

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

EFICIÊNCIA DA ESTABILIZAÇÃO DE LODOS DE ETES COM CAL E
FERRATO(VI) DE POTÁSSIO

CARLOS NOBUYOSHI IDE

*Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a
obtenção do título de Doutor em Engenharia.*

Porto Alegre, Maio de 1994

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. Sérgio João de Luca da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho, e em especial:

ao professor Sérgio João de Luca, pela eficiente orientação desta pesquisa e incansável apoio e incentivo dispensado ao longo do curso e do trabalho.

ao Dr. Synval Guazzelli, uma particular apreciação e gratidão pelo incentivo à causas do Rio Grande do Sul.

à professora Maria Augusta de Luca, pelo carinho e ensinamento da síntese do ferrato(VI).

ao professor Luiz Fernando Cybis e à professora Carmen Castro, pela amizade, sugestões e apoio na correção desta tese.

aos professores do Setor de Saneamento Ambiental do IPH, pelas sugestões, idéias críticas e amizade.

à engenheira Ana Beatris Souza de Deus; ao hidrotécnico Alvaro Frantz; às técnicas em química Mara Domingues e Méri Zaneti; à auxiliar de laboratório Eva da Silva; e aos estagiários Augusto Azambuja, Daniel Pereira e Rafael Pinho, pela constante atenção, colaboração e companheirismo durante todo o trabalho.

à professora Hedy Hofmann, pelos trabalhos de tradução.

às bibliotecárias Jussara Silva, Jussara Barbieri e Elizabete Freire, pela eficiência, compreensão, apoio e boa vontade no atendimento.

aos professores e funcionários do IPH, Faculdade de Agronomia e Instituto de Química,

sempre solícitos.

à incansável secretária Lygia Campos, pela eficiência à frente da Secretaria do Curso de Pós-Graduação do IPH. Um exemplo de vida.

aos colegas do curso, em especial ao Alfredo Bauermann, Gilberto Möbus, José D'Amico e Olavo Pedrollo pela amizade e incentivo.

à Sr.^a Nita e seus funcionários, sempre atenciosos.

à Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN, Departamento Municipal de Água e Esgoto - PMPA-DMAE e à Indústria de beneficiamento de couro, que permitiram a coleta de lodos de suas ETEs.

à Universidade Federal do Mato Grosso do Sul e em especial aos colegas do Departamento de Hidráulica e Transportes e CCET, pela oportunidade de realizar este trabalho, aprovando e autorizando este programa de doutorado.

ao PICD-CAPEs, pela concessão da bolsa de estudo, e ao CNPq, pelo auxílio financeiro.

aos meus familiares e à minha sogra, que me substituíram na minha ausência.

Finalmente, gostaria de expressar o meu mais sincero agradecimento à minha esposa Margaré e aos meus filhos Carlos Frederico e Willian, pelo carinho, incentivo e paciência. A eles a minha mais profunda admiração e respeito.

RESUMO

Resultados da avaliação da eficiência da estabilização de lodos de ETEs, com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio são apresentados. Os efeitos da estabilização química sobre três diferentes tipos de lodo, (excesso de lodo ativado, ETE-SM, lodo anaeróbico de UASB, ETE-ESM e lodo de curtume, ETE-CUR), foram pesquisados através de um processo padrão (uso da cal) e um novo processo (uso do ferrato(VI) de potássio). Foram controladas as dosagens dos produtos químicos, o pH, a temperatura, o tempo de detenção e a resistência específica dos lodos para desaguamento.

Características como a DQO, COT e O&G, foram utilizados para avaliar a eficiência de oxidação e/ou remoção de compostos orgânicos dos lodos. A caracterização de elementos metálicos foi realizada para verificar se os mesmos, após os tratamentos, seriam lixiviados e solubilizados, de acordo com a norma brasileira e/ou atenderiam normas da EPA para disposição no solo.

Compostos nutrientes à base de nitrogênio, fósforo e enxofre, foram também caracterizados para avaliar a eficácia do processo em fixar tais nutrientes na matriz lodosa, enriquecendo-a para futuro uso agrícola. Compostos de N (NH_3) e S (H_2S) podem também ser utilizados como traçadores da contaminação atmosférica, por odores na manipulação de lodos tratados ou não, motivo pelo qual, também tiveram a sua remoção ou transformação avaliadas.

Finalmente, para a avaliação sanitária dos lodos brutos e tratados, foram analisados organismos indicadores, tais como, coliformes totais, coliformes fecais, estreptococos fecais, fungos e ovos de helmintos, de maneira a se verificar a eficiência quanto à higienização dos lodos testados.

Nos ensaios de estabilização com cal hidratada, verificou-se que são necessários valores iniciais de pH mais elevados que 12, para evitar que o pH decaia abaixo de 12 em 2 horas. O valor de pH aos 10 minutos, pode ser um bom indicador, para que se obtenham as condições recomendadas pelo processo padrão.

Foi necessária uma dose média de cal hidratada de 0,073 kg/kgPS no lodo da ETE-SM, 0,061 kg/kgPS no lodo da ETE-ESM e 0,240 kg/kgPS no lodo da ETE-CUR, para elevar o pH para maior que 12 em 2 horas. As diferentes doses de cal requeridas por cada lodo, deveram-se às características químicas de cada lodo, que tinham diferentes capacidade tampão. O comportamento do pH, durante o armazenamento, indica que o decaimento do pH é mais acentuado, quando as doses de cal são menores, provavelmente devido a uma

quantidade menor de alcalinidade residual.

Doses de 10 g/l, 15 g/l e 30 g/l de ferrato(VI) de potássio aplicados nos lodos, mostraram que a taxa de decaimento do pH ocorre, durante o armazenamento similarmente entre as dosagens. Nas doses mais elevadas as taxas de queda são menores.

A redução dos teores de O&G pode ter ocorrido pelo ambiente altamente alcalino, criado pela adição de cal e ferrato(VI). As eficiências conseguidas na remoção de O&G pelo tratamento com cal e com ferrato(VI), podem favorecer a disposição do lodo no solo.

A retenção de fósforo no lodo tratado com cal, foi maior do que a retenção obtida com uma dose similar de ferrato(VI) no lodo da ETE-ESM e ETE-CUR, e em menor grau no lodo da ETE-SM, onde provavelmente prevaleceu a ação do ferro.

No lodo estabilizado com cal e com o ferrato(VI), verificou-se redução nos teores de NTK e amônia, enquanto ocorreu um aumento das concentrações de nitrato, principalmente com a adição de ferrato(VI). A diminuição dos teores de NTK, indicaram perdas de nitrogênio para a atmosfera nos processos de estabilização, ocasionadas pela volatilização de amônia para a atmosfera.

A emissão de odores ofensivos, que são gerados durante o tratamento e manejo do lodo, foi reduzida a um nível aceitável com a estabilização com ferrato(VI) de potássio. O efeito sobre os compostos odoríficos indesejáveis no lodo foi imediato.

Verificou-se que o ferrato(VI) de potássio, reúne num só produto, os vários produtos químicos, comumente empregados nos métodos de controle de odores no tratamento do lodo. O ferrato(VI) produz elevação de pH, a remoção de sulfeto, através da formação de precipitados com várias formas de íons de ferro, a destruição de produtos odoríficos pelo poder oxidante, podendo transformar os sulfetos em sulfatos (8 níveis de oxidação), a aeração promovida pelo oxigênio liberado na decomposição e o duplo efeito desejável de transformação de amônia em nitrato (8 níveis de oxidação). Este produto pode tomar o lugar do sulfato, agir como um aceptor de elétron e, prevenir o desenvolvimento de substâncias odoríficas.

Os resultados dos testes de resistência específica à filtração, indicaram que a capacidade de desaguamento dos lodos pesquisados, variaram de acordo com o tipo de lodo e com os produtos químicos adicionados.

Verificou-se que a estabilização com cal e com ferrato(VI), nas doses utilizadas, não foram capazes de imobilizar adequadamente os metais, apesar de alguns se apresentarem em concentrações inferiores à do lodo bruto. Alguns metais tiveram a mobilidade favorecida, principalmente nos lodos tratados com ferrato(VI), provavelmente pela maior destruição de compostos que os complexam.

A estabilização química de lodos com cal hidratada ou com ferrato(VI) de potássio, pode promover remoções mais elevadas de coliforme fecal e estreptococo fecal do que a digestão aeróbia, digestão anaeróbia e a compostagem mesofílica.

Foram verificados recrescimentos de organismos, tais como, estreptococo fecal e fungos no lodo da ETE-SM tratado com cal, durante o armazenamento de 7 dias, demonstrando a necessidade de aplicar doses maiores de cal que a utilizada no processo padrão (pH > 12, 2 horas).

Os lodos estabilizados com ferrato(VI), não apresentaram recrescimentos de organismos, em relação aos valores médios, durante o armazenamento de 7 dias, com a eficiência aumentando com um tempo de contato mais longo. Verificou-se também, que não é preciso elevar o pH do lodo com ferrato(VI) de pelo menos 12 em 2 horas de contato, para se obter a mesma eficiência, ou até mesmo superior que o processo padrão de estabilização de lodo com cal hidratada. Portanto, o ferrato(VI) de potássio, se mostrou um eficiente desinfetante de lodo, reduzindo em poucas horas, a densidade de organismos indicadores e fungos. Tanto a cal hidratada, quanto o ferrato(VI) de potássio, não se mostraram muito eficientes na inativação de ovos de helmintos.

ABSTRACT

Results of the evaluation of Wastewater Treatment Plant (WTP) sludge stabilization efficiency, using lime and potassium ferrate(VI) are presented. The effects of chemical stabilization on three different types of sludge (excess activated sludge, WTP-SM, anaerobic sludge from a UASB reactor, WTP-ESM, and a tannery sludge, WTP-CUR, were researched using a standard process (lime) and a new process (potassium ferrate(VI)). The following were controlled: chemical doses, pH, temperature, retention time, and specific resistance of sludges to filtration.

Characteristics such as COD, TOC and O&G, were used to assess the effectiveness of oxidation and/or removal of organic compounds from the sludges. The metallic elements were monitored to find out whether, after treatment, they would be leached and solubilized according to the Brazilian standards and/or would be in accordance with EPA standards for land disposal.

Nitrogen, phosphorus and sulphur based nutrient compounds were also described to evaluate the effectiveness of the process in fixing these nutrients to the sludge matrix, enriching it for future agricultural use. Compounds of N (NH_3) and S (H_2S) can also be used as tracers of atmospheric contamination, by odors in the manipulation both of treated and untreated sludges, and therefore their removal or transformation were also assessed.

Finally, for the purpose of sanitary evaluation of raw and treated sludges, indicator organisms such as total coliforms, fecal coliforms, fecal streptococci, fungi and helminth eggs were analysed to look at their effectiveness in cleaning the sludges tested.

In stabilization tests using lime, it was found that initial pH values higher than 12 are required to prevent the pH from falling below the intended value within 2 hours. The pH value at 10 minutes may be a good indicator to achieve the conditions recommended by the standard EPA process. An average dose of lime of 0.073 kg/kgDW was required for the WTP-SM sludge, 0.061 kg/kgDW in the WTP-ESM sludge and 0.240 kg/kgDW in the WTP-CUR sludge, to raise the pH to higher than 12 in 2 hours. The different lime doses required by each sludge were due to their different chemical characteristics, which had different buffering capacities. The behavior of the pH during storage indicates that there is a more marked pH decay when the lime doses are

smaller, probably due to a smaller amount of residual alkalinity.

It was found that at doses of 10 g/l, 15 g/l and 30 g/l of potassium ferrate(VI) applied to the sludges, pH decay occurred at similar rates during storage. At higher doses the pH declined at a slower rate.

O&G content reduction may have been due to the highly alkaline environment created by adding lime and ferrate(VI). The efficiencies achieved in O&G removal by treatment with lime and ferrate(VI) may favor the land disposal of sludge.

Phosphorus retention in lime treated sludge was greater than at a similar dose of ferrate(VI) in the WTP-ESM and WTP-CUR sludge, and less in the WTP-SM sludge where the effect of iron probably prevailed.

Both in the sludge of WTP-ESM and WTP-CUR stabilized with lime and with ferrate(VI) a reduction of TKN and ammonia contents occurred, whereas the nitrate concentration increased, especially when ferrate(VI) was added. The reduction in TKN contents indicates nitrogen losses to the atmosphere during the stabilization processes, caused by the ammonia volatilized to the atmosphere.

The emission of offensive odors generated during the treatment and management of sludge was reduced to an acceptable level by stabilization with potassium ferrate(VI). There was an immediate effect on the undesirable odoriferous compounds in the sludge.

It was found that potassium ferrate(VI) gathers, in a single product, the different chemicals commonly employed in odor control methods for treating sludge. Ferrate(VI) raises the pH, removes sulfide by forming precipitates with several forms of iron ions, destroys odor products by means of oxidizing power, and can transform sulfites into sulfates (8 oxidation levels), promotes aeration by the oxygen released during decomposition, and has the desirable effect of transforming ammonia into nitrate (8 oxidation levels). This product can take the place of sulfate and act as an electron acceptor, preventing the development of odoriferous substances, by biological degradation.

The results of specific resistance tests to filtration indicated that the drainage capacity of sludges researched varied according to the type of sludge and the chemicals added.

It was found that stabilization with lime and ferrate(VI) in the doses used was not able to adequately immobilize the metals, although some were present at concentrations lower than raw sludge. The mobility of some metals was favored, especially in sludges treated with ferrate(VI), probably due to greater destruction of compounds which complexate them, such as organic matter.

The chemical stabilization of sludges with slaked lime or with potassium ferrate(VI), may promote higher removal rates of fecal coliforms and fecal streptococci than aerobic digestion, anaerobic digestion and mesophilic composting.

Regrowth of organisms such as fecal streptococci and fungi was found during the 7-day storage of WTP-SM sludge treated with lime, showing the need to apply larger doses of lime than those advised in the standard process (pH > 12, 2 hours).

The sludges which were stabilized with ferrate(VI) did not present any new growth of organisms, as compared with mean values, during the 7-day storage, and the effectiveness of disinfection increased with longer time of contact. It was also found that the sludge pH did not need to be raised with ferrate(VI) to at least 12 in 2 hours of contact to obtain the same or even higher effectiveness than that of the standard sludge stabilization process using lime. Thus potassium ferrate(VI) proved to be an efficient sludge disinfectant regarding indicator organisms and fungi. Both lime and potassium ferrate(VI) did not prove very effective in inactivating helminth eggs.

SUMÁRIO

	Página
APRESENTAÇÃO E AGRADECIMENTOS.	II
RESUMO.	IV
ABSTRACT.	VII
SUMÁRIO.	X
LISTA DE TABELAS.	XIII
LISTA DE FIGURAS.	XVI
LISTA DE ANEXOS.	XX
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.	XXIII
1. INTRODUÇÃO.	1
2. OBJETIVOS.	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.	3
3.1. Generalidades.	3
3.2. Quantidade de lodo.	4
3.3. Qualidade de lodo.	5
3.3.1. Caracterização física e química.	7
3.3.2. Metais no lodo.	10
3.3.3. Micropoluentes orgânicos.	13
3.3.4. Patógenos no lodo.	15
3.3.4.1. Microrganismos indicadores.	17
3.4. Lixiviabilidade do lodo.	24
3.5. Estabilização do lodo.	26
3.5.1. Processos preconizados pela EPA para a redução de patógenos do lodo.	27
3.5.2. Odores no lodo.	32
3.5.3. Estabilização química.	35
3.5.3.1. Estabilização com cal.	36
3.5.3.2. Critério de projeto do processo.	39
3.5.4. Estabilização com ferrato(VI).	42
3.5.4.1. Características do ferrato(VI).	43
3.5.4.2. Propriedade desinfetante do ferrato(VI).	44

	Página
3.5.4.3. Propriedades oxidantes e coagulantes do ferrato(VI).	46
3.6. Condicionamento do lodo.	50
3.6.1. Requisitos de cal para condicionamento do lodo.	52
3.7. Desaguamento do lodo.	54
3.8. Disposição do lodo.	55
3.9. Amostragem e análises de lodos.	56
4. METODOLOGIA.	58
4.1. Procedimentos.	58
4.2. Descrição das ETEs.	59
4.2.1. Lodo 1: ETE-SM.	59
4.2.2. LODO 2: ETE-ESM.	59
4.2.3. LODO 3: CUR.	60
4.3. Coleta de amostras.	60
4.4. Adensamento do lodo (no laboratório).	61
4.5. Armazenamento de amostras.	61
4.6. Laboratórios de apoio.	61
4.7. Análises.	62
4.7.1. Parâmetros.	62
4.8. Metodologia dos experimentos de tratamento do lodo.	66
4.8.1. Regime de mistura.	66
4.8.2. Lodo líquido sem tratamento (testemunho).	66
4.8.3. Lodo líquido mais cal.	66
4.8.4. Lodo líquido mais ferrato(VI) de potássio.	67
4.8.5. Armazenamento e manipulação da amostra.	67
4.9. Controle de qualidade.	68
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.	70
5.1. Doses de cal hidratada e ferrato(VI) de potássio.	71
5.2. Parâmetros físico-químicos.	77
5.2.1. Orgânicos.	80
5.2.2. Nutrientes.	83
5.2.3. Odores no lodo.	85
5.2.4. Resistência Específica à Filtração (REF).	88
5.3. Metais.	90

	Página
5.3.1. Testes de solubilização, lixiviação e mobilidade.	93
5.4. Microrganismos.	100
5.4.1. Lodo líquido não-tratado (lodo bruto).	104
5.4.2. Comportamento do lodo bruto com o armazenamento.	105
5.4.3. Performance dos processos de estabilização.	106
5.4.4. Comparação com outros métodos de estabilização.	107
5.4.5. Estabilização do lodo com cal hidratada (processo padrão).	108
5.4.6. Estabilização do lodo com ferrato(VI) de potássio.	110
6. CONCLUSÕES.	120
7. RECOMENDAÇÕES.	124
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	125
9. ANEXOS.	A1
ANEXO 1 Resultados dos ensaios.	A2
ANEXO 2 Métodos.	A26
A.1. Método para contagem total de ovos de helmintos em lodo de esgoto.	A27
A.2. Método para determinação de viabilidade de ovos de helmintos em lodos de esgotos.	A29
A.3. Teste de mobilidade de metais pesados nos lodos.	A30
A.4. Determinação da resistência específica à filtração de lodos.	A31

LISTA DE TABELAS

	página
Tabela 3.1. Influência dos processos de tratamento na produção de lodo.	5
Tabela 3.2. Características físico-químicas e biológicas do lodo da ETE-IAPI, Porto Alegre-RS.	8
Tabela 3.3. Composição média dos lodos provenientes de curtimento ao cromo e ao tanino.	9
Tabela 3.4. Concentrações médias (mg/kgPS) de metais pesados no lodo de esgoto de diversos países e de curtume.	12
Tabela 3.5. Concentrações limites de metais no lodo para a aplicação no solo.	13
Tabela 3.6. Valores limites para concentrações (mg/kgPS) de metais pesados em lodo para uso na agricultura.	14
Tabela 3.7. Tempo de exposição para a destruição de patógenos em lodos a diferentes temperaturas.	16
Tabela 3.8. Doenças e hospedeiros de maior importância devido a patógenos do esgoto.	18
Tabela 3.9. Densidade de organismos em lodos brutos (média geométrica de organismos por grama de peso seco).	19
Tabela 3.10. Contagens médias de microrganismos do lodo de reator UASB e no esgoto bruto.	20
Tabela 3.11. Características morfológicas de alguns ovos de helmintos.	21
Tabela 3.12. Efeitos dos processos de tratamento sobre ovos de parasitos.	23
Tabela 3.13. Inativação de bactérias por diferentes processos de estabili-	

	página
zação do lodo.	31
Tabela 3.14. Principais caracterfsticas de compostos formadores de odores no tratamento do lodo.	33
Tabela 3.15. Cal requerida para manter o pH do lodo em 12 por 30 minutos (Lebanon, Ohio).	41
Tabela 3.16. Concentração, pH, tempo e capacidade de desinfecção pelo ferrato(VI) de potássio e cloreto férrico.	46
Tabela 3.17. Potencial padrão de redução em soluções ácidas e básicas de diferentes agentes de oxidação a 25 °C.	47
Tabela 3.18. Constantes da velocidade de oxidação do ferrato(VI) de potássio em soluções seletivas.	48
Tabela 3.19. Valores caracterfsticos de Resistência Específica à filtração.	54
Tabela 4.1. Relação de parâmetros ffsicos e químicos de controle dos experimentos.	63
Tabela 4.2. Indicadores biológicos monitorados nos experimentos.	64
Tabela 4.3. Ensaio de controle dos experimentos.	64
Tabela 4.4. Unidades adotadas e condições das amostras.	65
Tabela 5.1. Contaminantes metálicos no ferrato(VI) de potássio e na cal hidratada.	70
Tabela 5.2. Valores médios e extremos de pH registrados aos 10 minutos, após o início do experimento.	71
Tabela 5.3. Massa de cal requerida para manter o pH do lodo maior que 12 por 2 horas.	72

	página
Tabela 5.4. Doses médias e valores extremos de ferrato(VI) de potássio, utilizados nos experimentos, em kg/kgPS.	74
Tabela 5.5. Médias e valores extremos das características físico-químicas do lodo bruto da ETE-SM, ETE-ESM e ETE-CUR.	78
Tabela 5.6. Valores médios das características físico-químicas do lodo da ETE-SM, tratados com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio após 24 horas.	79
Tabela 5.7. Valores médios das características físico-químicas do lodo da ETE-ESM, tratados com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio após 24 horas.	79
Tabela 5.8. Valores médios das características físico-químicas do lodo da ETE-CUR, tratados com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio após 24 horas.	80
Tabela 5.9. Concentrações médias e valores extremos de metais no lodo bruto da ETE-SM, ETE-ESM e ETE-CUR, em mg/kgPS.	91
Tabela 5.10. Padrões de lixiviação e de solubilização de metais e padrões de qualidade do lodo da EPA e DOE.	93
Tabela 5.11. Concentração média de metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade a pH 4 e pH 2, no lodo da ETE-SM.	95
Tabela 5.12. Concentração média de metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade a pH 4 e pH 2, no lodo da ETE-ESM.	96
Tabela 5.13. Concentração média de metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade a pH 4 e pH 2, no lodo da ETE-CUR.	97
Tabela 5.14. Variações físico-químicas ocorridas no lodo estabilizado com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.	99

	página
Tabela 5.15. Valores de médias geométricas de microrganismos do lodo da ETE-SM, da amostra bruta e das estabilizadas com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.	101
Tabela 5.16. Valores de médias geométricas de microrganismos do lodo da ETE-ESM, da amostra bruta e das estabilizadas com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.	102
Tabela 5.17. Valores de médias geométricas de microrganismos do lodo da ETE-CUR, da amostra bruta e das estabilizadas com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.	103
Tabela 5.18. Média geométrica das contagens e faixas de variação de microrganismos encontrados no lodo bruto da ETE-SM, ETE-ESM e ETE-CUR.	104
Tabela 5.19. Comparação da inativação de microrganismos pela estabilização com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio. Tempo de contato de 2 horas.	107
Tabela 5.20. Reduções médias de microrganismos em percentagens, nos lodos estabilizados com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio, 2 horas.	117
Tabela 5.21. Reduções médias de microrganismos em percentagens, nos lodos estabilizados com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio, 24 horas.	117
Tabela 5.22. Reduções médias de microrganismos em percentagens, nos lodos estabilizados com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio, 7 dias.	117

LISTA DE FIGURAS

	página
Figura 3.1. Agentes potencialmente perigosos e seus efeitos na saúde animal.	7
Figura 3.2. Decaimento de pH após a estabilização com cal por processo padrão. Dose de 9% a 16% de Ca(OH)_2 .	41
Figura 3.3. Visualização conceitual da distribuição de umidade do lodo.	51
Figura 5.1. Decaimento de pH durante o armazenamento, após a estabilização do lodo da ETE-SM com cal hidratada.	73
Figura 5.2. Decaimento de pH durante o armazenamento, após a estabilização do lodo da ETE-ESM com cal hidratada.	73
Figura 5.3. Decaimento de pH durante o armazenamento, após a estabilização do lodo da ETE-CUR com cal hidratada.	73
Figura 5.4. Variação de pH durante o armazenamento, após estabilização do lodo da ETE-SM com ferrato(VI) de potássio.	74
Figura 5.5. Variação de pH durante o armazenamento, após estabilização do lodo da ETE-ESM com ferrato(VI) de potássio.	75
Figura 5.6. Variação de pH durante o armazenamento, após estabilização do lodo da ETE-CUR com ferrato(VI) de potássio.	75
Figura 5.7. Comparação do decaimento de pH das amostras de lodo da ETE-SM, tratadas com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.	75
Figura 5.8. Comparação do decaimento de pH das amostras de lodo da ETE-ESM, tratadas com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.	76

	página
Figura 5.9. Comparação do decaimento de pH das amostras de lodo da ETE-CUR, tratadas com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.	76
Figura 5.10. Efeito da concentração de ferrato(VI) de potássio na remoção de O&G.	81
Figura 5.11. Efeito da concentração de ferrato(VI) de potássio na remoção de amônia-N.	86
Figura 5.12. Efeito da concentração de ferrato(VI) de potássio na remoção de sulfetos dissolvidos.	86
Figura 5.13. Variação da densidade de microrganismos do lodo da ETE-SM durante o armazenamento.	105
Figura 5.14. Variação da densidade de microrganismos do lodo da ETE-ESM durante o armazenamento.	106
Figura 5.15. Variação da densidade de microrganismos do lodo da ETE-CUR durante o armazenamento.	106
Figura 5.16. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-SM estabilizados com cal hidratada, durante o armazenamento.	108
Figura 5.17. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-ESM estabilizados com cal hidratada, durante o armazenamento.	109
Figura 5.18. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-CUR estabilizados com cal hidratada, durante o armazenamento.	110
Figura 5.19. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-SM estabilizados com 10 g/l de ferrato(VI) de potássio, durante o armazenamento.	111

	página
Figura 5.20. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-SM estabilizados com 15 g/l de ferrato(VI) de potássio, durante o armazenamento.	111
Figura 5.21. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-SM estabilizados com 30 g/l de ferrato(VI) de potássio, durante o armazenamento.	112
Figura 5.22. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-ESM estabilizados com 10 g/l de ferrato(VI) de potássio, durante o armazenamento.	113
Figura 5.23. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-ESM estabilizados com 15 g/l de ferrato(VI) de potássio, durante o armazenamento.	113
Figura 5.24. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-ESM estabilizados com 30 g/l de ferrato(VI) de potássio, durante o armazenamento.	113
Figura 5.25. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-CUR estabilizados com 10 g/l de ferrato(VI) de potássio, durante o armazenamento.	114
Figura 5.26. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-CUR estabilizados com 15 g/l de ferrato(VI) de potássio, durante o armazenamento.	115
Figura 5.27. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-CUR estabilizados com 30 g/l de ferrato(VI) de potássio, durante o armazenamento.	115

LISTA DE ANEXOS

	página
Tabela A.1. Doses individuais de cal hidratada e ferrato(VI) de potássio aplicados, kg/kgPS.	A3
Tabela A.2. Temperatura do ar registradas durante a pesquisa, em °C.	A3
Tabela A.3. pHs e temperaturas registradas durante o processo de estabilização.	A4
Tabela A.4. Características físico-químicas das amostras individuais do lodo da ETE-SM, tratados com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio.	A5
Tabela A.5. Características físico-químicas das amostras individuais do lodo da ETE-ESM, tratados com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio.	A6
Tabela A.6. Características físico-químicas das amostras individuais do lodo da ETE-CUR, tratados com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio.	A7
Tabela A.7. Concentrações de metal total e metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade, da amostra SM1 coletada em 3/5/1993.	A8
Tabela A.8. Concentrações de metal total e metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade, da amostra SM2 coletada em 9/8/1993.	A9
Tabela A.9. Concentrações de metal total e metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade, da amostra SM3 coletada em 27/9/1993.	A10

	página
Tabela A.10. Concentrações de metal total e metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade, da amostra ESM1 coletada em 12/4/1993.	A11
Tabela A.11. Concentrações de metal total e metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade, da amostra ESM2 coletada em 5/7/1993.	A12
Tabela A.12. Concentrações de metal total e metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade, da amostra ESM2 coletada em 13/9/1993.	A13
Tabela A.13. Concentrações de metal total e metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade, da amostra CUR1 coletada em 15/3/1993.	A14
Tabela A.14. Concentrações de metal total e metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade, da amostra CUR2 coletada em 14/6/1993.	A15
Tabela A.15. Concentrações de metal total e metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade, da amostra CUR3 coletada em 23/8/1993.	A16
Tabela A.16. Microrganismos encontrados no lodo bruto e estabilizado com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, da amostra SM1 coletada em 3/5/1993.	A17
Tabela A.17. Microrganismos encontrados no lodo bruto e estabilizado com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, da amostra SM2 coletada em 9/8/1993.	A18
Tabela A.18. Microrganismos encontrados no lodo bruto e estabilizado com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, da amostra SM3 coletada em 27/9/1993.	A19

	página
Tabela A.19. Microrganismos encontrados no lodo bruto e estabilizado com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, da amostra ESM1 coletada em 12/4/1993.	A20
Tabela A.20. Microrganismos encontrados no lodo bruto e estabilizado com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, da amostra ESM2 coletada em 5/7/1993.	A21
Tabela A.21. Microrganismos encontrados no lodo bruto e estabilizado com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, da amostra ESM3 coletada em 13/9/1993.	A22
Tabela A.22. Microrganismos encontrados no lodo bruto e estabilizado com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, da amostra CUR1 coletada em 15/3/1993.	A23
Tabela A.23. Microrganismos encontrados no lodo bruto e estabilizado com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, da amostra CUR2 coletada em 14/6/1993.	A24
Tabela A.24. Microrganismos encontrados no lodo bruto e estabilizado com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, da amostra CUR3 coletada em 23/8/1993.	A25
Figura A.1. Esquema do aparelho utilizado para a determinação da resistência específica à Filtração.	A32

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

- ETE-SM: Estação de Tratamento de Esgotos de Santa Maria, RS
ETE-ESM: Estação de Tratamento de Esgotos da Vila Esmeralda, Porto Alegre-RS
ETE-CUR: Estação de Tratamento de Esgotos de Curtume, Estância Velha-RS
SMn: n representa o número de coleta
ESMn: n representa o número de coleta
CURn: n representa o número de coleta
CH: Lodo tratado com cal hidratada
F1: Lodo tratado com ferrato(VI) de potássio, 10 g/l
F2: Lodo tratado com ferrato(VI) de potássio, 15 g/l
F3: Lodo tratado com ferrato(VI) de potássio, 30 g/l
EPA: Environmental Protection Agency, EUA
DOE: Department of Environment, Inglaterra
UASB: Anglicismo para Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
kg/kgPS: Concentração massa/massa em Peso Seco
NOH: Número de Ovos de Helmintos
UFP: Unidade Formadora de Placa
REF: Resistência Específica à Filtração

1. INTRODUÇÃO

O manejo e a disposição ambientalmente seguras de lodos de ETEs, é um problema ainda relativamente recente. As legislações que regulamentam o tratamento e a disposição de efluentes líquidos, tem sido discutidos há mais de 30 anos, mas o problema provocado pelo aumento da produção de lodo, resultante da necessidade e da melhoria dos processos de tratamento de esgoto, somente agora está sendo reconhecido.

A quantidade total de lodo de esgoto requerendo processamento, tem crescido consideravelmente no Brasil, e a tendência é de continuar até o fim do século. A disposição de lodo, um dos sub-produtos do tratamento de esgotos, é um problema sanitário e ambiental permanente em todos os países. Apenas, não é problema naqueles onde o esgoto não é tratado e, portanto, "ainda" não produzem lodo.

Qual a solução a ser adotada para a disposição do lodo, de modo seguro, e que não polua o meio ambiente, é a resposta procurada pela comunidade científica e legisladores em todo o mundo.

Na maioria das cidades brasileiras, o lodo não sofre beneficiamento. É simplesmente desidratado em leitos de secagem e removido a granel, particularmente por horticultores, gratuitamente, sem o devido cuidado, quanto a forma de aplicação e manejo. Ultimamente, a compostagem com restos vegetais tem sido tentada com algum sucesso.

Este trabalho, procurou verificar a possibilidade do uso do ferrato(VI), no condicionamento e estabilização de diversos tipos de lodos, de modo a torná-los seguros à disposição. Para efeito de comparação e avaliação da eficácia do ferrato(VI), foi realizada estabilização dos lodos com cal hidratada, que é um processo padrão, considerado pela EPA, como aquele que reduz significativamente os patógenos do lodo.

Comparando-se uma técnica conhecida e comprovada em vários países, com o uso de um oxidante forte como o ferrato(VI) de potássio, para condicionamento e estabilização de lodos, espera-se aumentar o conhecimento de produtos, mecanismos e processos que tornem a disposição final de lodos de ETEs mais sanitária e ambientalmente segura.

2. OBJETIVOS

A presente pesquisa comparou o nível de estabilização de lodos de ETEs, com cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e com ferrato(VI) de potássio (K_2FeO_4), sob condições controladas. ^{76 (?)}

Diferentes tipos de lodos foram investigados:

- Lodo de descarte de digestor anaeróbio (UASB);
- Lodo de excesso de lodo ativado;
- Lodo primário de curtume.

Os objetivos deste trabalho foram verificar:

- QUALIDADE QUÍMICA:** Para prevenir a contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas, através da avaliação dos níveis de parâmetros físico-químicos e metais pesados totais;
- QUALIDADE SANITÁRIA:** Para prevenir a expansão de doenças humanas, animais e plantas, através da investigação da destruição/inativação dos organismos, tais como: coliformes, estreptococos fecais, fungos e ovos de helmintos;
- QUALIDADE ESTÉTICA:** Para a definição de prática aceitável relacionada com odores e aspectos visuais de operações.

Também foram determinados ou verificados os parâmetros de controle em todos os estágios do processo, tais como: pH, temperatura, tempo de reação e dosagem de cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, ensaios de lixiviação, solubilização e mobilidade de metais.

Os resultados são expressos em termos de eficiência de remoção de compostos odoríferos, inativação de organismos patogênicos e estabilização de íons na matriz lodosa.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As pesquisas e o desenvolvimento relacionados ao tratamento e à disposição de lodos de esgoto, tem aumentado recentemente. Através da bibliografia, verifica-se que há também um grande incremento no conhecimento da taxa de produção, métodos de caracterização, técnicas de manejo e processamento, benefícios e riscos da utilização do lodo na agricultura e, ainda no comportamento do lodo no meio ambiente. "Os lodos diferem consideravelmente, de maneira que duas Estações de Tratamento de Esgotos, não produzem um lodo de mesmas características, de forma que, não há uma solução geral para todas as situações (BRUCE & DAVIS, 1989)".

A construção de um número cada vez maior de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) e as melhorias tecnológicas nas estações antigas, resultam no aumento da quantidade do lodo a ser tratado e disposto. Recentemente, uma grande porção de lodo de esgoto tem sido utilizada para propósitos agrícolas, mas, regulamentos são promulgados na maioria dos países, restringindo o uso do solo para disposição final. No Brasil, a possibilidade de lodos serem obrigados a ser dispostos como resíduos perigosos é uma realidade.

3.1. GENERALIDADES

A legislação final sobre lodo de esgoto da EPA, 40 CFR Parte 503, recentemente aprovado, define "lodo de esgoto" (biossólido) como resíduo sólido, semi-sólido ou líquido, gerado durante o tratamento de esgoto. O biossólido, inclui lodo de fossa séptica e espuma, sólidos removidos de processos de tratamento primário, secundário e avançado, e materiais derivados do lodo (EPA, 1989).

O lodo, portanto, uma consequência do tratamento de esgoto, é um importante problema, que vem sendo enfrentado pelos responsáveis por Estações de Tratamento de Esgotos. Contém todas as substâncias que tenham sido alteradas por processos físico-químicos ou biológicos. É uma mistura complexa de sólidos de origem biológica e mineral, que são removidos do esgoto (HAHN, 1987; GERBA & GOYAL, 1988). Com o uso indiscriminado de milhões de produtos químicos na sociedade moderna, é de se esperar que terminem no esgoto e, após o tratamento, estejam presentes no lodo.

Com o crescente número de instalações para o tratamento de esgoto, tanto doméstico como industrial, e o necessário incremento no grau de tratamento, aumentará a quantidade de lodo a ser tratado. A tarefa do tratamento de lodo e a sua disposição,

assumirá um significativo lugar no controle da qualidade ambiental (HAHN, 1987; MASON et al., 1992).

O lodo de esgoto, pode ser considerado um possível recurso para a agricultura, no que diz respeito a sua composição de nutrientes minerais. Entretanto, este recurso deve ser explorado com segurança, pois está inevitavelmente contaminado com produtos químicos nocivos. No caso de lodo de esgoto, os organismos patogênicos e os potencialmente patogênicos, também estão presentes, a menos que tais contaminantes sejam removidos durante o tratamento (MASON et al., 1992).

Há vários riscos associados com a utilização do lodo sobre os solos agriculturáveis. Eles podem ser considerados basicamente, como sendo de dois grupos: os temporários e os persistentes. Os riscos temporários incluem mau-odor, transferência de patógenos, contaminação de águas superficiais e subterrâneas com nitrogênio-nitrato, e fitotoxicidade, devido a sais solúveis e produtos da biodegradação tóxica do lodo, estabilizado inadequadamente. Estes riscos, desaparecem dentro de 1 ano, ou quando muito, em poucos anos após a aplicação do lodo. Os riscos persistentes, resultam do aumento da concentração de metais pesados e compostos orgânicos, produzidos industrialmente como os PCBs no solo. Estes riscos permanecem, após os efeitos dos riscos temporários terem desaparecidos. Tem-se estimado que a meia-vida de orgânicos persistentes como o PCB, no solo, é de cerca de 10 anos (FRIES apud WEBBER et al, 1984), enquanto que a maioria dos metais pesados é de cerca de 1000 anos (BOWEN apud WEBBER et al., 1984).

A seguir, serão apresentadas as características gerais, tanto de lodos de esgotos municipais, quanto o de curtumes. As técnicas comumente empregadas para a estabilização, condicionamento e desaguamento de lodos, e os resultados obtidos por diversos pesquisadores, serão relatados, e apresentado um resumo de algumas legislações. Uma especial atenção, será dedicada às propriedades do ferrato(VI), no tratamento da água e esgoto. Da pesquisa bibliográfica, não foi obtida qualquer citação com referência a utilização do ferrato(VI), na higienização e condicionamento de lodos.

3.2. QUANTIDADE DE LODO

A quantidade de lodo produzido no tratamento de esgoto, por habitante ou população equivalente, por unidade de tempo, é de fundamental importância no contexto dos problemas com o manejo e a disposição do lodo. O volume de lodo produzido é tanto

maior, quanto mais avançado, for o grau de tratamento. Em uma estação de tratamento primário, só se obtém lodo de sólidos sedimentáveis. Por meio de tratamento biológico, os sólidos suspensos não-sedimentáveis, e os dissolvidos, poderão ser transformados em lodos. Neste caso, parte da matéria orgânica, poderá ser eliminada por gaseificação ou digestão (IMHOFF & IMHOFF, 1986).

A influência do processo de tratamento na quantidade de lodo produzido pode ser visto na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Influência dos processos de tratamento na produção de lodo.

Processo	Influência
Adensamento	> 30% de redução
Estabilização Biológica	10 a 48% de redução
Estabilização Química	10 a 60% de aumento
Condicionamento Químico	> 12% de aumento
Condicionamento Térmico	alguma redução
Desaguamento	> 10% de redução
Incineração	> 80% de redução

Fonte: PUOLANNE, 1984.

3.3. QUALIDADE DO LODO

A qualidade do lodo produzido, varia de lugar para lugar, e de acordo o método de tratamento. Depende em grande parte do tipo da comunidade contribuinte, e/ou dos efluentes industriais, que podem formar uma porção significativa do esgoto combinado.

O lodo, pode ser obtido da precipitação física (tratamento primário), do tratamento biológico (lodo ativado, filtro biológico, digestores anaeróbios), e do tratamento físico-químico (precipitação química com cal, cloreto férrico ou sulfato de alumínio) do esgoto, exibindo grandes variações em suas propriedades, de acordo com a sua origem.

Devido a grande quantidade de matéria orgânica, com alto conteúdo coloidal e frações parecidas com gel, os lodos de esgotos, exibem comportamento pseudoplástico e tixotrópico. Este conhecimento é importante na determinação dos parâmetros de bombeamento, necessários no projeto de estações de tratamento (LOHMANN & GARBER, 1988).

A água é a maior constituinte em todos os lodos, uma vez que, um lodo considerado "seco", pode conter mais que 50% desse composto. Outros constituintes importantes, incluem compostos orgânicos carbonáceos (dissolvidos e suspensos), orgânicos tóxicos perigosos, patógenos, metais traços, nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) e outros micronutrientes (REED et al, 1988).

Muitos dos microrganismos patogênicos e não-patogênicos, derivados da fração sanitária do esgoto doméstico, acumulam-se no lodo resultante do processo de tratamento. Há também, a presença de metais pesados e de produtos químicos inorgânicos e orgânicos degradáveis e não-degradáveis, na maioria dos lodos (MASON et al., 1992). Os lodos de esgotos domésticos, representam o tipo menos contaminado, mas alguns metais pesados, detergentes e outros compostos orgânicos, estão sempre presentes. As espécies de organismos patogênicos presentes no lodo, são determinados basicamente pela saúde da população contribuinte, e não pode, em princípio, ser controlado (BRUCE & DAVIS, 1989). Por isso, a aplicação de lodo em solo produtivo, mesmo sendo considerado um dos métodos mais apropriados de disposição (de lodo), fazendo desse modo, uso de seu valor como um fertilizante e condicionador de solo, deve ser praticado com extremo critério. É necessária a remoção ou a imobilização de componentes químicos do lodo e eliminação de organismos patogênicos.

Os metais pesados no lodo, tendem a estar associados com sólidos suspensos, e sofrem partição no lodo durante o tratamento. Os lodos, normalmente, exibem concentração maior de metais pesados do que os solos. Conseqüentemente, deve haver preocupação com a utilização do lodo sobre o solo agrícola, aumentando a concentração de metais pesados, trazendo problemas as plantas e causando problemas de saúde aos homens e animais (WEBBER et al., 1984).

Os micropoluentes (PCBs, fenóis e pesticidas) lançados no solo, em área de pastagem, podem ser ingeridos por animais. Se dispostos em solo agrícola ou horticultura, podem contaminar as plantações e penetrar no lençol freático como resultado da infiltração da drenagem pluvial ou irrigação, e conseqüentemente, no aquífero, e também atingir os corpos d'água superficiais. Tudo isto pode entrar na cadeia alimentar (SOMMERS, 1980).

Os problemas mais importantes na saúde que resultam de cada categoria de patógenos e substâncias tóxicas são mostrados na Figura 3.1.

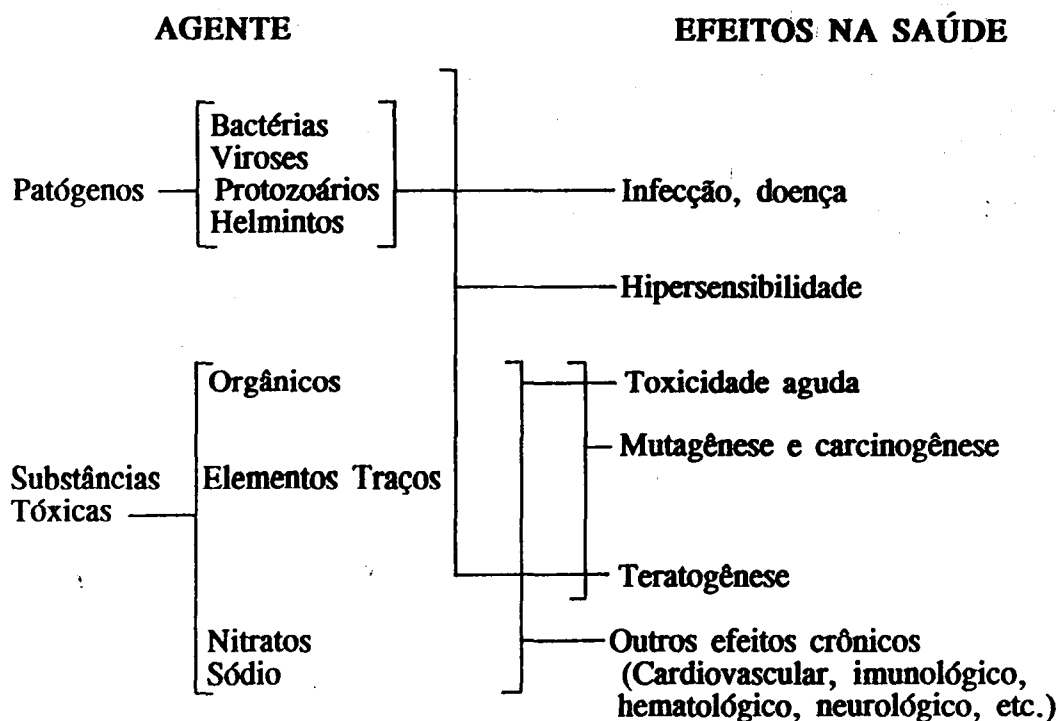


Figura 3.1. Agentes potencialmente perigosos e seus efeitos na saúde animal.
Fonte: WHO, 1989.

