicarbonato e cálcio diminuíram com o processo de secagem. Os valores mínimo e máximo das concentrações dos íons magnésio, potássio, bicarbonato e cálcio foram inferiores às concentrações de cloreto e de sódio e variaram, respectivamente, entre 299 e 975 mg/l, 23,5 e 133,4, 155 e 1088 e 203 e 438 mg/l. O íon carbonato não foi verificado no líquido intersticial do lodo (líquido drenado) em nenhum dos dois experimentos.

5.0 - DISCUSSÃO

O tratamento de esgotos é de fundamental importância ambiental e para a saúde pública, pois permite reduzir a contaminação de águas superficiais como córregos, rios, lagoas e estuários e minimiza a disseminação de doenças de veiculação hídrica em populações que utilizam essas águas para fim de abastecimento, irrigação e recreação. Além disso, o tratamento de esgotos reduz consideravelmente a fração sólida sedimentável contida no esgoto bruto, que pode provocar o assoreamento desses corpos receptores. Na ETE Cabanga, essa fração sólida é removida do esgoto bruto afluente numa unidade de decantação primária através do processo de sedimentação, e é denominada de lodo bruto ou cru. Com o objetivo de reduzir o volume desse lodo, diminuir o número de organismos patogênicos e estabilizar a matéria orgânica presente, o lodo cru é submetido a um processo de digestão anaeróbia. O lodo digerido resultante é, então, desidratado em leitos de secagem onde ocorre uma redução considerável do seu volume através da percolação e evaporação da água intersticial.

Os volumes de esgoto bruto afluente a ETE Cabanga foram bastante influenciados pelas precipitações. Nos meses de maiores índices pluviométricos foram aduzidos à ETE os volumes máximos de esgoto bruto, devido à contribuição de águas pluviais na rede de esgoto. Contrariamente, o volume mínimo de esgoto foi verificado no mês menos chuvoso. Por sua vez, os volumes de lodo cru produzidos variaram em função dos volumes de esgoto bruto afluente à ETE e das características desse esgoto.

As frações de STV no lodo cru foram inferiores às citadas pela literatura, e após a digestão apresentaram discreto decréscimo dos valores iniciais devido à transformação de parte da matéria orgânica contida no lodo cru em gases como o metano e dióxido de carbono. No lodo digerido, essas concentrações variaram dentro dos limites estabelecidos pela literatura.

Entre os parâmetros determinados para caracterizar o lodo cru e digerido (líquido e seco) da ETE Cabanga, a concentração de ovos de helmintos (Ascaris lumbricoides e Trichuris trichiura) e a salinidade foram os que mais se destacaram porque permitiram avaliar a qualidade sanitária dos lodos gerados na ETE e as prováveis conseqüências da utilização agrícola do lodo final seco como fertilizante e condicionador do solo. Além desses parâmetros, as determinações do nitrogênio total no lodo digerido líquido revelaram valores inferiores ao citado pela literatura. Dessa forma, o lodo digerido seco gerado na ETE Cabanga, certamente, é de baixo valor fertilizante.

A elevada salinidade do lodo cru gerado na ETE Cabanga é oriunda do esgoto bruto afluente e está associada à infiltração da água do mar na rede de esgoto. Esta interferência da maré foi verificada por PINHO (1993) que, num trabalho de caracterização do esgoto bruto dessa ETE, detectou elevadas concentrações do íon cloreto. Durante o processo de decantação, grande parte dos sais contidos no esgoto se depositam junto com a massa de lodo cru e lhe confere a elevada salinidade. Essa salinidade foi repassada ao lodo digerido líquido que também se apresentou muito salino. Durante a secagem, a drenagem da água intersticial do lodo propicia uma pequena redução dessa salinidade devido ao carreamento de parte dos sais, porém a evaporação favorece o acúmulo desses sais na superfície do lodo. Dessa forma, o lodo seco final da ETE apresentou uma alta salinidade e o seu uso agrícola promove a redução da produtividade do solo e danos às culturas nele produzidas. Os íons cloreto e sódio são os mais tóxicos para as plantas e prejudicam o desenvolvimento de certas culturas que são sensíveis a esses íons, como as fruteira de caroços, especialmente os abacateiros e os cítricos. Segundo AYERS & WESTCOT (1985), o cloreto provoca sintomas como necroses e queimadura nas folhas das plantas. Por sua vez o sódio, em elevadas concentrações causa modificações estruturais no solo, tornando-o impermeável e dificultando a disponibilidade de água para as plantas (DAKER, 1976).