3.3.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA

O aspecto, a cor e o cheiro, freqüentemente, fornecem indícios do estado do lodo. O lodo urbano fresco é acinzentado ou amarelado, tem mau cheiro e seca com dificuldade. A água intersticial é turva e malcheirosa. O lodo digerido é preto (devido ao sulfeto de ferro) e tem cheiro de piche. O lodo estabilizado aerobiamente tem coloração tirante a marrom e cheira a terra (IMHOFF & IMHOFF, 1986).

A Tabela 3.2, apresenta as características físico-químicas e biológicas do lodo digerido e seco em leito de secagem da ETE-IAPI, Porto Alegre, Brasil, que possui duas unidades de decantação-digestão anaeróbia (Tipo Travis). Verifica-se, que apesar das características nutricionais para plantas, a qualidade biológica não recomenda o seu uso para o cultivo de legumes, hortaliças e frutas que tenham contato direto com o solo, devido a grande quantidade de organismos patogênicos. Outro inconveniente é a semente de pimentão, abóbora e tomate contidos no lodo, que brotam quando ocorrem condições propícias (DMAE, 1983).

Tabela 3.2. Características físico-químicas e biológicas do lodo da ETE-IAPI, Porto Alegre-RS.

Parâmetro	Valores médios
pH*	7,4
Alcalinidade total (mg/l)*	3760
Sólidos totais (%)	11,8
Sólidos fixos totais (%)	6,4
Sólidos voláteis totais (%)	5,4
DBO ₅ (mg/l O ₂)*	62,1
DQO (mg/gPS O ₂)	743
N total (mg/gPS N)	30,8
Fenol (mg/gPS Fenol)	0,065
Surfactantes (mg/gPS ABS + LAS)	1,63
Fosfato total (mg/gPS PO ₄)	31,2
Coliforme total (NMP/gPS)	3,7 x 10 ⁶
Coliforme fecal (NMP/gPS)	1,9 x 10 ⁶

*: Em base úmida

PS: Peso Seco

Fonte: DMAE, 1983.

O problema relacionado ao tratamento de efluentes de curtumes parece ser particularmente complexo. A produção de couro curtido requer uma série de passos de processamento que, por sua vez, produz uma série igualmente complexa de resíduos fortes (BERK, 1982; e CROATTO et al., 1982, apud SZPYRKOWICZ et al., 1991). A presença no esgoto de altos conteúdos de sulfetos, junto com uma carga muito alta de orgânicos e nitrogênio, requer um tratamento muito efetivo o que gera uma grande quantidade de lodos.

Segundo JOST, 1984, a quantidade de lodo primário produzido por curtumes é de aproximadamente 0,1 kg de lodo em termos de matéria seca por kg de pele. Como em média, cada pele pesa cerca de 30 kg, serão então gerados 3 kg de lodo primário por pele.

Segundo SELBACH et al., 1991, os lodos de curtumes apresentam a possibilidade de serem utilizados como corretivos da acidez dos solos, em função do seu valor de neutralização. Mas nas dosagens utilizadas no experimento realizado pelos autores, em casa de vegetação, com rabanete e sorgo granífero, a aplicação de 15 t/ha de lodo de cromo, mostrou-se excessivo, enquanto o de tanino, o máximo encontrado foi de 30 t/ha. As composições dos lodos utilizados por SELBACH et al., são apresentadas na Tabela 3.3. O cromo(VI) não foi detectado nos lodos utilizados, provavelmente, devido a presença de matéria orgânica, facilmente decomponível, que tem um duplo efeito em

impedir a formação desse cátion, tanto pela disponibilidade de elétrons na mineralização, como pela formação de compostos orgânicos, que geram complexos estáveis com Cr^{3+} .

Tabela 3.3. Composição média dos lodos provenientes de curtimento ao cromo e ao tanino.

Parâmetros	Lodo de Curtimento	
	Tanino	Cromo
pH	7,1	9,4
VN (%)	11	47
Sólidos Totais (%)	81	73
Carbono (%)	66	21
Enxofre (%)	1,35	1,47
Nitrogênio (mg/gPS)	50,4	31,0
Fósforo (mg/gPS)	2,1	2,0

VN: Valor de Neutralização

PS: Peso Seco

Fonte: SELBACH et al., 1991.

A composição do lodo de curtume, como pode ser observado na tabela acima, apresenta grande conteúdo calórico. O conteúdo calórico é uma função da umidade e composição dos elementos. O carbono, o hidrogênio e o enxofre, são considerados elementos combustíveis primários do lodo. Assim, os lodos que contenham grandes frações de combustíveis, tais como, graxa e espuma, tem alto conteúdo calórico, enquanto lodos que contenham grandes frações de materiais inertes, tais como grãos de areia ou precipitados químicos, tem baixo conteúdo calórico (GSCHWIND et al., 1992).

As fórmulas propostas por DULONG e outras equações empíricas, são utilizadas para a obtenção de conteúdo calórico de lodos (GSCHWIND et al., 1992). Dentre elas, a equação abaixo, relacionando o conteúdo calórico do lodo como uma função de sólidos voláteis, foi determinada correlacionando o conteúdo calórico de lodo de excesso de lodo ativado, lodos digeridos, lodos primários com cal, e lodos condicionados com sulfato de alumínio e cloreto férrico.

$$\text{BTU/lb} = 122 (\text{SV}) - 660$$

onde: (SV) - Percentagem de Sólidos Voláteis

O conteúdo calórico de lodos brutos, varia de 11,16 MJ/kg a 23,24 MJ/kg dependendo da matriz do lodo e conteúdo volátil, enquanto um lodo digerido tem um

conteúdo calórico variando de 5,81 MJ/kg a 12,78 MJ/kg (METCALF & EDDY, 1972 apud GSCHWIND et al., 1992). Para comparação, o valor combustível do carvão de alto grau, é de aproximadamente 32,54 MJ/kg (14000 BTU/lb), e de um subproduto, tal como óleo, é de 46,48 MJ/kg (20000 BTU/lb) (VESILIND, 1979, WEBER, 1972 apud GSCHWIND et al., 1992).

3.3.2. METAIS NO LODO

Os metais, em concentrações a nível de traços (abaixo de 0,01% com relação à massa de um corpo), são encontrados em todos os esgotos ou lodos. As atividades industriais e comerciais são as maiores fontes, mas os esgotos de residências também podem conter significantes concentrações de metais.

Uma grande percentagem de metais presentes no esgoto, acumulam-se nos lodos produzidos durante os processos de tratamento. O maior problema técnico com a aplicação do lodo no solo, são as altas concentrações de metais pesados. A presença destes tóxicos tem limitado severamente os possíveis usos dos lodos, uma vez, que podem ser lixiviados e entrar no ecossistema, na cadeia alimentar e, eventualmente, na população humana. Por isso, os metais são considerados parâmetros de controle de projeto para a aplicação do lodo no solo, por entidades ambientais internacionais.

Os metais pesados, podem originar-se da descarga de efluentes de uma grande variedade de indústrias, da drenagem de ruas (IDE, 1984), da infiltração, através de rachaduras dos sistemas coletores, da corrosão de tubulações, da população residente e da chuva (De LUCA et al., 1992). As altas concentrações de metais pesados nos lodos, são geralmente resultantes de descargas industriais. Os sistemas domésticos também podem proporcionar apreciáveis quantidades. Estas fontes domésticas de metais pesados, são de tal magnitude que mesmo eliminando os efluentes industriais, as concentrações dentro dos lodos, poderão ainda exceder os limites tolerados (WOZNIAK & HUANG, 1982). Um metal pesado em quantidades traço, pode ser essencial ao organismo, contribuindo para o seu crescimento, e pode, se ausente, parar o seu crescimento ou mesmo o seu ciclo de vida. Apesar disso, este metal pode tornar-se tóxico a concentrações 40 a 200 vezes maior do que o requerido para um balanço nutricional correto. A toxicidade do metal é variável e depende de sua forma: se é solúvel ou insolúvel; complexado ou não; e se complexado com "ligantes" minerais ou orgânicos. Um exemplo é o mercúrio, que é transformado por microrganismos para uma forma orgânica, como é o caso do metilmercúrio, que é então transportado para a cadeia alimentar (REGNIER et al., 1982).

O processo de tratamento do esgoto, também influencia a quantidade de metais nos lodos. O decantador primário, pode remover 5 a 50% da maioria dos metais presentes no esgoto bruto (GSCHWIND et al., 1992). Suas concentrações no lodo, se correlacionam principalmente com a fração sólida inorgânica, com exceção do níquel, que se apresenta na maior parte associado com sólidos orgânicos (STERRITT & LESTER, 1984). Estes autores verificaram que grande quantidade de metais, alguns predominantemente na forma solúvel, são removidos no tratamento secundário. O sistema de lodo ativado, pode remover entre 15 a 81% de metais (GSCHWIND et al., 1992). Na fase solúvel, a maioria dos metais são associados com ligantes orgânicos. Assim, as formas de metais nos lodos de esgotos, parecem consistir de sólidos inorgânicos estáveis, precipitados de metais mais insolúveis, espécies adsorvidas nas formas de complexos metal-polímero, moderadamente estáveis, e a um menor grau de complexos orgânicos solúveis. Poucas formas iônicas livres são encontradas (STERRITT & LESTER, 1984). Como resultado dos processos de tratamento, os metais afluentes, tornam-se parte da massa de lodo por: precipitação, na forma de sulfetos, óxidos e bicarbonatos; pela adsorção em óxidos hidratados; pela quelação pela fase sólida, e compostos orgânicos; ou pela partição em formas solúveis, entre efluente e lodo durante os processos de separação de sólidos (GSCHWIND et al., 1992).

Segundo ANGELIDIS & GIBBS, 1989, a matéria orgânica é a maior mantenedora de Cd, Cr, Cu, Pb e Zn no lodo. Particularmente, para Cu, Pb e Zn, a fase oxidável transporta mais de 85% do metal presente no lodo.

A Tabela 3.4, mostra uma comparação das concentrações de metais pesados em lodos de esgotos obtido por vários autores.

Da análise de metais no lodo da ETE-IAPI e, por exemplo, dos EUA e de curtume ao cromo, constantes na Tabela 3.4, verifica-se, que as concentrações relativas de metais são variáveis, dependendo da origem do lodo, não permitindo uma padronização de sua ocorrência e seguem a seguinte ordem:

Curtume: Ca > Mg > Cr > Fe > K > Pb > Cu > Cd
IAPI: Fe > K > Zn > Na > Pb > Cu > Cr > Cd
EUA: Ca > Fe > Mg = Na > K > Zn > Cr > Cu > Pb > Cd

Segundo HÄNEL et al., 1988, os metais pesados que são relevantes para a proteção ambiental incluem: cobre, cádmio, zinco, níquel, cromo, mercúrio e chumbo, e deveriam ser eliminados no ponto de origem e não simplesmente durante o processo de tratamento de esgoto.

Tabela 3.4. Concentrações médias (mg/kgPS) de metais pesados no lodo de esgotos domésticos e de curtume.

Elemento	Brasil		R. Unido ^c	Espanha ^d	Suíça ^e	Canadá ^f	EUA ^g	
	Curtume ^a							
	Tanino	Cromo						
Arsênico			34	20		3,68	7,5	
Boro	14	16		30			51	
Cádmio	1	12	0,75	20	5,6	13	4,6	22
Cálcio	86800	179000			84600	95000	44200	55000
Chumbo	23	120	520	400	1261	1200	194	200
Cobalto			42	15	8			
Cromo total	34	8040	37	400	288	200	191	660
Cobre	28	22	270	650	456	660	143	550
Ferro	3570	1410	15800		12164	14000	2550	16000
Fluor				250				
Magnésio	2100	14000			4300	16000	7520	5100
Manganês	2680	5430	330		133	300		630
Mercurio			10	5		5		7,7
Molibdênio				6				
Níquel	136	15	28	100	69	70	26,3	330
Potássio	1700	800	1650		2000	4600	1060	3300
Selênio				3				3,9
Sódio			630		1600	800	566	5100
Zinco			880	1500	2232	2000	420	1800

^a = SELBACH et al., 1991.

^b = DMAE, 1983.

^c = WEBBER et al., 1983.

^d = HALL & THOMPSON, 1989.

^e = SIEGRIST et al., 1989.

^f = GILLIES et al., 1989.

^g = CLEVINGER et al., 1983.

Os metais pesados, podem causar toxicidade, porém, as plantas e os animais toleram pequenas quantidades destes constituintes. Nem todos os metais pesados representam o mesmo perigo à cadeia alimentar. Alguns (Cr³⁺, Fe, Hg, Pb), são fortemente ligados ao solo ou retidos pelas raízes das plantas, e não são translocados em quantidades prejudiciais para as partes comestíveis, mesmo quando os solos são muito enriquecidos. Outros (Cd, Mo, Ni, Se, Zn,) são rapidamente absorvidos e translocados para os tecidos da planta. Embora um metal possa ser relativamente fácil de ser absorvido e translocado, a fitotoxicidade pode manter as concentrações nas plantas, abaixo dos níveis de segurança (As, B, Cu, Mn, Zn e possivelmente Ni). Quando um ou mais desses processos, mantém as concentrações de metais pesados em tecidos de plantas comestíveis, a níveis seguros a animais, a cadeia alimentar é dita estar protegida por uma "BARREIRA SOLO-PLANTA". Experiências, indicam que a barreira solo-planta é efetiva para metais pesados problemáticos do lodo de esgoto, exceto Cd, Mo, Se e possivelmente Co e Ni (WEBBER et al., 1984; WHO, 1989).

A Tabela 3.5, mostra as concentrações limites de metais no lodo para aplicação no solo, de acordo com os padrões recentemente promulgados pela EPA (40 CFR part 503 Regulations).

Tabela 3.5. Concentrações limites de metais no lodo para a aplicação no solo.

Elemento	Concentração máxima ^a (mg/kgPS)	Carga acumulativa de poluente (kg/ha)	Concentração de poluente de lodo "Alta Qualidade" ^b (mg/kgPS)	Taxa de carga anual de poluentes (kg/ha/ano)
Arsênico	75	41	41	2,0
Cádmio	85	39	39	1,9
Cromo	3000	3000	1200	150
Cobre	4300	1500	1500	75
Chumbo	840	300	300	15
Mercurio	57	17	17	0,85
Molibdênio	75	18	18	0,90
Níquel	420	420	420	21
Selênio	100	100	36	5,0
Zinco	7500	2800	2800	140

^a: Valores absolutos

^b: Médias mensais

Fonte: WEF, 1993

A Tabela 3.6, mostra as concentrações limites de metais no lodo de esgoto para uso agrícola, sugeridos pela Holanda até o ano 2000.

3.3.3. MICROPOLUENTES ORGÂNICOS

Este título, inclui um enorme número de compostos, tais como, os Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares (policíclicos), compostos organoclorados incluindo as Bifenilas Policloradas (PCBs), inseticidas, hidrocarbonetos clorados, compostos organofosforados e muitas formulações de pesticidas (DAVIS, 1983).

Os compostos orgânicos estáveis, também chamados orgânicos refratários, encontrados nos lodos, são muito resistentes a decomposição biológica. Alguns podem persistir no ambiente por consideráveis períodos de tempo e outros são tóxicos ou perigosos a baixas concentrações, requerendo um gerenciamento especial (REED et al., 1988).

Tabela 3.6. Valores limites para concentrações (mg/kgPS) de metais pesados em lodo para uso na agricultura.

Metal	Valores Limites		
	Anterior a 1 de janeiro de 1992	1992 - 1995	Proposto para 1995 - 2000
Arsênico	10	25	10
Cádmio	5	3,5	1,25
Chumbo	500	300	100
Cobre	600	425	75
Cromo	500	350	75
Mercúrio	5	3,5	0,75
Níquel	100	70	30
Zinco	2000	1400	300

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

Micropoluentes orgânicos podem ocorrer no esgoto bruto. A desinfecção com cloro ou ozônio, pode conduzir a um aumento no número de materiais mutagênicos presentes nestes efluentes, que podem se depositar nos lodos. JOLLEY et al., 1982, examinando os efeitos da desinfecção de esgoto por cloro, ozônio e da irradiação com luz ultravioleta (UV), nos constituintes orgânicos não-voláteis em nove ETEs dos EUA, identificaram 104 micropoluentes. Destes, setenta e oito constituintes, foram encontrados nas frações mutagênicas, e quarenta e nove, nas frações não-mutagênicas, dos quais, vinte e três foram também identificados nas frações mutagênicas. A ocorrência de micropoluentes orgânicos nos lodos é considerada menos ubíquas do que a dos metais (DAVIS, 1983).

McINTYRE et al. apud HULTMAN, 1982, investigaram a influência do condicionamento do lodo, do processo de desaguamento na distribuição de PCBs, e inseticidas organoclorados no lodo de esgoto de duas ETEs. O agente condicionante em uma ETE, foi o cloridrato de alumínio e na outra um polieletrólito orgânico. Os resultados, indicaram uma forte associação de PCBs, e inseticidas organoclorados com a matéria sólida do lodo de esgoto.

Segundo HULTMAN, 1982, é possível que os micropoluentes orgânicos sejam destruídos, se o lodo for condicionado pelo uso de produtos químicos que oxidam e hidrolisam o lodo. O uso de agentes oxidantes e floculantes, podem ser apropriados para o condicionamento de lodos e podem reduzir parcialmente o conteúdo de micropoluentes orgânicos. Segundo o autor, não há nenhum processo universal que possa remover todos os tipos de micropoluentes orgânicos. Para eliminar uma mistura de micropoluentes orgânicos, é necessária uma combinação de processos de tratamento. O

uso combinado de agentes oxidantes e floculantes, pode ser adequado para o condicionamento de lodos, e pode reduzir parcialmente os conteúdos de micropoluentes orgânicos do lodo.

Os resultados dos testes de AMES realizados por CLEVINGER et al., 1983, para verificar o potencial de mutagenicidade de lodos de 5 ETEs do Missouri-EUA, foram negativos. Entretanto, WEAVER et al. apud CLEVINGER et al., 1983., relataram resultados positivos para o lodo de Chicago. Isso, talvez seja, devido a concentrações de orgânicos, tais como, pesticidas organoclorados e PCBs, serem mais altas no lodo de Chicago do que de Missouri e serem provavelmente, a fonte desta mutagenicidade. Neste trabalho não será feito controle da presença de compostos orgânicos refratários e/ou sua remoção de lodos.

3.3.4. PATÓGENOS NO LODO

O lodo de esgoto, pode ser uma fonte de bactérias potencialmente patogênicas, viroses, helmintos, protozoários e fungos que podem iniciar infecções em hospedeiros susceptíveis.

Os organismos patogênicos, podem estar presentes no esgoto municipal provenientes de uma grande variedade de fontes, tais como, hospitais, descargas de sanitários, etc. O aumento do turismo, viagens ao exterior e o transporte internacional de animais, podem levar a um aumento de incidência de organismos causadores de doenças exóticas. O número e a variedade de patógenos presentes no esgoto dá uma indicação do estado de saúde da população (HÄNEL, 1988).

Quando da avaliação da eficiência do tratamento de lodo, a importância do residual de organismos patogênicos no lodo, tem sido em grande parte negligenciada. Além disso, quando eles são analisados, muito mais atenção é dada às bactérias do que a qualquer outra classe de organismos, apesar da importância de tais organismos como causadores de doenças. As bactérias, são os organismos mais facilmente quantificáveis. Por exemplo na Suíça, é a base para a legislação sobre o grau necessário de higienização requerido, antes da aplicação do lodo tratado no solo (MASON et al., 1992).

Conforme, pode-se ver na Tabela 3.7, a temperatura elevada é um dos mais efetivos meios de destruição de patógenos em lodos. A maioria dos patógenos são mesofílicos e, portanto, a exposição à temperatura elevada, pode causar uma grande variação de

diferentes efeitos, tais como, danos locais específicos, alterações, e mudanças metabólicas (MASON et al., 1992).

Tabela 3.7. Tempo de exposição para destruição de patógenos em lodos a diferentes temperaturas.

Microrganismos	Tempo de exposição em minutos e temperaturas em °C				
	50	55	60	65	70
Cistos de <i>Entamoeba histolytica</i>	5				
Ovos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	60	7			
<i>Brucella abortus</i>		60		3	
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>		45			4
<i>Salmonella typhi</i>			30		4
<i>Escherichia coli</i>			60		5
<i>Micrococcus pygogenes</i> var. <i>aureus</i>					20
<i>Mycobacterium tuberculosis</i> var.					20
Víroses					25

Fonte: TORPEY et al., 1984.

As bactérias, viroses e parasitos, associados ao lodo de esgotos, aplicados aos solos agrícolas, causam problemas potenciais de contaminação de plantas de superfície. Além disso, a aplicação de lodo no solo, pode disseminar ovos de parasitos viáveis ou outros patógenos, e assim representar um perigo a humanos e animais expostos (ARTHER et al., 1981; PAHREN et al., 1979).

Estudos tem mostrado que esgotos aerossolizados, podem transportar organismos patogênicos do local de pulverização, e foi concluído que, há um enorme potencial para o transporte de patógenos, quando o lodo é aplicado no solo de maneira que aumente a geração de aerossol (HARDING et al., 1980).

Os aerossóis também podem ser esperados, serem gerados durante a disposição do lodo no mar e pela ação das ondas ou atividades de dragagem. Bactérias e viroses, são concentradas durante a formação de aerossol, e podem ocorrer em concentrações 50-100 vezes maiores no ar sobrejacente, do que na água. O tempo, a que os patogênicos podem sobreviver nos aerossóis, ainda são desconhecidos (BRANCHARD & SUZDEK, 1970 apud GERBA & GOYAL, 1988).

Com o aumento de organismos exóticos em nosso meio, tais como, o Vírus da Imunodeficiência Humana - HIV, os esgotos sanitários e os seus sub-produtos, tornam-se ainda mais preocupantes. SLADE et al., 1989, trabalhando com HIV cultivado em célula T-humana, adicionado em amostras de água potável declorada, esgoto bruto decantado, e

água do mar, verificou que, para haver um declínio de 10 vezes na concentração de HIV, foram necessários 1,8 dias na água de torneira, 1,6 dias na água do mar, 2,9 dias no esgoto, e 1,3 dias no fluido de controle em cultura em tecido. Os testes realizados sugeriram que, embora o HIV fosse mais resistente que o vírus de *Herpes simplex*, quando associado com a matéria orgânica do esgoto, foi mais sensível que o poliovírus, um enterovírus, comumente utilizado como um indicador da eficiência dos processos de tratamento de água. Esta susceptibilidade torna extremamente pouco provável, que o HIV seja uma ameaça para o suprimento de água desinfetada. No entanto, há necessidade de estudos para avaliar o comportamento do HIV no lodo de esgoto, o que não foi realizado até o momento.

3.3.4.1. MICRORGANISMOS INDICADORES

Segundo o WPCF, 1986, não há organismos comumente aceitos para medir a eficiência de desinfecção do lodo. Os estudos de desinfecção tem usado seis grupos básicos de microrganismos para medir a eficiência: **ORGANISMOS INDICADORES DE ESGOTO:** Coliforme total, Coliforme fecal, e Estreptococo fecal; **BACTÉRIAS PATOGÊNICAS:** *Salmonella* sp, *Pseudomona* sp e *Shigella* sp; **ACTINOMICETOS:** *Mycobacterium* sp; **FUNGOS:** *Aspergillus fumigatus*; **VIROSES:** Bacteriófago, e Enterovírus; e **PARASITOS:** *Entamoeba histolytica*, *Ascaris lumbricoides*, e *Schistosoma* sp.

O espectro de diferentes espécies, pertencendo a cada um dos grupos presentes em um lodo, em particular, é dependente da localização geográfica, da saúde geral e dos hábitos sanitários da população geradora de esgoto, do qual o lodo é derivado. Os níveis de patógenos específicos em qualquer lodo tratado é uma função das condições do processo de tratamento empregado. As diferentes susceptibilidades, não somente entre os vários grupos de patógenos, mas também as espécies individuais, devem ser levados em conta (MASON et al., 1992).

A Tabela 3.8 mostra alguns patógenos que afetam a saúde animal e que podem ser encontrados no lodo de esgoto.

Tabela 3.8. Doenças e hospedeiros de maior importância devido a patógenos do esgoto.

Patógeno	Doença/Nome comum	Hospedeiro de maior importância
<i>Salmonella</i> sp	Enterite, tifoide, salmonelose	Animal domést. e selv., homem
<i>Mycobacterium</i> sp	Tuberculose	Animal doméstico, homem
<i>Brucella</i> sp	Brucelose	Animal doméstico, homem
<i>Escherichia coli</i>	Diarréia	Animal doméstico, homem
<i>Bacillus anthracis</i>	Antrax	Animal doméstico, homem
<i>Leptospira</i> sp	Leptospirose	Animal domést. e selv., homem
Reovírus	Possíveis doenças respir./entéricas	Animal domést. e selv., homem
Rotavírus	Diarréia	Animal domést. e selv., homem
<i>Taenia</i> sp	Teníase	Homem (hospedeiro definitivo) Gado, porco, homem (hospedeiro intermediário)
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Lombriga	Homem
<i>Trichuris trichiura</i>	Tricocéfalo	Homem
<i>Toxocara canis</i>	Lombriga do cão	Animal domést. e selv., homem
<i>Giardia lamblia</i>	Giardíase	Homem
<i>Enterobius vermicularis</i>	Oxíuros	Homem
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebíase	Homem

Fonte: THEIS & STORM, 1978; YEAGER, 1980.

No tratamento de esgoto, a bactéria e a maioria dos parasitos tendem a decantar com o lodo durante a sedimentação. As viroses, tendem a adsorver-se aos particulados encontrados no esgoto. Eles também terminam no lodo, quando estes particulados decantam (WPCF, 1986). A Tabela 3.9 mostra o nível de patógenos tipicamente associados com o lodo bruto.

De CARLI et al., 1989, com o objetivo de avaliar a prevalência das enteroparasitoses e das condições sócio-econômicas e sanitárias de uma população estudantil das vilas periféricas de Porto Alegre - RS, Brasil, verificaram que 68,90% estavam infectadas por uma ou mais espécies de parasitos intestinais. Das pessoas examinadas, 31,55% apresentaram apenas uma espécie de parasito, enquanto que o poliparasitismo representou 37,35%. O maior percentual geral obtido para nematódeos e cestódeos foi de 43,09% para *Trichuris trichiura* e, entre os protozoários, a *Giardia lamblia*, com 17,13%. As associações de parasitos mais freqüentes, em infecções por parasitos e helmintos e protozoários, foram *Ascaris lumbricoides* + *T. trichiura* com 29,85%, *T. trichiura* + *G. lamblia*, com 8,37%, e *Entamoeba coli* + *G. lamblia* com 2,02%. Esta é uma das razões de serem encontradas grandes concentrações desses patógenos no lodo.

Tabela 3.9. Densidade de organismos em lodos brutos (média geométrica de organismos/grama de Peso Seco).

Organismo	Primário	Secundário	Misto
Coliforme total	$1,2 \times 10^8$	$7,1 \times 10^8$	$1,1 \times 10^9$
Coliforme fecal	$2,0 \times 10^7$	$8,3 \times 10^6$	$1,9 \times 10^5$
Estreptococo fecal	$8,9 \times 10^5$	$1,7 \times 10^6$	$3,7 \times 10^6$
Bacteriófago	$1,3 \times 10^5$	NR	NR
<i>Salmonella</i> sp	$4,1 \times 10^2$	$8,8 \times 10^2$	$2,9 \times 10^2$
<i>Pseudomona aeruginosa</i>	$2,8 \times 10^3$	$1,1 \times 10^4$	$3,3 \times 10^3$
Ovos/cistos parasitos (total)	$2,1 \times 10^2$	NR	$5,0 \times 10^1$
<i>Ascaris</i> sp	$7,2 \times 10^2$	$1,4 \times 10^3$	$2,9 \times 10^2$
<i>Trichuris trichiura</i>	$1,0 \times 10^1$	$1,0 \times 10^1$	ND
<i>Trichuris vulpis</i>	$1,1 \times 10^2$	$1,0 \times 10^1$	$1,4 \times 10^2$
<i>Toxocara</i> sp	$2,4 \times 10^2$	$2,8 \times 10^2$	$1,3 \times 10^3$
<i>Hymenolepsis diminuta</i>	$6,0 \times 10^0$	$2,0 \times 10^1$	ND
Víroses entéricas ^a	$3,9 \times 10^2$	$3,2 \times 10^2$	$3,6 \times 10^{2b}$

NR: Dados não disponíveis

ND: Não detectados

^a : UFP/gPS = Unidade Formadora de Placa por grama de Peso Seco

^b : TCID₅₀ = 50% dose infecciosa em cultura em tecidos

Fonte: WPCF, 1986

O Coliforme total, Coliforme fecal e o Estreptococo fecal, são regularmente excretados de intestinos de mamíferos e seus números são relativamente constantes nos esgotos e no lodo bruto. Os patógenos, tais como, *Salmonella*, *Shigella*, viroses entéricas (tais como poliovírus, coxsackievírus, vírus da hepatite, e rotavírus) e parasitos (*Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, e *Entamoeba histolytica*), ocorrem no esgoto e lodo proporcionalmente à prevalência da infecção entre a população local. Então, as vantagens de enumeração de indicadores (coliformes e estreptococos), são relativamente constantes, e as técnicas de contagem, são relativamente simples. A contagem de patógenos proporciona uma melhor medida do risco de saúde, mas seus números podem flutuar de zero a vários milhares por grama de lodo. As técnicas de contagem de patógenos são geralmente caras, consomem tempo, e são difíceis de executar (WPCF, 1986).

GASI & ROSSIN, 1991, caracterizando microbiologicamente o lodo gerado em um reator UASB (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente), tratando esgotos domésticos, evidenciaram grandes concentrações de organismos patogênicos. Observaram a presença das bactérias indicadoras de poluição fecal (Coliformes totais e fecais, e Estreptococos fecais), de bactérias patogênicas (*Salmonella* sp e *Clostridium perfringens*), de indicadores da presença de vírus (colifagos), do protozoário *Entamoeba*

coli e de ovos de diversos helmintos, parasitos do homem e de animais. No caso de ovos de helmintos, GASI & ROSSIN, 1993a e GASI & ROSSIN, 1993b, observaram a tendência de se concentrarem nos lodos desses reatores. A Tabela 3.10, apresenta as médias geométricas das contagens de microrganismos no lodo de descarte de reator UASB, e no lodo bruto, bem como, a acumulação verificada no digestor por GASI & ROSSIN, 1991.

Tabela 3.10. Contagens médias de microrganismos do lodo de reator UASB e no esgoto bruto.

Organismo	Concentração Média		Fator de Acumulação*
	Esgoto	Lodo	
Coliforme total ^a	7,9 x 10 ⁷	3,0 x 10 ⁸	0,58
Coliforme fecal ^a	1,0 x 10 ⁷	1,1 x 10 ⁷	0,04
Estreptococo fecal ^a	2,0 x 10 ⁶	6,8 x 10 ⁶	0,53
<i>Clostridium perfringens</i> ^a	2,0 x 10 ⁴	5,4 x 10 ⁶	2,43
<i>Salmonella</i> ^a	3,1 x 10 ¹	ausente 75%	
Colifagos ^b	1,5 x 10 ⁵	5,1 x 10 ⁶	1,50
Ovos e larvas de helmintos ^c	5,0 x 10 ⁰	1,7 x 10 ²	1,53
Cistos de protozoários ^c	zero	8	

^a: NMP/100 ml; ^b: UFP/100 ml; ^c: Número/l

*: em unidades log₁₀: log (conc. lodo/conc. esgoto bruto)

Fonte: GASI & ROSSIN, 1991

Os helmintos são todos organismos metazoários, que apresentam a forma de verme, em qualquer período do seu desenvolvimento. Os helmintos intestinais, pertencem a três grupos: Nematódeos, Trematódeos e Cestódeos. A densidade de ovo de helminto é maior que 1 (um), portanto, cerca de 90% são eliminados no estágio de decantação primária, assumindo um tempo de detenção de 1,5 h. Os ovos de vermes, devido ao seu pequeno tamanho, decantam a uma taxa de 10-20 cm/h, de forma que, freqüentemente passam através do decantador primário. Portanto, um decantador secundário, suficientemente grande, e adequadamente projetado, conseguirá remover praticamente 100% dos ovos restantes (HÄNEL, 1988). A Tabela 3.11 mostra as características de alguns ovos de helmintos.

Os parasitos podem conservar a sua viabilidade e infectividade, tal que, os ovos (estágio resistente de vida livre) arrastados do estágio do decantador final, constituem um contínuo risco de infecção. Há pouco perigo para os funcionários de ETEs, uma vez que, quase todos os ovos, requerem um hospedeiro intermediário especial para o seu próprio desenvolvimento. Uma boa temperatura e um bom suprimento de oxigênio podem favorecer a incubação de ovos de *Ascaris* (a 15 °C ~ 30 dias, ou 35 °C ~

12 dias) (HÄNEL, 1988).

Tabela 3.11. Características morfológicas de alguns ovos de helmintos.

Helminto	Tamanho (μm) (comp. x largura)	Forma
<i>Ancylostoma duodenale</i>		Elipsóide
<i>Ascaris lumbricoides</i>	55 x 40	Oval ou elipsóide
<i>Enterobius vermicularis</i>	50-60 x 25-30	Oblongos, assimétrico, achatado de um lado e convexo do outro convexo do outro
<i>Shistosoma mansoni</i>	112-174 x 50-70	Ovalar
<i>Taenia saginata</i>	30-40	Ovóide ou subesférica
<i>Taenia solium</i>	30-40	Ovóide ou subesférica
<i>Trichocephalus trichiuris</i>	50 x 25	Alongado

Fonte: LITTON, 1975.

Há uma quantidade razoável de literatura sobre as concentrações de ovos de helmintos no esgoto e lodo. As grandes variações nas concentrações de ovos de helmintos, refletem os efeitos dos fatores sócio-culturais, climáticos, costumes sanitários, como também diferenças nas técnicas analíticas (STIEN & SCHWARTZBROD, 1990).

O tempo máximo de sobrevivência dos ovos de *Ascaris* é de 14 anos (KRASNONOS, 1978 apud STIEN & SCHWARTZBROD, 1990). A sobrevivência de ovos situados sob a superfície do solo é normalmente favorecida pelo frio, umidade e sombreamento do solo. A exposição ao sol e à dessecação, reduzem consideravelmente, o tempo de sobrevivência. No solo, a sobrevivência de ovos de helmintos, pode exceder o período de crescimento de plantas. A informação relacionada com a contaminação de vegetais por ovos de helmintos resultante do uso de esgoto ou lodo para fertilização, tem sido uma grande preocupação de parasitologistas da Rússia e no leste da Ásia.

Os estudos epidemiológicos revisados por SHUVAL et al., 1986 apud STEIN & SCHWARTZBROD, 1990, indicam que, quando o esgoto sem tratamento é utilizado para a irrigação de plantas, os nematódeos intestinais representam altos riscos, ao passo que há riscos bacterianos menores do que foi anteriormente suspeitado, e pequeno ou nenhum risco real com relação a vírus.

Os cistos de nematódeos da batata, *Globodera rostochiensis* e *G. pallida*, são provavelmente as mais importantes pestes de batatas no Reino Unido. Os nematódeos alimentam-se de raízes das plantas das batatas. Segundo SPAULL et al., 1989, há um

grande perigo de disseminação desta peste com a disposição de lodo de esgoto no solo. O Reino Unido não recomenda o uso de lodos de esgotos, mesmo tratado, sobre o solo semeado com batata.

Os técnicos agrícolas gaúchos estão preocupados com a possibilidade de as lavouras do Rio Grande do Sul sofrerem a incidência do cisto da soja, que espalha-se nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. A planta contaminada se apresenta pouco desenvolvida, amarelecida e com aspecto doente. Afirma-se que um dos mais importantes vetores de disseminação do fitoparasito é a semente de soja e de outras espécies hospedeiras do nematódeo, como feijão, fava e ervilha (Técnicos..., 1993). Além desses veículos, pode haver um grande risco de disseminação do cisto da soja pelo lodo de esgoto, como ocorre com o nematódeo da batata.

Segundo LEFTWICH et al., 1979, há muitas variáveis bióticas e abióticas influenciando o destino dos parasitos durante o tratamento. Em geral, estes parâmetros podem ser classificados em três categorias:

- 1) Químico (amônia, cloro, ácidos, etc);
- 2) Físico (temperatura, irradiação, conteúdo de umidade, etc);
- 3) Biológico (fungos, protozoários e outros invertebrados),

Muitos produtos químicos podem destruir parasitos, mas somente alguns produtos químicos, tem sido eficazes na destruição de ovos de parasitos altamente resistentes. Os mecanismos de destruição de ovos de parasitos, são por dissolução da membrana vitelina por solventes, por agentes ativos que danificam a superfície do ovo e, por gases nocivos penetrando, através da membrana vitelina. Os poucos produtos químicos que destroem efetivamente os ovos de *Ascaris*, são os gases nocivos cianeto de hidrogênio, amônia, monóxido de carbono e carbation (FARBAIRN, 1957, SOH & AHN, 1973, apud LEFTWICH et al., 1979). É importante enfatizar o fato de que formas iônicas de amônia e cianeto de hidrogênio não são tóxicas para ovos de *Ascaris*. A combinação de produtos químicos, que pode ser capaz de destruir os ovos de *Ascaris*, seria o sulfato ferroso (1-2%) e nitrito de sódio (0,1%); mas esta destruição foi observada somente com ovos de *Ascaris* do útero de vermes, e pode não ser válido para ovos de *Ascaris* encontrados em fezes (FARBAIRN, 1957 apud LEFTWICH et al., 1979). Ácidos, bases e oxidantes, são inúteis na destruição de ovos de *Ascaris*; e de fato, soluções ácidas e básicas (soluções de ácido sulfúrico e hidróxido de sódio), tem sido utilizado como meio para embrionar estes ovos. Finalmente, a influência dos níveis de oxigênio dissolvido, tem sido notado embrionar rapidamente ovos de *Ascaris*, sob condições aeróbias e, inibir a embrionação de ovos de *Ascaris*, sob condições anaeróbias (REYES et al., 1963 apud LEFTWICH et al., 1979).

Vários fatores físicos podem influenciar a viabilidade de ovos de *Ascaris*. Em geral, os ovos de *Ascaris* são resistentes à temperatura moderada. A influência do conteúdo de umidade é negligenciável até cair abaixo de 4%, a partir da qual há uma redução de 100% de ovos de *Ascaris*. A eficácia de outros processos físicos pode ser visto na Tabela 3.12.

Tabela 3.12. Efeitos dos processos de tratamento sobre ovos de parasitos.

Operação Unitária	Eficácia Relativa
PROCESSOS DE REMOÇÃO (Sem destruição da parasita)	
Decantadores (Primário e Secundário)	80% de remoção de <i>Ascaris</i> A remoção depende das condições de operação.
Flotação	>95% de remoção, mas depende do estágio do ovo e condições de operação
Filtro Biológico	38% de remoção. Promove desenvolvimento de ovos
PROCESSOS DE ESTABILIZAÇÃO (Afetando o estado do ovo)	
Digestores Anaeróbios	Retarda o desenvolvimento do ovo (aumento de destruição com o aumento da temperatura)
Digestores Aeróbios	Promove o desenvolvimento do ovo (aumenta a destruição com o aumento da temperatura)
Lodo Ativado	Promove o desenvolvimento do ovo
Aeração Estendida	Promove o desenvolvimento de ovo
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 à conteúdo de umidade <5%
Compostagem	100% eficaz se o material alcançar 60°C
Cloração de Rotina	Nenhum efeito
Ultrassom	Possível mas não eficaz sobre <i>Ascaris</i> à 300kHz e 150w
Radiação Gama	Não é 100% efetivo (depende do estágio do ovo)
Microondas	100% eficaz para lodo aquecido a 70°C
Amonificação	100% eficaz (depende da concentração de amônia e pH no lodo)

Fonte: LEFTWICH et al., 1979

Se os ovos estiverem embrionados, há organismos específicos que podem destruí-los por meios diretos ou indiretos. Cientistas russos tem notado que fungos são capazes de matar o embrião de *Ascaris*; *Cylindrocarpon radicolica* foi o fungo de maior sucesso. Este fungo foi capaz de infiltrar na membrana do ovo e matar o embrião (SOBENINA, 1978 apud LEFTWICH et al., 1979). Outros protozoários e invertebrados, podem matar

parasitos por meios indiretos. A primeira rota, é liberar enzimas que matarão estes ovos e a segunda, é por quebra física do ovo da parasita, geralmente por insetos (LEFTWICH et al., 1979).

Os fungos são organismos heterotróficos inferiores. Sua fórmula química simplificada, $C_{11}H_{17}O_6N$, mostra que sua demanda de nitrogênio é menor que a da bactéria. Embora as células de fungo sejam maiores do que as da bactéria, elas tem uma área superficial maior em relação ao seu volume. Uma grama de micélio de fungo, tem uma área superficial de $4,2 \text{ m}^2$, e uma bola de micélio ocupando somente 1 cm^3 , tem um comprimento total de fibra de 40 km (HÄNEL, 1988).

No lodo da ETE-IAPI de Porto Alegre - RS, foram registrados um máximo de $2,2 \times 10^5$ fungos/ml no lodo do decantador-digestor anaeróbio (Tipo Travis). Mais de 25 diferentes espécies de fungos, foram observados. *Penicillium*, *Mycelia sterilia*, leveduras e *Aspergillus*, foram os gêneros que mais ocorreram no lodo em digestão (DMAE, 1983).

3.4. LIXIVIABILIDADE DO LODO

Os ensaios de lixiviação e solubilização, são utilizados tanto para fins científicos, quando se pretende determinar o comportamento de uma substância em face dos fenômenos físico-químicos que ocorrem durante a percolação, como para caracterizar a periculosidade de um resíduo para efeito de seu controle (CETESB, 1982). No Brasil é adotada a NBR 10004/87, para classificação de resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que os resíduos possam ter manuseio e destinação adequados (ABNT, 1987a); a NBR 10005/87, que fixa as condições exigíveis para lixiviação de resíduos tendo em vista a sua classificação (ABNT, 1987b); e a NBR 10006, que fixa as condições exigíveis para diferenciar os resíduos da classe II (resíduos não-inertes) e III (resíduos inertes) (ABNT, 1987c).

Do ponto de vista ecológico, os conteúdos de metais pesados nos lodos, raras vezes são indicativos de seus efeitos, e não fornecem informações sobre a sua disponibilidade quando aplicados no solo. A determinação da fração disponível à planta, geralmente, é baseada nos procedimentos de extração, que diferem de acordo com as propriedades químicas da solução de extração, das modalidades de operação, do tipo de solo, do tipo de lodo e da natureza do elemento a ser determinado (COTTENIE et al., 1984).

Devido a complexidade dos mecanismos e reações em que metais pesados são envolvidos, isto é, as reações de dissolução precipitação, adsorção-desorção e complexação-decomplexação, a determinação de seu estado no lodo é muito difícil.

Várias soluções tem sido propostas para a extração de elementos traços, individualmente ou simultaneamente.

Um procedimento utilizado por COTTENIE et al., 1984, é baseado na determinação da mobilidade de elementos traços variando o pH do solo. O pH, é o parâmetro mais adequado, que torna possível induzir o deslocamento do equilíbrio existente, para a transferência de elementos de uma forma retida para a fase solução, num sistema solo-água. Quando uma suspensão solo-água é acidificada, um aumento da concentração de elementos na solução é observada, como uma consequência da desorção de cátions, dissolução de solo e decomposição de complexos organo-minerais.

A mobilidade de um elemento ou íon, é definida como a habilidade de se transferir de qualquer fase para a fase líquida do sistema (COTTENIE et al., 1984). É caracterizada pela determinação da fração móvel, que é a soma da quantidade de um elemento na fase líquida e uma quantidade que pode ser transferida para a fase líquida, pela mudança do pH do sistema. Neste contexto, pode-se distinguir mobilidade atual, que é uma fração solúvel móvel ao pH existente no lodo, correspondendo com o assim chamado, pelos agrônomos, de intensidade de nutriente no caso de elementos nutrientes; e a mobilidade potencial, que é uma fração que pode ser transferida da fase sólida para a líquida, sob influência das mudanças das condições físico-químicas, mais particularmente, pH. Então, a determinação analítica da mobilidade em função do pH, poderá ser um método melhor do que aqueles métodos que consistem de uma única extração, com algum agente extrator, como é o teste de lixiviação da ABNT.

Segundo TEDESCO & STAMMEL, 1986, a capacidade do solo para, reter, metais pesados, depende das propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas do solo e da composição química do lodo aplicado. Os mecanismos precisos de retenção de metais no solo, ainda não são totalmente conhecidos, existindo apenas generalizações, atualmente.

Um teste desenvolvido por JACOBS et al., 1990, denominado Teste de Extração Múltipla - TEM, possibilita simular 1000 anos de chuva ácida. Este teste consiste de uma extração do lodo, após submeter-se à digestão por 24 h a pH 5, seguido de 9 reextrações seqüenciais do resíduo sólido, em soluções originalmente a pH 3.

3.5. ESTABILIZAÇÃO DO LODO

Historicamente, os engenheiros projetistas, tem tido uma tendência para tratar efluentes considerando o lodo como uma questão secundária. Na realidade, tratar o lodo removendo-o do líquido, adensando-o, estabilizando-o, condicionando-o, desaguando-o, e finalmente dispendo-o de modo seguro é freqüentemente um difícil desafio, tanto tecnicamente como operacionalmente. Do ponto de vista de custos, a instalação, a operação e a manutenção relacionada com os lodos representam aproximadamente 50% do custo total de uma ETE (WPCF, 1985).

A estabilização do lodo é empregada, principalmente, para reduzir substancialmente a densidade de organismos patogênicos, e desse modo minimizar os riscos à saúde; para o controle de odores ofensivos; e para diminuir a possibilidade de decomposição posterior. O lodo a ser disposto sobre o solo deve ser inócuo a humanos, ser biologicamente inativo, ser livre de odores ofensivos, e ser esteticamente aceitável, além de quimicamente estável, de modo a não gerar fitotoxicidade e contaminação de recursos hídricos (EPA, 1978; WPCF, 1985; BRUCE et al., 1984; REED et al., 1988).

A estabilidade do lodo é geralmente associada à putrescibilidade, ou à tendência da matéria orgânica a biodegradar, portanto, conduzindo à produção de odor. É um passo importante do processo de tratamento de esgotos e influencia muitas características do lodo. Entretanto, as informações disponíveis na literatura sobre este assunto, não são muito abundantes e são bastante discordantes (LOTITO et al., 1991). Atualmente, tem sido propostos os termos sanitizado, higienizado, desinfetado e "seuchenhygienisch umbedenklich" (insuspeito do ponto de vista epidemiológico e higiênico) para se referir a lodo higienicamente seguro.

Duas principais formas de estabilização de lodo, tem sido utilizadas na prática, cada uma compreendendo uma variedade de métodos e técnicas. Os dois níveis de estabilização abaixo descritos, são reconhecidos pela EPA:

1. Estabilização Biológica

- Digestão anaeróbia
- Digestão aeróbia
- Compostagem

2. Estabilização Química

- Adição de cal ao lodo líquido
- Adição de cal à torta de lodo.

3.5.1. PROCESSOS PRECONIZADOS PELA EPA PARA REDUÇÃO DE PATÓGENOS NO LODO

A seguir são descritos os processos que a EPA apud WPCF, 1985, define como Processos que Reduzem Significativamente os Patógenos do Lodo, Processos que Reduzem Mais Patógenos e a indicação dos parâmetros típicos de operação de cada um.

a) PROCESSOS PARA REDUZIR SIGNIFICATIVAMENTE PATÓGENOS DO LODO (PRSP)

Os processos utilizados para reduzir significativamente os patógenos do lodo são:

-Digestão Aeróbia: O lodo é agitado com ar ou oxigênio para manter as condições aeróbias durante o tempo de detenção, variando de 60 dias a 15 °C ou 40 dias a 20 °C, com a redução de pelo menos 38% de sólidos voláteis;

-Secagem ao Ar: O lodo líquido é deixado drenar e secar, sobre leitos de secagem de areia, ou em bacias revestidas ou não, onde é depositado numa camada de aproximadamente 25 cm. É necessário um mínimo de 3 a 12 meses com temperatura média acima de 0 °C;

-Digestão Anaeróbia: A digestão é realizada na ausência de ar com tempo de detenção variando de 60 dias a 20 °C e de 15 dias com a temperatura entre 35 e 55 °C, com redução de sólidos voláteis de pelo menos 38%;

-Compostagem: Usando os métodos de compostagem (confinada, leira estática aerada, ou leiras), o resíduo sólido é mantido em condições mínimas de operação de 40 °C por 5 dias; por 4 horas deste período, a temperatura deve exceder 55 °C;

-Estabilização com Cal: Uma quantidade suficiente de cal é adicionada para produzir um pH de 12 após 2 horas de contato;

-Outros Métodos: Outros métodos ou condições de operação podem ser aceitáveis se patógenos e a atração de vetores pelos resíduos (sólidos voláteis) forem reduzidos, a um grau equivalente à eficiência obtida por qualquer um dos métodos citados acima.

b) PROCESSOS PARA REDUZIR MAIS PATÓGENOS DO LODO (PRMP)

Os seguintes processos são considerados como aqueles que reduzem mais patógenos:

-Compostagem: Usando o método de compostagem confinada, o lodo desaguado é mantido à condições de operação a 55 °C ou mais, por 3 dias. Usando o método de compostagem de leira estática aerada, o lodo desaguado deve ser mantido a 55 °C ou mais, por 3 dias. Usando o método de compostagem em leiras, o resíduo sólido atinge uma temperatura de 55 °C ou mais, por pelo menos 15 dias, durante o período de compostagem. Também, durante o período de alta temperatura, deverá haver um mínimo de 5 viragens das

leiras;

-Secagem Térmica: A torta de lodo desaguado é seca direta ou indiretamente com gases quentes, O conteúdo de umidade é reduzido a 10% ou menos. As partículas de lodo alcançam temperaturas maiores que 80 °C;

-Tratamento Térmico: O lodo líquido é aquecido à temperatura de 180 °C por 30 minutos;

-Digestão Aeróbia Termofílica: O lodo líquido é agitado com ar ou oxigênio para manter condições aeróbias em tempo de detenção de 10 dias 55-60 °C com uma redução de voláteis de pelo menos 38%; e

-Outros métodos: Outros métodos ou condições de operação, podem ser aceitos se os patógenos e a atração de vetores pelos resíduos (sólidos voláteis), forem reduzidos a um grau equivalente à eficiência obtida por qualquer um dos métodos descritos acima.

Qualquer um dos processos listados abaixo, se adicionado aos PRSP, reduzirá mais patógenos. Como os processos descritos a seguir, em sí, não reduzem a atração de vetores de doença, são apenas de natureza adicional:

-Irradiação de Raio Beta: O lodo é irradiado com raios beta de um acelerador, à dosagens de pelo menos 1,0 megarad em temperatura ambiente (cerca de 20 °C);

-Irradiação de Raio Gama: O lodo é irradiado com raios gama provenientes de certos isótopos, tais como, Cobalto e Césio-147, à dosagens de pelo menos 1,0 megarad em temperatura ambiente (cerca de 20 °C);

-Pasteurização: O lodo é mantido por pelo menos 30 minutos numa temperatura mínima de 70 °C; e

-Outros métodos: Outros métodos ou condições de operação podem ser aceitáveis, se os patógenos forem reduzidos a um grau equivalente à redução obtida por qualquer um dos métodos adicionais citados acima.

Em síntese, o primeiro grupo inclui a digestão anaeróbia e aeróbia, secagem ao ar (por 3 meses), estabilização com cal, e compostagem (40 °C, por 5 dias) como também outros métodos capazes de obterem os mesmos resultados. O segundo grupo inclui a secagem térmica, tratamento térmico, digestão aeróbia termofílica e compostagem a temperaturas mais elevadas e períodos mais longos do que no caso anterior. O critério básico do primeiro grupo é uma redução de 90% de patógenos presentes ou uma redução de 99% de Coliformes fecais. O segundo processo é utilizado quando for requerido um nível de estabilização mais alto no lodo.

Os propósitos dos padrões da "Part 503 Regulation" recentemente promulgada pela EPA é proteger a saúde humana e o meio ambiente, antecipando os efeitos adversos de poluentes, inclusive os organismos, no lodo de esgoto. Para minimizar o risco a saúde humana de organismos que possam causar doença, os padrões contém requisitos para

patógenos e características do lodo de esgoto que atraem vetores. Estes requisitos de redução de patógenos e atração de vetores, refere-se a lodo de esgoto que é usado ou disposto. O atual sistema de classificação é similar ao processo anterior de tratamento de patógenos que foram definidos como PRSP ou PRMP (WEF, 1993).

O regulamento contém duas classes (A e B) de redução de patógenos (BERTUCCI & SEDITA, 1992). Dois requisitos são apresentados para a classe A de lodo de esgoto. O primeiro requisito é que densidades de organismos patogênicos (*Salmonella* sp, bactéria, virose e ovos de helmintos) e coliforme fecal, no lodo de esgoto, estejam abaixo de nível específico. Os valores para estes organismos são:

-Deve haver no máximo três NMP por quatro gramas de sólidos totais (base seca) para *Salmonella* sp;

-Deve haver menos do que uma Unidade Formadora de Placa (UFP) por quatro gramas de sólidos totais (base seca) para viroses;

-Deve haver menos do que um por quatro gramas de sólidos totais (base seca) para ovos viáveis de helmintos; e

-Deve haver menos do que 1000 NMP por grama de sólidos totais (base seca) para coliforme fecal.

O segundo requisito é que este valor deve ser encontrado no monitoramento inicial e durante as verificações subseqüentes.

Para o lodo de esgoto ser classe B com respeito a patógenos, somente o valor do coliforme fecal deve ser menor que 2000000 NMP por grama de sólidos totais (base seca), para a média geométrica. Tipicamente, as densidades de *Salmonella* sp e viroses no lodo são reduzidos por um fator de pelo menos 10, quando no lodo de esgoto é encontrado o valor acima especificado para coliforme fecal. A densidade de ovo de helminto viável é muito pouco reduzida e além disso, alguns patógenos permanecem no lodo de esgoto, quando aquela densidade de coliforme é obtida. Por esta razão, o regulamento contém algumas restrições locais que devem ser obedecidas, quando um lodo de esgoto classe B é aplicado no solo. Estas restrições, incluem considerações sobre o crescimento de plantas alimentícias (forragens para animais consumidos por humanos). Se a parte colhível de uma planta alimentícia entrar em contato a mistura lodo de esgoto/solo e está totalmente acima da terra, não pode ser colhida antes de quatorze meses após a aplicação do lodo. Se a parte colhível estiver abaixo da terra, a planta só pode ser colhida trinta e oito meses após a aplicação do lodo de esgoto. Para plantas forrageiras o período não é longo. Podem ser colhidas trinta dias após o lodo de esgoto ser aplicado no solo.

O regulamento também restringe a pastagem de animais sobre o solo, onde o lodo de esgoto é aplicado por trinta dias após a aplicação de lodo de esgoto. Esta restrição aplica-se a animais da cadeia alimentar e os que não sejam. Estes estão incluídos, pois poderiam colocar humanos em contato com o lodo de esgoto. Um exemplo disso é a aplicação do lodo de esgoto nos locais de pastagem de cavalos.

Outra restrição é o acesso de público aos locais onde um lodo de esgoto classe B é aplicado. Esta restrição é diferente dependendo do local para exposição pública. O acesso aos locais de alto potencial para exposição pública (parques, campo de futebol, ou outra atividade recreacional), é restringido por um ano após o lodo de esgoto ser aplicado. Se o local tem baixo potencial para exposição pública (solo para propósito agrícola), o acesso a público ao local é restrito por trinta dias após a aplicação do lodo de esgoto.

Segundo LOTITO et al., 1991, a estabilização de lodos com produtos químicos pode ter algumas vantagens sobre os métodos biológicos em termos de custos de investimento, simplicidade de operação e efeito imediato. As desvantagens incluem maiores custos operacionais, a necessidade de controle cuidadoso e um efeito estabilizante temporário no caso da cal para elevar o pH do lodo a 12 e mantê-lo próximo a este nível por alguns dias.

A Tabela 3.13 resume a performance de diferentes processos de estabilização do lodo para a inativação de bactérias. Pode ser visto que a digestão anaeróbia, a digestão aeróbia, a compostagem e a estabilização com cal obtém pelo menos uma redução de 2 ordens de grandeza nos organismos indicadores, que corresponderiam a definição da EPA como de significativa redução de patógenos. A compostagem e a digestão aeróbia na temperatura termofílica podem conseguir reduções mais altas de organismos indicadores e, principalmente ovos de helmintos. A combinação da digestão aeróbia convencional e o armazenamento prolongado (>30 dias) pode também promover significativa redução de patógenos.

A digestão anaeróbia é um processo econômico e comumente utilizado para tornar o conteúdo orgânico do lodo imputrescível. Entretanto o lodo digerido resultante, ainda que um condicionador de solo valioso, não pode ser considerado seguro para uso sem restrição, complicando, desse modo o problema de disposição. Esse como os demais processos biológicos de estabilização de lodo podem permitir o recrescimento de bactérias patogênicas.

Tabela 3.13. Inativação de bactérias por diferentes processos de estabilização do lodo.

Processos	Redução log Coliforme fecal	Redução log Estreptococo fecal
DIGESTÃO ANAERÓBIA^a		
Média	1,84	1,48
Variação	1,44 a 2,33	1,1 a 1,94
DIGESTÃO AERÓBIA^b		
20 °C	1	1
30 e 40 °C	2	2
COMPOSTAGEM^c	≥ 4	2,9
ESTABILIZAÇÃO COM CAL		
Lodo primário bruto ^d (padrão)	5,1	2,4
Lodo primário bruto ^e (padrão)	3,8	3,3
Lodo ativado ^d	3,2	3,2
Lodo primário bruto ^f	5,1	2,4
Lodo condicionado com (Fe ³⁺) ^g	4,0	2,0
Lodo misto, 2% de sólidos ^h	7,2	3,4
Lodo misto, 4% de sólidos ^h	2,6	1,8
Filtrado à vácuo ^f	5,8	3,0
Torta + cal seco ^f	5,2	2,7

^a: Estudo em escala real, 14 a 15 dias de detenção, 35 °C

^b: Estudo em laboratório, 35 dias de detenção

^c: Estudo em escala real, 9 a 28 dias de detenção, 15 a 70 °C

^d: Estudo em escala real, pH elevado a 12,4, testado logo após o tratamento

^e: Estudo em laboratório, pH elevado a 12,5, testado logo após o tratamento

^f: Estudo em laborat., pH > 12, após 2 horas, testado 2 h após o tratamento

^g: Estudo em laborat., pH elevado a 12,5, testado 1/2 h após o tratamento

^h: Estudo em laboratório, pH elevado a 12,4, testado 1 h após o tratamento

Fonte: WESTPHAL & CHRISTENSEN, 1983.

O uso da desinfecção de lodos é ainda raro e, conseqüentemente, praticado somente em poucas oportunidades. A técnica mais popular de desinfecção adotada atualmente na África do Sul é a pasteurização, após a digestão anaeróbia convencional. Na pasteurização o lodo é submetido a uma temperatura de 70 °C por 30 minutos. Neste processo foi observado o recrescimento de enterobactérias, incluindo a Salmonela, durante o armazenamento, em números excedendo algumas vezes aqueles encontrados no lodo bruto original (MORRISSON, 1986). As razões exatas ainda não são conhecidas, mas é considerado que o tratamento térmico reduz o nível de competitividade da flora e quebra grandes moléculas orgânicas para compostos mais facilmente assimiláveis.

Outras técnicas, tais como, a irradiação de feixe de elétrons tem sido experimentadas no Japão. Uma irradiação de 2 kGy, segundo HASHIMOTO & HIRAOKA,

1990, é suficiente para destruir coliformes no lodo. Atualmente, métodos alternativos para redução de patógenos incluindo leito de juncos (REED BEDS) e vermistabilização tem sido estudados (REED et al., 1988).

3.5.2. ODORES NO LODO

Nas ETEs, as linhas de tratamento de esgotos geram odores incômodos. Os odores são principalmente causados por compostos sulfurosos (H_2S , mercaptanas, sulfetos orgânicos), compostos nitrosos (amônia e nitrogênio orgânico), ácidos, e compostos orgânicos como o aldeído e a cetona. As principais fontes de maus odores são os adensadores (H_2S , CH_3SH , NH_3), processamento térmico (H_2S , acetaldeído), desaguamento (H_2S , NH_3) e depósito (NH_3 se o lodo for estabilizado com cal). Os conteúdos de enxofre (mercaptanas, sulfetos orgânicos e dissulfetos e, acima de tudo ácido sulfídrico) representam a maioria das moléculas causadoras de odores encontrados em ETEs. Quando o esgoto ou o lodo chegam a septicidade, as bactérias anaeróbias reduzem os sulfetos a compostos orgânicos sulfurosos (aminoácidos, detergentes) e em seguida à ácido sulfídrico, que é a origem de odores desagradáveis (KIENOV, 1982; e BOWKER, 1985 apud BONNIN et al., 1990).

Os compostos nitrosos também podem ser fontes de odores incômodos. Eles são principalmente a amônia, as aminas e, em menor grau, o indol e o escatol. A amônia evapora da urina e da degradação biológica de proteínas e aminoácidos. A amônia também pode ser formada através da hidrólise de compostos nitrosos em instalações de armazenamento prolongado, e quando a temperatura for alta, por exemplo, nos adensadores. Comumente as aminas são subprodutos do metabolismo bacteriano de aminoácidos em condições anaeróbias (HARKNESS, 1980 apud BONNIN et al., 1990).

Outros compostos pertencendo à família de ácidos graxos voláteis, aldeídos, alcoóis e cetonas muitas vezes são responsáveis por odores. Estes compostos são subprodutos da fermentação de carboidratos, primeiro transformado em ácido (fase de acidificação) e então em álcool, aldeídos e cetonas. Segundo BONNIN et al., 1990, estes compostos podem ser encontrados na atmosfera de sistemas de tratamento de esgotos em circunstâncias, tais como: Fermentação de lodo fresco em adensadores; Digestão anaeróbia de esgotos ou lodos, que produzem ácidos graxos voláteis, aldeídos e cetonas; e tratamento térmico de lodo após digestão que causa desgaseificação de ácidos e aldeídos, anteriormente formados por qualquer processo biológico.

Na Tabela 3.14, são apresentados compostos que causam odores de diferentes

características de acordo com cada família química a que pertencem, o nível olfatável mínimo e o valor limite tolerável no ar.

Tabela 3.14. Principais características de compostos formadores de odores no tratamento do lodo.

Classe	Composto	Fórmula Química	Odor	Limiar Olfativo (mg/Nm ³ ar)	Limite Tolerável (mg/Nm ³ ar)
Sulfetos	Ácido sulfídrico	H ₂ S	Ovo podre	0,0001-0,03	14
	Metilmercaptana	CH ₃ SH	Repolho, alho	0,0005-0,08	1
	Etilmercaptana	C ₂ H ₅ SH	Repolho podre	0,001-0,03	1,25
	Dimetilsulfeto	(CH ₃) ₂ -S	Vegetal podre	0,0025-0,65	
	Diethylsulfeto	(C ₂ H ₅) ₂ -S	Éter	0,0045-0,31	
	Dimetildisulfeto	(C ₂ H ₅) ₂ -S ₂	Putrefação	0,003-0,014	
Nitrosos	Amônia	NH ₃	Muito penetrante, irritante	0,3537	18
	Metilamina	CH ₃ NH ₂	Peixe podre	0,021	
	Etilamina	C ₂ H ₅ -NH ₂	Amoníaco	0,05-0,83	
	Dimetilamina	(CH ₃) ₂ -NH	Peixe morto	0,047-0,16	
	Indol	C ₈ H ₆ -NH	Fezes, nausebundo	0,0006	18
	Escatol	C ₉ H ₈ -NH	Fezes, nausebundo	0,0008-0,1	
	Cadaverina	NH ₂ -(CH ₂) ₅ -NH ₂	Carne em decompos.		
Ácido	Acético	CH ₃ -COOH	Vinagre	0,025-6,5	25
	Butírico	C ₃ H ₇ -COOH	Rançoso	0,0004-3	
	Valérico	C ₄ H ₉ -COOH	Suor, transpiração	0,0008-1,3	
Aldeídos e	Formaldeído	H-CHO	Acre, sufocante	0,033-12	3
	Acetaldeído	CH-CHO	Fruta, maçã	0,04-1,8	
Cetonas	Butiraldeído	C ₃ H ₇ -CHO	Rançoso	0,013-15	
	Isobutiraldeído	(CH ₃) ₂ -CHCHO	Fruta	0,3	
	Isovaleraldeído	(CH ₃) ₂ -CH-CH ₂ CHO	Fruta, maçã	0,072	
	Acetona	CH ₃ -CO-CH ₃	Fruta, doce	1,1-240	
	Butanona	C ₂ H ₅ -CO-CH ₃	Maçã verde	0,03	

Fonte: BONNIN et al., 1990.

As concentrações de todos os compostos causadores de odores são fracas quando os lodos são estabilizados por digestão aeróbia. Por outro lado, a estabilização final com cal causa a desgaseificação considerável de amônia, a nível de 20,3 mg/m³ (BONNIN et al., 1990). Enquanto ocorre a liberação de amônia a altos valores de pH, sulfetos são mantidos na solução. Um dos maiores odores nas instalações de processamento do lodo, o sulfeto de hidrogênio, é essencialmente eliminado com o aumento do pH para níveis maiores que 9, pois é convertido para formas ionizadas não-voláteis (HAUG et al., 1992). Por isso, o odor de sulfeto de hidrogênio não é usualmente percebido no

processo de estabilização com cal. Entretanto, se por alguma razão ocorrer mudanças no pH do lodo a geração desse gás pode voltar a ocorrer.

As técnicas de controle de odores mais comumente usados no tratamento de lodo incluem: Ajuste de pH; Adição de sais metálicos; Adição de nitratos; e Adição de oxidantes químicos.

Vários compostos orgânicos, amônia e sulfeto de hidrogênio, que são as substâncias que causam maiores odores associados com o tratamento do lodo de esgoto, poderão ser controlados pelo ajuste de pH. A química da amônia é que em temperaturas normais, emitirão odores somente em pHs maiores que 7,0, com a emissão começando substancialmente em um pH maior que 9,5. O sulfeto de hidrogênio, por outro lado, não está significativamente presente no lodo, como um gás odorífero em pHs acima de 9,0, mas esta é a forma predominantemente do sulfeto em pHs abaixo de 6,5 (CALVANO et al., 1992).

O sulfeto de hidrogênio pode ser removido através da formação de precipitados com vários ions metálicos, tais como, ferro (férico ou ferroso) e zinco. O sulfeto dissolvido pode ser reduzido à cerca de 1mg/l, com a adição desses sais metálicos. Tem sido reportado que para propósitos de controle de odor, uma mistura de uma parte de íon ferroso e de duas partes de íon férico por peso de ferro é ótimo (WPCF, 1979 apud CALVANO et al., 1992). A reação é:



O produto final, Fe_3S_4 , é muito mais insolúvel que Fe_2S_3 (sulfeto férico). O uso de sais de zinco também pode ser eficaz. Os requisitos de dose estequiométrica são 1,32 mgFe ou 2,04 mgZn por grama de sulfeto a ser removido. Se condições redutoras ocorrerem, os sulfetos serão volatilizados (CALVANO et al., 1992).

Como muitas substâncias odoríferas, incluindo sulfeto de hidrogênio e vários orgânicos, são gerados quando há queda no suprimento de oxigênio, a aeração pode ser usada para manter o lodo em condições aeróbicas. Além disso, auxilia a manter o lodo uniforme no tanque. Entretanto, somente a aeração pode não ser adequada, uma vez que a amônia e muitos compostos orgânicos odoríferos podem ser formados via aeróbia como também por meios anaeróbios (CALVANO et al., 1992).

A adição de nitrato é um método químico para evitar que o lodo líquido torne-se anaeróbio. Nos processos anóxicos, um certo grupo de compostos orgânicos são aceptores

obrigatórios de elétrons, por meio do qual muitas das substâncias odoríficas são geradas. O sulfato torna-se um acceptor de elétron com a produção de sulfeto de hidrogênio sob condições sépticas. O nitrato, se presente, toma o lugar do sulfato, agindo como acceptor de elétrons, prevenindo o desenvolvimento de substâncias odoríficas. (CALVANO et al., 1992).

Os lodos também podem ser evitados de tornarem-se sépticos ou anaeróbios com a adição de oxidantes químicos, tais como cloro: peróxido de hidrogênio, permanganato de potássio, ozônio, etc. Além disso, algumas substâncias odoríficas também podem ser destruídas por estes produtos químicos através da oxidação (CALVANO et al., 1992).

3.5.3. ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA

A estabilização química do lodo de esgoto tem sido utilizada como uma alternativa a processos biológicos. É um processo que converte o lodo em um produto apropriado para recobrimento de aterros sanitários ou para aplicação no solo. Durante a estabilização química, ocorre uma série de reações químicas desconhecidas entre o lodo e o(s) produto(s) aplicado(s). O produto resultante, que é semelhante ao solo, é um sólido química, biológica e fisicamente estável. Tem baixo potencial para exalar odores, contém baixos níveis de patógenos e os metais presentes no lodo estão imobilizados (JACOBS & SILVER, 1990a; JACOBS & SILVER, 1990b).

Há muitos processos disponíveis para a desinfecção do lodo. Entretanto, não há um processo universalmente aceito, que seja ideal para a maioria das situações, como há para a desinfecção da água ou efluentes líquidos. A escassez de literatura neste assunto, indica que mais pesquisas e desenvolvimentos devem ser feitos para que a tecnologia de desinfecção de lodo seja igual àquela da água ou a do esgoto (WPCF, 1986).

Atualmente, os produtos químicos mais utilizados são o cloro e a cal. A estabilização do lodo com cloro não é comumente usado, no entanto, o uso da estabilização com cal tem crescido ultimamente.

O processo de estabilização com cloro possibilita reduzir a putrescibilidade e a concentração de patógenos. O tratamento com cloro, estabiliza o lodo pela redução do número de organismos e maus odores e, torna os substratos orgânicos menos adequados para o metabolismo e crescimento bacteriano. Este processo também tem sido usado para melhorar a desaguabilidade do lodo digerido. Os lodos estabilizados com cloro

apresentam coloração amarelada, pouco odor, estéril, e são geralmente fáceis de desaguar mecanicamente ou em leitos de secagens (WPCF, 1986).

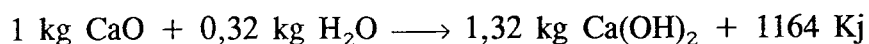
O lodo estabilizado com cloro tem sido usado como um condicionador de solo. Entretanto, o seu uso, tanto em solo agrícola como em aterros sanitários, causam problemas devido a sua alta acidez, ao alto conteúdo de cloreto, e ao potencial para liberar hidrocarbonetos clorados (trihalometanos) e metais pesados. Os lodos estabilizados com cloro são corrosivos a menos que o pH seja ajustado (WPCF, 1986).

3.5.3.1. ESTABILIZAÇÃO COM CAL

A cal, por ser um produto alcalino forte e normalmente de preço reduzido, é utilizada em diversas atividades relacionadas com a preservação das condições sanitárias e da higiene nas grandes e pequenas comunidades. Com a alcalinidade que transmite ao meio em que é adicionada, a maioria dos microrganismos não encontram um ambiente adequado para o seu crescimento e sobrevivência e, assim, o lodo fica desinfetado e livre de maus odores. Pelo que se conhece, esta técnica era conhecida e utilizada pelos antigos egípcios. Os efeitos bactericidas da cal sobre as formas vegetativas de bactérias são conhecidos.

Na estabilização do lodo, a cal é usada na forma de CaO ou Ca(OH)_2 , dependendo do efeito procurado. O CaO reage com a água do lodo, gerando calor, com temperaturas entre 55 a 70 °C, devida à reação exotérmica do óxido de cálcio com a água disponível no lodo, por mais de 24 h, dependendo do isolamento do recipiente utilizado no armazenamento do lodo. Estas condições parecem-se com o processo de pasteurização em que, em cerca de 30 min, os organismos patogênicos são inativados (STRAUCH, 1984).

O CaO combinado com a água do lodo gera calor e se transforma em Ca(OH)_2 . Um grande aumento de conteúdo de matéria seca é obtido, pois 1 kg de cal virgem resulta em 1,32 kg de cal hidratada (STRAUCH, 1984).



A cal hidratada em concentrações suficientes mas sem a emissão de calor, pode conseguir a destruição de patógenos somente pelo alto valor de pH (STRAUCH, 1984).

A cal comercial utilizada é geralmente fornecida com as especificações mostradas a seguir (BULHÕES et al., 1989).

Cal Virgem

- Óxido de cálcio - mínimo 90% de CaO
- Material insolúvel - máximo 5%
- Granulometria - nenhum material retido na malha 3/4 e não mais de 15% passando na malha 100
- Teste de extinção - alta reatividade

Cal Hidratada

- Hidróxido de cálcio - mínimo 91% Ca(OH)₂
- Material insolúvel - máximo 1%
- Granulometria - máximo de 2% retido na malha 100

Durante a estocagem, tanto a cal virgem como a hidratada, podem reagir com o CO₂ atmosférico para formar uma camada superficial de carbonato de cálcio, tornando a cal menos reativa e, portanto, menos efetiva na elevação do pH. Além disso, a cal virgem reage prontamente com a umidade do ar causando empedramento. A cal virgem é disponível no mercado brasileiro, em sacos ou à granel. A cal hidratada pode ser estocada por 1 ano sem que haja sérias reações com o CO₂ atmosférico. A cal virgem deteriora mais rapidamente que a hidratada, não sendo recomendado o armazenamento por períodos maiores do que 3 a 6 meses (WPCF, 1986).

A estabilização com cal é um processo muito simples. Essencialmente, o pH do lodo é aumentado pela adição da cal e é proporcionado um tempo de contato adequado. As características químicas e físicas do lodo também são alteradas pelas reações que ocorrem. A química do processo não é bem entendida, embora seja aceito que ocorra alguma quebra de moléculas complexas por reações, tais como: hidrólises e saponificações, e neutralização de ácidos, devido ao ambiente altamente alcalino criado pela adição de cal (WPCF, 1985; WPCF, 1986).

Quando a cal é adicionada, os microrganismos envolvidos na decomposição do lodo e os patógenos são severamente inibidos, inativados ou destruídos, pelos altos níveis de pH. No lodo adequadamente estabilizado, pouco ou nenhuma decomposição ocorre e, conseqüentemente, os odores não são produzidos. O ajuste do pH pode causar liberação de gás; a pH alto, o gás amônia é emitido, e a pH baixo, é provável que haja a liberação de sulfeto de hidrogênio (WPCF, 1985; WPCF, 1986).

O nitrogênio está presente nos esgotos numa variedade de formas devido a seus vários estados de oxidação, e pode mudar rapidamente de um estado a outro, dependendo das condições físicas e bioquímicas presentes. A concentração de nitrogênio total em esgoto municipal típico, varia de cerca de 15 a acima de 50 mg/l. Cerca de 60% disto está na forma de amônia e o restante na forma orgânica. A amônia pode estar presente como amônia molecular, NH₃, ou como íon amônio, NH₄⁺. O equilíbrio entre estas duas

formas na água é fortemente dependente do pH e da temperatura. A pH 7, os íons amônio estão presentes predominantemente e a pH 12, a maioria na forma de gás amônia dissolvido. A amônia é liberada durante o processamento com cal devido ao alto pH resultante da adição de reagentes secos. Estas relações são as bases para operações de lavagens de gás em ETEs avançados (REED et al., 1988; JACOBS & SILVER, 1991a).

Os esgotos contém enxofre na forma de sulfetos e sulfatos. Usualmente os esgotos municipais não contém muito enxofre, mas os esgotos industriais como os de curtumes podem conter valores elevados. A presença de sulfitos ou sulfetos podem causar sérios problemas de odor, se condições anaeróbias forem desenvolvidas (REED et al., 1988). O principal efeito de um pH alto é suprimir a emissão de sulfetos voláteis e ácidos graxos; entretanto, as aminas e a amônia aumentarão (LOTITO et al., 1991).

O processo padrão de estabilização de lodo com cal preconizada pela EPA, envolve a adição de cal em quantidade suficiente para alcançar e manter um pH maior ou igual a 12 por 2 horas.

POLPRASERT & VALENCIA, 1981, investigando a inativação de Coliformes fecais e *Ascaris lumbricoides* com cal, obtiveram redução de cerca de 5 ordens de magnitude do primeiro, com 19 gCaO/l (ou pH inicial da amostra de 12) com um tempo de contato maior que 3 horas. Somente uma redução de 26,5% de ovos de *Ascaris* foi observado com a dosagem de 19 gCaO/l e um tempo de contato de 48 horas. Os exames microscópicos das amostras de fezes sugeriram que os efeitos ovicidas da cal sobre os ovos de *Ascaris* foram de baixa eficiência.

Os resultados dos experimentos realizados por GODFREE et al., s.d., mostraram que a pH 11,5, a chocagem de ovos de *T. saginata* é reduzida de 35% a 0,6% após 4 horas de exposição. Similarmente, à pH 12, a chocagem é reduzida a 0,75% após somente duas horas de tempo de contato. Entretanto, em ambos os casos, a maioria dos ovos que chocaram foram viáveis. GODFREE et al., verificaram que com um tempo de contato de 15 minutos a redução no número de Salmonelas foi marcante, quando o pH foi elevado a acima de 9. A pH 11,5, obtiveram redução maior que 99% nos números de Salmonelas. A quantidade de cal requerida para obter este aumento, no pH, foi calculada ser de aproximadamente 5-7 kg/m³ de lodo.

MARTINS & SANCHEZ, 1983, em seus experimentos com lodo de esgoto da ERQ de Vila Leopoldina-SP, desenvolvido na SABESP, verificaram que no tratamento químico, sempre que o pH 12 (ou superior) foi mantido, ocorreu uma redução significativa da carga de microrganismos indicadores, bem como, não foram detectados enterovírus nem Salmonelas.

Concluíram, que o tratamento do lodo de esgoto com cloreto férrico e cal em pH 12 foi eficaz na remoção desses dois patógenos, porém não foi completamente eficiente na inativação de ovos de helmintos.

3.5.3.2. CRITÉRIO DE PROJETO DO PROCESSO

Os fatores primários a considerar em um projeto de um sistema de estabilização de lodo com cal são: pH, tempo de contato, e dosagem de cal. O tempo de contato e pH são diretamente relacionados, pois o pH necessário deve ser mantido por um tempo adequado para promover a destruição de patógenos. A dosagem de cal deve ser suficiente para proporcionar bastante alcalinidade residual para manter um pH alto, por vários dias, antes da disposição. Isto impedirá que o pH diminua evitando o crescimento ou a reativação da produção de odores e organismos patogênicos. A queda do pH (referido como decaimento de pH), ocorre na seguinte seqüência: inicialmente, o dióxido de carbono atmosférico (que forma um ácido fraco quando dissolvido na água) é absorvido e gradualmente consome a alcalinidade residual da mistura. Com o consumo da alcalinidade, o pH começa a decrescer gradualmente. Eventualmente, quando é atingido um pH onde a ação bacteriana possa recomeçar, o pH continua a cair pela produção de ácidos orgânicos, similar às reações que ocorrem nos digestores anaeróbios (WPCF, 1985).

Estudos realizados por GRABOW et al., 1978 apud POLPRASERT & VALENCIA, 1981, confirmaram a importância da alcalinidade a hidróxido na inativação da bactéria, viroses entéricas e colifagos durante o tratamento com cal, e reportam que a eficiência de inativação foi muito menor a valores baixos de pH, e também que algumas bactérias se multiplicaram à pH 9,6. Então, parece que o produto de hidrólise da cal que produzem o efeito antimicrobiano é o OH^- e não o Ca^{2+} . Embora o exato mecanismo de inativação da cal para os ovos de helmintos não seja bem entendido, é hipotetizado que a alcalinidade a hidróxido (OH^-) é o principal elemento químico que reage lentamente com o ovo e eventualmente os inativa, similar a inativação de coliforme fecal. Os resultados obtidos por POLPRASERT & VALENCIA, 1981, indicam um possível efeito ovicida da cal (ou OH^-) sobre os ovos de *Ascaris*, mas a uma baixa eficiência, que pode ser melhorada com um tratamento combinado com outros métodos físico-químicos.

Inúmeros estudos tem sido realizados para determinar o pH e o tempo de contato requerido para estabilizar o lodo com cal. Geralmente, é esperado que ocorra uma significativa redução de patógenos e odores, quando o pH é elevado para 12 ou mais, e

mantido por 2 horas. O pH usualmente decresce de seu valor inicial durante o processo de estabilização. Portanto, o pH deverá ser aumentado para um valor maior que 12 e assim mantido por um tempo determinado. O lodo deve ser contido por um tempo suficiente, onde possa ser monitorado, para assegurar-se que um pH adequadamente alto tenha sido mantido pelo período desejado (WPCF, 1985). A dosagem de cal requerida para elevar o pH depende de inúmeros fatores que incluem: tipo de lodo (primário, lodo ativado, e assim por diante); composição química (incluindo o conteúdo de orgânicos) do lodo e do líquido; e concentrações de sólidos do lodo (WPCF, 1985).

Um outro fator que afeta a dose de cal é a concentração de sólidos. Geralmente, quando a percentagem de sólidos do lodo aumenta, a dose requerida também aumenta. Porém, a dose requerida por unidade de massa parece ser relativamente constante. Por isso, a dose de cal requerida para estabilizar uma dada massa de sólidos do lodo é relativamente a mesma, indiferente à concentração de sólidos tipicamente encontrada (0,5 a 4,5%). As doses efetivas requeridas por unidade de massa de sólidos do lodo, tendem a ser um tanto mais altas para lodos diluídos do que para lodos concentrados, pois a quantidade de cal requerida para aumentar o pH da água é considerável: cerca de 1 g/l para alcançar pH 12 e cerca de 5 g/l para alcançar o pH 12,5 (WPCF, 1985).

A Tabela 3.15 mostra a dosagem requerida para manter um pH de 12, por 30 minutos, para vários tipos de lodo. Estas doses são confirmadas por inúmeros pesquisadores.

Embora, os dados apresentados na Tabela 3.15 possam ser usados no projeto preliminar de uma instalação de estabilização de lodo com cal, é recomendado que a dosagem requerida seja determinada caso-a-caso, pois há muitos fatores que afetam esta dosagem. Para prevenir o decaimento de pH e o associado recrescimento de organismos, é requerido um excesso de cal sobre a dose necessária para obter um pH inicial de 12. Dependendo do lodo, esta dose pode ser cerca de 1,5 vezes maior. A dosagem requerida pode ser facilmente determinada através de teste, em escala de laboratório (WPCF, 1985).

Segundo a WPCF, 1985, as mudanças químicas que ocorrem no lodo durante o processo de estabilização com cal incluem:

- Reduzir a concentração de sólidos suspensos voláteis de 10 a 35%, resultante da diluição com cal e alguma perda de orgânicos voláteis para a atmosfera. Porém, se ocorrer alguma destruição de sólidos voláteis a perda será pequena;
- Aumentar a concentração de sólidos suspensos totais, devido a adição de sólidos de cal e precipitação de sólidos dissolvidos; e

-Reduzir os valores de fósforo solúvel por causa da reação com o ortofosfato para formar precipitado de fosfato de cálcio.

Tabela 3.15. Cal requerida para manter o pH do lodo em 12 por 30 minutos (Lebanon, Ohio).

Tipo de Lodo	Concentração de lodo (%)		Dose de cal kg Ca(OH) ₂ /kgPS		Média pH	
	Variação	Média	Variação	Média	Inicial	Final
Lodo Primário ^a	3 a 6	4,3	0,06 a 0,17	0,12	6,7	12,7
Lodo Ativado ^b	1 a 1,5	1,3	0,21 a 0,43	0,30	7,1	12,6
Lodo Misto ^c	6 a 7	5,5	0,14 a 0,25	0,19	7,2	12,4
Lodo de FS	1 a 4,5	2,7	0,09 a 0,51	0,20	7,3	12,7

PS: Peso seco

FS: Fossa Séptica

^a: Inclui alguma porção de lodo de excesso de Lodo Ativado

^b: Lodo de excesso de Lodo Ativado

^c: Lodo misto digerido anaerobiamente

Fonte: WPCF, 1985

Nota-se na Figura 3.2, que quando a dose não for suficiente, a mistura pode inicialmente alcançar o pH pretendido de 12, mas pode ocorrer uma rápida queda de pH.

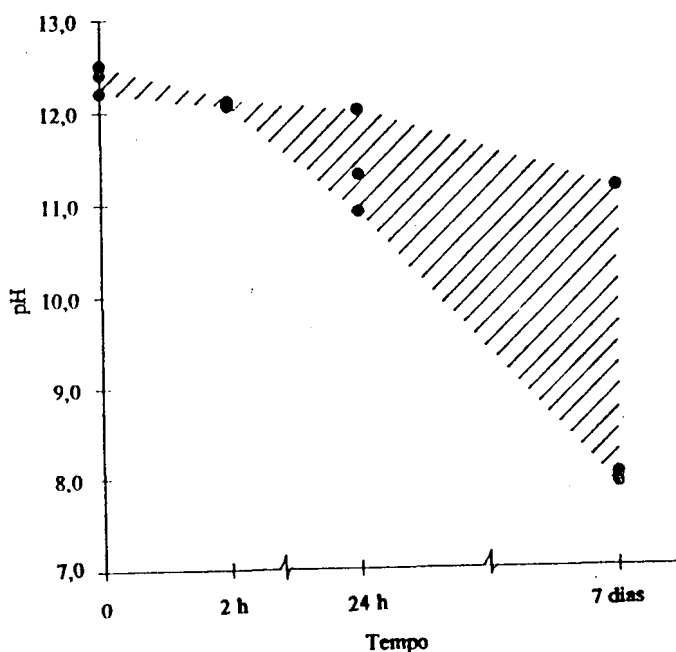


Figura 3.2. Decaimento de pH após a estabilização com cal por processo padrão. Dose de 9 a 16% de Ca(OH)₂.

Fonte: WESTPHAL & CHRISTENSEN, 1983.

Segundo a WPCF, 1985, um sistema de estabilização de lodo com cal adequadamente projetado e operado, deve ser capaz de:

- Reduzir significativamente patógenos e odores;
- Melhorar as características de desaguamento (condicionadores químicos adicionais podem ser requeridos);
- Suportar mudanças nas composições químicas e quantidade de lodos produzidos;
- Reduzir os valores de nitrogênio como um resultado da remoção de amônia. Esta perda é normalmente pequena a menos que o lodo seja vigorosamente misturado ou aplicado no solo enquanto ainda apresenta pH alto; e
- Aumentar a alcalinidade total.

Existem, ainda, várias alternativas de processos de estabilização com cal, ou modificação dos vários métodos básicos. Algumas destas alternativas tem evoluído a partir do uso de outros processos, enquanto outros são associados somente com a estabilização com cal.

Uma alternativa associada estritamente com o processo de estabilização com cal é o caso de dois reatores de mistura do lodo. Um para aumentar o pH inicial para um valor maior que 12 e outro para promover um tempo de contato adequado e permitir a adição de mais cal para manter o pH dentro da faixa desejada (COUNTS & SCHCKOW, 1975 apud WPCF, 1985). Uma segunda modificação do processo é a mistura do lodo desaguado com cal, que pode ser realizada, utilizando-se um parafuso transportador para a mistura do lodo desaguado com cal hidratada ou cal virgem em pó. Este processo conhecido por pós-estabilização com cal é uma técnica desenvolvida recentemente. Há várias vantagens significativas deste processo sobre o processo de pré-estabilização com cal. Os condicionadores para o desaguamento podem ser diferentes daqueles utilizados para elevar o pH. Neste processo, não há requisitos especiais para o equipamento de desaguamento do lodo. A abrasão e a corrosão relacionada com a cal e o problema de escala com o equipamento mecânico de desaguamento, quando se adota o processo de pré-estabilização com cal, são evitados. O operador teria opção de usar a cal hidratada ou a cal virgem (sem extinção). Finalmente, há a possibilidade de usar o calor gerado durante a extinção para aumentar a destruição de patógenos (WPCF, 1985).

3.5.4. ESTABILIZAÇÃO COM FERRATO(VI)

Os desinfetantes alternativos, tais como o bromo: cloreto de bromo, iodo, dióxido de cloro, ozônio, e irradiação UV entre outros, apresentam várias desvantagens. Os

quatro primeiros comportam-se similarmente. Formam compostos combinados que promovem eficiente desinfecção residual, especialmente contra viroses e bactérias, mas podem formar compostos orgânicos halogenados potencialmente perigosos. Seus resíduos são tóxicos em algum grau à vida aquática. São também produtos químicos perigosos, o que gera dificuldades para transportar e manusear (SCHINK & WAITE, 1980).