Além da elevada salinidade os lodos, cru e digerido, gerados na ETE Cabanga apresentaram elevados números de ovos de Ascaris lumbricoides e Trichuris trichiura. Esses ovos, originalmente presentes no esgoto bruto apresentam densidade maior do que um e por isso 80% são removidos no processo de decantação para um tempo de detenção de 1,5 horas (HÄNEL, 1988 apud IDE, 1994) e se depositam no fundo dos decantadores junto com os sólidos sedimentáveis que constituem o lodo cru. Após a digestão, os ovos desses helmintos passam a fazer parte do lodo digerido. Com relação aos ovos de Ascaris lumbricoides presentes no lodo digerido líquido, embora não tenha sido determinada a viabilidade desses ovos, sabe-se que a temperatura alcançada durante o processo de digestão anaeróbia não foi suficiente para destruir esses ovos, uma vez que TORPEY *et al.* (1984) apud IDE (1994) citam que seria necessário uma temperatura de 50°C mesmo por um período de exposição de apenas sessenta minutos. No entanto, a condição de anaerobiose dificulta o desenvolvimento dos ovos. Após a secagem, acredita-se que a grande parte dos ovos de A. lumbricoides presentes no lodo seco ainda estejam viáveis porque o tempo médio de quatorze dias e a temperatura máxima do ar de 31,5°C não propiciam a total destruição desses ovos, embora a exposição ao sol e a dessecação reduzam o tempo de sobrevivência. Dessa forma, a utilização agrícola do lodo seco final da ETE Cabanga não é recomendada para a maioria das culturas, especialmente em hortas e culturas de vegetais que sejam ingeridos crus. As elevadas concentrações desses ovos no lodo seco, além de restringir o uso agrícola, exige cuidados especiais na sua disposição final para não contaminar o meio ambiente e não colocar em risco a saúde das pessoas. Além desses cuidados, é necessária uma maior preocupação no manuseio desse lodo pelos funcionários da ETE no processo de retirada manual dos leitos de secagem.

O líquido drenado dos leitos de secagem da ETE Cabanga também apresentou elevada salinidade, e o seu retorno para o início da estação contribui para elevar ainda mais a salinidade do esgoto bruto afluente e conseqüentemente dos lodos gerados.

Na ETE Cabanga, o lodo seco final é doado a instituições públicas ou a particulares que o utilizam como recurso agrícola. No entanto, a elevada salinidade e o grande número de ovos de helmintos encontrados nesse lodo inviabilizam essa alternativa de disposição final. Para solucionar esse problema, seria necessário optar por outra forma de disposição final como, por exemplo, aterros sanitários ou incineração.

6 - CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos na caracterização dos lodos cru e digerido e do líquido drenado dos leitos de secagem da ETE Cabanga-Recife (PE), é possível concluir que:

- (a) as faixas de temperatura (29 - 30°C) e pH (6,8 - 7,2) do lodo cru produzido nos decantadores primários da ETE Cabanga apresentaram valores favoráveis ao processo subsequente de digestão anaeróbia;
- (b) o lodo cru apresentou a fração de STV variando entre 51 e 59%. Após a digestão anaeróbia, essa fração se reduziu à aproximadamente 50% devido à degradação biológica de parte da matéria orgânica presente no lodo cru. Ao longo do processo de secagem do lodo digerido essa fração variou entre 44 e 49%;
- (c) devido à infiltração das marés na rede de esgoto da ETE, o lodo cru apresentou elevada salinidade, que foi repassada posteriormente ao lodo digerido líquido e desidratado e ao líquido drenado dos leitos de secagem;
- (d) a elevada salinidade apresentada pelo lodo final seco da ETE Cabanga torna o seu uso agrícola inviável, uma vez que pode prejudicar o desenvolvimento de várias plantas;
- (e) o lodo cru e digerido (líquido e seco) apresentaram elevadas concentrações de ovos de A. lumbricoides e T. trichiura. Embora não tenha sido determinada a viabilidade desse ovos, a grande quantidade presente é um risco à saúde e é suficiente para inviabilizar o seu uso;