O ferrato(VI) de potássio (K_2FeO_4), é um forte agente oxidante em toda a escala de pH e um coagulante eficiente que pode ser empregado no tratamento de esgotos domésticos, industriais, e águas de abastecimento, em substituição às tecnologias clássicas de oxidação e coagulação que podem causar danos ao meio ambiente e à saúde pública (De LUCA et al., 1981).

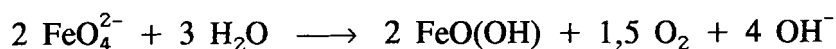
Por estas razões, o ferrato(VI) tem sido pesquisado como uma alternativa à cloração tanto para a desinfecção da água como de esgoto. Entretanto, antes do ferrato(VI) ser proposto como uma alternativa, os custos, os métodos de produção e manuseio, e a eficácia contra uma variedade de organismos e substâncias presentes em diferentes lodos, devem ser determinados.

3.5.4.1. CARACTERÍSTICAS DO FERRATO(VI)

O íon ferrato(VI) tem a fórmula molecular FeO_4^{2-} . WOOD, 1958, reportou que o potencial redox varia de +2,2 V em ácido para +0,7 V em base. O ferrato(VI) se decompõe em soluções aquosas neutras a ácidas, sendo porém razoavelmente estável a pHs básicos. O pKa do ferrato(VI) ainda não é conhecido, mas é possível obter uma estimativa baseando-se no pKa de íons de tamanho molecular semelhante, tais como: $H_2VO_4^-$ (8,2), $H_2PO_4^-$ (7,2), e $HCrO_4^-$ (6,5). LEE & BENISEK, 1976 apud De LUCA, 1983, estimaram o pKa do ferrato(VI) como sendo 6,6.

Os sais de oxianions de ferro(VI), são fortes oxidantes e podem substituir o cloro para a desinfecção nos sistemas de tratamento de água. Na água, o ferrato(VI) se decompõe em hidróxido férrico e oxigênio molecular, além de radicais hidratados (KATO & KAZAMA, 1991).

O ferrato(VI) de potássio é um sólido cristalino negro, estável à temperaturas abaixo de 198 °C. As soluções aquosas de ferrato(VI) tem uma cor violeta característica. A decomposição total do íon ferrato(VI) em água é descrito por:



O oxigênio e os radicais OH^\cdot tornam o ferrato(VI) um forte oxidante e o Fe(III) torna-o um coagulante (De LUCA, 1981).

O íon hidróxido e o oxigênio molecular são gerados durante a decomposição, que é dependente do pH, da concentração inicial de ferrato(VI), e da temperatura. A taxa de decomposição é também influenciada a algum grau pelas características da superfície do íon hidróxido formado na decomposição. O ferrato(VI) é mais estável em meio básico forte. HAIRE, 1965, reportou que a estabilidade do ferrato(VI) é também altamente dependente da concentração inicial de Fe(III), que aparentemente altera a decomposição. Os estudos sobre a estabilidade do ferrato(VI) em solução aquosa tem mostrado que as soluções diluídas são mais estáveis que as soluções concentradas (SCHREYER & OCKERMAN, 1951). A taxa de decomposição do ferrato(VI), declina notavelmente na presença de fosfato (WOOD, 1958; SCHREYER & OCKERMAN, 1951; WAGNER et al, 1952). A baixas temperaturas não se converte diretamente a Fe(III), na decomposição, mas passa através de seus estados de oxidação +5 e +4 (MURMANN, 1974; MAGEE, 1961 apud SCHINK & WAITE, 1980).

Dependendo do meio, isto é, das soluções tampões, pH, e dos substratos orgânicos, a curva da taxa de oxidação pelo ferrato(VI) pode ser de primeira ou de segunda ordem. Na ausência de quantidades significantes de agentes redutores, o ferrato(VI) se decompõe em solução aquosa formando H^\cdot , elétrons hidratados, O_2^\cdot , HO_2^\cdot , H_2O_2 e OH^\cdot . Os resultados obtidos por HAIRE, 1965, indicam que para uma concentração de ferrato(VI) de 10^{-3}M , a decomposição segue uma taxa de reação de segunda ordem com respeito à concentração, e de primeira ordem em relação ao pH variando entre 7,7 e 9,5. Para concentrações de ferrato(IV) entre 10^{-5} e 10^{-4}M , as taxas das reações foram estimadas ser de primeira ordem tanto para a concentração quanto para o pH. Para pHs < 8,0, a taxa de decomposição do ferrato(VI) em meio aquoso cresce com o aumento do pH (WAITE, 1979).

3.5.4.2. PROPRIEDADE DESINFETANTE DO FERRATO(VI)

Em conseqüência de seu poder oxidante o ferrato(VI) de potássio, mostra-se um poderoso desinfetante.

As evidências que o ferrato(VI) possuía propriedades desinfetantes significantes, foram primeiro notados por MURMANN & ROBINSON, 1974. Os primeiros estudos de desinfecção detalhados foram feitos por GILBERT, 1975 apud SCHINK & WAITE, 1980, utilizando *Escherichia coli* em água destilada tamponada. Abaixo do pH 8,0 a habilidade

desinfetante de ferrato(VI) de potássio, foi observado aumentar notavelmente, entretanto, a destruição constante e efetiva foram também notados para valores de pH entre 8,0 e 8,5.

KAZAMA & KATO, 1985 apud KATO & KAZAMA, 1991, examinaram a possibilidade de controlar o crescimento de *Sphaerotilus* com a adição de vários compostos de ferro à células em suspensão, determinando a taxa de respiração da bactéria. O Fe-cisteína e K_2FeO_4 foram os dois mais fortes inibidores. Os autores, verificaram que o primeiro inibiu intensamente a respiração exógena, mas fracamente a respiração endógena, enquanto o segundo inibiu notavelmente a ambas. As diferenças podem estar ligadas aos aspectos distributivos do ferro sorvido pela bactéria. Pode ser considerado que a marcada inibição da respiração exógena pelo Fe-cisteína foi principalmente, causada pelo ferro sorvido firmemente na lâmina envoltória. KAZAMA, 1989 apud KATO & KAZAMA, 1991, estudando a inibição da atividade de hidrogenase do *Sphaerotilus* pelo K_2FeO_4 , provou que a atividade da enzima é inibida pelo ferro penetrado (sorção) nas células, através da lâmina envoltória e parede celular.

WAITE apud BRYAN, 1981, em seu trabalho para avaliar o potencial do ferrato(VI) na desinfecção do esgoto, verificou que concentrações de cerca de 0,5 mg/l, resultou na redução de Entero-bacteriáceas estudadas (*E. coli*, *Salmonella typhimurium* e *Shigella flexneri*) por quatro ordens de magnitude. Ele encontrou, entretanto, que os organismos gram-positivos (*Streptococcus faecalis*, *Streptococcus bovis*, *Bacillus cereus*, e *Staphylococcus aureus*), requereram cerca de 100 vezes mais ferrato(VI) para obter os mesmos níveis de inativação. Ele também encontrou que o ferrato(VI) foi eficaz na coagulação de sólidos suspensos, na oxidação de amônia e na remoção de fosfato, nas dosagens efetivas encontradas para a inativação dos organismos estudados.

A Tabela 3.16 mostra as eficiências na desinfecção contra diversos microrganismos pelo ferrato(VI) de potássio e cloreto férrico.

Da Tabela 3.16, verifica-se que o ferrato(VI) de potássio, tem possíveis aplicações como um desinfetante de esgoto, que possibilita ser utilizado como um higienizante do lodo. O ferrato(VI), tem mostrado inativar mais efetivamente o vírus f2 no efluente secundário do que o bromo combinado e o cloro combinado. O ferrato(VI), também tem a vantagem de não gerar residual que seja perigoso a vida aquática, como os residuais de cloro e bromo.

Tabela 3.16. Concentração, pH, tempo e capacidade de desinfecção pelo ferrato(VI) de potássio e cloreto férrico.

Desinfetante	Concentração (mg/l)	Organismo	Solução	pH	Tempo (min)	Remoção
K ₂ FeO ₄	1	Vírus f2	Tampão fosfato	7,8	22	99% ^a
	1	Vírus f2	Tampão fosfato	6,9	5,7	99% ^a
	1	Vírus f2	Tampão fosfato	5,9	0,77	99% ^a
	2	Vírus f2	Efl. secundário	s/c	60	99% ^a
	54	Bactéria total	Efl. secundário	s/c	60	99% ^a
	13,2	Vírus f2, E. coli	Efl. secundário	s/c	1	99% ^a
	6	Vírus f2, E. coli	Efl. secundário	s/c	13	99% ^a
	0,5	Enterobacteriáceas	Esgoto	-	-	4 logs ^b
	50	Gram-positivos	Esgoto	-	-	4 logs ^b
FeCl ₃	4	Vírus f2, E. coli	-	7,0	-	s/e ^a
	30	Vírus f2	-	-	-	10% ^c
	40	Vírus f2	-	-	-	98% ^c

s/c = sem controle

s/e = sem efeito

a = SCHINK & WAITE, 1980

b = WAITE, 1979

c = YORK & DREWRY, 1974 apud SCHINK & WAITE, 1980

3.5.4.3. PROPRIEDADES OXIDANTES E COAGULANTES DO FERRATO(VI)

É difícil, relacionar a performance de um oxidante químico diretamente ao potencial oxidação-redução. O comportamento químico de um oxidante, em particular, pode possuir aspecto próprio e característico de forma que a magnitude do potencial não fornece qualquer indicação das taxas de reação (ATKINSON & PALIN, 1973 apud HULTMAN, 1982).

A oxidação pode ocorrer devido a produção de radicais pelo uso de reações de termólises, fotólises, radiólises, ultrassônicos ou redox. Os radicais hidroxilas podem ser formados de diferentes maneiras, tais como: o hidróxido catalisado da decomposição de ozônio na água, no sistema catalítico de peróxido de hidrogênio-iônico ferroso ou o bombardeamento de moléculas de água por um feixe de elétrons. Diferentes agentes oxidantes podem, desse modo, dar origem a produtos de oxidação similar devido ao início de reações de radicais similares (HULTMAN, 1982).

O potencial de redução de diferentes compostos e radicais é mostrado na Tabela 3.17.

Tabela 3.17. Potencial padrão de redução em soluções ácidas e básicas de diferentes agentes de oxidação a 25 °C.

Reações	Potencial (ε ⁰) (em volts)
SOLUÇÕES ÁCIDAS	
$F_2 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons 2HF$	3,06
$FeO_4^{2-} + 8H^+ + 3e^- \rightleftharpoons Fe^{3+} + 4H_2O$	2,20
$O_3 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons O_2 + H_2O$	2,07
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons 2H_2O$	1,76
$MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- \rightleftharpoons MnO_2 + H_2O$	1,68
$HClO_2 + 3H^+ + 4e^- \rightleftharpoons Cl^- + 2H_2O$	1,57
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O$	1,49
$HOCl + H^+ + 2e^- \rightleftharpoons Cl^- + H_2O$	1,49
$Cl_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2Cl^-$	1,36
$Fe^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Fe$	-0,44
SOLUÇÕES BÁSICAS	
$O_3 + H_2O + 2e^- \rightleftharpoons O_2 + 2OH^-$	1,24
$Br_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2Br^-$	1,07
$ClO^- + 2H_2O + 2e^- \rightleftharpoons Cl^- + 2OH^-$	0,90
$H_2O_2 + H_3O^+ + 2e^- \rightleftharpoons 4H_2O$	0,87
$ClO_2^- + 2H_2O + 4e^- \rightleftharpoons Cl^- + 4OH^-$	0,78
$FeO_4^{2-} + 4H_2O + 3e^- \rightleftharpoons Fe(OH)_3 + 5OH^-$	0,72
$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightleftharpoons 4OH^-$	0,40
$Fe(OH)_3 + e^- \rightleftharpoons OH^- + Fe(OH)_2$	-0,56
$CNO^- + H_2O + 2e^- \rightleftharpoons CN^- + 2OH^-$	-1,20

Fonte: RICE et al., 1980 apud HULTMAN, 1982; LATIMER, 1938; WOOD, 1958.

KASAI, 1975, oxidou o sulfeto de hidrogênio (H₂S) com o ferrato(VI) de sódio (Na₂FeO₄), numa coluna de absorção de gases obtendo enxofre elementar. O composto reduzido pode ser reoxidado para o estado de ferrato(VI) com ar.

O íon ferrato(VI) tem poder oxidante maior que o permanganato; oxida, por

exemplo, amônia a nitrogênio, a frio; cromito a cromato; nitrito a nitrato; hipoclorito a clorito; e clorito a clorato (COTTON & WILKINSON, 1972; e McLAUGHLIN, 1984 apud CANTELLI, 1988). O ferrato(VI) de potássio oxida compostos orgânicos complexos a compostos mais simples (BARTZATT et al., 1992).

Segundo CARR et al., 1985, o ferrato(VI) de potássio, oxida mais rapidamente o fenól e o cianeto do que outros compostos orgânicos e inorgânicos, que poderia competir com sucesso com a oxidação mais lenta da maioria dos componentes da DBO e com a oxidação da água. As constantes das velocidades de reações de oxidação (K_s) de vários compostos à 25 °C, em solução tampão de fosfato 0,1 M e pH de 8 são apresentados na Tabela 3.18.

Tabela 3.18. Constantes da velocidade de oxidação do ferrato(VI) de potássio em soluções seletivas.

Composto	K_s ($M^{-2}s^{-1}$)
Alcool metílico	0,03
Alcool etílico	0,08
Formaldeído	0,5
Ácido oxálico	0,1
Nitrito	2
Metilamina	40
Tiodietanol	100
Cianeto	$> 10^4$
Fenól	$> 10^4$

Fonte: CARR et al., 1985

FAROOQ & BARI, 1986, avaliaram a eficiência do uso combinado do ferrato(VI) de potássio com o ozônio em uma estação piloto, utilizando o efluente secundário proveniente de uma ETE por lodos ativados de South Aranco, Dhahran - Arábia Saudita. A estação consistia de um tanque de mistura rápida onde o ferrato(VI) era dosado a 15 mg/l, três flocculadores mecanizados em série, um tanque de sedimentação, um filtro de areia, e finalmente de um ozonizador (1-5,8 mgO₃/l). As seguintes remoções foram obtidas: Sólidos suspensos, 70,8%; Turbidez, 78%; DQO, 80%; e Coliformes fecais, 99,99%. O ferrato(VI) de potássio sozinho, após a filtração, removeu com boa eficiência os constituintes do efluente acima citados. A ozonização melhorou a qualidade do efluente, principalmente em termos de desinfecção, porém teve pouco efeito na remoção de turbidez e sólidos suspensos que em maior parte foi removida durante a filtração.

CANTELLI, 1988, desenvolvendo testes em estação piloto físico/químico, utilizando

um esgoto sintético simulando esgoto industrial combinado com doméstico; obteve um pH ótimo de coagulação de 5,5 com uma dosagem de 50 mg/l de ferrato(VI) de potássio. Os resultados obtidos, mostraram grande eficiência na remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos presentes, em três faixas de aplicação testadas. CANTELLI também verificou, que a dosagem ótima de ferrato(VI) de potássio para o esgoto testado, foi bem menor que a dosagem de cloreto férrico e sulfato de alumínio. Além disso, o ferrato(VI) de potássio, mostrou-se mais eficiente na remoção de metais pesados e nutrientes do que os outros dois coagulantes citados. As características de desaguamento do lodo, proveniente do uso do ferrato(VI) de potássio e o proveniente do uso de sulfato de alumínio foram semelhantes, sendo melhores que os resultados obtidos com o cloreto férrico. Os valores medidos de resistência específica à filtração foram de $9,8 \times 10^9$ a $7,7 \times 10^{10}$ cm/g para o ferrato(VI) de potássio, $4,9 \times 10^{10}$ a $1,3 \times 10^{10}$ cm/g para o sulfato de alumínio, e $9,0 \times 10^{10}$ cm/g para o cloreto férrico. Um valor mais elevado da resistência específica à filtração significa maior dificuldade de desaguamento do lodo.

Segundo BARTZATT et al., 1992, o ferrato(VI) de potássio forma um gel - óxido férrico hidratado, que coprecipita íons de metal e material coloidal em solução aquosa e remove substâncias tóxicas. Os autores verificaram que cátions de metal tornam-se dispersos no precipitado de hidróxido férrico em posições normalmente ocupados pelo elemento ferro. Em suma, os complexos de metal ou não-metal são incorporados no gel de óxido férrico em posições normalmente ocupados pela hidrólise dos componentes. A hidrólise de ferro é um processo complexo e de múltiplas fases que envolve forte interação com o solvente (COTTON et al, 1972 apud BARTZOTT et al., 1992). Os autores também verificaram que o ferrato(VI) de potássio pode remover muitas substâncias não-metálicas. O elemento enxofre, que pode formar um efeito odorífero e desagradável na água, foi removido como SO_3^{2-} e SO_4^{2-} e os fosfatos na forma de PO_4^{3-} , foram removidos quantitativamente pela ação do ferrato(VI) de potássio.

Testes realizados por De LUCA et al., 1991, numa estação piloto de tratamento físico-químico, indicaram que o ferrato(VI) é eficaz na remoção de sulfetos mostrando uma eficiência de até 99,9%. Observaram um aumento da eficiência de oxidação à medida que elevaram a concentração de ferrato(VI) em relação ao sulfeto. Verificaram que a relação ótima para a oxidação ocorre quando 1 mol (600 mg/l) de sulfeto reage com 0,9 moles (2030 mg/l) de ferrato(VI). Os testes de cinética (velocidade) mostraram que a reação é quase instatânea, pois após 2 minutos de reação, a oxidação do sulfeto é quase completa, isto é, neste período a maior parte da remoção do sulfeto já ocorreu. A estação piloto utilizada era composta de coagulação, sedimentação e filtração em

leito duplo de areia e carvão ativado, utilizando esgoto combinado por efluentes de uma siderúrgica, de um curtume "wet blue", de duas indústrias têxteis, de uma processadora de soja, de uma indústria de produção de papel reciclado, e de duas cidades próximas.

Segundo De LUCA et al., 1992, o ferrato(VI) de potássio é efetivo para a remoção de matéria orgânica, nutrientes, e alguns metais pesados, do esgoto, sendo tão eficiente quanto o cloreto férrico ou sulfato de alumínio. Devido as dosagens mais baixas de ferrato(VI) quando comparado com outros coagulantes, espera-se que menos lodos sejam gerados. Conseqüentemente, o custo do tratamento físico/químico com o ferrato(VI) pode ser menor que o de coagulantes tradicionais, tendo ainda a vantagem de produzir efeitos desinfetantes.

3.6. CONDICIONAMENTO DO LODO

O termo condicionamento é comumente utilizado para relacionar um processo pelo qual o lodo de esgoto é condicionado ou preparado para o desaguamento. Enfim, define-se condicionamento todo processo que promova agregação de partículas do lodo suspenso por meios físicos ou químicos. Este estágio de tratamento normalmente precede o desaguamento mecânico do lodo. Produtos, tais como: polieletrólitos orgânicos, cal, e sais de ferro e alumínio tem sido utilizados (BRUCE et al., 1984).

O condicionamento do lodo neutraliza ou desestabiliza forças químicas ou físicas agindo sobre a matéria suspensa coloidal e/ou particulada em um líquido (por ex. água). Este processo de desestabilização influencia o crescimento de pequenas partículas de tamanho visível em agregados maiores conhecidos como flocos, que tem uma forma indefinida com arranjo variado e não-cristalina. Isso aumenta a eficiência do desaguamento ou decantação do lodo. O pH do lodo também governa o estado de ionização de espécies químicas no lodo. A carga tipo e a geometria destas espécies, o grau de hidratação da partícula, e a natureza da água de ligação pode, por seu turno, influenciar a desaguabilidade do lodo (CALVANO et al., 1992).

O lodo quando é removido de decantadores, freqüentemente, contém muita umidade para permitir um desaguamento econômico. Os principais propósitos dos adensadores são remover o excesso de água e aumentar a concentração de sólidos. O adensamento do lodo pode iniciar-se nos decantadores; entretanto, é inevitável que durante a descarga haja diluição com líquido sobrenadante. O adensamento pode ser combinado com uma elutriação do lodo (WPCF, 1960; IMHOFF & IMHOFF, 1986). A elutriação é a lavagem do lodo digerido

para remover substâncias que interferem física ou economicamente, no condicionamento químico e na filtração à vácuo (FAIR et al., 1973).

A avaliação econômica mostra que uma unidade de adensamento do lodo, frequentemente, representa uma considerável economia, especialmente onde o lodo é transportado na forma líquida para a sua disposição. Além disso, o lodo pode conter muita umidade para permitir um desaguamento econômico (BRUCE & DAVIS, 1989, IMHOFF & IMHOFF, 1986).

Segundo TSANG & VESILIND, 1990; GIROVICH, 1990; e SMOLLEN, 1990, a água na partícula de lodo existe em quatro principais fases: Água livre ou umidade livre; Água capilar ou intersticial; Água coloidal ou de superfície; e Água intracelular ou de ligação.

A Figura 3.3 mostra uma visualização conceitual dos quatro tipos de umidade do lodo.

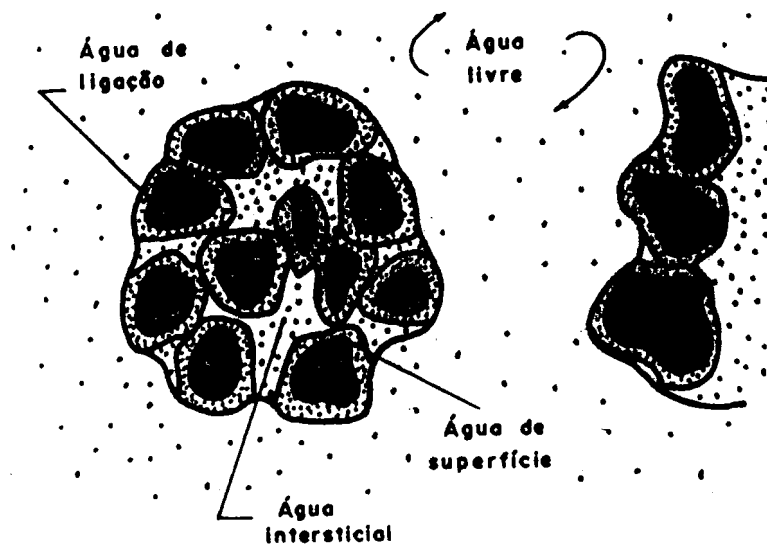


Figura 3.3. Visualização conceitual da distribuição de umidade do lodo.

Fonte: TSANG & VESILIND, 1990.

A água livre pode ser facilmente separada por gravidade. Esta umidade não é associada com as partículas sólidas. A água capilar e coloidal pode ser removida usualmente, após o condicionamento químico, por forças mecânicas incluindo centrifugas, filtros-prensa e filtros à vácuo. A água capilar é a umidade do floco quando o lodo está em suspensão e está presente nos capilares quando a torta é formada. A água coloidal é a umidade que está presa na superfície das partículas

sólidas por adsorção e adesão. A água intracelular ou de ligação é a umidade que está quimicamente ligada às partículas sólidas. As águas intracelulares podem ser eliminadas da partícula, quebrando a estrutura da célula, com tratamento térmico (TSANG & VESILIND, 1990; GIROVICH, 1990). As grandezas relativas dos diversos tipos de umidade influenciam as exigências de energia específica para a separação de sólidos. O conhecimento disto é um pré-requisito para a solução racional da maioria dos custos/benefícios dos processos de redução de volume (SMOLLEN, 1990).

Atualmente, o condicionamento do lodo tem sido objeto de inúmeras pesquisas. A maioria tem enfatizado o uso de condicionadores inorgânicos (cal e cloreto férrico) ou orgânicos (polímeros) para melhorar o conteúdo de sólidos do lodo desaguado (KONCKE & TRAHERN, 1989).

Segundo HULTMAN, 1982, a desvantagem de vários métodos de condicionamento pode ser a dissolução de orgânicos do lodo. A adição do cloro pode aumentar os conteúdos de compostos organoclorados. Uma interessante técnica de condicionamento pode ser a combinação de uma oxidação fraca do lodo seguido por um condicionamento complementar pelo uso de agentes floculantes. O custo total para o condicionamento pode ser reduzido pelo uso combinado do permanganato de potássio para a oxidação de alguns compostos orgânicos no lodo com um polímero (Anonymous, 1981 apud HULTMAN, 1982).

Segundo CHRISTENSEN & WAVRO, 1981, as interações de ferro e cal são muito menos específicas do que as interações dos polieletrólitos com o lodo. Essas interações relativamente não-específicas, significam maior estabilidade do processo para os coagulantes inorgânicos, como também pequenas mudanças na química do lodo e/ou concentrações de sólidos do lodo não afetam significativamente o resultado do processo.

3.6.1. REQUISITOS DE CAL PARA CONDICIONAMENTO DO LODO

Nas pesquisas realizadas por CHRISTENSEN & WAVRO, 1981, para o condicionamento efetivo do lodo de esgoto, foram verificadas que a capacidade de desaguamento de alguns lodos testados são substancialmente afetadas por adições de cal, enquanto a capacidade de desaguamento de outros lodos foi apenas marginalmente afetada por adições de cal.

Atualmente, os principais testes utilizados para avaliar a desaguabilidade do lodo são o Tempo de Sucção por Capilaridade (TSC), Resistência Específica à Filtração

(REF) e testes específicos exigidos para cada técnica de desaguamento. Os testes fornecem uma medida empírica da resistência oferecida por um lodo para a retirada da água e permitem verificar o desempenho do equipamento em escala real, a concentração da torta, ou a remoção de sólidos suspensos (COLIN et al., 1989; SMOLLEN, 1990).

A determinação do TSC é muito simples, rápido e útil, mas é válido somente para testes comparativos. A REF, também pode ser usada para estimar a concentração final da torta, após o lodo passar pelo filtro-prensa (COLIN et al., 1989). O coeficiente de compressibilidade, um complemento da REF, é obtido medindo-o a diferentes pressões. Este coeficiente fornece informação sobre os níveis operacionais de pressão mais desejável. Os valores acima de 1 (um), indicam um aumento maior que o proporcional da resistência específica com a pressão. Neste caso, seria conveniente uma operação à baixa pressão.

Tradicionalmente, o teste TSC é usado para definir as dosagens de produtos químicos no condicionamento de lodos de esgotos a serem desaguados em filtro-prensa, quando através deste teste o pH do lodo condicionado é fixado a priori (ALMEIDA et al., 1991a). A resistência específica é uma medida de resistência ao transporte do filtrado através da torta formada pelos sólidos do lodo (ALMEIDA et al., 1991b).

CHRISTENSEN & DICK, 1985 apud ALMEIDA et al., 1991b, indicam que lodos bem condicionados apresentam valores de Resistência Específica à Filtração, dentro de uma faixa de 1×10^{10} a 1×10^{11} cm/g e sugere no máximo este limite superior para que se obtenha um desaguamento econômico.

Os diversos trabalhos realizados sobre condicionamento (CHRISTENSEN & WAVRO, 1981; HEIDE & SPINOSA, 1984; NOVAK et al., 1988) não apresentam um método padrão para a mistura de produtos químicos e lodos de esgotos, em laboratório. Equipamentos, tais como a bateadeira de bolo controlada com reostato e o aparelho de "Jar-Test", são utilizados.

A Tabela 3.19 apresenta valores de REF para lodos de esgotos encontrados por diversos pesquisadores.

Tabela 3.19. Valores característicos de Resistência Específica à Filtração.

Tipo de lodo	REF (cm/g)
Lodo anaeróbio de UASB condicionado ^a	$3,0 \times 10^{10}$ - $4,0 \times 10^{11}$
Lodo ativado bruto ^b	$4,8 \times 10^{12}$
Lodo primário ^c	$1,5 \times 10^{13}$ - $5,0 \times 10^{13}$

^a: ALMEIDA et al., 1991a

^b: KARR & KEINATH, 1978

^c: WPCF/MOP-14, 1988 apud CALVANO et al., 1992

3.7. DESAGUAMENTO DO LODO

O propósito de desaguamento do lodo é reduzir o conteúdo de umidade a um grau adequado para a disposição última. Este procedimento permite a redução de volume e conseqüentemente, os custos de tratamento posterior e de transporte serão consideravelmente diminuídos. Por exemplo, se o volume da torta de lodo for reduzido em 50% os custos de transporte serão reduzidos proporcionalmente em duas vezes a quantidade de sólidos que podem ser colocados num caminhão de carga.

Muitos fatores afetam as características de desaguamento do lodo. São eles: pH, concentração de sólidos suspensos, conteúdo orgânico, conteúdo de celulose, tamanho e distribuição da partícula, polímeros exocelulares, água de ligação, viscosidade, alcalinidade, conteúdo de graxa, etc. (HASHIMOTO & HIRAOKA, 1990; KARR & KEINATH, 1978).

A eficácia, o custo do tratamento e a disposição de lodo são afetados pelo volume de lodo e, conseqüentemente, por sua concentração de sólidos. Portanto, o desaguamento é uma operação muito importante que é quase sempre utilizado no processamento do lodo. O desaguamento mecânico é usualmente precedido por condicionamento químico para aumentar a tratabilidade (MININI et al., 1991).

Existem vários métodos mecânicos e não-mecânicos utilizados para reduzir o conteúdo de umidade do lodo. Dentre eles, pode-se citar: Filtração (à vácuo, cinta, prensa de prato e quadro); Forno de secagem rotatório; Incineração; Leitões de secagem (areia, assistido à vácuo); Centrifugação; Fusão; Pirólise; Oxidação úmida; Banhado; Congelamento; e Lagunagem.

Geralmente, são utilizadas centrífugas e filtros-prensa para o desaguamento do lodo. Um rápido crescimento no interesse por filtro-cinta tem sido observado na Europa, junto com um nítido declínio no uso de filtro à vácuo (COLIN et al., 1989).

O desaguamento mecânico reduz o conteúdo de água do lodo de 95-97% para 65-80%. Este método, caso o lodo não seja digerido adequadamente, produzirá maus odores, particularmente durante o verão, devido aos processos de decomposição anaeróbia, resultante dos altos conteúdos de água remanescentes e da temperatura. O desaguamento mecânico sozinho não pode ser considerado como um tratamento final do lodo (presença de patógenos), mas somente um processo intermediário para ser completado mais tarde (CRISTIANI, 1988).

No Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, a maioria das indústrias, em SISAUTO (Sistema de Auto monitoramento), utilizam para desaguamento e como disposição final dos lodos, leitos de secagem e aterros sanitários, respectivamente. O ramo industrial mais representativo em SISAUTO é o dos curtumes com 31,56%. 40,27% dos curtumes utilizam o leito de secagem para o desaguamento do lodo e 25% dos curtumes dispõem o lodo em aterros. Com relação as metalúrgicas, observa-se que 38,10% desaguam o lodo em leitos de secagem e 23% dispõem o lodo em aterros sanitários. Dentre as diversas atividades industriais, a produção de lodos mais significativas é a dos curtumes (176 t/mês), sendo seguida pelas metalúrgicas que geram 55 t/mês, fábricas de tintas com cerca de 5 t/mês e lanifícios com 4 t/mês (De DEUS, et al., 1993).

3.8. DISPOSIÇÃO DO LODO

A estabilização de lodos de esgotos e o desaguamento são necessários por razões econômicas, ambientais e de saúde. O transporte do lodo da Estação de Tratamento para o local de disposição ou reuso é um dos mais importantes fatores na composição de custos do gerenciamento de lodo.

Diversas opções tem sido utilizadas para a disposição final de lodo. Estas incluem:

- Aplicação no solo (gramado, pasto, agricultura, floresta, horta, jardim, recuperação do solo, aterro);
- Incineração e disposição no solo;
- Disposição no oceano; e
- Uso industrial.

A necessidade de dispor o lodo de modo econômico e ambientalmente seguro é um requisito moderno. Os meios efetivos de disposição de lodo consistem naqueles de menor custo, que protejam o meio ambiente e que mantenham a segurança operacional por longo tempo. A seleção da melhor opção ambientalmente praticável envolve a consideração de fatores sociais como também os econômicos e os técnicos.

Atualmente, opções tais como a extração de lipídios, extração de proteínas, extração de vitamina B12, recuperação de metais, transferência para outros países, fabricação de tijolos, fabricação de jóias e conversão térmica para combustíveis líquidos e sólidos tem sido experimentados (BRUCE & DAVIS, 1989; OSHIMA, 1990).

3.9. AMOSTRAGEM E ANÁLISES DE LODOS

Existem várias recomendações de amostragem, pré-tratamento da amostra e preservação do lodo.

Segundo GOMEZ et al., 1986, o ideal é realizar a amostragem durante o seu escoamento ou manejo do que em depósito ou tanque de armazenamento. A amostragem no ponto de descarga do lodo é conveniente, mas a amostra pode ser representativa somente da entrada do esgoto de um período relativamente curto, dependendo da capacidade de retenção dos tanques de tratamento e retirada de lodo. Para a execução de uma boa amostragem de lodo, deve ser tomada especial atenção para a escolha do local de coleta para se obter uma representativa.

A amostragem de qualquer material biológico para subsequente análise de elementos traços, apresenta uma grande variedade de problemas, dependendo da natureza do material, preocupando-se sempre em evitar a contaminação da amostra. É necessário entender como o material reage com o tempo ou em resposta a várias influências externas (FLEMING et al., 1986).

Pode, ainda, haver uma grande variação de dia para dia no esgoto afluente a uma ETE, como também pode ocorrer variações na composição do lodo dentro de um dia de operação. Deste ponto de vista, uma amostra deveria ser composta de pelo menos 3 amostras simples tomadas em diferentes tempos (FLEMING et al., 1986; GOMEZ et al., 1986).

Para realizar a subsequente determinação analítica, é necessário homogeneizar a amostra de lodo antes de dividir em inúmeras subamostras de igual composição. Isto

pode conduzir a certos erros. Para evitar alguns desses problemas, o manual resultante da cooperação de inúmeras estações agrícolas experimentais dos EUA, recomenda a preparação de resíduos secos para as análises. Pela mesma razão, as legislações alemãs sobre o lodo de esgoto determinam a utilização de amostras de lodo seco e homogeneizado para a análise de metais pesados (GOMEZ et al., 1986). Em suma, cada amostra deve ser submetida a certas operações necessárias para preservar a sua representatividade e conservação com o tempo, até a sua análise.

Segundo o trabalho realizado pela COST 68 apud GOMEZ et al., 1986, o uso de amostras secas para as análises permite uma razoável precisão e reprodutibilidade. Em quase todos os casos, porém, a coleta de amostras aquosas ou úmidas de lodo (suspensões, pastas, sólidos úmidos) é necessária. Este passo é de maior importância para todos os procedimentos seguintes.

A frequência de amostragem depende dos requisitos do exame e da importância das possíveis mudanças das propriedades do lodo. A quantidade de amostra requerida, usualmente, depende do programa de análise e da quantidade necessária para cada uma delas. As possíveis heterogeneidades do material requerem que um número adequado de amostras simples, de mesmo tamanho, sejam tomados em diferentes locais ou à diferentes tempos e reunidos para formar uma amostra composta representativa (GOMEZ et al., 1986).

Como os lodos podem alterar-se rapidamente devido a reações biológicas, as amostras devem ser examinadas tão logo quanto possível. As variáveis físicas que possam ser determinadas facilmente (por exemplo: temperatura, pH e condutividade), devem ser realizadas diretamente no local de coleta. Durante o período de amostragem e a realização de análises complementares no laboratório, devem ser conservadas sob condições correspondentes às condições originais. Mantendo o lodo refrigerado e no escuro, as mudanças causadas por processos biológicos e químicos podem ser minimizadas. Se as amostras de lodo tiverem que ser preservadas por um curto período, deve ser aplicada uma refrigeração a cerca de 4 °C. A preservação por adição de produtos químicos não é recomendada (GOMEZ et al., 1986).

4. METODOLOGIA

De acordo com os objetivos estabelecidos, o trabalho experimental foi dividido em duas fases.

FASE 1 - SELEÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE ENSAIOS

Após a seleção das análises físicas, químicas e biológicas, foram avaliadas as técnicas analíticas, e implementadas as que poderiam ser utilizadas, uma vez que, nem todos os parâmetros constavam no STANDARD METHODS, 17th ed. Portanto, foram necessárias, adaptações ou modificações de métodos e procedimentos de vários parâmetros. Esta fase foi muito importante, e a um certo grau difícil, pois a maioria dos Laboratórios nacionais, não tem a tradição de analisar lodos de esgoto; portanto, não existe uma padronização de técnicas de ensaio.

FASE 2 - EXPERIMENTAL

Nesta fase, foi executada a investigação laboratorial dos efeitos da aplicação da cal hidratada e do ferrato(VI) de potássio, em três diferentes tipos de lodo. Diferentes dosagens da cal e do ferrato(VI), foram aplicados aos lodos, para a determinação da quantidade ótima, para a obtenção de uma boa estabilização. Foram, também verificados, os diversos aspectos do condicionamento nas dosagens utilizadas.

Para o cumprimento destas fases, as metodologias utilizadas na pesquisa são descritas a seguir.

4.1. PROCEDIMENTOS

Visando uma avaliação mais profunda e que permitisse a possibilidade de comparações, foram investigados os 3 (três) diferentes tipos de lodo abaixo relacionados.

LODO 1- Lodo de excesso de lodo ativado (ETE-SM, Santa Maria);

LODO 2- Lodo anaeróbico de descarte de reator UASB (ETE-ESM, Porto Alegre);

LODO 3- Lodo primário de curtume (ETE-CUR, Estância Velha).

A seleção das ETEs acima, foi baseada nas informações obtidas durante as visitas aos locais, e também, pelas avaliações dos componentes físicos, químicos e biológicos do lodo, realizados por trabalhos preliminares (De DEUS, 1992).

4.2. DESCRIÇÃO DAS ETEs

A seguir, são dadas as descrições das Estações de Tratamentos de Esgotos, de onde foram coletadas as amostras de lodo.

4.2.1. LODO 1: ETE-SM

Na Estação de Tratamento de Esgotos de Santa Maria, ETE-SM, localizada ao sul da zona urbana da cidade de Santa Maria/RS, operada pela CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento, é empregado o processo dos lodos ativados na sua variante aeração estendida. O excesso de lodo, removido do tanque de aeração, é sedimentado por gravidade em um decantador circular mecanizado de 15m de diâmetro e 3m de profundidade, com aproximadamente 16h de tempo de detenção. Esse lodo é disposto em leitos de secagem que, posteriormente, é retirado por agricultores da região. O lodo oriundo deste sistema, apresenta resistência específica, fora do intervalo de variação, típico para lodos digeridos, o que indica, uma dificuldade para o desaguamento do lodo nos leitos de secagem (SILVEIRA, 1990).

4.2.2. LODO 2: ETE-ESM

A Estação de Tratamento de Esgotos da Vila Esmeralda, ETE-ESM, trata esgoto sanitário, oriundo de uma área residencial de baixa renda, situada na região leste da cidade de Porto Alegre, denominada Vila Esmeralda. Esta Estação, possui 2 (duas) unidades quadradas de reator anaeróbico de fluxo ascendente (UASB) de 84 m³ cada, que determinam um tempo de detenção de esgoto, de cerca de 8 horas. O lodo de descarte é submetido à desidratação natural em leitos de secagem.

4.2.3. LODO 3: ETE-CUR

As amostras de lodo primário de curtume, foram coletadas numa Estação de Tratamento, que realiza conjuntamente, o tratamento do efluente líquido de dois curtumes. Sediados na cidade de Estância Velha/RS, produzem aproximadamente 3800 couros/dia, sendo 1600 feitos a partir do "blue" e o restante ao cromo auto-esgotante.

No tratamento primário dispõem de:

- Reciclagem de calceiro e cromo;
- Retentor de gordura;
- Tanque de homogeneização (com capacidade de 1000 m³);
- Decantador circular com ponte raspadora.

O tratamento secundário, conta atualmente, com um tanque de aeração por oxigênio puro, seguido de uma lagoa de aeração mecânica, e de um decantador final circular com ponte raspadora. O lodo gerado é desaguado (centrifugação) na Estação, e levado por um caminhão caçamba, a uma área de, aproximadamente 27 ha, de propriedade das empresas.

4.3. COLETA DE AMOSTRAS

As amostras foram coletadas nos seguintes pontos:

- ETE-SM: Saída da tubulação de descarga de lodo do decantador secundário;
- ETE-ESM: Saída da tubulação de descarga de lodo do reator UASB;
- ETE-CUR: Saída da tubulação de descarga de lodo do decantador primário.

Nas coletas foram obedecidas as técnicas e procedimentos de amostragem, de modo, a permitir as avaliações comparativas de lodos de diferentes ETEs, da melhor maneira possível. Amostras simples foram coletadas manualmente, com baldes, e transferidos a frascos de polipropileno de 30 litros, e transportados sob refrigeração até o laboratório.

Nas coletas de lodo nas Estações de Tratamento de Esgoto da cidade de Santa Maria e da Vila Esmeralda, não ocorreram fatos que merecessem destaque. As Estações mantinham sempre as características de rotina. No entanto, a cada coleta de lodo do Curtume, foram notadas alterações decorrentes da própria atividade industrial. No dia anterior à primeira coleta (ETE-CUR1), foram feitas limpezas nos tanques dos efluentes

alcalinos da depilagem. Com isso o pH do lodo atingiu, segundo o operador da ETE, valores elevados. Na terceira coleta, verificou-se que não houve produção de couro nos dias anteriores, devido a operações de manutenção das máquinas.

4.4. ADENSAMENTO DO LODO (NO LABORATÓRIO)

Nos testes preliminares, verificou-se que os lodos continham muito material grosseiro, tais como: pedaços maiores de fibras, pedras, sementes, e principalmente grande quantidade de cabelo nos esgotos domésticos e aparas de couro no lodo do curtume. Isso acarretava problemas com o misturador e com os ensaios. Por isso, com o objetivo de trabalhar com um material mais homogêneo e com uma concentração maior de sólidos, a cada campanha, cerca de 80 litros de lodo, eram coletados e tamizados com uma peneira de monofilamento de aço de 2mm de abertura de malha, antes de serem colocados no adensador de Laboratório. Esse procedimento era realizado com a peneira colocada no topo do adensador, com capacidade de 100 litros, construído em acrílico. Após, cerca de 12 horas, em média, o sobrenadante era retirado por sifonamento e o material decantado, homogeneizado e transferido a frascos de polipropileno.

4.5. ARMAZENAMENTO DE AMOSTRAS

As amostras eram processadas imediatamente, após o adensamento do lodo no Laboratório. Para o caso da necessidade de uso posterior, o restante da amostra era mantida sob refrigeração a 4 °C para preservar a sua representatividade e conservação com o tempo, até serem submetidas à análises e experimentação. Esse procedimento minimiza as mudanças causadas por processos biológicos e químicos. A preservação por adição de produtos químicos não foi utilizada.

4.6. LABORATÓRIOS DE APOIO

A sintetização do ferrato(VI) de potássio, necessário aos testes de higienização do lodo, foi inicialmente realizada no Laboratório de Química Inorgânica do Instituto de Química/UFRGS e posteriormente no Laboratório de Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS. Neste Laboratório, foram realizados os testes e as análises físicas, químicas e biológicas propostas.

4.7. ANÁLISES

Para a caracterização do lodo, bem como, para verificar a eficiência dos processos de estabilização, foram realizadas análises físicas, químicas, e biológicas que seguiram as técnicas e métodos padrões preconizados no STANDARD METHODS for Examination of Water and Wastewater, 17th ed., e outros pertinentes como aqueles que foram adaptados ou modificados para este trabalho.

Nos anexos A.1, A.2, A.3 e A.4, são apresentados os métodos e procedimentos que não constam no STANDARD METHODS, 17th ed. e no Boletim Técnico 5.

4.7.1. PARÂMETROS

A seleção dos parâmetros monitorados, baseou-se naqueles normalmente encontrados na bibliografia sobre o assunto, para permitir comparações e também naqueles recomendados pelos órgãos estrangeiros que legislam sobre o assunto. Infelizmente, ainda não existe legislação brasileira específica sobre a utilização do lodo de esgoto, de forma que espera-se que este trabalho também possa contribuir para a sua regulamentação.

Os parâmetros escolhidos, foram aqueles que poderão indicar a inviabilização da disposição do lodo em solo agrícola, como os que podem apresentar toxicidade e características nutrientes às plantas e ao meio ambiente. Também são contemplados parâmetros que possam trazer riscos à saúde pública e, testes que permitirão avaliar as características de manejo do lodo.

O grande número de parâmetros analisados, deve-se a necessidade de encontrar aqueles básicos de rotina e os de monitoramentos esporádicos, para o controle do processo.

A Tabela 4.1 relaciona os parâmetros físicos e químicos que foram analisados, tanto em lodos brutos, como em tratados.

As concentrações de sólidos totais do lodo estabilizado com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio, foram calculados a partir dos sólidos totais do lodo bruto (sem tratamento) e com as doses dos produtos químicos utilizados. O Nitrogênio

Orgânico foi calculado pela diferença entre o NTK e a Amônia. Os sulfetos foram analisados somente para dissolvidos, uma vez que a grande quantidade de sólidos do lodo, impedia a melhor visualização do ponto de viragem. O método utilizado para a análise de fósforo, considera somente aquele "disponível", uma vez que o extrator ácido solubiliza apenas parte do fósforo adsorvido pelos constituintes do lodo.

Tabela 4.1. Relação de parâmetros físicos e químicos de controle dos experimentos.

Parâmetros	Técnica Analítica
Temperatura	Direto, termômetro de mercúrio
pH	Direto, ou em suspensão 1:1 em água
Condutividade	Direto, ou em extrato 1:5 em água
Sólidos Totais	STANDARD METHODS, 103 °C, 1 h
Sól. Fixos Totais	STANDARD METHODS, 550 °C, 1 h
Sól. Vol. Totais	STANDARD METHODS, diferença
Alcalinidade Total	STANDARD METHODS, potenciométrica
DQO	STANDARD METHODS, refluxo aberto
Carbono Orgânico	WALKLEY-BLACK, TEDESCO et al., 1985
Amônia-N	STANDARD METHODS, titulométrico
Nitrato-N	STANDARD METHODS, ácido fenoldissulfônico
NTK	STANDARD METHODS, específico para lodo
Nitrogênio Orgânico	Diferença (NTK - Amônia-N)
Fósforo Disponível	TEDESCO et al., 1985, extração ácida
Óleos e Graxas	STANDARD METHODS, sulfato de magnésio
Sulfatos Totais	STANDARD METHODS, gravimétrico
Sulfetos Dissolvidos	STANDARD METHODS, volumétrico do iodo
Metais: Cádmio	STANDARD METHODS
Cálcio	
Chumbo	
Cobre	
Cromo Total	
Ferro	
Magnésio	
Potássio	
Sódio	
Zinco	

Para a determinação de metais totais foi utilizado método "Dry-Ashing". Os metais extraídos dos testes de solubilização, lixiviação e mobilidade, foram digeridos com ácido nítrico.

Para verificar a eficiência da higienização alcançada pelo processo de estabilização a que os lodos foram submetidos, analisou-se os organismos listados na Tabela 4.2 , que incluem aqueles que causam riscos à saúde.

Os parâmetros biológicos, pH e temperatura, foram analisados nos seguintes

tempos: a) Antes do tratamento; b) 2 horas após o tratamento; c) 24 horas após o tratamento; e d) 7 dias após o tratamento, para a avaliação da estabilidade do processo no período. O pH e a temperatura também foram medidos aos 10 minutos, após o início do tratamento.

Tabela 4.2. Indicadores biológicos monitorados nos experimentos.

Parâmetros	Técnica Analítica
Coliforme Total	STANDARD METHODS, tubos múltiplos
Coliforme Fecal	STANDARD METHODS, tubos múltiplos
Estreptococo Fecal	STANDARD METHODS, tubos múltiplos
Fungos	CETESB, L5.204, Spread-plate
Helmintos Total (ovos)	MORRISSON, Filtro de Visser
Viabilidade de Helmintos	MORRISSON, incubação por 6 semanas

Os testes a que os lodos foram submetidos estão listados na Tabela 4.6.

Tabela 4.3. Ensaio de controle dos experimentos.

Testes	Técnica Analítica
Resistência Específica à Filtração	Funil de Büchner
Solubilização	ABNT, NBR-10006
Lixiviação	ABNT, NBR-10005
Mobilidade de metais à:	Mod. KIEKENS & COTTENIE, 1984
- pH 4,0	
- pH 2,0	

A Tabela 4.4 mostra as unidades adotadas para cada um dos parâmetros analisados e as condições da amostra quando da análise (seca/úmida). Vários parâmetros, foram determinados com a amostra de lodo seco. Isso foi necessário, pois era muito difícil conseguir uma alíquota representativa de lodo úmido. Por exemplo, a análise de DQO só era possível ser realizada com 20 mg de lodo seco.

Tabela 4.4. Unidades adotadas e condições da amostra.

Parâmetros	Unidade Adotada	Amostra
Temperatura	°C	Úmida
pH		Úmida
Condutividade	µmhos/cm	Úmida
Sólidos Totais	%	Úmida
Sólidos Fixos Totais	%	Úmida
Sólidos Voláteis Totais	%	Úmida
Alcalinidade Total	mg/kgPS	Úmida
DQO	mg/gPS	Seca
Carbono Orgânico	%	Seca
NTK	mg/kgPS	Úmida
Amônia-N	mg/kgPS	Úmida
Nitrogênio Orgânico	mg/kgPS	Úmida
Nitrato-N	mg/kgPS	Úmida
Fósforo	mg/kgPS	Seca
Óleos e Graxas	%	Úmida
Sulfatos Totais	mg/kgPS	Úmida
Sulfetos Dissolvidos	mg/kgPS	Úmida
Metal Total	mg/kgPS	Seca
Solubilização	mg/l	Seca
Lixiviação	mg/l	Seca
Mobilidade	mg/l	Seca
Coliforme Total	NMP/gPS	Úmida
Coliforme Fecal	NMP/gPS	Úmida
Estreptococo Fecal	NMP/gPS	Úmida
Fungos	UFP/gPS	Úmida
Helmintos	UOH/gPS	Úmida

Os equipamentos utilizados são listados a seguir: Absorção Atômica (VARIAN, Mod. AA-275); Agitador (FISATON, Mod. 713); Agitador Horizontal (FANEN, Mod. 145); Aparelho de extração Soxlet (PYREX); Autoclave (FABBE, Mod. 103); Balança eletrônica (SARTORIUS); Balança eletrônica de topo (ACATEC Mod. BEC 1000); Bomba de vácuo (PRIMAR, Mod. 141); Banho-Maria (FABBE, 6 bocas); Centrífuga (INTERNATIONAL EQUIPMENT, Mod. CL); Destilador de NTK e Amônia (GALLENKAMP, 6 bocas); Digestor de NTK GALLENKAMP, 6 bocas); Estufa incubadora (FANEN, Mod. 315 SE, modificada para 44,5 °C e 35 °C); Estufa incubadora para DBO (FANEN, calibrada para 25 °C); Estufa de secagem com ventilação forçada (BIOMATIC, Mod. 1380); Espectrofotômetro digital (MICRONAL, Mod. B242); Mufla (QUIMIS, Mod. 1824); Microscópio eletrônico (CARL ZEISS, Mod. JEVANAL); pHmetro (DIGIMED, Mod. DMPH-2); e Cromatógrafo iônico (DIONEX).

4.8. METODOLOGIA DOS EXPERIMENTOS DE TRATAMENTO DO LODO

O lodo bruto de cada coleta após tamização e adensamento, foi tratado com cal hidratada, marca MERCK, p.a. e com ferrato(VI) de potássio, sintetizado para a pesquisa, pois este produto não é comercializado. Para cada tratamento, foram utilizados 2 (dois) litros de lodo bruto.

Os produtos químicos, ambos, cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, foram dosados em pó.

4.8.1. REGIME DE MISTURA

A mistura do lodo com cal e com ferrato(VI) de potássio, foi realizada com um agitador da marca FISATON.

A potência da mistura, foi controlada por um regulador de rotação próprio do aparelho e a velocidade calibrada por meio de um estroboscópio.

O regime de mistura para a estabilização do lodo com cal e com ferrato(VI) de potássio, foi a baixa rotação (150-200 rpm). O tempo de mistura, foi de 10 minutos.

4.8.2. LODO LÍQUIDO SEM TRATAMENTO (TESTEMUNHO)

Uma porção de lodo líquido sem tratamento, foi armazenada nas mesmas condições que as amostras de lodo estabilizados com cal e ferrato(VI) de potássio, para ser utilizada na comparação. O lodo bruto, foi agitado da mesma forma que os tratados.

4.8.3. LODO LÍQUIDO MAIS CAL

A cal hidratada em pó, foi adicionada ao lodo bruto até que valores de pH maiores que 12 fossem obtidos. Após 2 horas, o pH era medido, se caso apresentasse um pH menor que 12 era descartado, e imediatamente, iniciado um novo teste com uma dosagem maior de cal. O objetivo do tratamento do lodo com cal hidratada é permitir avaliar os efeitos deste tipo de estabilização química, considerado padrão pela EPA, e

principalmente compará-lo com tratamento com o ferrato(VI) de potássio.

4.8.4. LODO LÍQUIDO MAIS FERRATO(VI) DE POTÁSSIO

Três diferentes dosagens de ferrato(VI) de potássio foram testadas. Doses de 10, 15 e 30 gramas de ferrato(VI) de potássio, por litro de lodo aplicados em pó, foram utilizados. Estas doses foram adotadas a partir de testes preliminares, onde notou-se que o ferrato(VI), melhorava o crescimento bacteriano a baixas dosagens. Isso, talvez seja devido ao ambiente luxuriante, criado pelo aumento das concentrações de nitrato, sem grandes variações no valor do pH.

4.8.5. ARMAZENAMENTO E MANIPULAÇÃO DA AMOSTRA

Dois litros de amostra bruta, eram transferidos para beakers esterilizados de 5 (cinco) litros e então tratados. Após o tratamento, o beaker com as amostras era coberto com filme plástico e estocado à temperatura ambiente, por 24 horas. Duas horas após a aplicação dos produtos químicos, quantidades suficientes de amostras eram retiradas assepticamente para as análises biológicas. Após 24 horas do início do tratamento, as amostras eram divididas. Inicialmente, as amostras para as análises biológicas eram transferidas para frascos de vidro de boca larga de 150 ml esterilizados e cobertos com folha de papel alumínio, e em seguida, as amostras para análises físico-químicas eram transferidas para frascos de vidro de boca larga de 150 ml, de tampa roscável. Terminado isto, a quantidade restante de amostra era utilizada para o teste de Resistência Específica à Filtração (REF) e a sobra desaguada.

As amostras para as análises biológicas, eram mantidas em uma estante a temperatura ambiente. As amostras para as análises físico-químicas processadas via úmida, foram mantidas no refrigerador à 4 °C, para que fossem evitadas grandes alterações até o ensaio. Esse procedimento era necessário para o caso de repetição de algum ensaio.

Os lodos, foram secos à baixa temperatura, em estufa de circulação forçada, a 60 °C, conforme preconizado por TEDESCO, et al., 1985, no Boletim Técnico 5, para plantas. Para este procedimento, as amostras eram transferidas para formas de vidro da marca PYREX, para aumentar a área superficial e conseqüentemente diminuir o tempo

de secagem que levava em média 24 horas. As amostras, depois de secas, eram semelhantes as encontradas nos leitos de secagem tradicionais. A moagem foi feita com almofariz de porcelana, tomando-se todas as precauções para evitar perdas e contaminações. Em geral os lodos brutos e tratados com cal, eram mais macios e mais fáceis de moer do que os lodos tratados com ferrato(VI). A consistência do lodo tratado com ferrato(VI), poderia ser classificado, no mínimo, como muito duro e fortemente cimentado, provavelmente causado por óxidos ou sais de ferro.

Antes das análises e testes, as amostras eram homogeneizadas, e porções necessárias eram retiradas assepticamente para se evitar possíveis contaminações. Para o teste de REF, as amostras eram homogeneizadas lentamente durante 10 minutos antes da filtração.

4.9. CONTROLE DE QUALIDADE

Foram utilizados brancos (amostras sem tratamento), durante o estudo para monitorar a possibilidade de risco de contaminação. Repetições de todas as amostras, garantiram que o processo analítico fosse o mais preciso possível. Controles foram utilizados para verificar se equipamentos, produtos, etc., estavam contaminados, interferindo nos resultados das análises. Curvas de calibração e determinação de fatores, foram feitas para todos os reagentes utilizados. Toda solução estoque era verificada a cada duas semanas e descartada se alterada.

Recipientes e vidrarias de alta qualidade, foram utilizadas para evitar a adsorção de compostos sobre a superfície. Estes eram lavados com EXTRAN, e enxaguados com soluções de limpeza recomendadas para os diferentes tipos de análise.

Análises estatísticas dos experimentos, foram utilizadas para minimizar o número de ensaios e maximizar a quantidade de informação. Na análise dos resultados dos experimentos, persegue-se a minimização do valor da variância. Os testes que apresentaram grande coeficiente de variação ou baixas precisões no experimento, foram descartados. As concentrações eram calculadas imediatamente, após os ensaios e aqueles que apresentavam valores discrepantes eram repetidos.

Para o arquivo de dados, confecção de gráficos e para os testes estatísticos, foram utilizados os recursos da planilha eletrônica EXCEL da Microsoft.

A eficiência de remoção de microrganismos foi calculada com base nos valores das médias geométricas (MG), e em unidades log da seguinte maneira:

$$\text{Eficiência de remoção (em unidades log)} = \log MG_b - \log MG_t$$

onde: "b" é o teor na amostra bruta e "t" o teor na amostra tratada.

Optou-se, pelo uso da média geométrica dos dados microbiológicos, calculada a partir das concentrações individuais, uma vez que, a média aritmética sofre a influência de valores extremos. Quando um dos valores da série de dados era zero a média aritmética foi utilizada. Na determinação do valor médio para a REF, também foi utilizada a média geométrica. Nos demais parâmetros foi adotada a média aritmética.

Para o cálculo das concentrações dos parâmetros monitorados, para avaliar a eficiência dos diferentes tratamentos, levou-se em consideração o efeito da diluição ocasionado pela adição de cal hidratada ou ferrato(VI) de potássio.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em função do grande volume de informação, os resultados são apresentados e discutidos individualmente. Em seguida são feitas comparações englobando os lodos estudados.

Neste trabalho foram estudados três diferentes tipos de lodos, e realizadas três coletas de cada um deles, a diferentes tempos. A cada coleta, as amostras eram submetidas a estabilização química com hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) e com três diferentes doses de ferrato(VI) de potássio (K_2FeO_4). Amostras sem tratamento (Bruto) e as estabilizadas quimicamente, foram analisadas para vários parâmetros, visando avaliar as alterações ocorridas, gerando uma série muito grande de tabelas e figuras ilustrativas. Adotou-se colocar os resultados obtidos de cada amostra coletada em anexo, para consultas, permanecendo neste ítem, apenas aquelas com valores médios e os resultantes de testes estatísticos.

A Tabela 5.1 mostra a percentagem de metais encontrados no ferrato(VI) de potássio e da cal hidratada, pa, MERCK, utilizados na pesquisa. Os metais que não fazem parte da composição do ferrato(VI) de potássio (K_2FeO_4), certamente provém dos reagentes utilizados na síntese.

Tabela 5.1. Contaminantes metálicos no ferrato(VI) de potássio e na cal hidratada.

Elemento	Concentração (%)	
	K_2FeO_4	Ca(OH)_2
Cádmio	0,0005	n.a.
Cálcio	0,0016	-
Chumbo	0,001	0,005
Cobre	0,00056	0,0025
Cromo Total	0,054	n.a.
Ferro	-	0,05
Magnésio	0,0047	< 4,8
Potássio	-	n.a.
Sódio	0,51	n.a.
Zinco	0,000071	0,0025

n.a.: não analisado

As purezas do ferrato(VI) de potássio utilizadas em cada amostra de lodo coletada foram: SM1: 95,8%; SM2: 96,3%; SM3: 97,5%; ESM1: 96,7%; ESM2: 95,6%; ESM3: 96,5%; CUR1: 97,9%; CUR2: 95,8%; e CUR3: 96,4%.

5.1. DOSES DE CAL HIDRATADA E FERRATO(VI) DE POTÁSSIO

Na Tabela A1, em anexo, são apresentadas as concentrações individuais de cal e ferrato(VI) de potássio, aplicadas em cada amostra. Na Tabela A.2, em anexo, são apresentadas as temperaturas do ar registradas durante o processo de estabilização, e na Tabela A.3, em anexo, os pHs e as temperaturas dos lodos pesquisados. A Tabela 5.2 mostra os valores médios de pH obtidos aos 10 minutos em amostras, cujas doses de cal, mantiveram o pH maior que 12 em 2 horas de contato. Também podem ser vistas as médias e os valores extremos de pHs dos lodos estabilizados com diferentes doses de ferrato(VI). Verifica-se que são necessários valores iniciais de pH mais elevados, para evitar que as quedas características ultrapassem o pH pretendido à 2 horas. Isso indica que as principais mudanças químicas, ocorrem no início do processo de estabilização do lodo. Portanto, o valor do pH aos 10 minutos pode ser bom indicador, para que se obtenha as condições recomendadas pelo processo padrão da EPA.

Tabela 5.2. Valores médios e extremos de pH registrados aos 10 minutos, após o início do experimento.

Amostra	CH		F1		F2		F3	
	Extremos		Extremos		Extremos		Extremos	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
SM	12,66	12,50 12,80	12,62	11,94 13,48	13,02	12,27 13,91	13,28	12,45 14,59
ESM	12,71	12,53 12,99	10,75	9,53 11,50	11,38	10,34 12,58	13,02	12,60 13,45
CUR	12,62	12,60 12,63	11,35	10,39 12,55	11,75	10,72 12,75	12,76	11,73 13,48

CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

A Tabela 5.3 mostra as dosagens de cal hidratada requeridas, para manter o pH maior que 12 em 2 horas de contato, pelos lodos pesquisados. As doses necessárias de cal, para o lodo do esgoto doméstico (ETE-SM e ETE-ESM), são menores que as obtidas pela WPCF, 1985. As doses efetivas requeridas por unidade de massa de sólidos do lodo, foram mais altas no lodo ativado da ETE-SM, provavelmente por ser mais diluído que o lodo anaeróbico da ETE-ESM. O lodo primário da indústria de curtimento de couro (ETE-CUR), necessitou de quantidades muito maiores que os demais lodos testados, provavelmente, devido a sua composição química, que inclusive pode variar de acordo com as alterações diárias nas atividades da indústria.

Tabela 5.3. Massa de cal requerida para manter o pH do lodo maior que 12 por 2 horas.

Tipo de lodo	Sólidos Totais (%)			Dose de Cal Hidratada (kg Cal/kg PS)			pH médio	
	Média	Extremos		Média	Extremos		Inicial	Final
		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		
	SM - Lodo Ativado	3,63	2,76	4,45	0,073	0,065	0,087	6,46
ESM - Lodo Anaeróbico	11,66	11,24	11,93	0,061	0,034	0,078	6,01	12,41
CUR - Lodo Primário	6,70	3,07	10,99	0,240	0,011	0,681	8,46	12,29

Inúmeros fatores podem ter influenciado nas quantidades requeridas de cal hidratada, para elevar o pH acima de 12 em 2 horas. O pH inicial do lodo, o tipo de lodo (se ativado, anaeróbico ou primário), concentração de sólidos, composição química e capacidade tampão do lodo, são fatores que podem influir na maior ou menor necessidade de cal.

Em média, o lodo primário de curtume, requereu uma dose maior de cal, para elevar o pH a valor maior que 12 em 2 horas, provavelmente, devido as características químicas que podem ter produzido maior capacidade tampão. Embora não fosse possível avaliar estatisticamente a influência dos fatores nas dosagens requeridas, no lodo de curtume verificou-se uma necessidade mais alta de cal, quando o pH e a concentração de sólidos foram menores. O lodo de excesso de lodo ativado da ETE-SM, requereu uma quantidade mais alta de cal, que o lodo anaeróbico da ETE-ESM.

As Figuras 5.1 a 5.3, mostram que o decaimento do pH é mais acentuado quando as dosagens de cal são menores.

Na Tabela 5.4, são apresentadas as médias e os valores extremos das doses de ferrato(VI), aplicados nos lodos da ETE-SM, ETE-ESM e ETE-CUR. A conversão das doses, foi baseada na quantidade aplicada em g/l e transformada para kg/kgPS.

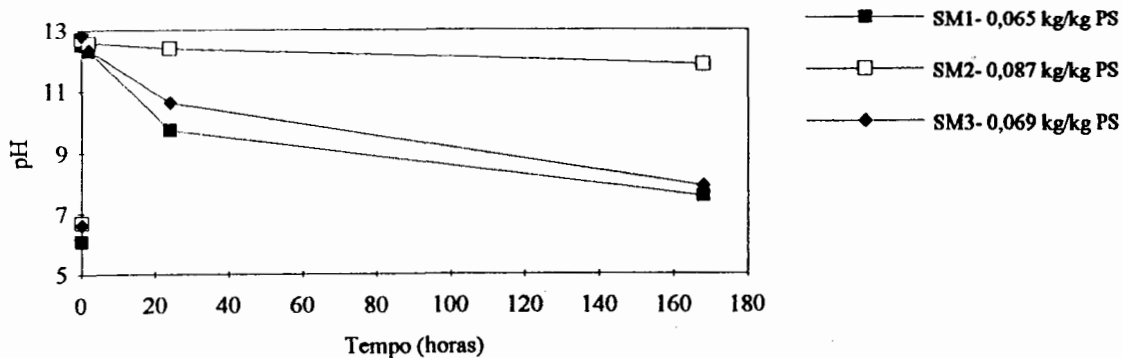


Figura 5.1. Decaimento de pH durante o armazenamento, após a estabilização do lodo da ETE-SM com cal hidratada.

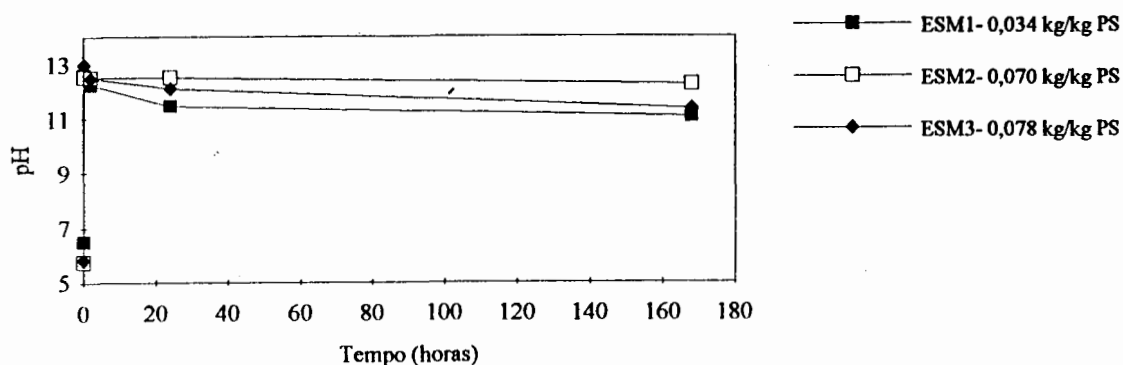


Figura 5.2. Decaimento de pH durante o armazenamento, após a estabilização do lodo da ETE-ESM com cal hidratada.

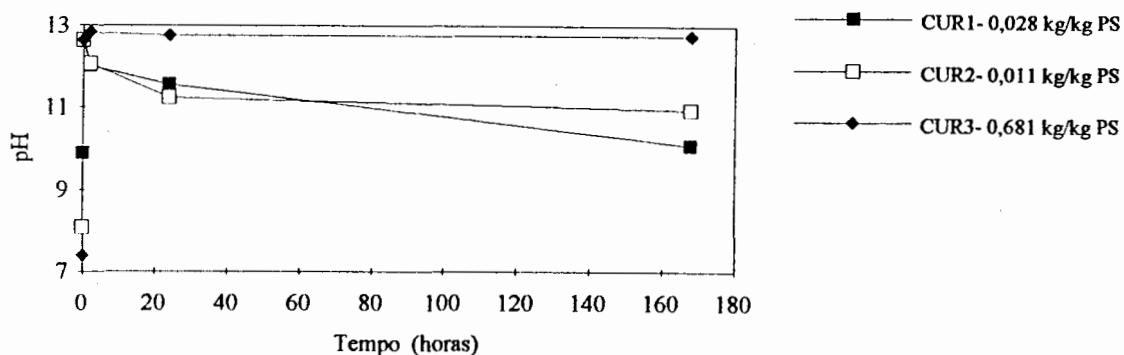


Figura 5.3. Decaimento de pH durante o armazenamento, após a estabilização do lodo da ETE-CUR com cal hidratada.

Tabela 5.4. Doses médias e valores extremos de ferrato(VI) de potássio utilizados nos experimentos, em kg/kgPS.

Amostra	F1			F2			F3		
	Média	Extremos		Média	Extremos		Média	Extremos	
		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo
SM - Lodo Ativado	0,286	0,225	0,362	0,429	0,337	0,543	0,859	0,674	1,087
ESM - Lodo Anaeróbio	0,086	0,083	0,089	0,129	0,126	0,133	0,258	0,254	0,267
CUR - Lodo Primário	0,194	0,091	0,326	0,291	0,136	0,489	0,582	0,273	0,977

F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio

As Figuras 5.4 a 5.6 mostram o comportamento do pH na estabilização dos lodos da ETE-SM, ETE-ESM e ETE-CUR, com ferrato(VI). Verifica-se que o decaimento do pH ocorre durante o armazenamento e é similar entre as dosagens. Na dose mais alta de ferrato(VI), a taxa de queda de pH é menor que nas doses mais baixas, provavelmente devido a uma quantidade maior de alcalinidade.

As Figuras 5.7, 5.8 e 5.9 foram elaboradas com as médias de pHs obtidos a diferentes tempos. Para o cálculo do pH médio do tratamento com cal em pó, foram utilizados os pHs das três diferentes coletas e para os lodos tratados com ferrato(VI) de potássio, o pH foi obtido da média das três diferentes coletas e três diferentes doses.

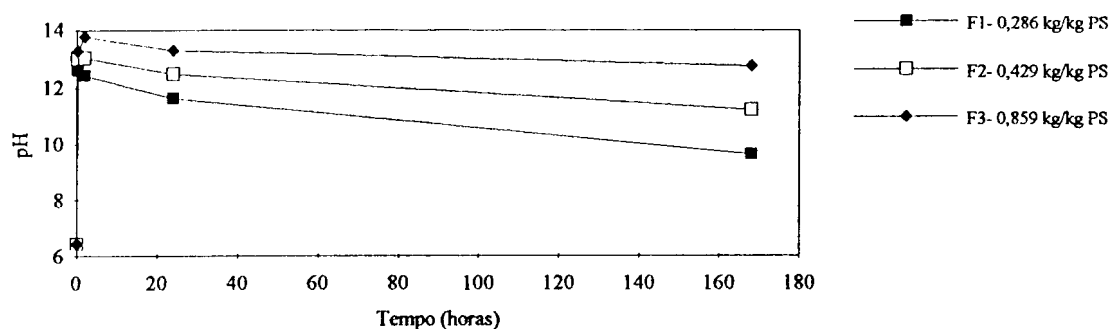


Figura 5.4. Variação de pH durante o armazenamento, após estabilização do lodo da ETE-SM com ferrato(VI) de potássio.

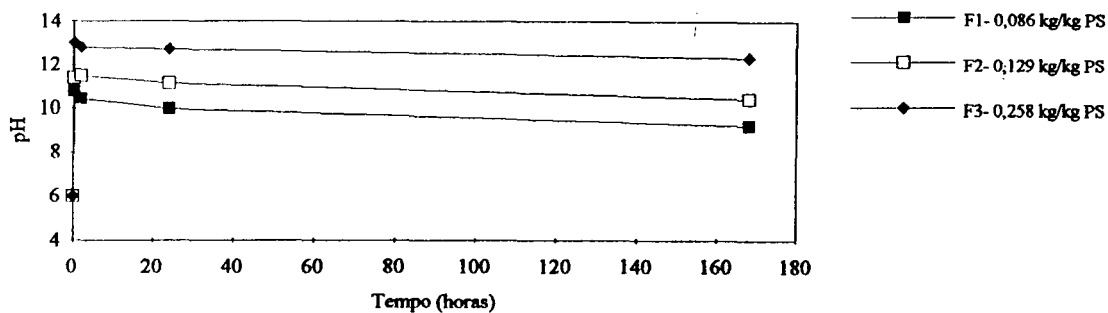


Figura 5.5. Variação de pH durante o armazenamento, após estabilização do lodo da ETE-ESM com ferrato(VI) de potássio.

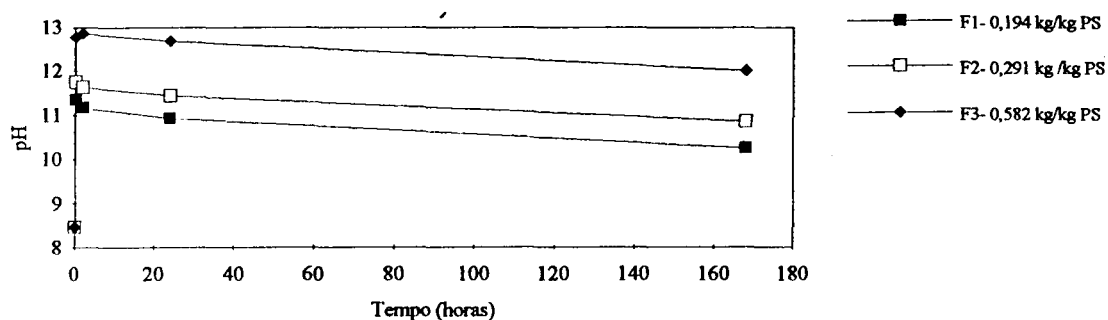


Figura 5.6. Variação de pH durante o armazenamento, após estabilização do lodo da ETE-CUR com ferrato(VI) de potássio.

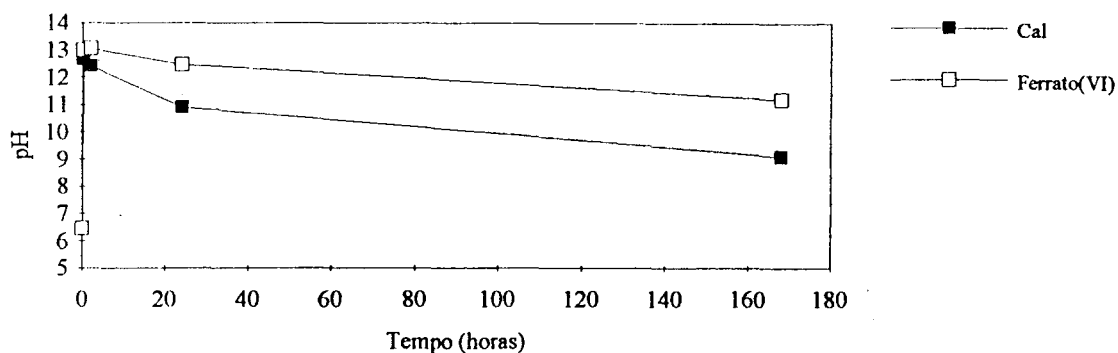


Figura 5.7. Comparação do decaimento de pH das amostras de lodo da ETE-SM, tratadas com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.

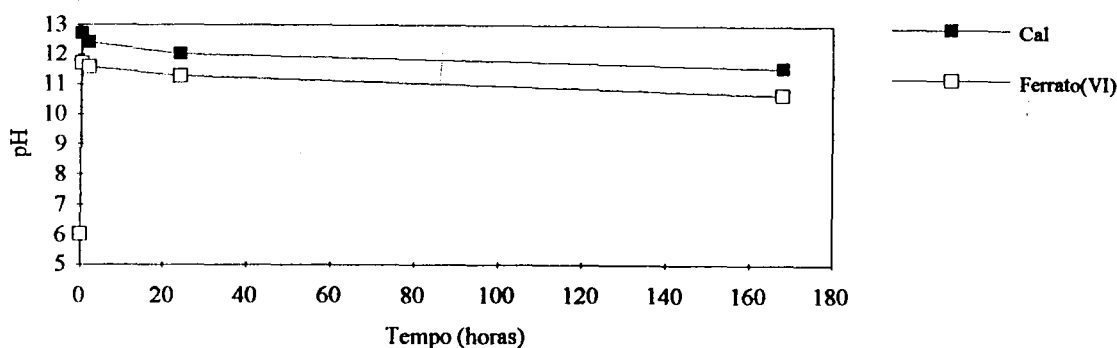


Figura 5.8. Comparação do decaimento de pH das amostras de lodo da ETE-ESM, tratadas com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.

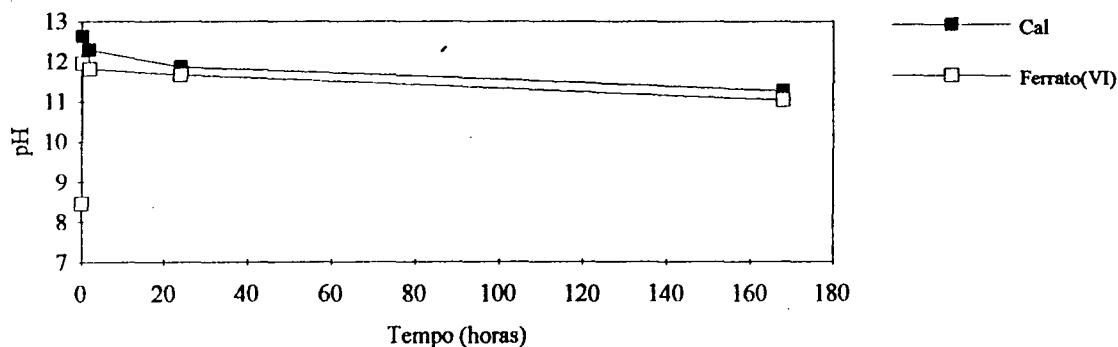


Figura 5.9. Comparação do decaimento de pH das amostras de lodo da ETE-CUR, tratadas com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.

As amostras de lodo da ETE-SM tratado com cal, tiveram seu pH elevado para 12,40 em 2 horas, mas mostraram rápida queda para 10,91 em 24 horas. As dosagens de ferrato(VI), foram capazes de elevar o pH do lodo de 6,46 para 13,07 em 2 horas. A queda do pH foi menos acentuada que a do lodo tratado com cal.

As amostras do lodo da ETE-ESM estabilizadas com cal, teve o pH elevado de 6,01 para 12,41 em 2 horas. No sétimo dia, o pH das amostras líquidas decaiu para 11,57. No lodo tratado com ferrato(VI), o pH foi elevado para 11,58 em 2 horas e diminuiu para 10,67 no sétimo dia.

O lodo da ETE-CUR, tratado com cal, teve o pH elevado de 8,46 para 12,29 em 2 horas, decaindo para 11,26 no sétimo dia. No tratamento com ferrato(VI), foi obtido um

pH de 11,81 em 2 horas e 11,03 no sétimo dia.

Os lodos da ETE-ESM e ETE-CUR estabilizados com ferrato(VI) de potássio, apesar de não terem obtidos pHs mais elevados que as amostras de lodo tratados com cal, o decaimento foi similar.

5.2. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

As Tabelas A.4, A.5 e A.6, em anexo, mostram os resultados das características físico-químicas e do teste de REF das amostras individuais do lodo bruto e das estabilizadas com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio. Os valores de pH, referem-se aos obtidos 24 horas após o tratamento, pois realizou-se as análises via base úmida após esse tempo de contato. Os valores médios e a faixa de variação (extremos) de diferentes parâmetros, dos lodos brutos, são apresentados na Tabela 5.5. Os conteúdos de metais serão apresentados em um item específico, devido ao grande número de informações.

Verificando as Tabelas A.4, A.5 e A.6, em anexo, nota-se que as características variam bastante a cada amostra de lodo, como também a resposta em relação à estabilização com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio. Por isso, a discussão dos resultados se fixou basicamente nos valores médios, sendo comentados somente aqueles que mereceram um destaque maior. Imediatamente, numa rápida observação é possível verificar que a composição dos lodos produzidos nas diferentes ETEs é muito variável, refletindo o tipo de processo de tratamento empregado e a origem do esgoto. As possíveis causas da variação da composição dos lodos são discutidas a seguir.

Nas Tabelas 5.6, 5.7 e 5.8 são apresentados os valores médios das características físico-químicas dos lodos da ETE-SM, ETE-ESM e ETE-CUR, estabilizados com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.

Tabela 5.5. Médias e valores extremos das características físico-químicas do lodo bruto da ETE-SM, ETE-ESM e ETE-CUR

Amostra	Unidade	SM			ESM			CUR		
		Média	Extremos		Média	Extremos		Média	Extremos	
			Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo
pH		6,53	6,34	6,66	6,09	5,87	6,53	8,13	7,14	9,36
Temperatura	°C	19,3	15,5	22,0	20,2	16,0	25,0	20,7	19,0	23,5
Condutividade	µmhos/cm	700	460	950	1362	435	2700	9833	700	14000
ST	%	3,63	2,76	4,45	11,66	11,24	11,93	6,70	3,07	10,99
SFT	%	44,54	37,75	55,48	56,78	53,83	61,24	46,91	34,67	55,08
SVT	%	55,46	44,52	62,25	43,22	38,76	46,17	53,09	44,92	65,33
Alcalinidade	mg/kg PS	48308	13435	108077	20808	16415	26844	164559	116844	207760
DQO	mg/g PS	730	566	824	726	638	776	1035	755	1270
Carbono Orgânico	%	24,44	17,61	28,02	25,86	22,76	28,23	40,00	26,67	48,24
NTK	mg/kg PS	44174	34849	50332	26447	23924	29594	34274	25424	43041
Amônia-N	mg/kg PS	1351	900	1905	2784	2277	3138	5172	3385	7156
Nitrogênio Orgânico	mg/kg PS	42823	33949	48427	23663	21647	26656	29102	22039	35885
Nitrato-N	mg/kg PS	40	8	97	19	8	27	82	14	185
Fósforo Disponível	mg/kg PS	874,0	315,0	1894,0	26,6	20,4	34,3	8,9	7,3	11,7
O&G	%	9,8	6,4	16,5	8,7	4,6	11,9	23,2	20,9	26,6
Sulfatos Totais	mg/kg PS	6997	5704	8053	12149	8992	15250	42407	13258	81783
Sulfetos Dissolvidos	mg/kg PS	589	279	913	703	691	745	1593	1270	1857
REF	cm/g	1,55E+10	1,10E+10	2,86E+10	1,16E+10	9,90E+09	1,32E+10	4,49E+09	6,60E+08	4,44E+10

Tabela 5.6. Valores médios das características físico-químicas do lodo da ETE-SM, tratados com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, após 24 horas.

Parâmetros	Unidade	B	CH	F1	F2	F3
pH		6,53	10,91	11,62	12,48	13,30
Temperatura	°C	19,3	19,0	19,2	19,0	19,5
Condutividade	µmhos/cm	700	1833	6233	11400	26300
ST	%	3,63	3,91	4,63	5,13	6,63
SFT	%	44,54				
SVT	%	55,46				
Alcalinidade	mg/kg PS	48308	114996	141570	188149	325834
DQO	mg/g PS	730	666	553	464	300
Carbono Orgânico	%	24,44	22,46	19,30	14,71	12,13
NTK	mg/kg PS	44174	37394	37571	32644	26577
Amônia-N	mg/kg PS	1351	1212	869	734	518
N. Orgânico	mg/kg PS	42823	36182	36702	31910	26059
Nitrato-N	mg/kg PS	40	89	455	600	732
Fósforo Disponível	mg/kg PS	874,0	198,2	87,7	72,3	61,9
O&G	%	9,8	7,9	4,5	4,0	3,7
Sulfatos Totais	mg/kg PS	6997	7643	5546	6363	6751
Sulfetos Dissolvidos	mg/kg PS	589	731	223	48	17
REF	cm/g	1,55E+10	2,84E+10	3,91E+10	3,29E+10	3,90E+10

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela 5.7. Valores médios das características físico-químicas do lodo da ETE-ESM, tratados com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, após 24 horas.

Parâmetros	Unidade	B	CH	F1	F2	F3
pH		6,09	12,02	9,97	11,14	12,72
Temperatura	°C	20,2	20,5	20,3	20,5	20,3
Condutividade	µmhos/cm	1362	3133	5133	7483	15333
ST	%	11,66	12,37	12,66	13,16	14,66
SFT	%	56,78				
SVT	%	43,22				
Alcalinidade	mg/kg PS	20808	74343	44958	55267	81284
DQO	mg/g PS	726	690	652	628	505
Carbono Orgânico	%	25,86	23,64	22,15	21,58	17,16
NTK	mg/kg PS	26447	21109	21856	21125	19140
Amônia-N	mg/kg PS	2784	947	1694	1021	507
N. Orgânico	mg/kg PS	23663	20162	20462	20104	18633
Nitrato-N	mg/kg PS	19	33	53	90	213
Fósforo Disponível	mg/kg PS	26,6	10,2	12,3	7,9	5,9
O&G	%	8,7	6,4	7,0	6,2	4,7
Sulfatos Totais	mg/kg PS	12149	21108	26703	30116	30871
Sulfetos Dissolvidos	mg/kg PS	703	858	605	208	49
REF	cm/g	1,16E+10	1,01E+10	2,54E+10	3,69E+10	6,31E+10

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela 5.8. Valores médios das características físico-químicas do lodo da ETE-CUR, tratados com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, após 24 horas.

Parâmetros	Unidade	B	CH	F1	F2	F3
pH		8,13	11,85	10,92	11,44	12,62
Temperatura	°C	20,7	20,7	20,8	20,8	20,8
Condutividade	µmhos/cm	9833	12067	14833	17500	28833
ST	%	6,70	7,72	7,70	8,20	9,70
SFT	%	46,91				
SVT	%	53,09				
Alcalinidade	mg/kg PS	164559	340589	204191	223488	250653
DQO	mg/g PS	1035	832	858	764	648
Carbono Orgânico	%	40,00	34,35	34,81	33,56	26,07
NTK	mg/kg PS	34274	23879	27603	25322	19933
Amônia-N	mg/kg PS	5172	2237	2467	1976	1441
N. Orgânico	mg/kg PS	29102	21642	25136	23346	18492
Nitrato-N	mg/kg PS	82	54	147	355	2102
Fósforo Disponível	mg/kg PS	8,9	6,0	6,8	6,0	5,0
O&G	%	23,2	16,2	17,9	14,1	11,7
Sulfatos Totais	mg/kg PS	42407	33473	34334	40230	43157
Sulfetos Dissolvidos	mg/kg PS	1593	1560	827	341	12
REF	cm/g	4,49E+09	8,01E+08	5,10E+09	4,40E+09	3,40E+09

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

5.2.1. ORGÂNICOS

As medidas de orgânicos realizados nos lodos estudados foram DQO, Carbono orgânico e O&G.

A DQO média da amostra bruta do lodo da ETE-SM de 730 mg/gPS, diminuiu 1,78%, com o tratamento com a cal e 3,42%, 10,14% e 24,93% respectivamente, com as dosagens crescentes de ferrato(VI). Do valor médio de 24,44% de Carbono orgânico encontrado no lodo bruto, as reduções foram de 1,02% no tratamento com cal e 14,93% na dose F2 e 9,37% na dose F3 de ferrato(VI). Na dose F1, eliminando-se o efeito da diluição com adição de ferrato(VI), verifica-se um aumento nas concentrações de Carbono orgânico em relação ao bruto de 0,74%. Como não foi adicionado Carbono orgânico na amostra, supõe-se que não houve variação desse elemento. Tanto para DQO quanto para Carbono orgânico, era muito difícil obter uma alíquota representativa, devido a pequena quantidade requerida para a análise. Os 9,8% de O&G do lodo bruto foram reduzidos 13,27% no tratamento com cal. Remoções ainda maiores foram obtidos no tratamento com ferrato(VI). Essas remoções foram de 41,84% nas doses F1 e F2 e 30,61% na dose F3.

Teoricamente a remoção de O&G deveria ser maior na dose F3. Isso não se verificou, provavelmente, devido a problemas de amostragem ou do procedimento analítico. Na Figura 5.10 pode ser visto a percentagem de O&G remanescente em cada dose de ferrato(VI) aplicado.

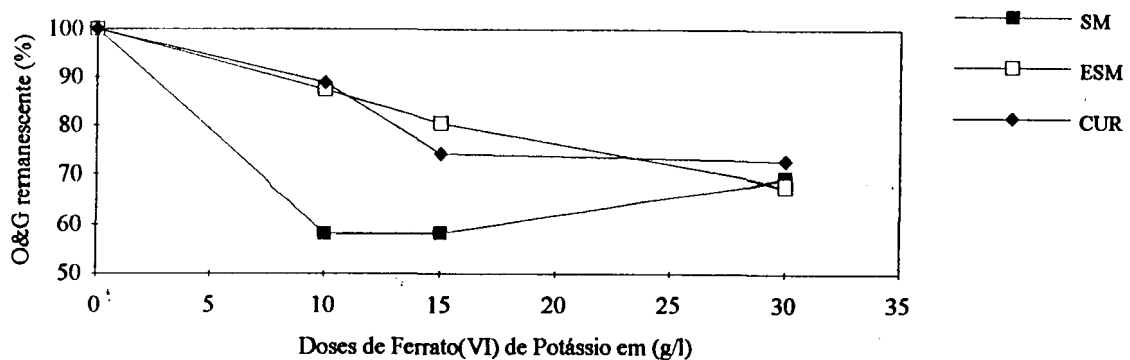


Figura 5.10. Efeito da concentração de ferrato(VI) de potássio na remoção de O&G.