- (f) na ETE Cabanga o processo de secagem promoveu uma redução do teor de umidade do lodo de 90 - 91% para o valor médio final de 68% num período de secagem médio de quatorze dias. Esses resultados foram compatíveis com a literatura pesquisada;
- (g) embora o volume do líquido drenado dos leitos de secagem da ETE seja muito inferior ao volume do esgoto bruto afluyente à ETE, o retorno desse líquido drenado de elevada salinidade para o início da estação contribui para elevar ainda mais a salinidade do esgoto bruto afluyente e posteriormente dos lodos cru e digerido.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, J. C. C., SILVA, F. C., CHAGAS, J. M. & ALVIM, D. R. F. (1981). Lodo digerido como fonte de matéria orgânica e fertilização dos solos. Revista Engenharia Sanitária- V. 20 - nº 1 - pp. 93-96.
- ANDREOLI, C., SOUZA, M. L. P., COMIN, J. J., GIOPPO, P. J. & CASTILHO, D. S. B. (1994). Bases para o uso agrícola do lodo de esgoto da ETE Belém. Anais do 16º Seminário Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária (SILUBESA) - Florianópolis (SC) - Tomo VI - V. 8 - pp. 389-402.
- APHA - American Public Health Association (1989). Standard methods for the examination of water and wastewater. 17th ed. Washington, D. C.: American Public Health Association - 1477 p.
- AYERS, R. S. & WESTCOT, D. W. (1985). A qualidade da água na agricultura - Estudos FAO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 29 Revisado 1 - 218 p.
- AZEVEDO NETTO, J. M. (1977). Sistemas de Esgotos Sanitários - 2ª edição - CETESB - São Paulo - 417 p.
- BABBITT, H. E. & BAUMANN, E. R. (1958). Sewerage and sewage treatment - Eighth edition - John Wiley & Sons, Inc. - London - 790 p.
- BRADY, N. C. (1983). Natureza e propriedade dos solos - 6ª edição - Livraria Freitas Bastos - Rio de Janeiro - 647 p.

- CRUCIANI, D. E. (1986).** A drenagem na agricultura - 4ª edição - Editora Nobel - São Paulo - 337 p.
- DAKER, A. (1976).** A água na agricultura - Irrigação e Drenagem - 5ª edição - Livraria Freitas Bastos S.A. - 3º V - São Paulo - 453 p.
- DALTRO FILHO, J., NÓBREGA, C. C. & SOUZA, A. M. (1994).** Desidratação de lodo em leito de secagem na cidade de Aracaju (SE): Resultados preliminares - Anais do 16º Seminário Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária (SILUBESA) - Florianópolis (SC) Tomo VI - V. 13 - pp. 447-466.
- de OLIVEIRA, R. (1983).** Contribuição ao estudo de tanques sépticos - Dissertação de Mestrado - UFPB - Campus II - Campina Grande (PB) - 237 p.
- ECKENFELDER, W. W. (1970).** Water Quality Engineering for Practicing Engineers - Barnes & Noble, Inc., New York.
- EMBRAPA (1979).** Manual de métodos de análises de solo - Rio de Janeiro (RJ) - 120 p.
- EPA - Environmental Protection Agency (1975).** Air Pollution Aspects of Sludge Incineration - Technology Transfer Seminar Publication - United States of America - 15 p.
- GRANDIN, S. R., SOBRINHO, P. A. & GARCIA Jr., A. D. (1993).** Desidratação de lodos produzidos em estações de tratamento de águas - Anais do 17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) - Natal (RN) - Tomo II - V. 2 - pp. 235-332.