A DQO média de 726 mg/gPS do lodo bruto da ETE-ESM, praticamente não foi alterada no tratamento com cal, tendo um aumento de 0,83%, provavelmente, provocado pela precisão do método analítico. As reduções foram de 2,48%, 2,34% e 12,53% de acordo com o aumento das dosagens de ferrato(VI). A concentração média de Carbono orgânico de 25,86% do lodo bruto foi reduzida 3,02% no tratamento com cal, 6,69% com a menor dosagem de ferrato(VI), 5,88% na dosagem intermediária e 16,55% na dosagem mais alta. Os O&G do lodo bruto (8,7%) foram removidos 21,84% com cal e 12,64%, 19,54% e 32,18%, em ordem crescente de ferrato(VI) aplicado (Figura 5.10).

O lodo primário originário de curtume (ETE-CUR) mostra uma concentração bastante elevada (1035 mg/gPS) de DQO. No tratamento com cal houve uma remoção de 7,34% e com ferrato(VI) 4,73%, 9,66% e 9,37%, respectivamente, da menor para a maior dosagem. O teor de Carbono orgânico no lodo também é elevada (40,00%). Os resultados indicam que o tratamento com cal removeu 1,05%. Com o ferrato(VI), nas doses F1 e F2 foram verificados aumentos, provavelmente, causados pelo método analítico e/ou amostragem. Portanto, pode-se considerar que não houve remoção de Carbono orgânico. Na dose F3 a remoção de Carbono orgânico foi de 5,65%. Os 23,2% de O&G do lodo bruto foram removidos 19,40% no tratamento com cal. Com o ferrato(VI) as remoções foram de 11,21% (F1), 25,86% (F2) e 27,16% (F3) (Figura 5.10).

As reduções dos teores de O&G nos lodos estabilizados é, provavelmente, devido ao

ambiente altamente alcalino criado pela adição de cal e ferrato(VI), podendo ter ocorrido a saponificação desses componentes. Acredita-se que as moléculas de Óleos e Graxas se rompem na estabilização com esses produtos químicos. No caso do lodo tratado com ferrato(VI), além do efeito da saponificação, pode ter ocorrido uma forte ação oxidante conhecida como "secagem de óleo". Nesse caso, o oxigênio une-se às ligações duplas e forma um material parecido com resina (SAWYER & McCARTY, 1987). Esta pode ser uma das razões do aumento da REF (que serão discutidos mais adiante), ocorridas nas dosagens mais altas de ferrato(VI). A destruição de O&G pela estabilização do lodo com cal, para elevar o pH a níveis acima de 12 em 2 horas, pode ser uma das razões da melhoria das condições de filtração dos lodos.

As eficiências conseguidas na remoção de O&G pelo tratamento com cal e com o ferrato(VI), podem favorecer a disposição do lodo no solo. O efeito imediato de O&G no solo é o decréscimo da troca de gases entre o solo e o ar. Os solos saturados com óleo não são molhados facilmente, podendo aumentar o escoamento pluvial.

Comparativamente, o lodo da ETE-CUR foi o que apresentou as maiores concentrações de DQO, Carbono orgânico e O&G. Os lodos da ETE-SM e da ETE-ESM continham os teores desses componentes em valores bem semelhantes, porém, inferiores que o lodo da ETE-CUR. Os resultados obtidos, indicam que o lodo da indústria, apresenta uma condição mais tóxica à disposição no solo, e a presença de substâncias orgânicas biologicamente resistentes em quantidades maiores que os lodos derivados de esgotos domésticos. A liberação de oxigênio na decomposição do ferrato(VI), pode promover a formação de óxidos de carbono que hidrolizam na água.

O conteúdo calórico dos lodos brutos da ETE-SM de 14,20 MJ/kg, da ETE-CUR de 13,53 MJ/kg e da ETE-ESM de 10,73 MJ/kg, calculados pela equação apresentada no ítem 3.3.1, representa, aproximadamente, a terça parte do valor combustível de um carvão de alto grau, mas pode dar uma idéia do valor calórico. Esses valores podem ser mais altos em escala real pois o peneiramento do lodo pode ter removido grande parte de material combustível, como fibras de tecido vegetal, cabelos e, no caso do lodo de curtume, pelos e aparas de couro. Mesmo assim, poderiam ser incinerados diretamente em sistemas de combustão com controle de emissão de gases. No entanto, devido ao conteúdo de umidade do lodo seco, cinzas, etc., a sua utilização como combustível substituto deve ser melhor avaliada pois é possível que a relação não seja direta.

5.2.2. NUTRIENTES

Dos vários elementos nutrientes de plantas encontrados nos lodos examinados, neste ítem serão discutidos apenas o fósforo e o nitrogênio.

Como o extrator ácido utilizado para a análise de fósforo solubiliza somente a parte adsorvida pelos constituintes do lodo, porisso considerado "disponível", as reduções ocorridas nos lodos estabilizados com cal e com ferrato(VI), sugerem que o fósforo foi retido ou precipitado em formas menos solúveis.

A redução nos valores de fósforos solúveis nos lodos tratados com cal, provavelmente, deve-se a reação com o ortofosfato, para formar precipitado como uma variedade de fosfato de cálcio. Os íons fosfato do lodo tratado com ferrato(VI), podem estar retidos principalmente nas superfícies de óxidos hidratados de ferro, que fixam fósforo em grandes quantidades, provavelmente, na forma de fosfatos básicos de ferro, tais como a strengita ($\text{Fe}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$) que é uma das formas menos solúveis de ferro. Portanto, é preciso conhecer e entender a natureza e a forma de fósforo no lodo.

O valor médio de fósforo disponível do lodo bruto da ETE-SM de 874,0 mg/kgPS, foi reduzido em 75,57% em média, quando tratado com cal e 87,20%, 88,31% e 87,06% nos lodos tratados com ferrato(VI) em ordem crescente de doses aplicadas. Neste lodo, as remoções de fósforo disponível foram semelhantes nas três doses de ferrato(VI).

No lodo anaeróbio bruto da ETE-ESM, foi encontrado um valor médio de fósforo disponível de 26,6 mg/kgPS, que foi reduzida 59,40% no tratamento com cal e 49,62% na dose F1, 65,54% na dose F2 e 72,18% na dose F3 de ferrato(VI).

O valor médio de fósforo disponível do lodo bruto da ETE-CUR foi de 8,9 mg/kgPS. Esse valor foi reduzido 22,22% no tratamento com cal e 11,24%, 17,98% e 17,98%, em ordem crescente de ferrato(VI) aplicado.

O lodo da ETE-SM foi o que apresentou a maior concentração média de fósforo disponível, provavelmente devido a grande utilização de compostos fosfatados, tais como detergentes, pela população contribuinte a ETE-ESM. Dos três lodos estudados, o lodo de curtume foi o de menor teor de fósforo disponível e, provavelmente, devido a isso, foi removido em menor grau, tanto no lodo tratado com cal, quanto com ferrato(VI). O lodo bruto da ETE-SM que apresenta uma concentração de fósforo

disponível mais elevada que os demais, teve este elemento retido mais fortemente no tratamento com cal, possivelmente, por apresentar menor teor de sólidos. A retenção de fósforo disponível no lodo tratado com cal, foi maior que a do lodo tratado com uma dose similar de ferrato(VI) no lodo da ETE-ESM e ETE-CUR, e a um menor grau no lodo da ETE-SM, onde provavelmente prevaleceu a ação do ferro.

O lodo bruto da ETE-SM apresentou uma média de 44174 mg/kgPS de NTK. No tratamento com cal, esse valor foi reduzido para 37394 mg/kgPS e 37571 mg/kgPS na dose F1, 32644 mg/kgPS na dose F2 e 26577 mg/kgPS na dose F3 de ferrato(VI).

Na ETE-ESM o valor médio de 26447 mg/kgPS de NTK do lodo bruto, foi reduzido para 21109 mg/kgPS no tratamento com cal e 21856 mg/kgPS na dose F1, 21125 mg/kgPS na dose F2 e 19140 mg/kgPS na dose F3 de ferrato(VI).

O valor médio de NTK do lodo bruto da ETE-CUR, foi determinado como sendo de 34274 mg/kgPS. Esse valor foi reduzido para 23879 mg/kgPS quando tratado com cal e 27603 mg/kgPS com a dose F1, 25322 mg/kgPS com a dose F2 e 19933 mg/kgPS com a dose F3 de ferrato(VI).

Os resultados indicam que o lodo bruto da ETE-SM (4,42%) é a que apresenta maior concentração de NTK, seguida pelo lodo bruto da ETE-CUR (3,43%), sendo o lodo bruto da ETE-ESM (2,66%) o de menor teor.

Do nitrogênio presente no lodo bruto da ETE-SM 96,94% em média, encontra-se na forma de nitrogênio orgânico. 89,47% do nitrogênio total do lodo bruto da ETE-ESM estava na forma orgânica e, o lodo bruto da ETE-CUR apresentou 84,91% de nitrogênio orgânico.

Exceto, no lodo da ETE-SM, quando tratados com cal e com ferrato(VI), o lodo da ETE-ESM e ETE-CUR tiveram os teores de NTK diminuídos, indicando que possivelmente, ocorreu alguma perda de nitrogênio para a atmosfera. No lodo da ETE-SM, verificou-se redução nas concentrações de NTK e nitrogênio orgânico quando tratado com ferrato(VI), provavelmente devido a alguma contaminação e/ou precisão do método analítico, uma vez que o aumento máximo ocorrido foi de 9,89% na dose F3.

O aumento das concentrações de nitrato presente como nitrogênio (Nitrato-N) mostra que, além da provável contaminação pelo ferrato(VI) (na síntese é utilizada o

nitrato férrico), pode ter ocorrido nitrificação (oxidação química).

O nitrato pode representar um sério risco para a qualidade das águas subterrâneas, apesar de ser esta a forma de nitrogênio utilizada pelas plantas. Portanto, se o lodo for aplicado ao solo, deve ser feito com extremo critério, ou seja, aplicado de acordo com as necessidades das culturas. As demais discussões sobre estes elementos do lodo são discutidos no ítem odores.

O nitrogênio e o fósforo presentes, principalmente no lodo da ETE-SM, evidencia a possibilidade de seu uso como fontes de nutrientes para plantas. No entanto, é preciso avaliar o efeito fertilizante dos lodos sobre as culturas, principalmente os estabilizados com ferrato(VI) de potássio.

5.2.3. ODORES NO LODO

Nas Estações de Tratamentos de Esgotos, durante a coleta de lodo, constatou-se que a geração de odores ofensivos é bastante elevada, principalmente, durante o processo de desaguamento do lodo. O ambiente torna-se insalubre, provocando situações incômodas, para não dizer perigosas, para funcionários de ETEs e moradores da vizinhança.

Como em geral, os odores são causados por compostos sulfurosos, compostos nitrosos, ácidos e compostos orgânicos (aldeídos e cetonas), foi pesquisada a possibilidade de redução dessas substâncias odoríficas pela avaliação dos níveis de amônia e sulfetos, nos processos de estabilização com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.

O valor médio obtido na amostra bruta dos lodos, gerados durante os processos de lodos ativados da ETE-SM, foi de 1351 mg/kgPS para amônia presente na forma de nitrogênio (Amônia-N) e 589 mg/kgPS para sulfetos dissolvidos. No lodo estabilizado com cal, houve uma redução de 3,40% de amônia-N e um aumento de 33,62% de sulfetos dissolvidos. Nos lodos estabilizados com ferrato(VI) foram verificadas reduções de amônia-N de 17,99% na dose F1, 23,24% na dose F2 e 29,98% na dose F3 (Figura 5.11). Os sulfetos dissolvidos foram reduzidos 51,78%, 88,46% e 94,74% (Figura 5.12), respectivamente, em ordem crescente de doses de ferrato(VI). A diminuição do teor de amônia no lodo tratado com cal, pode ser maior pela volatilização, pelo aumento do pH,

do que se transformar em outra forma de nitrogênio tais como nitrato.

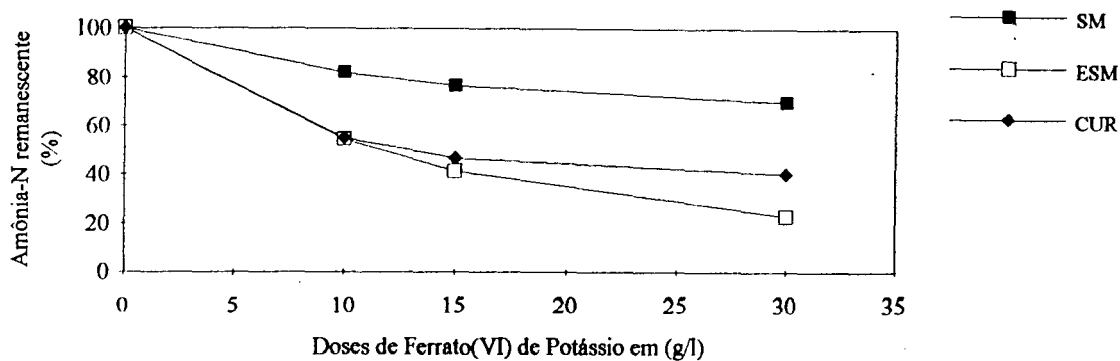


Figura 5.11. Efeito da concentração de ferrato(VI) de potássio na remoção de amônia-N.

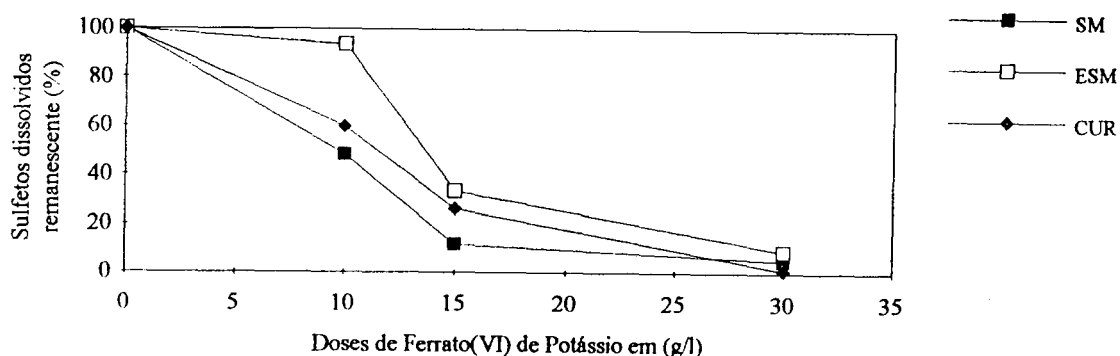


Figura 5.12. Efeito da concentração de ferrato(VI) de potássio na remoção de sulfetos dissolvidos.

Os resultados comprovam que o ferrato(VI) foi efetivo na oxidação de amônia a nitrato no lodo da ETE-SM, o qual representa 8 números de oxidação. O nitrato-N aumentou em média 140,00% no lodo estabilizado com cal. Nos lodos estabilizados com ferrato(VI), o teor de nitrato-N aumentou 1350,00% na dose F1, 2020,00% na dose F2 e 3242,50% na dose F3. No lodo tratado com cal, verificou-se um aumento no teor de sulfatos totais de 17,66% e as tratadas com ferrato(VI), aumentaram 1,10% na dose F1, 28,51% na dose F2 e 76,21% na dose F3. Assim, o lodo da ETE-SM tratado com ferrato(VI), principalmente nas doses mais elevadas, apresentam baixo potencial para gerar odores se não ocorrerem mudanças no pH do lodo, tornando-o um produto livre de odores ofensivos para o manejo e disposição final.

As percentagens médias de reduções encontradas no lodo anaeróbio do reator UASB da ETE-ESM para amônia-N no tratamento com ferrato(VI), foi de 45,62% na dose F1, 58,62% na dose F2 e 77,12% na dose F3 (Figura 5.11). Para sulfetos dissolvidos a redução foi de 6,54% na dose F1, 66,57% na dose F2 e 91,18% na dose F3 (Figura 5.12). O lodo tratado com cal apresentou uma redução média de 63,90% de amônia-N e um aumento de 29,45% no teor de sulfetos dissolvidos. Tanto a cal, quanto o ferrato(VI), proporcionaram aumento nas concentrações de nitrato-N e sulfatos. O nitrato aumentou 84,21% com cal e 205,26%, 436,84% e 1310,53%, respectivamente com as doses em ordem crescente de ferrato(VI). Os sulfatos aumentaram 84,32% com cal e 138,65% na dose F1, 179,78% na dose F2 e 219,48% na dose F3 de ferrato(VI). Neste lodo fica evidente o efeito da oxidação de compostos reduzidos de enxofre a sulfato, o que representa 8 níveis de oxidação. As reduções dos teores de amônia e sulfetos dissolvidos com o tratamento do lodo da ETE-ESM com ferrato(VI) e o aumento das concentrações de nitrato, reduziram consideravelmente os odores. No lodo tratado com cal observou-se odores acentuados durante o processo, provavelmente devido a emissão de amônia.

O lodo primário da ETE-CUR, apresenta concentrações bastante elevadas de amônia-N (5172 mg/kgPS) e de sulfetos dissolvidos (1593 mg/kgPS). A estabilização do lodo de curtume com cal removeu uma média de 50,15% de amônia-N, porém aumentou o teor de sulfetos dissolvidos (12,87%). No tratamento sentia-se a liberação de amônia. Essa constatação é confirmada pela redução de NTK (19,72%). A redução de amônia-N no lodo tratado com ferrato(VI) foi de 45,19% na dose F1, 53,25% na dose F2 e 59,67% na dose F3 (Figura 5.11). O nitrato-N do lodo da ETE-CUR tratado com cal, reduziu 24,39% e aumentou 106,10%, 429,27% e 3610,98%, respectivamente nas doses F1, F2 e F3 de ferrato(VI). Os sulfetos dissolvidos foram reduzidos 40,36% na dose F1, 73,82% na dose F2 e 98,93% na dose F3 (Figura 5.12). Os sulfatos foram reduzidos 9,05% no tratamento com cal, 6,95% na dose F1 e acréscimo nas doses F2 (16,11%) e F3 (47,34%) de ferrato(VI). A redução nos teores de sulfatos totais verificada na dose F1 de ferrato(VI), nos leva a concluir que os sulfetos dissolvidos foram precipitados ou transformados em sulfetos ionizados não-voláteis, ou em enxofre elementar no lodo tratado com ferrato(VI), principalmente na dose F1, ao invés de serem oxidados, por exemplo a sulfato, reduzindo o potencial para odores de sulfetos de hidrogênio. O oposto ocorreu no lodo tratado com cal. Esses resultados mostram que o ferrato(VI) foi bastante efetivo na redução de compostos odoríficos no lodo de curtume, principalmente nas dosagens mais altas. Apesar dos resultados sugerirem que grande parte da amônia fora oxidada a nitrato, também fica evidente a eliminação da forma volátil de nitrogênio devido a elevação de pH. Isso pode ser confirmado pela redução

dos teores de NTK.

Analisando todos esses resultados, verifica-se que o ferrato(VI) de potássio, reúne num só produto, os vários produtos químicos comumente empregados nos métodos de controle de odores no tratamento do lodo. O ferrato(VI) produz elevação de pH; remoção de sulfeto de hidrogênio, através da formação de precipitados com várias formas de íons de ferro (férico ou ferroso); destruição de produtos odoríficos pelo poder oxidante, podendo transformar os sulfetos em sulfatos; aeração promovida pelo oxigênio gerado na decomposição; e duplo efeito desejável de transformação de amônia em nitrato, onde este produto pode tomar o lugar do sulfato e agir como acceptor de elétron e prevenir o desenvolvimento de substâncias odoríficas.

5.2.4. RESISTÊNCIA ESPECÍFICA À FILTRAÇÃO (REF)

A resistência específica tem significado na caracterização da porosidade de uma torta de um lodo filtrado. Como pode ser visto na revisão bibliográfica, a porosidade depende de muitas propriedades físicas, tais como a distribuição do tamanho da partícula, sua forma, da concentração e da compressibilidade. Isso gera muitas combinações que podem dar a mesma resistência específica à filtração. Ainda, verifica-se que a equação desenvolvida para o cálculo da REF não descreve adequadamente o efeito da concentração de sólidos e assume que as partículas são incompressíveis. Então deve ser tomado muito cuidado para a comparação da resistência de diferentes lodos.

O lodo da ETE-SM apresentou uma REF média de $1,55 \times 10^{10}$ cm/g para o lodo bruto. Com o tratamento com cal a REF aumentou para $2,84 \times 10^{10}$ cm/g e com ferrato(VI) houve um aumento para $3,91 \times 10^{10}$ cm/g nas doses F1 e F2 e $3,29 \times 10^{10}$ cm/g na dose F3. Verifica-se que no lodo da ETE-SM tanto o bruto quanto os tratados com produtos químicos apresentam valores de REF menores que o obtido para lodo ativado bruto por KARR & KEINATH, 1978 ($4,8 \times 10^{12}$ cm/g). Apesar disso, a adição de cal para alcançar pH maior que 12 em 2 horas após o tratamento, teve as características de desaguamento pioradas. O mesmo aconteceu com os lodos tratados com ferrato(VI), indicando que as doses de cal e ferrato(VI) utilizados não são aquelas referidas para produzir uma taxa de desaguamento aceitável, ou os produtos químicos utilizados, não são adequados para o bom condicionamento deste tipo de lodo.

Apesar dos valores da REF do lodo da ETE-SM serem inferiores ao valor 10^{11} cm/g sugerido por CHRISTENSEN & DICK, 1985 apud ALMEIDA et al., 1991b, com respeito ao condicionamento de lodo, as amostras eram difíceis de desaguar. Neste lodo ocorreu uma pequena melhora em relação aos valores médios, com o aumento da dose de ferrato(VI). Agora, de acordo com os valores individuais de REF da Tabela A.4, em anexo, o lodo da terceira coleta (SM3) tratado com 30 g/l de ferrato(VI), foi extremamente difícil de desaguar (REF de $2,76 \times 10^{11}$ cm/g).

Em geral, os lodos da ETE-SM tratados com cal e principalmente com ferrato(VI), apresentavam aspecto gelatinoso e, conseqüentemente, difícil de filtrar, pois os sólidos sedimentavam rapidamente e colmatavam o filtro quase que imediatamente ao início do teste. No final do teste era possível visualizar uma camada de água sobrenadante. Provavelmente, este fenômeno ocorreu devido a formação de precipitados de hidróxidos de ferro e hidróxidos de cálcio.

A maior dificuldade encontrada ao desaguamento do lodo da ETE-SM, provavelmente deve-se a sua condição de lodo biológico, com baixos teores de sólidos e uma composição química e física complexa e uma grande quantidade de materiais poliméricos extracelulares (aeração estendida).

O lodo anaeróbio da ETE-ESM tratado com cal teve as características de desaguamento melhoradas (REF de $1,01 \times 10^{10}$ cm/g) em relação ao lodo bruto ($1,16 \times 10^{10}$ cm/g). As dosagens utilizadas de ferrato(VI) tiveram um impacto significativo na taxa de desaguamento do lodo da ETE-ESM, tornando-o extremamente difícil de desaguar. O valor médio da REF foram de $2,54 \times 10^{10}$ cm/g para a dose F1, $3,69 \times 10^{10}$ cm/g para a dose F2 e $6,31 \times 10^{10}$ cm/g para a dose F3. Como se vê, a dificuldade foi aumentada com o aumento da dose de ferrato(VI), provavelmente devido a formação de hidróxidos de ferro.

Os valores médios de REF obtidos para o lodo bruto da ETE-ESM, para o lodo tratado com cal e para o lodo tratado com ferrato(VI) na dose F1 (10 g/l) foram menores que os encontrados por ALMEIDA et al., 1991a, para o lodo anaeróbio de UASB condicionado ($< 3,0 \times 10^{10}$ cm/g). As REFs das doses F2 e F3 de ferrato(VI), encontram-se dentro da faixa obtida pelos autores citados. Apesar disso, não foram observadas formações apropriadas de torta de lodo dentro de 10 minutos, que é a duração do teste de REF, pois os filtros colmatavam rapidamente.

Os testes de REF, mostram que o lodo de curtume são extremamente fáceis de desaguar, tendo em vários testes havido rachadura da torta formada antes de decorrido 10 minutos de filtração. O lodo da ETE-CUR tratado com cal apresentou valores médios de REF ($8,01 \times 10^8$ cm/g) menores que os encontrados para o lodo bruto ($4,49 \times 10^9$ cm/g). Talvez esses valores possam ser melhoradas, ainda mais se forem feitos ensaios com outras dosagens de cal, procurando um melhor condicionamento. O ferrato(VI) aplicado no lodo de curtume afetou apenas marginalmente a taxa de desaguamento. A dose F1 ($5,10 \times 10^9$ cm/g) aumentou o valor médio da REF em relação ao lodo bruto e as doses F2 ($4,40 \times 10^9$ cm/g) e F3 ($3,4 \times 10^9$ cm/g) diminuíram. Os valores médios do lodo bruto e dos estabilizados com cal e com ferrato(VI) encontrados no lodo da ETE-CUR, indicam que podem ser desaguados economicamente. Embora os testes de REF indiquem uma boa performance com respeito ao desaguamento do lodo de curtume, não podem ser garantidos resultados similares em escala real.

Os resultados dos testes de REF que representam a resistência relativa que um lodo oferece para drenar o seu componente líquido, mostram que as características de desaguamento variam de acordo com o tipo de lodo e com os produtos químicos que foram adicionados. A capacidade de desaguamento de alguns lodos foi apenas marginalmente afetada por adição de cal e de ferrato(VI), enquanto que outros lodos foram substancialmente afetadas por adições desses produtos químicos. O lodo da ETE-CUR teve as características de desaguamento melhoradas com cal e pioradas com o ferrato(VI). Como o objetivo deste trabalho era a procura de dosagens desses produtos para uma boa estabilização do lodo, na maioria dos casos o aspecto do condicionamento foi prejudicado. Apesar disso, as taxas de desaguamento obtidas são comparáveis às performances obtidas por diversos pesquisadores utilizando outros lodos e condicionantes químicos.

A elevada alcalinidade, como pode ser visto na Tabela 5.5, gerada pela estabilização com cal e com ferrato(VI), pode prejudicar a performance de agentes condicionantes orgânicos e inorgânicos que venham a ser utilizados para melhorar as características de desaguamento.

5.3. METAIS

Nas Tabelas A.7 a A.15, em anexo, são apresentadas as concentrações de metais do lodo bruto e dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade a pH 4 e a pH 2, das

amostras individuais coletadas na ETE-SM, ETE-ESM e na ETE-CUR.

Na análise de metais totais verificou-se, através dos dados que o método adotado "Dry Ashing", apesar de recomendado pelo Standard Methods para materiais como lodos, não parece ser muito eficiente para solubilizar os metais de lodos, principalmente daqueles estabilizados com produtos químicos como cal e ferrato(VI) de potássio. Portanto, deveria ser testada uma técnica mais eficiente para colocar os metais na forma solúvel e então determinar a sua concentração. Digerir o lodo com 5 ml de ácido nítrico até a amostra tornar-se levemente colorida ou numa solução clara, e então filtrar e analisar, pode ser uma opção a ser experimentada.

A Tabela 5.9 mostra as médias aritméticas e valores extremos das concentrações de metais encontrados no lodo bruto da ETE-SM, ETE-ESM e ETE-CUR.

Tabela 5.9. Concentrações médias e valores extremos de metais do lodo bruto da ETE-SM, ETE-ESM e ETE-CUR, em mg/kgPS.

Amostra	SM		ESM		CUR				
	Média	Extremos		Média	Extremos		Média	Extremos	
		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo
Cádmio	3,04	2,64	3,60	1,40	0,95	1,68	6,69	4,20	10,70
Cálcio	5855,97	2492,05	7917,24	4686,17	3744,82	6158,62	44005,11	13158,62	76280,30
Chumbo	38,27	35,57	39,62	11,27	7,23	15,33	69,98	49,74	100,35
Cobre	80,86	59,51	99,76	108,50	96,10	116,83	36,34	28,42	45,49
Cromo Total	36,16	22,50	46,22	19,68	16,10	22,55	4543,57	2985,84	6711,33
Ferro	6120,51	5662,64	6908,06	1712,53	1618,74	1732,22	236,65	191,13	261,61
Magnésio	3483,07	2298,82	5782,10	1504,83	1190,80	1710,15	4112,25	1130,45	9315,00
Potássio	3149,67	2381,50	3948,00	581,50	522,50	649	2004,67	1240,00	2728,00
Sódio	1745,00	1394,50	2294,00	260,50	239,50	278,5	73866,67	64350,00	82250,00
Zinco	372,18	265,80	47,15	269,87	229,75	298,65	58,97	29,66	83,05

Da ordenação dos valores constantes da Tabela 5.9, verifica-se que as concentrações relativas dos metais nos lodos brutos são variáveis e seguiram a seguinte ordem:

ETE-SM: Fe > Ca > Mg > K > Na > Zn > Cu > Pb > Cr > Cd;

ETE-ESM: Ca > Fe > Mg > K > Zn > Na > Cu > Cr > Pb > Cd;

ETE-CUR: Na > Ca > Cr > Mg > K > Fe > Pb > Zn > Cu > Cd.

Comparando-se os metais encontrados no lodo bruto da ETE-SM, ETE-ESM e ETE-CUR, verifica-se que 60% dos metais analisados são mais elevados no lodo originário da indústria de curtimento de couro. Em relação aos demais lodos estudados, o da ETE-ESM foi o que apresentou os menores teores de metais (70%). O lodo da ETE-SM apresentou um nível intermediário de metais (70%). A ordem de ocorrência de cada metal, que sem dúvida reflete a origem do lodo, é apresentada na relação a seguir: Cd: CUR > SM > ESM; Ca: CUR > SM > ESM; Pb: CUR > SM > ESM; Cu: ESM > SM > CUR; Cr: CUR > SM > ESM; Fe: SM > ESM > CUR; Mg: CUR > SM > ESM; K: SM > CUR > ESM; Na: CUR > SM > ESM; e Zn: SM > ESM > CUR.

A série obtida acima, com cada lodo, bruto mostra que os lodos da ETE-SM e ETE-ESM, derivados de esgotos domésticos, apresentam níveis de concentrações relativas semelhantes. Na ETE-CUR a série é bastante diferente das demais, com os elementos de maiores teores correspondendo a utilização desses sais no curtimento de couro. Em geral, verificou-se altas concentrações de cálcio e magnésio nos lodos. Esses elementos poderão ser utilizados para neutralizar a acidez dos solos.

Comparando-se as concentrações médias encontradas no lodo da ETE-CUR com as concentrações médias de metais observadas por SELBACH et al. (Tabela 3.4), em lodo de curtume, verifica-se que as concentrações relativas seguem a ordem de modo semelhante. Entretanto, os valores encontrados neste trabalho, na ETE-CUR, foram bem menores, exceto para potássio. Isso demonstra que as concentrações de metais podem ser completamente diferentes, mesmo sendo lodo de indústrias de mesma atividade. Até na mesma indústria, dependendo do dia, podem haver grandes variações, como pode ser visto nas três diferentes amostras coletadas.

Agora, comparando-se as concentrações de metais obtidos pelo DMAE, no lodo anaeróbico da ETE-IAPI (Tabela 3.4), com o lodo anaeróbico da ETE-ESM, verifica-se que as concentrações de metais encontrados na ETE-ESM são menores. Isso parece razoável, uma vez que a ETE-IAPI está localizada numa região com maior número de atividade comercial e industrial, enquanto que a região da Vila Esmeralda é essencialmente residencial e de baixa renda.

Os valores médios de metais encontrados no lodo da ETE-SM são menores que os encontrados por CLEVINGER et al. nos EUA. Este aspecto poderá vir a facilitar a disposição dos lodos produzidos por cidades de médio porte como Santa Maria no Estado do Rio Grande do Sul.

5.3.1. TESTES DE SOLUBILIZAÇÃO, LIXIVIAÇÃO E MOBILIDADE

A Tabela 5.10 apresenta os valores correspondentes aos padrões de lixiviação e solubilização de metais, contidos na NBR 10004/87, adotados pelo Órgão Estadual de Controle Ambiental do Rio Grande do Sul, FEPAM, no monitoramento dos lodos das ETEs de indústrias. Também constam as concentrações limites de metais no lodo considerado de "alta qualidade" pela EPA e, os adotados na Holanda para uso do lodo em solo agrícola.

Nas Tabelas 5.11, 5.12 e 5.13 são apresentados os valores médios das concentrações de metais encontrados nos testes de lixiviação, solubilização e de mobilidade a pH 4 e pH 2. Verifica-se aumentos nos teores de cálcio nos lodos tratados com cal, ferro e potássio nos lodos tratados com ferrato(VI) de potássio, como era de se esperar.

Tabela 5.10. Padrões de lixiviação e de solubilização de metais e padrões de qualidade do lodo da EPA e DOE.

Metal	ABNT ^a		EPA ^b (mg/kgPS)	DOE ^{c*} (mg/kgPS)
	Lixiviação (mg/l)	Solubilização (mg/l)		
Cádmio	0,50	0,005	39	3,5
Cálcio				
Chumbo	5,0	0,05	300	300
Cobre		1,0	1500	425
Cromo Total	5,0	0,05	1200	350
Ferro		0,3		
Magnésio				
Potássio				
Sódio		200,0		
Zinco		5,0	2800	1400

*: Valores limites adotados pela Holanda.

^a: ABNT, 1987a

^b: WEF, 1993

^c: STENTIFORD & PEREIRA NETO, 1993

Na Tabela 5.11 verifica-se que o teor de chumbo da ETE-SM, tanto do lodo bruto quanto os tratados com cal e com ferrato(VI), não atendem ao valor correspondente ao padrão de lixiviação da NBR 10004/87. Vários metais do lodo da ETE-SM não atendem os padrões de solubilização da NBR 10004/87. No lodo bruto e no lodo tratado com cal: Cd, Pb, Cu, Cr e Fe. No lodo tratado com ferrato(VI): Cd, Pb, Cu, Cr, Fe e Zn para a dose

F1; Cd, Pb, Cu, Cr e Fe para a dose F2; e Cd, Pb, Cu, Cr, Fe e Na para a dose F3.

As concentrações de metais lixiviados do lodo bruto da ETE-ESM e os tratados com cal e com ferrato(VI), atendem as exigências da NBR-10004/87. As análises de metais no extrato do teste de solubilização do lodo bruto e do tratado com cal e com ferrato(VI), mostram que Cd, Pb, Cu, Cr e Fe, ultrapassam o valor limite estabelecido pela NBR 10004/87.

O teste de lixiviação realizado no lodo da ETE-CUR, mostra que somente o cromo total é o metal preocupante, segundo a especificação da NBR. Esse metal apresentou concentrações maiores que o limite no lodo bruto e no lodo tratado com ferrato(VI). No lodo tratado com cal, o cromo total ficou mais imobilizado com os teores, permanecendo abaixo do limite. No teste de solubilização do lodo bruto Cd, Pb, Cr, Fe e Na ultrapassaram os limites máximos da NBR 10004/87. No lodo tratado com cal e com ferrato(VI), Cd, Pb, Cu, Fe e Na não atenderam ao padrão de solubilização.

Comparando-se os resultados dos testes de lixiviação e solubilização dos três lodos pesquisados, verifica-se que a estabilização com cal e com ferrato(VI), nas doses utilizadas, não foram capazes de imobilizar adequadamente os metais, apesar de alguns se apresentarem em concentrações inferiores às do lodo bruto. Da mesma forma, alguns metais tiveram a mobilidade favorecida, principalmente nos lodos tratados com ferrato(VI), provavelmente devido a maior destruição de compostos que os complexam.

Portanto, de acordo com as recomendações da NBR 10004/87, nenhum dos três lodos estudados poderiam ser utilizados para usos benéficos mas, deveriam ser dispostos em instalações adequadas.

Isso parece um exagero, quando se compara com os limites de poluentes para a aplicação do lodo no solo, recentemente promulgada pela EPA. O lodo da ETE-SM e ETE-ESM, considerando-se apenas os metais analisados tanto nos lodos brutos, quanto nos estabilizados com cal e ferrato(VI), poderiam ser classificados como lodos de "Alta Qualidade". Dessa forma, os lodos estariam qualificados para muitas alternativas benéficas, inclusive reuso agrícola; e nesse caso o lodo tratado com ferrato(VI) de potássio, teria a sua qualidade como nutriente de plantas valorizada pelo teor de potássio adicionado. Esse elemento é considerado o terceiro mais importante elemento fertilizante após o nitrogênio e fósforo.

Tabela 5.11. Concentração média de metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade a pH 4 e pH 2, no lodo da ETE-SM.

Amostra	Parâmetros (Unidade)	Metal Total (mg/kg PS)	Lixiviação (mg/l)	Solubilização (mg/l)	Mob. pH 4 (mg/l)	Mob. pH 2 (mg/l)
B	pH		5,00	7,40	4,00	2,00
	Cádmio	3,04	0,21	0,15	0,12	0,13
	Cálcio	5855,97	338,74	47,33	460,83	966,31
	Chumbo	38,27	9,10	1,39	1,23	1,55
	Cobre	80,86	3,59	2,68	2,58	2,63
	Cromo Total	36,16	1,46	1,29	0,77	1,40
	Ferro	6120,51	36,22	25,69	73,86	285,81
	Magnésio	3483,07	108,33	58,11	240,48	368,12
	Potássio	3149,67	343,33	284,09	376,79	413,11
	Sódio	1745,00	207,77	161,28	191,87	203,28
	Zinco	372,18	1,86	1,66	3,26	20,72
CH	pH		5,15	8,14	4,00	2,00
	Cádmio	3,36	0,26	0,17	0,16	0,18
	Cálcio	105838,04	3951,52	1502,90	3580,30	5046,97
	Chumbo	31,52	8,70	1,07	1,77	2,20
	Cobre	64,19	4,04	3,12	2,76	2,73
	Cromo Total	31,16	1,75	1,12	0,77	1,63
	Ferro	5583,27	34,60	32,21	81,60	212,62
	Magnésio	3429,27	338,00	100,39	313,54	342,84
	Potássio	2475,00	336,13	352,29	284,83	389,04
	Sódio	1673,00	217,45	164,47	195,28	210,96
	Zinco	202,87	2,46	1,76	4,00	13,38
F1	pH		5,21	9,75	4,00	2,00
	Cádmio	3,04	0,24	0,18	0,16	0,18
	Cálcio	2459,98	1137,24	42,82	1594,84	3063,17
	Chumbo	36,25	9,57	1,87	1,82	1,98
	Cobre	63,38	12,15	3,71	3,47	3,46
	Cromo Total	28,28	1,76	1,35	0,89	1,69
	Ferro	13511,36	105,58	76,97	91,51	118,01
	Magnésio	758,57	175,93	71,40	179,54	325,88
	Potássio	91366,67	13406,67	8476,00	10527,67	12294,67
	Sódio	1896,50	237,13	179,64	210,88	220,17
	Zinco	115,13	4,85	5,88	14,48	21,18
F2	pH		5,83	10,23	4,00	2,00
	Cádmio	3,16	0,26	0,19	0,16	0,20
	Cálcio	1565,82	658,42	29,92	674,27	1467,95
	Chumbo	37,59	11,12	2,20	2,09	2,41
	Cobre	49,35	8,12	4,03	3,28	3,68
	Cromo Total	29,00	1,82	1,46	0,83	1,98
	Ferro	16374,61	170,02	36,97	137,05	266,44
	Magnésio	669,37	120,82	51,36	136,45	178,68
	Potássio	111250,00	16206,67	12602,67	14243,33	15885,00
	Sódio	1967,67	253,42	188,04	227,99	234,81
	Zinco	97,52	2,80	1,88	5,78	19,13
F3	pH		8,51	11,17	4,00	2,00
	Cádmio	3,28	0,31	0,22	0,19	0,24
	Cálcio	1481,21	25,35	21,24	297,26	689,73
	Chumbo	34,22	12,95	2,41	2,36	2,77
	Cobre	45,90	7,11	5,25	3,51	4,61
	Cromo Total	32,59	2,04	1,58	1,12	2,51
	Ferro	24150,06	1594,69	329,53	197,75	485,79
	Magnésio	404,30	47,49	24,12	108,65	139,30
	Potássio	159700,00	28556,67	23381,33	24272,00	29554,27
	Sódio	2097,17	271,72	203,83	263,15	290,07
	Zinco	56,51	4,00	1,33	4,94	1028,00

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela 5.12. Concentração média de metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade a pH 4 e pH 2, no lodo da ETE-ESM.

Amostra	Parâmetros (Unidade)	Metal Total (mg/kg PS)	Lixiviação (mg/l)	Solubilização (mg/l)	Mob. pH 4 (mg/l)	Mob. pH 2 (mg/l)
B	pH		5,00	6,96	4,00	2,00
	Cádmio	1,40	0,11	0,07	0,08	0,16
	Cálcio	4686,17	1073,56	448,56	1040,46	1805,15
	Chumbo	11,27	0,40	0,16	0,21	0,66
	Cobre	108,50	7,37	3,33	3,80	17,04
	Cromo Total	19,68	0,95	0,81	0,13	0,56
	Ferro	1712,53	13,87	34,00	28,78	236,19
	Magnésio	1504,83	129,03	153,48	158,71	594,17
	Potássio	581,50	235,32	207,95	246,09	278,75
	Sódio	260,50	73,46	77,13	77,05	97,80
Zinco	269,87	25,85	1,36	9,88	56,35	
CH	pH		5,11	7,62	4,00	2,00
	Cádmio	1,92	0,17	0,09	0,12	0,19
	Cálcio	37903,45	7428,66	3752,75	7328,94	10769,13
	Chumbo	22,07	0,50	0,37	0,75	1,62
	Cobre	148,74	14,88	4,21	3,66	10,99
	Cromo Total	20,40	1,27	0,67	0,27	0,59
	Ferro	2724,91	10,86	3,64	38,05	249,28
	Magnésio	1576,50	146,54	47,07	108,09	475,65
	Potássio	589,33	154,33	196,01	178,02	268,31
	Sódio	256,83	72,05	74,32	76,63	71,74
Zinco	359,85	20,60	0,60	6,52	37,11	
F1	pH		5,16	8,21	4,00	2,00
	Cádmio	1,92	0,12	0,08	0,10	0,14
	Cálcio	434,66	813,57	86,62	986,21	1858,50
	Chumbo	14,65	1,11	0,56	0,29	1,53
	Cobre	210,12	8,73	4,07	5,96	7,35
	Cromo Total	23,27	1,34	0,99	0,41	0,90
	Ferro	2372,54	30,98	37,33	38,12	92,91
	Magnésio	948,30	138,53	69,05	163,86	255,01
	Potássio	27733,33	6496,67	5528,67	6536,00	9602,00
	Sódio	669,67	128,19	81,94	91,63	115,69
Zinco	411,85	25,97	3,27	6,50	33,36	
F2	pH		5,48	8,62	4,00	2,00
	Cádmio	2,04	0,14	0,09	0,11	0,20
	Cálcio	171,06	661,79	35,36	586,11	1551,60
	Chumbo	17,35	1,21	0,56	0,72	1,70
	Cobre	197,52	8,77	4,41	5,41	8,19
	Cromo Total	24,70	1,27	1,04	0,41	1,01
	Ferro	3117,15	19,23	18,00	37,23	271,15
	Magnésio	516,75	97,02	16,32	98,16	272,50
	Potássio	41600,00	9610,00	7160,67	9273,33	14202,67
	Sódio	744,33	109,14	80,25	93,29	127,17
Zinco	331,82	19,52	2,04	9,01	50,29	
F3	pH		6,26	9,66	4,00	2,00
	Cádmio	2,23	0,17	0,11	0,13	0,23
	Cálcio	56,53	483,23	13,89	876,78	1313,10
	Chumbo	22,08	1,07	0,67	0,97	1,99
	Cobre	158,70	14,55	9,38	10,36	12,29
	Cromo Total	36,89	1,30	1,27	0,39	1,05
	Ferro	3550,81	11,47	21,11	61,30	321,31
	Magnésio	93,23	91,38	5,11	81,74	316,53
	Potássio	86416,67	15175,00	12377,00	15269,33	24953,33
	Sódio	928,83	109,89	86,75	104,97	164,97
Zinco	186,12	16,30	1,46	22,69	62,52	

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela 5.13. Concentração média de metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade a pH 4 e pH 2, no lodo da ETE-CUR.

Amostra	Parâmetros (Unidade)	Metal Total (mg/kg PS)	Lixiviação (mg/l)	Solubilização (mg/l)	Mob. pH 4 (mg/l)	Mob. pH 2 (mg/l)
B	pH		5,40	6,75	4,00	2,00
	Cádmio	6,69	0,20	0,14	0,18	0,22
	Cálcio	44005,11	5926,11	3121,66	13182,92	18717,51
	Chumbo	69,98	2,76	1,59	2,16	4,67
	Cobre	36,34	1,05	0,73	0,74	0,73
	Cromo Total	4543,57	12,19	1,02	22,97	312,71
	Ferro	236,65	4,41	3,28	4,76	16,29
	Magnésio	4112,25	871,51	646,83	888,25	1317,46
	Potássio	2004,67	250,17	305,49	299,73	341,69
	Sódio	73866,67	9692,50	14103,33	11027,33	15082,00
	Zinco	58,97	0,90	0,58	1,37	6,28
CH	pH		7,45	10,02	4,00	2,00
	Cádmio	4,76	0,22	0,12	0,25	0,29
	Cálcio	129774,04	10772,85	7096,98	17656,20	33684,84
	Chumbo	55,14	2,76	1,59	3,48	10,15
	Cobre	29,84	1,26	1,00	0,93	1,08
	Cromo Total	2887,66	2,74	0,84	88,28	241,69
	Ferro	181,58	3,74	2,46	8,13	13,51
	Magnésio	2384,87	495,00	39,94	669,00	1281,51
	Potássio	1153,17	146,69	267,04	284,99	352,73
	Sódio	51583,33	7309,17	9262,00	8198,67	8912,67
	Zinco	48,83	0,78	0,55	2,63	5,78
F1	pH		6,09	9,19	4,00	2,00
	Cádmio	3,72	0,19	0,13	0,19	0,22
	Cálcio	41321,82	6289,33	41,09	10072,00	15826,43
	Chumbo	65,93	2,43	1,95	2,17	3,29
	Cobre	19,47	1,16	1,20	0,91	1,12
	Cromo Total	3991,06	18,24	6,78	73,71	176,40
	Ferro	5198,66	7,37	8,10	11,49	53,41
	Magnésio	852,67	634,98	30,83	500,48	778,98
	Potássio	72666,67	10555,00	13368,00	15016,00	15370,67
	Sódio	45966,67	6906,67	7478,00	8186,00	8631,00
	Zinco	21,14	0,73	0,65	1,58	6,07
F2	pH		6,33	9,85	4,00	2,00
	Cádmio	3,68	0,16	0,14	0,19	0,23
	Cálcio	35064,15	5280,55	15,12	11005,43	12903,31
	Chumbo	52,44	2,73	2,37	2,56	4,08
	Cobre	17,64	1,32	1,15	0,98	1,23
	Cromo Total	3893,39	33,38	97,10	135,32	248,63
	Ferro	5546,64	6,71	6,28	8,57	79,18
	Magnésio	663,45	534,21	6,99	546,87	831,70
	Potássio	93566,67	14496,67	18813,00	19049,33	21244,00
	Sódio	42616,67	6315,00	6962,67	7484,00	7795,33
	Zinco	22,00	0,77	0,77	1,24	4,24
F3	pH		7,28	10,58	4,00	2,00
	Cádmio	2,96	0,19	0,17	0,21	0,27
	Cálcio	31507,03	2059,09	9,24	13022,07	14454,77
	Chumbo	40,29	3,14	2,69	3,34	4,51
	Cobre	16,63	1,68	1,52	1,18	1,51
	Cromo Total	3205,01	240,05	279,93	196,76	287,14
	Ferro	6291,46	8,70	7,16	7,90	109,28
	Magnésio	476,28	324,76	3,26	601,91	827,87
	Potássio	150116,67	24412,50	29941,33	30921,33	36980,00
	Sódio	36650,00	5153,33	5342,00	5800,67	6412,00
	Zinco	20,36	0,81	0,92	3,31	4,76

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Os valores limites de metais no lodo, para aplicação no solo agrícola, adotado atualmente pela Holanda (Tabela 5.10), são mais restritivas que a EPA, dos Estados Unidos. De acordo com o padrão holandês, dos metais analisados nesta pesquisa, os lodos brutos e os tratados com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio da ETE-SM e da ETE-ESM, atendem os limites sugeridos. Cádmio e cromo total do lodo bruto da ETE-CUR, ultrapassam os valores padrões. O teor de cromo também excede o padrão da EPA.

O lodo tratado com cal hidratada, após um desaguamento a um nível adequado para proporcionar uma melhor estabilidade física, poderia reduzir a necessidade de importar material de cobertura de aterro sanitário, substituindo o solo nativo com vantagens.

Os testes de mobilidade (pH 4 e pH 2), mostram que a solubilidade dos metais aumenta com o decréscimo do pH, pela adição de ácido nítrico. Os testes de mobilidade a pH 4 e a pH 2, tanto de lodo bruto, quanto os estabilizados com cal ou com o ferrato(VI), não seguem uma mesma ordem, provavelmente pela ação desses produtos químicos nos componentes do lodo. Não se descarta também a possibilidade da técnica de extração ter causada essa variação. Em geral, os resultados indicam que K, Ca, Na e Mg são os cátions mais móveis nos lodos analisados, e Cu, Cr, Fe, Zn, Pb e Cd são os menos móveis.

Freqüentemente usado para entender a química do solo, a série Cu: Ni: Zn: Cd mostra a preferência de complexação e ligação entre metais e matéria orgânica. O complexo organo-metálico é menos solúvel por possuir maior força de ligação, ou seja, os cátions de metais pesados são fortemente adsorvidos pela matéria orgânica e teriam a sua mobilidade reduzida. O cádmio deveria então ser o mais solúvel, seguido pelo zinco e níquel, sendo o cobre o menos solúvel. No entanto, esta série não é observada no caso do lodo, pois certas formas orgânicas de complexo organo-metálico solúvel, podem aumentar a mobilidade de cátions metálicos adsorvidos e a solubilidade de precipitados inorgânicos. Os resultados dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade realizados nos lodos, mostram que a disponibilidade de metais são dependentes da condição do pH.

O aumento da condutividade elétrica nos lodos estabilizados com cal e com ferrato(VI), pode ser classificada como extremamente alta, podendo levar a salinização se aplicado no solo. Uma condutividade de 750 a 2250 $\mu\text{mhos/cm}$ na água de irrigação é considerada causar perigo de salinização. O aumento da condutividade nos lodos tratados com ferrato(VI), provavelmente se devem ao aumento no teor de cátions de

ferro, cálcio, magnésio, sódio e potássio e, no lodo tratado com cal, de cálcio.

Uma síntese dos efeitos do tratamentos de lodos com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio nos diversos constituintes do lodo é apresentada na Tabela 5.14.

Tabela 5.14. Variações físicas e químicas ocorridas no lodo estabilizado com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.

Parâmetro	Cal Hidratada	Ferrato(VI)
pH	Aumento	Aumento
Condutividade	Aumento	Aumento
Sólidos Totais	Aumento	Aumento
Alcalinidade Total	Aumento	Aumento
DQO	Redução	Redução
Carbono Orgânico	Redução	Redução
NTK	Redução	Redução
Amônia-N	Redução	Redução
Nitrogênio Orgânico	Redução	Redução
Nitrato-N	Aumento/Redução*	Aumento
Fósforo Disponível	Redução	Redução
O&G	Redução	Redução
Sulfatos Totais	Aumento/Redução*	Aumento
Sulfetos Dissolvidos	Aumento	Redução
REF	Redução*	Aumento/Redução
Imobilização de metais	pouca influência	pouca influência

*: Depende do tipo de lodo e da dose de produto químico

A maioria dos parâmetros físico-químicos reagiram de modo semelhante ao processo de estabilização. A maior diferença verificada foi em relação aos sulfetos dissolvidos, que aumentaram no caso dos lodos tratados com cal. A redução média desses elementos no lodo da ETE-CUR, foi mínima na estabilização com cal. Talvez, por isso, apresentavam odores mais fortes.

5.4. MICRORGANISMOS

Os resultados dos exames microbiológicos realizados nos lodos estudados, indicam que podem ser fonte de organismos potencialmente patogênicos.

Nas Tabelas A.16 a A.24, em anexo, são apresentados os resultados individuais das

análises dos lodos brutos e dos lodos estabilizados com cal e com ferrato(VI), das amostras coletadas durante a pesquisa. Observando as Tabelas com os resultados das amostras individuais, verifica-se que as percentagens de ovos de helmintos inférteis (não-viáveis) são muito aleatórios. Por outro lado, nota-se também que há uma redução na contagem de ovos com o decorrer do armazenamento. Isso sugere que o método utilizado para recuperação de ovos de helmintos, pode, no momento da lavagem, ter destruído as cascas de ovos inférteis e das mais frágeis. As cascas dos ovos, também podem ter sido dissolvidos pelos produtos químicos, utilizados no processo de estabilização. Portanto, para a determinação da média geométrica adotou-se por referir-se somente a ovos de helmintos viáveis (férteis). Para o cálculo da quantidade média de ovos viáveis, o valor médio total de ovos a cada tempo foi subtraída da percentagem média de ovos inférteis. Verifica-se também a necessidade de aumentar a precisão do método, que pode ser conseguida com a contagem de maior número de ovos em cada amostra.

No lodo da ETE-CUR, foi observado apenas um ovo de *Ascaris* sp na amostra bruta da segunda coleta (CUR2), não sendo detectado qualquer ovo nas demais amostras, tanto brutas, quanto as tratadas. Os ovos de *Ascaris* spp, foram os que mais ocorreram nos lodos da ETE-SM e ETE-ESM. Também foram observados ovos de *Trichuris* spp e *Oxiuros* spp, porém em menores quantidades.

Apesar de não ter sido comparados com outras técnicas de recuperação de ovos de helmintos, o método utilizado se presta aos propósitos da engenharia sanitária, pois possibilita a contagem, verificação da viabilidade e a identificação dos diferentes grupos de ovos de helmintos, com grande facilidade.

As Tabelas 5.15, 5.16 e 5.17 mostram as médias geométricas das contagens de microrganismos encontrados no lodo da ETE-SM, ETE-ESM e ETE-CUR, tanto no lodo bruto como nos estabilizados, 2 horas, 24 horas e 7 dias após o início do processo.

Tabela 5.15. Valores de médias geométricas de microrganismos do lodo da ETE-SM, da amostra bruta e das estabilizadas com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.

Amostra	Parâmetros	Unidade	Lodo Tratado (horas)		
			2	24	168
B	pH		6,46	6,53	6,18
	Temperatura	°C	19,0	19,3	19,5
	ColiformeTotal	NMP/g PS	2,2E+07	3,2E+07	1,2E+07
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	9,1E+06	3,4E+06	1,3E+06
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	7,2E+06	1,5E+07	2,1E+06
	Fungos	UFP/g PS	1,7E+06	1,6E+06	7,7E+05
	Helmintos Viáveis	UOH/g PS	4,5E+02	3,5E+02	2,7E+02
CH	pH		12,40	10,91	9,09
	Temperatura	°C	18,8	19,0	19,5
	ColiformeTotal	NMP/g PS	2,0E+04	3,8E+03	4,3E+03
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	1,2E+03	< 2,8E+02	< 8,3E+02
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	2,9E+05	3,3E+05	1,7E+06
	Fungos	UFP/g PS	6,7E+05	1,9E+05	7,4E+05
	Helmintos Viáveis	UOH/g PS	3,5E+02	2,8E+02	1,9E+02
F1	pH		12,43	11,62	9,63
	Temperatura	°C	20,8	19,2	19,5
	ColiformeTotal	NMP/g PS	2,3E+03	3,9E+03	1,4E+02
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 7,7E+01	< 3,1E+02	< 4,4E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,0E+05	1,7E+04	2,9E+04
	Fungos	UFP/g PS	1,6E+06	4,9E+04	7,8E+03
	Helmintos Viáveis	UOH/g PS	3,4E+02	2,9E+02	2,4E+02
F2	pH		13,04	12,48	11,22
	Temperatura	°C	21,3	19,0	19,7
	ColiformeTotal	NMP/g PS	4,4E+02	< 1,5E+02	< 8,8E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 4,0E+01	< 5,0E+01	< 4,0E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,9E+03	9,1E+02	5,6E+02
	Fungos	UFP/g PS	2,5E+04	1,1E+04	2,8E+03
	Helmintos Viáveis	UOH/g PS	3,4E+02	2,3E+02	1,7E+02
F3	pH		13,75	13,30	12,76
	Temperatura	°C	24,7	19,5	19,7
	ColiformeTotal	NMP/g PS	< 6,9E+01	< 3,0E+01	< 3,0E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 3,0E+01	< 3,0E+01	< 3,0E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	< 5,8E+01	< 3,0E+01	< 5,0E+01
	Fungos	UFP/g PS	3,5E+03	1,2E+03	1,0E+02
	Helmintos Viáveis	UOH/g PS	2,7E+02	1,4E+02	1,3E+02

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela 5.16. Valores de médias geométricas de microrganismos do lodo da ETE-ESM, da amostra bruta e das estabilizadas com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.

Amostra	Parâmetros	Unidade	Lodo Tratado (horas)		
			2	24	168
B	pH		6,01	6,09	6,45
	Temperatura	°C	20,3	20,2	20,2
	ColiformeTotal	NMP/g PS	1,4E+06	1,8E+05	1,3E+05
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	4,4E+05	4,0E+04	4,8E+04
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	5,8E+06	9,1E+05	2,5E+05
	Fungos	UFP/g PS	2,3E+05	1,5E+05	1,4E+05
	Helmintos Viáveis	UOH/g PS	4,2E+03	4,0E+03	3,2E+03
CH	pH		12,41	12,02	11,56
	Temperatura	°C	21,0	20,5	20,0
	ColiformeTotal	NMP/g PS	8,7E+02	< 4,8E+01	< 1,6E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	4,8E+02	< 1,6E+01	< 1,6E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,9E+04	< 6,0E+02	< 2,1E+01
	Fungos	UFP/g PS	2,3E+04	6,0E+03	2,3E+03
	Helmintos Viáveis	UOH/g PS	2,8E+03	2,4E+03	2,3E+03
F1	pH		10,44	9,97	9,24
	Temperatura	°C	22,0	20,3	20,0
	ColiformeTotal	NMP/g PS	2,1E+02	5,0E+02	1,1E+04
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 6,4E+01	< 2,0E+01	< 1,6E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	4,4E+05	2,1E+04	5,6E+04
	Fungos	UFP/g PS	1,9E+04	9,2E+03	5,0E+03
	Helmintos Viáveis	UOH/g PS	3,5E+03	2,8E+03	2,5E+03
F2	pH		11,49	11,14	10,43
	Temperatura	°C	23,0	20,5	20,0
	ColiformeTotal	NMP/g PS	1,5E+02	< 3,5E+01	< 1,5E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 1,5E+01	< 1,5E+01	< 1,5E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	2,5E+04	9,5E+02	< 2,3E+02
	Fungos	UFP/g PS	8,6E+03	3,4E+03	2,7E+03
	Helmintos Viáveis	UOH/g PS	3,6E+03	2,9E+03	2,0E+03
F3	pH		12,81	12,72	12,35
	Temperatura	°C	23,8	20,3	20,0
	ColiformeTotal	NMP/g PS	< 2,2E+01	< 1,4E+01	< 1,4E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 1,4E+01	< 1,4E+01	< 1,4E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,2E+02	< 3,4E+01	< 1,6E+01
	Fungos	UFP/g PS	4,6E+03	2,0E+03	8,9E+02
	Helmintos Viáveis	UOH/g PS	2,6E+03	2,3E+03	1,8E+03

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela 5.17. Valores de médias geométricas de microrganismos do lodo da ETE-CUR, da amostra bruta e das estabilizadas com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.

Amostra	Parâmetros	Unidade	Lodo Tratado (Horas)		
			2	24	168
B	pH		8,46	8,13	7,41
	Temperatura	°C	19,8	20,7	21,3
	ColiformeTotal	NMP/g PS	9,4E+06	1,9E+05	8,7E+04
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	2,8E+04	2,3E+04	2,7E+04
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,0E+06	2,1E+05	5,4E+04
	Fungos	UFP/g PS	2,5E+04	7,6E+03	5,3E+03
	Helmintos Viáveis	UOH/g PS			
CH	pH		12,29	11,85	11,26
	Temperatura	°C	20,0	20,7	21,3
	ColiformeTotal	NMP/g PS	1,1E+03	< 7,0E+01	< 2,8E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 7,5E+01	< 4,4E+01	< 2,8E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	8,4E+03	< 1,4E+02	3,5E+01
	Fungos	UFP/g PS	6,8E+03	1,9E+03	1,3E+03
	Helmintos Viáveis	UOH/g PS			
F1	pH		11,17	10,92	10,25
	Temperatura	°C	20,8	20,8	21,3
	ColiformeTotal	NMP/g PS	< 1,5E+03	< 8,9E+01	< 6,5E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 5,5E+02	< 4,5E+01	< 2,9E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,8E+04	5,5E+03	5,0E+02
	Fungos	UFP/g PS	5,9E+03	2,7E+03	1,3E+03
	Helmintos Viáveis	UOH/g PS			
F2	pH		11,63	11,44	10,85
	Temperatura	°C	21,8	20,8	21,3
	ColiformeTotal	NMP/g PS	< 3,9E+02	< 2,4E+01	< 4,2E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 4,6E+01	< 2,6E+01	< 2,6E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,7E+03	< 1,2E+02	< 4,4E+01
	Fungos	UFP/g PS	2,2E+03	1,7E+03	6,7E+02
	Helmintos Viáveis	UOH/g PS			
F3	pH		12,85	12,62	12,00
	Temperatura	°C	23,7	20,8	21,3
	ColiformeTotal	NMP/g PS	< 9,9E+01	< 2,2E+01	< 2,2E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 2,2E+01	< 2,2E+01	< 2,2E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	< 1,4E+02	< 4,9E+01	< 2,2E+01
	Fungos	UFP/g PS	1,1E+03	8,7E+02	3,7E+02
	Helmintos Viáveis	UOH/g PS			

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

5.4.1. LODO LÍQUIDO NÃO-TRATADO (LODO BRUTO)

Na Tabela 5.18 são sumarizados somente a média geométrica dos índices da amostra bruta e a faixa de variação obtida, referido a peso seco das análises nos lodos da ETE-SM, ETE-ESM e ETE-CUR. Verifica-se altos índices de organismos indicadores, fungos e ovos de helmintos, principalmente nos lodos derivados de esgotos domésticos.

Tabela 5.18. Média geométrica das contagens e faixas de variação de microrganismos encontrados no lodo bruto da ETE-SM, ETE-ESM e ETE-CUR.

ETE	Unidade	SM			ESM			CUR		
		Média	Extremos		Média	Extremos		Média	Extremos	
			Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo
pH		6,46	6,06	6,68	6,01	5,71	6,48	8,46	7,40	9,90
Temperatura	°C	19,0	14,0	23,0	20,3	18,0	24,0	19,8	18,5	22,0
Coliforme Total	NMP/g PS	2,2E+07	3,5E+06	1,1E+08	1,4E+06	1,7E+05	8,0E+06	9,4E+06	7,3E+05	4,2E+07
Coliforme Fecal	NMP/g PS	9,1E+06	1,7E+06	1,1E+08	4,4E+05	4,2E+04	2,0E+06	2,8E+04	1,6E+03	1,6E+05
Estreptococo Fecal	NMP/g PS	7,2E+06	9,8E+05	2,1E+07	5,8E+06	1,1E+06	7,1E+07	1,0E+06	3,6E+04	1,1E+07
Fungos	UFP/g PS	1,7E+06	7,0E+05	3,1E+06	2,3E+05	6,1E+04	1,8E+06	2,5E+04	1,4E+04	6,4E+04
Helmintos Viáveis	UOH/g PS	4,5E+02	3,2E+02	9,2E+02	4,2E+03	3,6E+03	4,9E+03			

O lodo bruto da ETE-SM apresenta, em média, elevadas densidades de coliformes totais ($2,2 \times 10^7$ NMP/gPS), coliforme fecal ($9,1 \times 10^6$ NMP/gPS), estreptococo fecal ($7,2 \times 10^6$ NMP/gPS) e fungos ($1,7 \times 10^6$ UFP/gPS). Neste lodo foram detectados $4,5 \times 10^2$ ovos de helmintos viáveis por grama de peso seco.

No lodo bruto da ETE-ESM foram encontrados $1,4 \times 10^6$ NMP/gPS de coliforme total, $4,4 \times 10^5$ NMP/gPS de coliforme fecal, $5,8 \times 10^6$ NMP/gPS de estreptococo fecal, $2,3 \times 10^5$ UFP/gPS de fungos e $4,2 \times 10^3$ ovos de helmintos viáveis por grama de peso seco.

O lodo da ETE-CUR, exceto para coliforme total, que apresentou um índice maior que o lodo da ETE-ESM, os níveis dos demais organismos foram sempre inferiores. A média geométrica encontrada para o coliforme total foi de $9,4 \times 10^6$ NMP/gPS, $2,8 \times 10^4$ NMP/gPS para coliforme fecal, $1,0 \times 10^6$ NMP/gPS para estreptococo fecal e $2,5 \times 10^4$ UFP/gPS para fungos. Como visto anteriormente, só foi observado um ovo de helminto em uma das amostras do lodo da ETE-CUR.

Em relação aos níveis de densidade de organismos tipicamente associados com o

lodo bruto, listados nas Tabelas 3.9 e 3.10, verifica-se que os índices de coliforme total e coliforme fecal, encontrados nos três lodos pesquisados foram inferiores. Os índices de estreptococo fecal foram superiores aos encontrados nos lodos de característica semelhante. Agora, os ovos de helmintos do lodo da ETE-SM e ETE-ESM foram muito superiores que os das Tabelas citadas, principalmente no lodo da ETE-ESM. Como os níveis de ovos de helmintos são superiores que os detectados por GASI e ROSSIN, 1991, há evidências que o estado de saúde da população contribuinte à ETE-ESM, não sejam muito boas e coaduna com a constatação da pesquisa realizada por De Carli et al., 1989, para avaliar a prevalência dos enteroparasitos na população estudantil das vilas periféricas de Porto Alegre. Porisso, o uso destes lodos, sem tratamento, não são seguros para a aplicação no solo agrícola, das praças e jardins.

5.4.2. COMPORTAMENTO DO LODO BRUTO COM O ARMAZENAMENTO

As Figuras 5.13, 5.14 e 5.15 mostram o comportamento dos microrganismos dos lodos brutos da ETE-SM, ETE-ESM e ETE-CUR, durante o armazenamento à temperatura ambiente. Verifica-se que as reduções e aumentos nas densidades de organismos podem ocorrer no decorrer do tempo. Como podem ser observados nas Tabelas A.16 a A.24, essas variações são bastante aleatórias, tanto nas densidades, quanto nos organismos examinados. Porém, em média as densidades dos organismos foram bastante conservativas com uma leve tendência à redução com o armazenamento.

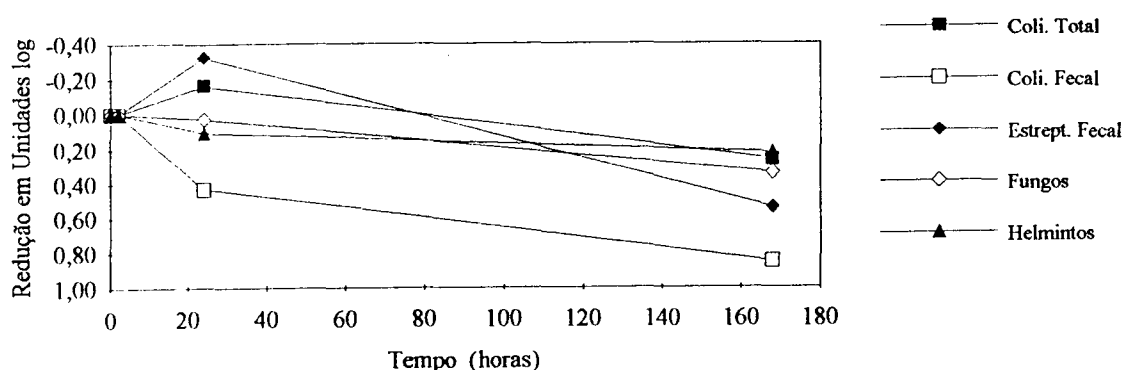


Figura 5.13. Variação da densidade de microrganismos do lodo bruto da ETE-SM durante o armazenamento.

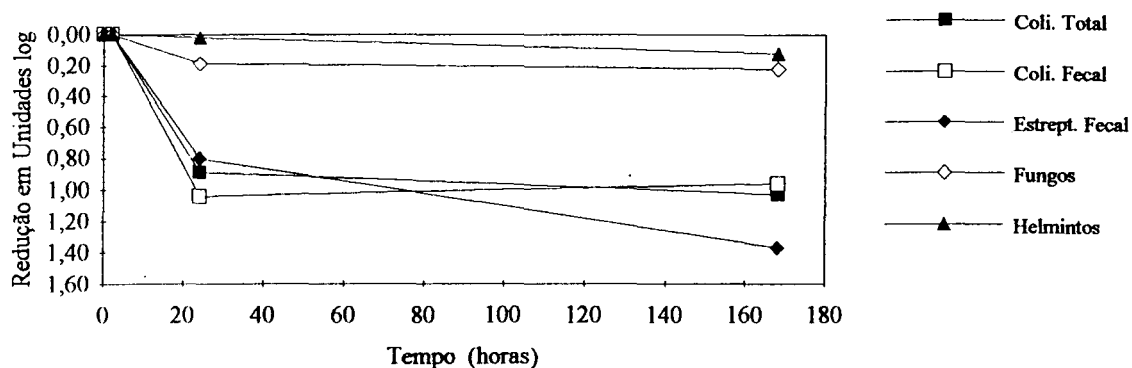


Figura 5.14. Variação da densidade de microrganismos do lodo bruto da ETE-ESM durante o armazenamento.

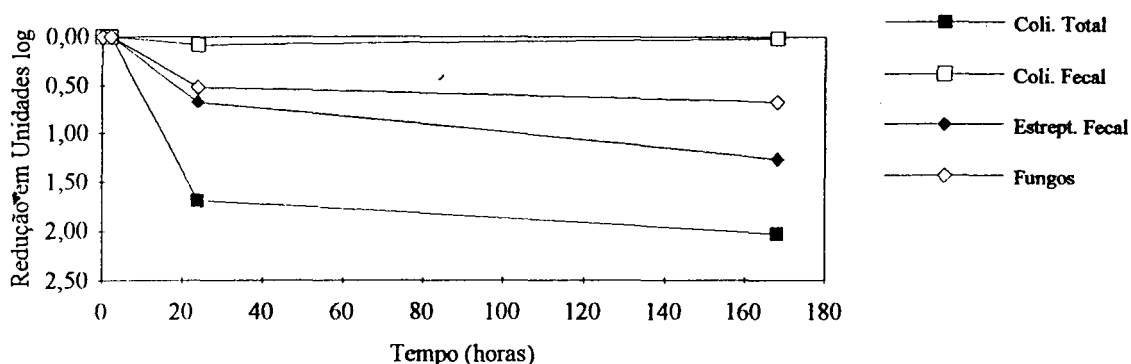


Figura 5.15. Variação da densidade de microrganismos do lodo bruto da ETE-CUR durante o armazenamento.

5.4.3. PERFORMANCE DOS PROCESSOS DE ESTABILIZAÇÃO

A Tabela 5.19 resume a performance (em redução média em unidades log) dos processos de estabilização química, em laboratório, dos lodos com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio, 2 horas após o início do tratamento.

Como a Tabela 5.19 foi gerada de valores resultantes da determinação da média geométrica, portanto, quando algum valor individual era zero adotou-se por utilizar a média aritmética. Esta, porém, fornece um valor maior que a média geométrica, pois é afetada pelos valores específicos dos dois extremos e é consideravelmente distorcida para cima. Então, na realidade, as reduções podem ter sido superiores aos

apresentados. Este artifício foi utilizado para o cálculo da média de fungos. No cálculo da redução dos níveis de microrganismos, foi considerado o efeito da diluição pelos produtos químicos adicionados ao lodo bruto.

Tabela 5.19. Comparação da inativação de microrganismos pela estabilização com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio. Tempo de contato de 2 horas.

Tipo de lodo / Tratamento	Dose média	pH médio	Redução média em unidades Log				
			Coliforme		Estreptococo	Fungos	Helmintos
			Total	Fecal	Fecal		(Ovos Férteis)
(kg/kgPS)	(NMP/gPS)	(NMP/gPS)	(NMP/gPS)	(UFP/gPS)	(UOH/gPS)		
LODO ATIVADO (ETE-SM)							
Lodo Bruto*		6,46	7,34	6,96	6,86	6,36	2,66
CH - Cal Hidratada	0,073	12,40	3,00	3,85	1,37	0,37	0,07
F1 - Ferrato(VI) de Potássio	0,286	12,46	3,88	> 4,97	1,74	0,93	0,02
F2 - Ferrato(VI) de Potássio	0,429	13,04	4,55	> 5,20	3,43	1,69	-0,03
F3 - Ferrato(VI) de Potássio	0,859	13,75	> 5,23	> 5,22	> 4,82	2,42	-0,05
LODO ANAERÓBIO (ETE-ESM)							
Lodo Bruto*		6,01	6,15	5,64	6,76	5,36	3,63
CH - Cal Hidratada	0,061	12,41	3,18	2,94	2,46	0,98	0,15
F1 - Ferrato(VI) de Potássio	0,086	10,44	3,78	3,80	1,08	1,04	0,04
F2 - Ferrato(VI) de Potássio	0,129	11,49	3,92	> 4,41	2,32	1,37	0,01
F3 - Ferrato(VI) de Potássio	0,257	12,81	> 4,70	> 4,39	4,59	1,60	0,11
LODO PRIMÁRIO (ETE-CUR)							
Lodo Bruto*		8,46	6,97	4,45	6,00	4,38	
CH - Cal Hidratada	0,240	12,29	3,86	> 2,51	2,01	0,51	
F1 - Ferrato(VI) de Potássio	0,194	11,17	> 3,74	> 1,65	1,68	0,57	
F2 - Ferrato(VI) de Potássio	0,291	11,63	> 4,29	> 2,70	2,68	0,97	
F3 - Ferrato(VI) de Potássio	0,582	12,85	> 4,83	> 2,94	> 3,70	1,19	

*: Log dos níveis de microrganismos antes do tratamento

5.4.4. COMPARAÇÃO COM OUTROS MÉTODOS DE ESTABILIZAÇÃO

Nos processos de estabilização química do lodo com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio (Tabela 5.19), podem ser obtidas eficiências similares e até melhores que a digestão anaeróbia, a digestão aeróbia e a compostagem mesofílica, na redução de coliforme fecal e estreptococo fecal, reportados por WETPHAL & CHRISTENSEN, 1983 (Tabela 3.13), em 2 horas de contato.

5.4.5. ESTABILIZAÇÃO DO LODO COM CAL HIDRATADA (PROCESSO PADRÃO)

No lodo ativado da ETE-SM tratado com uma dose média de 0,073 kg/kgPS de cal, foi obtida uma redução média de 3,00 logs para coliforme total, 3,85 logs para coliforme fecal, 1,37 logs para o estreptococo fecal, 0,37 logs para fungos e 0,07 logs de ovos viáveis de helmintos, 2 horas após o início do tratamento. Na primeira das três amostras coletadas (SM1) houve recrescimento de estreptococo fecal, que foi aumentando com o armazenamento. Nessa mesma amostra também foi verificado um pronunciado recrescimento de fungos, coliforme total e coliforme fecal, apesar da dose de cal utilizada (0,064 kg/kgPS) ter mantido o pH acima de 12 em 2 horas de contato. Essa foi a dose mais baixa utilizada. Poder-se-ia considerar uma possível contaminação da amostra, porém parece que pode ser descartada, uma vez que nas demais amostras da ETE-SM também foram verificados recrescimentos de estreptococo fecal e fungos. Isso demonstra a necessidade de aplicar doses maiores que 0,087 kg/kgPS de cal hidratada, no lodo da ETE-SM.

A Figura 5.16 mostra o comportamento de microrganismos no lodo da ETE-SM estabilizados com cal, durante os 7 dias de armazenamento.

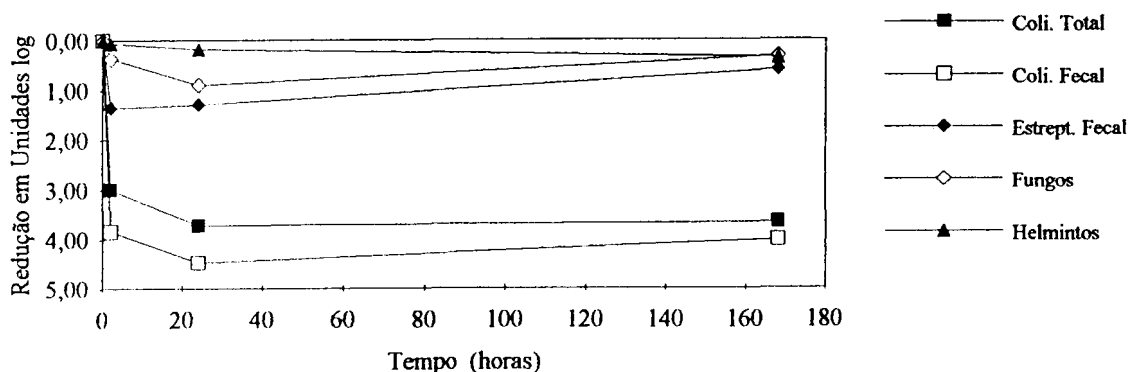


Figura 5.16. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-SM estabilizado com cal hidratada, durante o armazenamento.

No lodo anaeróbio de descarte de reator UASB da ETE-ESM, estabilizado com cal com uma dose média de 0,061 kg/kgPS em 2 horas, foram obtidas reduções de 3,18 logs para coliforme total, 2,94 logs para coliforme fecal, 2,46 logs para estreptococo fecal, 0,98 log para fungos e 0,15 logs de viabilidade de helmintos.

Como mostra a Figura 5.17, as reduções de microrganismos aumentaram com o

armazenamento, demonstrando que o tempo de contato antes do desaguamento, pode melhorar o efeito desinfetante do tratamento do lodo da ETE-ESM.

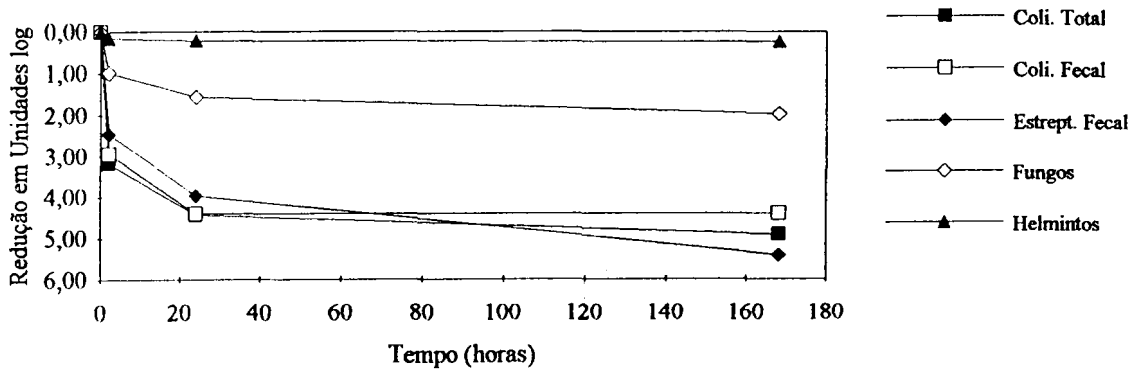


Figura 5.17. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-ESM estabilizados com cal hidratada, durante o armazenamento.

Nas três amostras de lodo da ETE-ESM que foram tratadas com cal, nas doses utilizadas, não houve recrescimento de microrganismos durante os 7 dias de observação. A dose mais alta (0,078 kg/kgPS) de cal utilizada, não produziu melhores resultados que a dose de cal de 0,070 kg/kgPS.

A estabilização do lodo primário da ETE-CUR, com cal hidratada e com uma dose média de 0,240 kg/kgPS, removeu em 2 horas 3,86 logs de coliforme total, 2,51 logs ou mais de coliforme fecal, 2,01 logs de estreptococo fecal e 0,51 logs de fungos. Nenhuma das três amostras de lodo de curtume estabilizado com cal hidratada, apresentou recrescimento. Na amostra da última coleta (CUR3) tratada com cal, nenhuma placa de fungo foi observado no sétimo dia. A dose de 0,681 kg/kgPS de cal requerida para manter o pH acima de 12 em 2 horas, foi muito mais eficiente que as doses menores utilizadas nas amostras coletadas anteriormente.

A Figura 5.18 ilustra a inativação média de microrganismos no lodo de curtume estabilizado com cal hidratada.

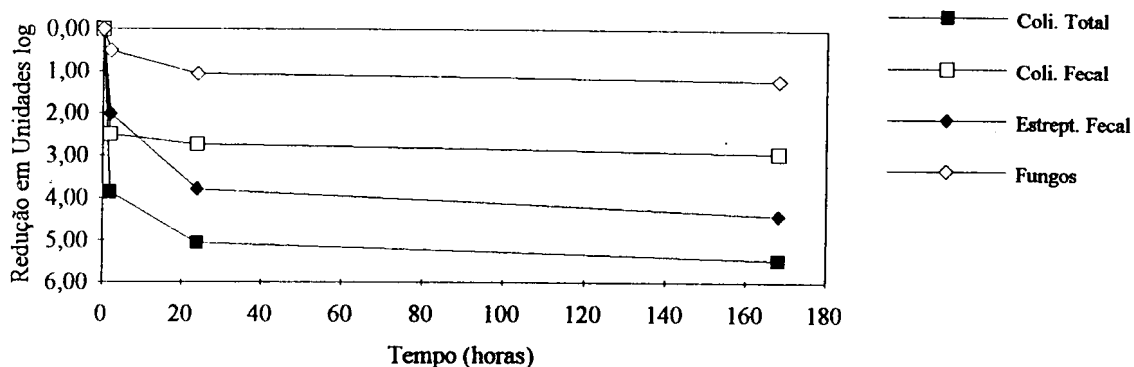


Figura 5.18. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-CUR estabilizados com cal hidratada, durante o armazenamento.

Nos lodos estabilizados com cal hidratada, em 2 horas de contato, o organismo indicador estreptococo fecal foi o que apresentou maior resistência ao tratamento. No caso de lodos de esgotos domésticos, as reduções foram menores que 2 logs em média, e no lodo de curtume a redução foi um pouco maior que 2 logs. Os fungos foram muito pouco removidos (< 1 log), como também a viabilidade de ovos de helmintos.

A performance obtida pela estabilização do lodo com cal hidratada, onde foram obtidas as reduções de organismos indicadores de pelo menos 2 (duas) unidades log no lodo da ETE-ESM e na ETE-CUR, poderia classificar o processo segundo a definição da EPA, no mínimo como de significativa redução de patógenos. Apesar das reduções médias de estreptococo fecal do lodo da ETE-SM, tratado com cal serem inferiores à 2 (duas) ordens de grandeza, acredita-se que seja possível uma melhor performance com uma dose mais alta de cal. Esse indício pode ser observado com a dose utilizada no lodo da segunda coleta (SM2), onde em 2 horas foi obtida uma redução de 3,30 logs.

5.4.6. ESTABILIZAÇÃO DO LODO COM FERRATO(VI) DE POTÁSSIO

Na Tabela 5.19 verifica-se que no lodo da ETE-SM, tratado com uma dose média de 0,286 kg/kgPS de ferrato(VI) de potássio, apesar de conferir ao lodo um pH semelhante ao do lodo estabilizado com cal hidratada, apresentou reduções superiores de organismos. As reduções obtidas em 2 horas foram de 3,88 logs para coliforme total; maior que 4,97 logs para coliforme fecal; 1,74 logs para estreptococo fecal; 0,93 logs para fungos; e 0,02 logs para helmintos. As doses superiores de ferrato(VI)

utilizadas nesse lodo (0,429 e 0,859 kg/kgPS), aumentaram o poder de desinfecção, principalmente na dose mais alta, onde os organismos indicadores e fungos, exceto a viabilidade de ovos de helmintos, não foram detectados na menor diluição (10^{-1}) utilizada. Nas Figuras 5.19 a 5.21, podem ser confrontados os efeitos das diferentes dosagens de ferrato(VI) sobre os organismos examinados. A declividade para a linha de desinfecção, mostra que os organismos indicadores são mais sensíveis à concentração inicial de ferrato(VI), do que o tempo de contato, isto é, a redução é mais acentuada nas primeiras 2 horas.

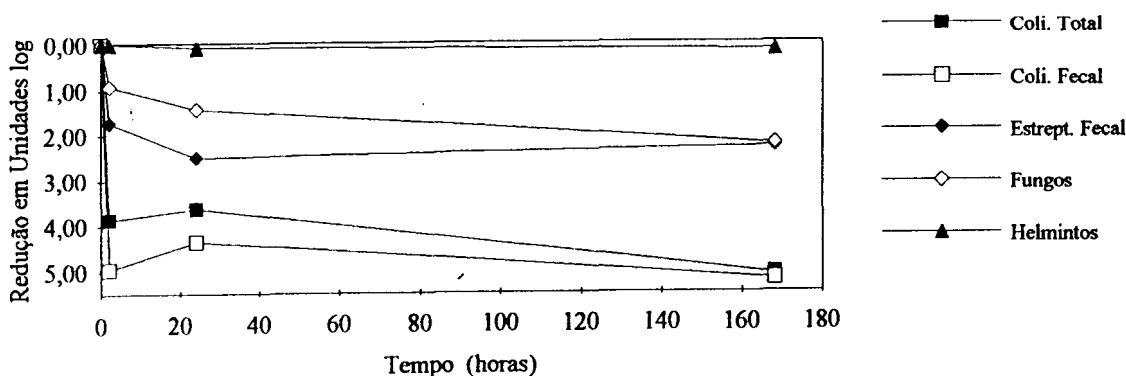


Figura 5.19. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-SM estabilizados com 10 g/l de ferrato(VI) de potássio, durante o armazenamento.

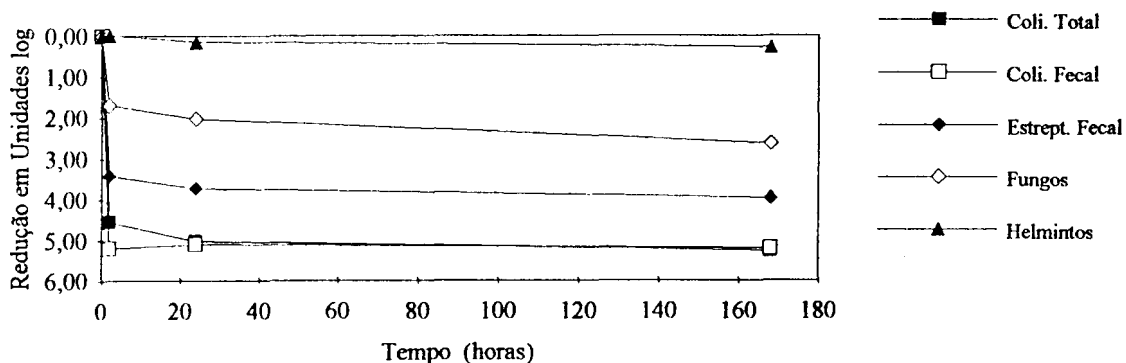


Figura 5.20. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-SM estabilizados com 15 g/l de ferrato(VI) de potássio, durante o armazenamento.

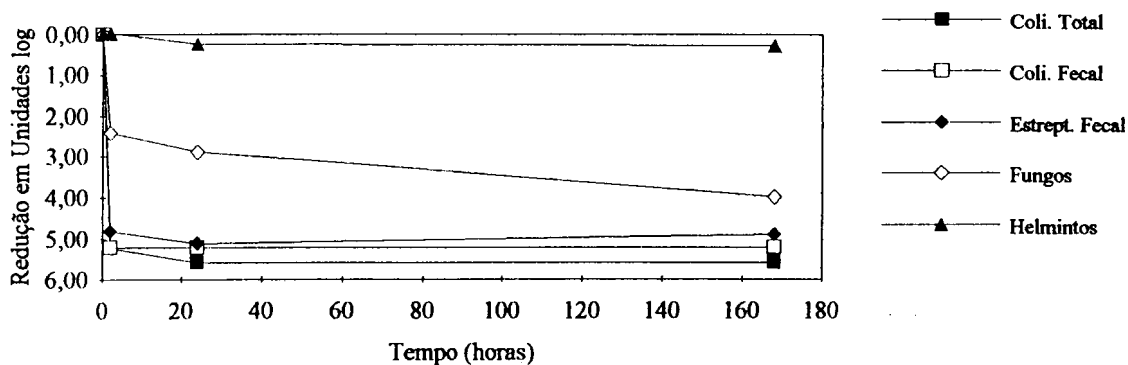


Figura 5.21. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-SM estabilizados com 30 g/l de ferrato(VI) de potássio, durante o armazenamento.