- HAMMER, M. J. (1979). Sistemas de abastecimento de águas e esgotos - Livros Técnicos e Científicos - Rio de Janeiro - 563 p.
- HARDENBERGH, W. A. & RODIE, E. B. (1960). Water supply and waste disposal - International Textbook Company - United States of America - 513 p.
- HARDENBERGH, W. A. (1964). Abastecimento e purificação da água - 3ª edição - USAID - Rio de Janeiro - 466 p.
- IDE, C. N. (1994). Eficiência da estabilização de lodo de ETEs com cal e ferrato (VI) de potássio - Tese de Doutorado - IPH - UFRS - Porto Alegre (RS) - 140 p.
- IMHOFF, K. & IMHOFF, K. R. (1986). Manual de tratamento de águas residuárias - 26ª edição - Editora Edgard Blücher Ltda - São Paulo - 301 p.
- JORDÃO, E. P. & PESSOA, C. A. (1975). Tratamento de esgotos domésticos - V. 1 - CETESB - São Paulo - 544 p.
- KAMIYAMA, H., ROCHA, D. A. & FERREIRA, R. (1988). Experiências numa ETE - Revista DAE - V. 48 - nº 152 - pp. 33-42.
- LACAVA, U. (1988). Em busca de uma solução ideal para o lixo - Revista Brasileira de Tecnologia - V. 19 - nº3 - pp. 32-33.

- LINSLEY, R. K. & FRANZINI, J. B. (1964). Water - Resources Engineering - Second edition - International Student Edition, McGraw-Hill, Inc. - 690 p.
- MACEDO FILHO, A. & BRANCO, Z. C. (1964). Água - Tratamento e qualidade - Livro Técnico S.A. - Rio de Janeiro - 465 p.
- MARA, D. D. (1976). Sewage Treatment in Hot Climates. Chichester: Jonh Wiley & Sons.
- METCALF & EDDY (1991). Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse - 3th edition - McGraw-Hill - New York-1334 p.
- MEYER, K. B., MILLER, K. D. & KANESHIRO, E. S. (1978). Recovery of Ascaris eggs from sludge. Journal of Parasitology, Vol. 64 - nº 2 - p. 380-383.
- MOLLE, F. & CADIÉ, E. (1992). Manual do pequeno açude - SUDENE/ ORSTON/ TAPI - 523 p.
- NÓBREGA, C. C. (1991). Estudo e avaliação de um método híbrido de aeração forçada para compostagem em leiras - Dissertação de Mestrado - UFPB - Campus II - Campina Grande (PB) - 115 p.
- PINHO, J. H. (1993). Desempenho operacional da ETE Cabanga - Recife (PE) - Dissertação de Mestrado - UFPB - Campus II - Campina Grande (PB) - 154 p.

SESP (1981). Manual de saneamento - 2ª edição - Rio de Janeiro-250 p.

SIMON, Z. & TEDESCO, M. J. (1993). Uma abordagem ampla sobre tratamento de resíduos semi-líquidos em solos agricultáveis - Anais do 17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) - Natal (RN) - Tomo IV - V. 2 - pp. 420-441.

SOUZA, A. B., de LUCA, S. J., IDE, C. N. & MONTEGGIA, L. O. (1993). Qualidade de lodos de ETEs - Anais do 17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) - Natal (RN) - Tomo I - V. 2 - pp. 290-303.

STEEL, E. W. (1966). Abastecimento d'água - Sistemas de esgotos - Livro Técnico S.A. - Rio de Janeiro - 866 p.

STENTIFORD, E. I. & PEREIRA NETTO, J. T. (1993). Compostagem de lodos de esgostos: Uma alternativa para os países industrializados - Anais do 17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) - Natal (RN) - Tomo III - V. 2 - pp. 167-181.

VAN HAANDEL, A. C. & LETTINGA., G. (1994). Tratamento anaeróbio de esgoto - Um manual para regiões de clima quente - Campina Grande - PB.