No lodo anaeróbio da ETE-ESM, como mostrado na Tabela 5.19, a menor dose de ferrato(VI) (0,086 Kg/kgPS) elevou o pH do lodo a 10,44 em 2 horas. Apesar disso apresentou remoções médias de 3,78 logs para coliforme total; 3,80 logs para coliforme fecal; 1,08 logs para estreptococo fecal; 1,04 logs para fungos; e 0,04 logs para helmintos. As reduções obtidas para os dois primeiros organismos foram superiores que os obtidos para o lodo tratado com cal hidratada. A dose média de 0,129 kg/kgPS de ferrato(VI) conferiu ao lodo um pH de 11,49. Mesmo inferior ao critério de projeto de sistema de estabilização com cal, o ferrato(VI) produziu remoções superiores que a cal para coliforme total, coliforme fecal e fungos. As reduções de estreptococo fecal no tratamento com cal e com ferrato(VI) na dose de 0,129 kg/kgPS, foram semelhantes em 2 horas. A redução média de 0,01 logs de ovos viáveis de helmintos com a dose de 0,129 kg/kgPS de ferrato(VI) foi um pouco inferior à obtida com a dose menor, provavelmente devido a precisão do método de recuperação. A maior dose de ferrato(VI) utilizada (0,257 kg/kgPS) elevou o pH a 12,81 e produziu em 2 horas, remoções superiores a 4,70 logs para coliforme total e 4,39 logs de coliforme fecal. A redução de estreptococo fecal foi de 4,59 logs, 1,60 logs de fungos e 0,11 logs de ovos viáveis de helmintos naquele tempo.

Nas Figuras 5.22 a 5.24 podem ser vistos os comportamentos dos organismos do lodo da ETE-ESM, com diversas doses de ferrato(VI). Verifica-se no lodo tratado com a dose de 0,129 kg/kgPS de ferrato(VI), mesmo com pH em 2 horas ser menor que 12, e ocorrer o decaimento de pH com o armazenamento, não são notados recrescimentos de organismos. O mesmo ocorreu na dose de 0,257 kg/kgPS de ferrato(VI).

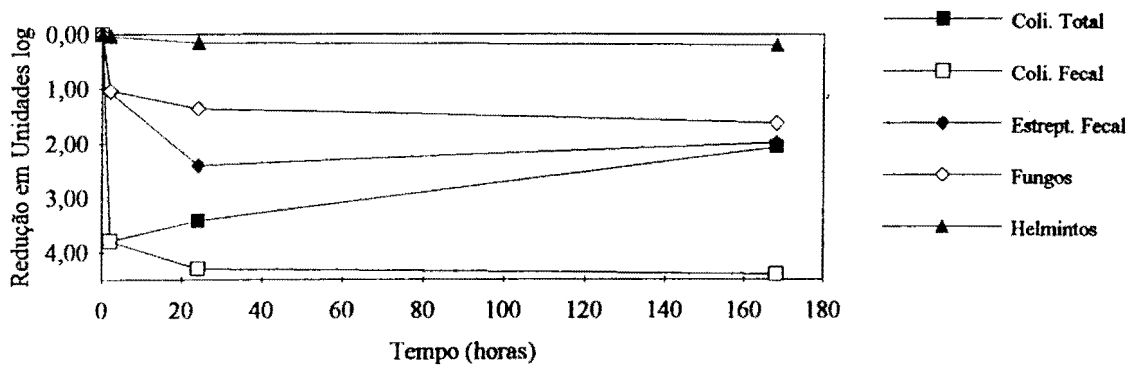


Figura 5.22. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-ESM estabilizados com 10 g/l de ferrato(VI) de potássio, durante o armazenamento.

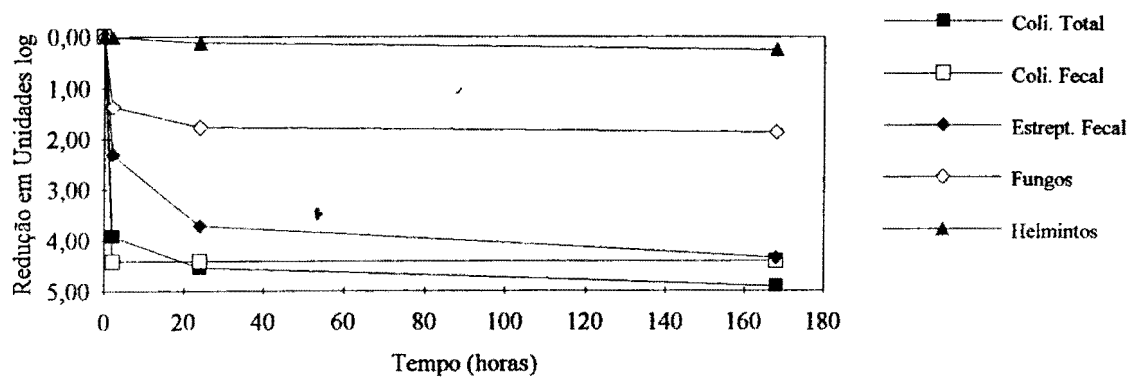


Figura 5.23. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-ESM estabilizados com 15 g/l de ferrato(VI) de potássio, durante o armazenamento.

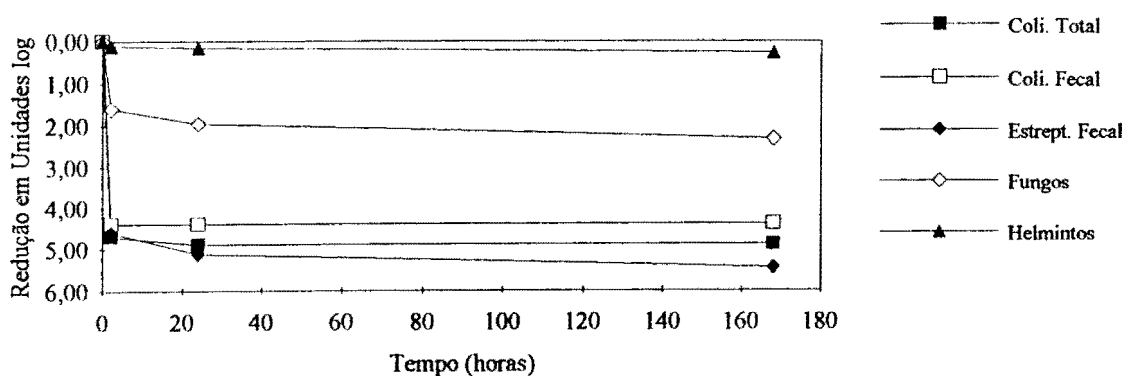


Figura 5.24. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-ESM estabilizados com 30 g/l de ferrato(VI) de potássio, durante o armazenamento.

No lodo primário de curtume, ETE-CUR, a menor dose média de ferrato(VI) de 0,194 kg/kgPS produziu em 2 horas um pH médio de 11,17. Nesse tratamento, as reduções de coliformes totais foram superiores a 3,74 logs e superiores a 1,65 logs para coliformes fecais. Os estreptococos fecais foram reduzidos 1,68 logs e os fungos 0,57 logs. As reduções, exceto para fungos, foram inferiores aos obtidos com a estabilização com cal. A dose de 0,291 kg/kgPS de ferrato(VI) também não elevou o pH do lodo acima de 12 em 2 horas, no entanto, as remoções dos organismos foram superiores que o do processo considerado padrão. O mesmo ocorreu com a dose média de 0,582 kg/kgPS de ferrato(VI), porém, as remoções dos organismos foram sempre mais elevadas. Nas doses maiores de ferrato(VI) após 7 dias de armazenamento não foi verificada, na menor diluição (10^{-1}), qualquer formação de placa de fungos, como pode ser observado nas Tabelas A.16 a A.24, em anexo. Como ovos de helmintos estão abaixo dos níveis detectáveis, poderia ser dito que o lodo da ETE-CUR estabilizado com ferrato(VI) é higienicamente aceitável.

Nas Figuras 5.25 a 5.27 podem ser visualizados os comportamentos do lodo estabilizado com ferrato(VI) durante o armazenamento de 7 dias. Nota-se que em relação aos valores médios não são verificados recrescimentos de organismos e que a eficiência de desinfecção é acentuada até 24 horas de contato, havendo uma tendência à estabilidade após esse tempo.

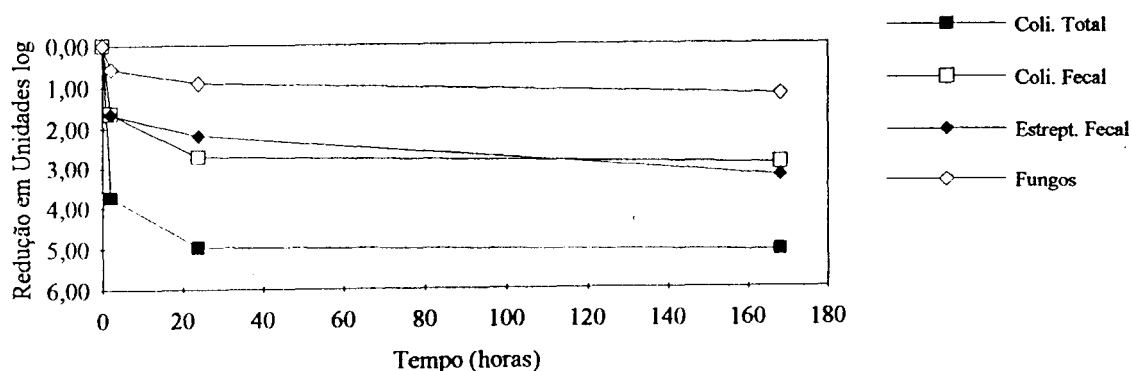


Figura 5.25. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-CUR estabilizados com 10 g/l de ferrato(VI) de potássio, durante o armazenamento.

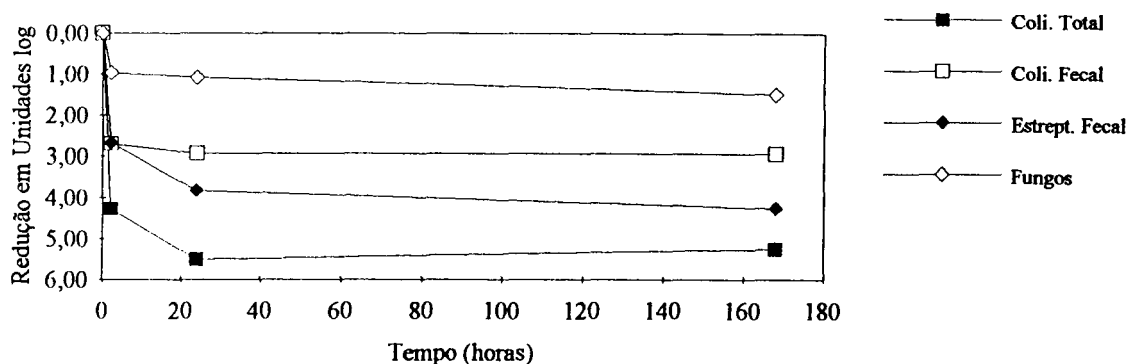


Figura 5.26. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-CUR estabilizados com 15 g/l de ferrato(VI) de potássio, durante o armazenamento.

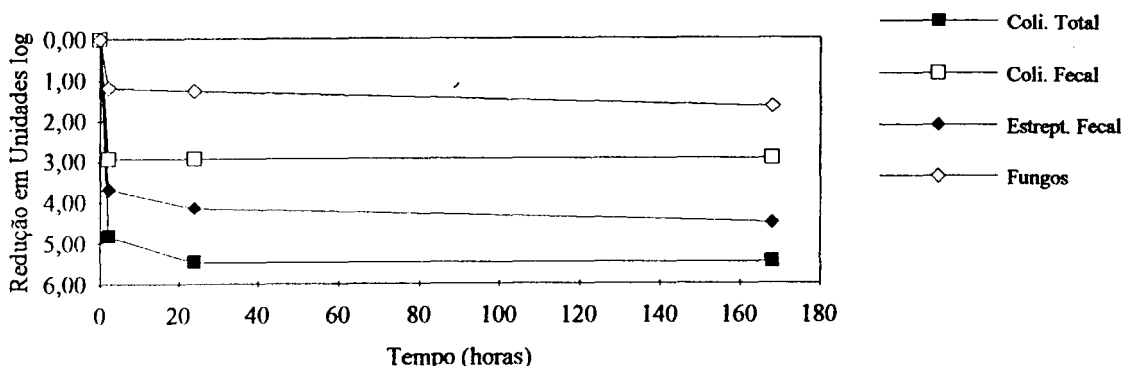


Figura 5.27. Comportamento dos microrganismos do lodo da ETE-CUR estabilizados com 30 g/l de ferrato(VI) de potássio, durante o armazenamento.

Verifica-se nas Tabelas 5.6, 5.7 e 5.8 que as altas alcalinidades proporcionadas pela cal ou ferrato(VI) parece impedir um rápido decaimento do pH, mantendo-o alto por vários dias, evitando o recrescimento de organismos patogênicos e a reativação de produtos geradores de odores. O decaimento de pH que ocorreu nos processos de estabilização, pode ser devido a absorção do CO₂ atmosférico, que pode gradualmente ter consumido a alcalinidade. Na Figura 5.4 nota-se que o recrescimento bacteriano provoca uma queda mais acentuada de pH (lodo SM - dose F1), provavelmente pela produção de ácidos orgânicos.

Na estabilização dos lodos com ferrato(VI) de potássio, avaliando as remoções obtidas, verifica-se que não é preciso elevar o pH do lodo a pelo menos 12 em 2 horas de contato, para obter a mesma eficiência ou até mesmo superior que o processo padrão

de estabilização de lodo com cal hidratada. Dependendo do tipo de lodo, a elevação do pH para 10,5 com ferrato(VI), como verificado na ETE-ESM, pode ser suficiente para obter a mesma eficiência para reduzir os níveis de organismos indicadores e patógenos que a estabilização do lodo com cal hidratada. O ferrato(VI) é um eficiente desinfetante do lodo reduzindo significativamente, em poucas horas, uma variedade de organismos indicadores e fungos. O tratamento com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio não é muito eficiente na inativação de ovos de helmintos. Isso parece comprovar que o efeito antimicrobiano promovido pela hidrólise do ferrato(VI) não é somente pelo pH ou OH^- , como observado por POLPRASERT & VALENCIA, 1981, mas também acrescidos de outros efeitos produzidos pelos produtos de sua decomposição.

As reduções de organismos indicadores e fungos, pela estabilização de lodos com cal e com ferrato(VI), são mais acentuados até 2 horas após o início do tratamento.

Dentre os organismos indicadores, o estreptococo fecal, foi a bactéria que apresentou maior resistência que os coliformes no processo de estabilização com cal hidratada e com o ferrato(VI) de potássio. Os fungos e os ovos de helmintos também apresentaram elevada resistência. Entretanto, são necessárias mais informações para a determinação de parâmetros que possam avaliar a eficiência do processo.

No geral os processos de estabilização com os produtos químicos utilizados, nesta pesquisa, não diminuíram eficientemente a viabilidade de ovos de helmintos ao nível, por exemplo, exigido pela EPA. Então, adotando-se um processo que possa destruí-los, tal como a pasteurização (70 °C, 30 min) que pode reduzir a viabilidade de ovos em 100%, e complementando com uma estabilização química com cal ou ferrato(VI), conforme o efeito desejado, poderia ser obtido um lodo higienicamente limpo. Prevê-se que a utilização da cal virgem em quantidade suficiente para elevar a temperatura do lodo para acima de 60 °C e mantê-lo por um tempo adequado, possa apresentar a mesma eficiência da pasteurização, com a vantagem de manter o pH alto.

Como mostram as Tabelas 5.20 a 5.22, as médias das reduções de microrganismos em percentagem reunindo, os três lodos pesquisados, confirmam o pequeno aumento da eficiência de desinfecção com o aumento do tempo de contato. A análise qualitativa dos ovos de helmintos, indicam substancial sobrevivência de ovos de helmintos mesmo depois de 7 dias a alto pH. Seria então, necessário avaliar se um tempo de contato mais prolongado, destruiria estes organismos em maior quantidade.

Tabela 5.20. Reduções médias de microrganismos em percentagem, nos lodos estabilizados com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio, em 2 horas.

Microrganismos	CH	F1	F2	F3
Coliforme Total	> 99,9	> 99,9	> 99,99	> 99,99
Coliforme Fecal	> 99,9	> 99,9	> 99,99	> 99,99
Estreptococo Fecal	> 90	> 90	> 99	> 99,99
Fungos	< 90	< 90	> 90	> 90
Ovos de Helmintos	22,07	5,79	-3,34	4,05

CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela 5.21. Reduções médias de microrganismos em percentagem, nos lodos estabilizados com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio, em 24 horas.

Microrganismos	CH	F1	F2	F3
Coliforme Total	> 99,99	> 99,99	> 99,999	> 99,999
Coliforme Fecal	> 99,9	> 99,9	> 99,99	> 99,99
Estreptococo Fecal	> 99,9	> 99	> 99,9	> 99,99
Fungos	> 90	> 90	> 90	> 99
Ovos de Helmintos	35,72	23,18	4,05	45,96

CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela 5.22. Reduções médias de microrganismos em percentagem, nos lodos estabilizados com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio, em 7 dias.

Microrganismos	CH	F1	F2	F3
Coliforme Total	> 99,99	> 99,99	> 99,999	> 99,999
Coliforme Fecal	> 99,9	> 99,99	> 99,99	> 99,99
Estreptococo Fecal	> 99,9	> 99	> 99,99	> 99,99
Fungos	> 90	> 90	> 99	> 99
Ovos de Helmintos	49,21	33,41	45,96	45,96

CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

A estabilização dos lodos com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio, em 2 horas, confirma o que a EPA define como processo que reduz significativamente os patógenos do lodo (PRSP). Os resultados obtidos, como discutidos anteriormente, com as doses de cal hidratada utilizadas, apresentam um efeito semelhante ao tratamento do lodo com 10 g/l de ferrato(VI). As doses de 15 g/l e 30 g/l de ferrato(VI), principalmente a última, promove em 2 horas elevada remoção de organismos indicadores (> 99,99% de coliforme total; > 99,99% de coliforme fecal; e > 99,99% de estreptococo

fecal) e uma remoção maior que 90% de fungos. Em 24 horas os fungos foram eliminados mais que 99% com a dose mais alta. Esse nível de remoção foi obtido em 7 dias de contato com a dose de 15 g/l de ferrato(VI).

As reduções de viabilidade de ovos de helmintos, mostram que apesar de pequenas, são mais elevadas no tratamento com cal do que com ferrato(VI). Verifica-se também que há uma diminuição de ovos viáveis com o aumento do tempo de contato. Em 24 horas a redução média de ovos de helmintos viáveis foi maior que a obtida por POLPRASERT & VALENCIA, 1981.

No geral, tanto a cal hidratada como o ferrato(VI) de potássio, não apresentaram boa eficiência para inviabilizar ovos de helmintos. Com um armazenamento de 7 dias o tratamento com a cal hidratada reduziu 49,21% de ovos férteis, e com ferrato(VI) a redução foi de 33,41% para o lodo tratado com uma dose de 10 g/l, e 45,96% nas doses de 15 e 30 g/l.

O aumento do número de ovos de helmintos, no lodo tratado com ferrato(VI), na dose de 15 g/l em 2 horas de contato, indica a necessidade de aumentar a precisão do método, contando um número maior de ovos. Isso fica evidente no lodo da ETE-SM, que apresenta menor quantidade de ovos.

A estabilização de lodos com ferrato(VI), poderia ser considerado como processo que reduz mais patógenos do lodo (PRMP), se fossem mais eficientes para tornar os ovos de helmintos inviáveis ou não-infectivos.

De acordo com o atual sistema de classificação da EPA (Part 503 Regulation) destinada a proteger a saúde humana e o meio ambiente, os lodos estabilizados com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio, poderiam ser classificados como lodo de classe B, por apresentarem índices de coliforme fecal menor que 2×10^6 NMP/gPS. Poderiam ser úteis como cobertura de aterro sanitário, dependendo do teor de umidade, ou poderiam ser usados como um condicionador de solo agrícola, com restrição a área de pastagem, plantações e acesso de público ao local da aplicação. Com relação ao nível de coliforme fecal acima, os lodos brutos da ETE-ESM e ETE-CUR não necessitariam de qualquer tratamento posterior para ser aplicado no solo, devendo observar apenas as restrições constantes no regulamento.

O lodo de curtume (ETE-CUR), tratados com ferrato(VI) de potássio na dose de

30 g/l, pode ser classificado como lodo de classe A, e ser enquadrado no conceito de "lodo limpo", de acordo com a EPA, que seria aquele em que as concentrações de contaminantes estão abaixo de níveis de risco (negligenciáveis) de efeitos adversos, sobre a saúde humana ou ao meio ambiente. Esse lodo poderia ser utilizado para inúmeras aplicações, incluindo agrícola, e poderia ser distribuído ao público em geral para virtualmente uso irrestrito.

Como na determinação da eficiência da estabilização dos lodos com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio, levou-se em consideração a diluição promovida pela adição dos produtos químicos, então, não eliminando esse efeito, a redução de microrganismos será maior que a discutida.

Os experimentos, finalmente, indicam que a estabilização química de lodos com cal hidratada deve ser preferida, se o lodo for destinado a usos que não necessitem de maiores remoções de microrganismos e destruição de orgânicos.

6. CONCLUSÕES

Durante a estabilização com cal hidratada ou com ferrato(VI) de potássio, uma série de reações químicas ocorrem pela combinação do lodo com os reagentes químicos, de maneira que um sólido química, biológica e fisicamente estável é obtido. As análises dos dados obtidos apontam as seguintes conclusões abaixo:

- As características dos lodos produzidos nas diferentes ETEs são muito variáveis e, refletem o processo de tratamento empregado e a origem do esgoto. Os lodos provenientes da indústria de curtimento de couro, apresentam substâncias orgânicas biologicamente mais resistentes, em maior quantidade, que os lodos de esgotos domésticos.
- O teor de nitrogênio e fósforo presentes nos lodos pesquisados, confirmam a possibilidade de lodos serem utilizados como fontes de nutrientes.
- A geração de odores ofensivos durante o processo de desaguamento dos lodos é bastante elevada, e provavelmente é causada pela volatilização de amônia e sulfetos.
- O lodo bruto da ETE-SM e da ETE-ESM são difíceis de desaguar, principalmente o primeiro. O lodo bruto da ETE-CUR é extremamente fácil de desaguar.
- 60% dos metais analisados são mais elevados no lodo proveniente de curtume. O lodo anaeróbio de descarte de reator UASB foi o que apresentou o menor teor de metais (70%). O lodo de excesso de lodo ativado da ETE-SM, apresentou um nível intermediário de metais, com relação aos demais.
- O teor de chumbo no lodo bruto da ETE-SM impede-o de atender o padrão de lixiviação da NBR 10004/87. O mesmo ocorre com o cromo total do lodo bruto da ETE-CUR. Dos metais analisados do lodo bruto da ETE-ESM, todos atendem as exigências da NBR 10004/87, quanto ao teste de lixiviação.
- Cd, Pb, Cu, Cr e Fe do lodo bruto da ETE-SM, não atendem os padrões de solubilização da NBR 10004/87. Cd, Pb, Cu, Cr e Fe do lodo da ETE-ESM ultrapassam o valor limite de solubilização. Cd, Pb, Cr, Fe e Na do lodo da ETE-CUR, não atendem os limites de solubilização.

- Nenhum dos três lodos estudados, poderiam ser utilizados para usos benéficos, segundo a norma brasileira de disposição de resíduos. Considerando-se, apenas os metais analisados nesta pesquisa, de acordo com a norma americana, os lodos da ETE-SM e ETE-ESM poderiam ser classificados como lodos de "alta qualidade". O lodo de curtume também poderia ter essa classificação, se o teor de cromo fosse menor.
- A densidade de organismos patogênicos encontrados principalmente, no lodo bruto da ETE-SM e ETE-ESM, é impróprio para aplicação no solo agrícola, sem que passe por um processo de higienização.
- Nos ensaios de estabilização com cal hidratada, verificou-se que são necessários valores iniciais de pH mais elevados, para evitar que as quedas de pH ultrapassassem o valor pretendido a 2 horas. Isso indica que as principais mudanças químicas ocorrem no início do processo de estabilização. O valor de pH aos 10 minutos pode ser um bom indicador para que se obtenha as condições recomendadas pelo processo padrão. Foi necessária uma dose média de cal hidratada de 0,073 kg/kgPS no lodo da ETE-SM, 0,061 kg/kgPS no lodo da ETE-ESM e 0,240 kg/kgPS no lodo da ETE-CUR, para elevar o pH para maior que 12 em 2 horas. Diferentes tipos de lodo requerem diferentes doses de cal, provavelmente, devido às características físicas e químicas específicas de cada lodo, que produziram diferentes capacidade tampão. O comportamento do pH durante o armazenamento, indica que o decaimento do pH é mais acentuado quando as doses de cal são menores, provavelmente devido a uma quantidade menor de alcalinidade residual.
- Com as doses de 10 g/l, 15 g/l e 30 g/l de ferrato(VI) de potássio, aplicados nos lodos, verificou-se que o decaimento do pH ocorre durante o armazenamento, similarmente entre as dosagens. Nas doses mais elevadas a taxa de queda são menores.
- As reduções verificadas nos teores de O&G, podem ter sido pelo ambiente altamente alcalino criado pela adição de cal e ferrato(VI), promovendo a saponificação. As eficiências conseguidas na remoção de O&G pelo tratamento com cal e com ferrato(VI), podem favorecer a disposição do lodo no solo.
- O fósforo disponível dos lodos estudados foi reduzido quando tratado com cal e com ferrato(VI). A retenção de fósforo no lodo tratado com cal, foi maior que com uma dose similar de ferrato(VI) no lodo da ETE-ESM e ETE-CUR, e a um menor grau no lodo da ETE-SM, onde provavelmente prevaleceu a ação do ferro.

- Tanto no lodo estabilizado com cal como pelo ferrato(VI), verificou-se redução nos teores de NTK e amônia, enquanto ocorre um aumento das concentrações de nitrato, principalmente com a adição de ferrato(VI). A diminuição dos teores de NTK indicam perdas de nitrogênio para a atmosfera, nos processos de estabilização.

- A emissão de odores ofensivos que são gerados durante o tratamento e manejo do lodo, pode ser reduzido a um nível aceitável, com a estabilização com ferrato(VI) de potássio. O efeito sobre os compostos odoríficos indesejáveis no lodo é imediato. O ferrato(VI) foi efetivo na oxidação de amônia a nitrato e sulfeto a sulfato, o que representa 8 números de oxidação. Verificou-se que o ferrato(VI) de potássio, reúne num só produto, os vários produtos químicos, comumente empregados nos métodos de controle de odores no tratamento do lodo. O ferrato(VI) produz elevação de pH; remoção de sulfeto, através da formação de precipitados com várias formas de íons de ferro; destruição de produtos odoríficos pelo poder oxidante, podendo transformar os sulfetos em sulfatos; aeração promovido pelo oxigênio liberado na decomposição; e duplo efeito desejável de transformação de amônia em nitrato, onde este produto pode tomar o lugar do sulfato e agir como um acceptor de elétron, evitando o desenvolvimento de substâncias odoríficas.

- Os resultados dos testes de resistência específica à filtração, indicaram que a capacidade de desaguamento dos lodos pesquisados, variaram de acordo com o tipo de lodo e com os produtos químicos adicionados.

- Verificou-se que a estabilização com cal e com ferrato(VI), nas doses utilizadas, não foram capazes de imobilizar adequadamente os metais, apesar de alguns se apresentarem em concentrações inferiores à do lodo bruto. Alguns metais tiveram a mobilidade favorecida, principalmente nos lodos tratados com ferrato(VI), provavelmente pela maior destruição de compostos que os complexam.

- A maioria dos parâmetros físicos e químicos reagiram de modo semelhante ao tratamento com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio. A maior diferença verificada foi com relação elementos causadores de odores.

- A performance dos processos de estabilização química do lodo com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio, pode ser mais elevada que a obtida na digestão anaeróbia, digestão aeróbia e compostagem mesofílica, na redução de coliforme fecal e estreptococo fecal.

- A adaptação do método desenvolvido por MORRISON, para isolamento e contagem de ovos de helmintos de lodos de esgotos, é extremamente barato, rápido e eficiente. Poderia ser usada como rotina para o exame de lodo de esgoto antes da disposição.
- Como os ovos de helmintos são os patogênicos mais resistentes ao tratamento do lodo com cal ou ferrato(VI), poderiam ser utilizados como organismo indicador da eficiência, quanto a higienização de lodo estabilizado.
- Como foram verificados recrescimentos de organismos, tais como estreptococo fecal e fungos, durante o armazenamento de 7 dias, demonstra a necessidade de aplicar doses maiores de cal que a utilizada nesta pesquisa, principalmente no lodo da ETE-SM.
- As reduções de microrganismos, no tratamento com cal e com ferrato(VI), foram mais acentuadas nas primeiras 2 horas, após o início do tratamento. De 2 a 24 horas ainda se verifica algum decaimento, havendo uma tendência à estabilidade após esse tempo de contato.
- Verificou-se que não é preciso elevar o pH do lodo com ferrato(VI) a pelo menos 12 em 2 horas de contato, para se obter a mesma eficiência ou até mesmo superior que o processo padrão de estabilização de lodo com cal hidratada. Portanto, o ferrato(VI) de potássio se mostrou um eficiente desinfetante de lodo, reduzindo em poucas horas uma variedade de organismos indicadores e fungos. Tanto a cal hidratada, quanto o ferrato(VI) de potássio, não se mostraram muito eficientes na inativação de ovos de helmintos. Nas doses utilizadas, em 2 horas, as remoções dos organismos monitorados nos lodos tratados com ferrato(VI), foram superiores que nos tratados com cal, exceto, na redução de viabilidade de ovos de helmintos. Verificou-se também que há diminuição de ovos viáveis, com o aumento do tempo de contato.
- O processo da estabilização dos lodos com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio, pode ser enquadrado, segundo a EPA, como processo que reduz significativamente os patógenos do lodo. A estabilização de lodos com ferrato(VI) de potássio, poderia ser classificado como processo que reduz mais patógenos do lodo, se fosse mais eficiente em tornar os ovos de helmintos inviáveis ou não-infectivos. Segundo a EPA, o lodo de curtume tratado com ferrato(VI) de potássio, pode ser classificado como de classe A.

7. RECOMENDAÇÕES

Este trabalho não esgota as necessidades de pesquisas posteriores, com respeito a efeitos sobre as características físicas, químicas e biológicas na estabilização do lodo. As ações abaixo são recomendadas.

- Melhorar, desenvolver e padronizar as técnicas de caracterização físico-químicas e biológicas de lodos.
- Verificar o comportamento de micropoluentes orgânicos dos lodos, quando estabilizados com cal e ferrato(VI) de potássio, para avaliar a possível eliminação ou formação de carcinogênicos e mutagênicos.
- Verificar as condições de desaguamento de lodos estabilizados com ferrato(VI), em leitos de secagem convencionais.
- Verificar a possibilidade de utilizar o ferrato(VI) de potássio, para a estabilização e condicionamento de lodos de ETE de outros ramos industriais.
- Investigar a existência de organismos nos lodos que tragam prejuízos à plantas, tais como os nematódeos da batata e da soja.
- Avaliar o potencial nutriente dos lodos estabilizados com ferrato(VI) de potássio, em casa de vegetação.
- Promover estudos sobre manejo, gerenciamento, reuso e disposição do lodo como uma estratégia para minimizar impactos ambientais.
- Verificar a viabilidade econômica do processo de estabilização de lodos com ferrato(VI) de potássio.
- Elaborar estratégias a longo-prazo por órgãos governamentais, estabelecendo um tempo suficiente, para que produtores e utilitários de lodo adaptem-se às demandas e restrições (legislações). Concomitantemente, as legislações deverão ser aperfeiçoadas para possibilitar, sempre que possível, o reaproveitamento de lodos estabilizados com cal e/ou ferrato(VI) de potássio.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. 1987a. Resíduos Sólidos - NBR 10004. Rio de Janeiro: ABNT. 63p.
- ABNT. 1987b. Lixiviação de Resíduos - NBR 10005. Rio de Janeiro: ABNT. 10p.
- ABNT. 1987c. Solubilização de Resíduos - NBR 10006. Rio de Janeiro: ABNT. 2p.
- ALMEIDA, G. N., GONÇALVES, M. C., GUIMARÃES, S. A. Z. 1991a. Utilização do teste de resistência específica na operação de filtros-prensa. REVISTA DAE, São Paulo: SABESP, v.51, n.160, p.20-26. Jan./Jun.
- ALMEIDA, G. N., GONÇALVES, M. C., GUIMARÃES, S. A. Z. 1991b. Desidratação de lodos utilizando o sulfato ferroso como condicionante químico. REVISTA DAE. São Paulo: SABESP, v.51, n.162, p.8-12. Set./Dez.
- ANGELIDIS, M., GIBBS, R. J. 1989. Chemistry of metals in anaerobically treated sludges. Water Research, Oxford, v.23, n.1, p.39-33.
- ARTHER, R. G., FITZGERALD, P. R., FOX, J. C. 1981. Parasite ova in anaerobically digested sludge. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, v.53, n.8, p.1334-1338. Aug.
- BARTZATT, R., CANO, M., JOHNSON, L., NAGEL, D. 1992. Removal of toxic metals and nonmetals from contaminated water. Journal of Toxicology and Environmental Health. v.35, p.205-210.
- BERTUCCI, J. J. & SEDITA, S. J. 1992. Microbiology of sludge. In: LUE-HING, C., ZENZ, D. R., KUCHENRITHER, R., eds. Municipal sewage sludge management - Processing, utilization and disposal. Lancaster: Technomic. v.4, c.4, p.139-179.
- BONNIN, C., LABORIE, A., PAILLARD, H. 1990. Odour nuisances created by Sludge Treatment: Problems and solutions. Water Science and Technology, Oxford, v.22, n.12,

p.65-74.

BRUCE, A. M., DAVIS, R. D. 1989. Sewage sludge disposal: Current and future options. Water Science and Technology, Oxford, v.21, p. 1113-1128.

BRUCE, A. M., CAMPBELL, H. W., PALMER, P. 1984. Developments and trends in sludge processing techniques. In: L'HERMITE, P., and OTT, H., eds. Processing and use of sewage sludge. Dordrecht: D.Reidel. p.19-35.

BRYAN, E. H. 1981. Disinfection of waste water and residual sludges. In: Annual Conference of the Water Pollution Control Federation, 54., Detroit. 12p.

BULHÕES, E. A. R., YOGI, K., KAMINSKI, G. W., ROS, O. A. 1989. Uso da cal virgem em ETAs de grande porte.. Trabalho apresentado no 15º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belém, 1989. Anais. Rio de Janeiro: ABES, v.2, TomoII, p.128-134.

CALVANO, J., PRAKASAM T. B. S., SAWYER, B., WILSON, T. E. 1992. Sources and control of odor emissions from sludge processing and treatment. In: LUE-HING, C., ZENZ, D. R., KUCHENRITHER, R., eds. Municipal sewage sludge management - Processing, utilization and disposal. Lancaster: Technomic. v.4, c.5, p.181-222.

CANTELLI, M. 1988. Síntese e aplicação do ferrato(VI) de potássio no tratamento de efluentes industriais. Porto Alegre: UFRGS - Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 81f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.

CARR, J. D., RELTER, P. B., TABATABAI, A., SPLICHAL, D., ERICKON, J., McLAUGHLIN, W. 1985. Properties of ferrate(VI) in aqueous solution: An alternative oxidant in wastewater treatment. In: JOLLEY, R. L. , ed., Proc. Conference on water chlorination. Chemistry Environmental impact health effects, 5th. Chelsea. Ch.99, p.1285-1298.

CETESB, 1982. Lixiviação de Resíduos Industriais - Método de ensaio. L5.510. São

Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 8p.

CETESB, 1988. Fungos - Contagem e isolamento em amostras de águas, esgotos e resíduos sólidos. L5.204. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 37p.

CHRISTENSEN, G. L., WAVRO, S. 1981. Some aspects of iron and lime versus polyelectrolite sludge conditioning. In: HUANG, C. P., ed. Industrial Waste - Proceedings of the thirteenth Mid-Atlantic Conference. Ann Arbor: Ann Arbor Science. p.104-415.

CLEVENGER, T. E., HEMPHILL, K. I, MULLINS, W. A. 1983. Chemical composition and possible mutagenicity of municipal sludges. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, v.55, n.12, p.1470-1475. Dec.

COLIN, F., LESCHBER, R., MININNI, G. 1989. Physical and chemical characterization of sewage sludge. In: DIRKZWAGER, A. H., L'HERMITE, P., eds. Sewage sludge treatment and use: New development, technological aspects and environmental aspects. London: Elsevier. p.40-52.

COTTENIE, A., KIEKENS, L., VAN LANDSCHOTT, G. 1984. Problems of the mobility and predictability of heavy metal uptake by plants. In: L'HERMITE, P., OTT, H., eds. Processing and use of sewage sludge. Dordrecht: D. Reidel. p.124-131.

CRISTIANI, S. 1988. Sewage Sludge thermal drying. In: COLIN, F., NEWMAN, P. J., SPINOSA, L., eds. Thermal Treatment of Sludges. BRUSSELS: Commission of the European Communities. p.68-77.

DAVIS, R. D. 1983. Influence of micropollutants on vegetation. Water Science and Technology, Oxford, v.14, p.31-44.

De CARLI, G., CANDIA, E., NUNES, E., MARTIN, A. S. R., ANTUNES, I., FARIAS, G., LEIRIA, B., CANDELA, M. H. 1989. Extensão Comunitária. Estudo de enteroparasitoses e das condições sócio econômicas e sanitárias das vilas periféricas de

Porto Alegre, RS, Brasil, durante o período de 1965 a 1981. Caderno de Farmácia, Porto Alegre, v.5, n.1/2, p.73-92.

De DEUS, A. B. S. 1992. Avaliação sanitária e ambiental dos lodos de ETEs. Porto Alegre: UFRGS - Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 132f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.

De DEUS, A. B. S., IDE, C. N., De LUCA, S. J., CASTRO, C. 1993. Contribuição à padronização de análises de lodos domésticos e industriais. Trabalho apresentado no 17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal, 1993. Anais. Rio de Janeiro: ABES, v.2, Tomo I, p.347-360.

De LUCA, S. J. 1981. Removal of organic compounds by oxidation-coagulation with potassium ferrate. Raleigh: North Carolina State University. 182f. (Dout. Filosofia).

De LUCA, S. J., CHAO, A. C., SMALLWOOD, Jr., C. 1981. Removal of selected pollutants with potassium ferrate. In: Huang, C. P., ed. Industrial Waste - Proceeding of the thirteenth Mid-Atlantic Conference. Ann Arbor: Ann Arbor Science. 654p. p.434-443.

De LUCA, S. J. 1983. Remoção de poluentes orgânicos, com ferrato de potássio. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. 16f. Trabalho apresentado no 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Balneário Camboriú, 1983.

De LUCA, S. J., MILANO, L. B., IDE, C.N. 1990. Rain and urban stormwater quality. In: IAWPRC INTERNATIONAL CONFERENCE, 15., 1990, Kyoto. Water pollution research and control: proceedings. Oxford: Pergamon. v.1, p.133-140.

De LUCA, S. J., REIS, M. F., De LUCA, M. A. 1991. Oxidação de sulfetos e de contaminantes de efluentes industriais por íons ferrato(VI). REVISTA DO COURO, Estância Velha, ano XVII, n.81, p.34-37. Nov.

De LUCA, S. J., CANTELLI, M., De Luca, M. A. 1992. Ferrate vs traditional coagulants

in the treatment of combined industrial wastes. Water Science and Technology, Oxford, v.26, n.9/11, p.2077-2080.

DOE - Department of the Environment. 1981. Report of the Sub-Committee on the Disposal of Sewage Sludge to land. London: National Water Council. 58 p.

DMAE. 1983. Lodo digerido: Características físico-químicas e biológicas, alternativas de secagem natural. Porto Alegre. 39p. Trabalho apresentado no 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Balneário Camboriú, 1983.

EPA. 1978. Sludge Treatment and disposal. Washington. Não paginado. (EPA 625/4-78-012).

EPA. 1989. State sludge management program regulations. Part 501, subchapter 0. p.683-700. (40 CFR, Ch.1).

FAIR, G. M., GEYER, J. C., OKUN, D. A. 1973. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. v.II, version española. SALVADOR AYANEGUI J. México: Editorial Limusa. 764p.

FAROOQ, S., BARI, A. 1986. Tertiary treatment with ferrate and ozone. Journal of Environmental Engineering, New York, v.112, n.2, p.301-310. April.

FLEMING, G. A., TUNNEY, H., O'RIORDAN, E. G. 1986. The sampling of soils, herbage, animal manures and sewage sludge for trace elements and other analyses - Irish experiences. In: GOMES, A., LESCHBER, R., L'HERMITE, P., eds. Sampling problems for the chemical analysis of sludge, soils and plants. LONDON: Elsevier. p.6-170.

GASI, T. M. T., ROSSIN, A. C. 1991. Presença de patogênicos no lodo de reator UASB. Trabalho apresentado no 16º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Goiânia, 1991. Anais. Rio de Janeiro: ABES, v.2, Tomo I, p.225-240.

- GASI, T. M. T., ROSSIN, A. C. 1993a. Remoção de microrganismos indicadores e patogênicos em reator UASB operando com esgotos domésticos. Trabalho apresentado no 17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal, 1993. Anais. Rio de Janeiro: ABES, v.2, Tomo I, p.361-378.
- GASI, T. M. T., ROSSIN, A. C. 1993b. Fatores que influenciam a remoção de microrganismos em reator UASB. Trabalho apresentado no 17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal, 1993. Anais. Rio de Janeiro: ABES, v.2, Tomo I, p.379-397.
- GERBA, C. P., GOYAL, S. M. 1988. Enteric Virus: Risks assessment of ocean disposal of sewage sludge. Water Science and Technology, Oxford, v.20, n.11/12, p.25-31.
- GILLIES, J. A., KUSHWAHA, R. L., HWANG, C. P., FORD, R. J. 1989. Heavy metal residues in soil and crops from applications of anaerobically digested sludge. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, v.61, n.11/12, p.1673-1740. Nov./Dec.
- GIROVICH, M. J. 1990. Simultaneous sludge drying and pelletizing. WATER/Engineering & Management. p.34-39. March.
- GOODFREE, A. F., JONES, F., SATCHWEW, M., WATSON, D. C. s.d. The effectiveness of chemical disinfection on faecal bacteria in sludge. Stabilization D. Sewage Sludge. 022/012682,022, s.l. 15p.
- GOMEZ, A., LESCHBER, R., COLIN, F. 1986. Sampling techniques for sludge, soil and plants. In: GOMEZ, A., LESCHBER, R., L'HERMITE, P., eds. Sampling problems for the chemical analysis of sludge, soil and plants. London: ELSEVIER. p.80-90.
- GSCHWIND, J., HARPER, D. W., KELADA, N. P., LORDI, D. T., RICHARDSON, G. R., SOSZYNSKI, S., SUSTICH, R. C. 1992. Chemical constituents present in municipal sewage sludge. In: LUE-HING, C., ZENZ, D. R., KUCHENRITHER, R., eds. Municipal sewage sludge management - Processing, utilization and disposal. Lancaster: Technomic. v.4, c.3, p.69-137.

- HAHN, H. H. 1987. Regional sludge treatment and disposal optimizing reliability and cost. Water Science and Technology. Oxford, v.19, p.847-857.
- HAIRE, R. G. 1965. A study of the decomposition of potassium ferrate(IV) in aqueous solution. PhD. Thesis, Univ. of Michigan.
- HALL, J. E., THOMPSON, T. R. C. 1989. New developments in sampling sludge treated soils. In: DIRKZWAGER, A. H., L'HERMITE, P., eds. Sewage Sludge Treatment and use: New developments, technological aspects and environmental effects. London: Elsevier. p.504-516.
- HÄNEL, K. 1988. Biological treatment of sewage by the activated sludge process. CHISCHESTER: Ellis Horwood. 229p.
- HARDING, H. J., THOMAS, R. E., JOHNSON, D. E., SORBER, C. A. 1980. Aerosols generated by liquid sludge application to land. EPA Grant n.R-80 5909-010. Cincinnati: EPA. 111p.
- HASHIMOTO, M., HIRAOKA, M. 1990. Characteristics of sewage sludge affecting dewatering by belt press filter. Water Science and Technology, Oxford, v.22, n.12, p.143-152.
- HAUG, R. T., KUCHENRITHER, R., OERKE, D., PRAKASAM, T. B. S., SOSZYNSKI, S., ZENZ, D. 1992. Sludge processing technology. In: LUE-HING, C., ZENZ, D. R., KUCHENRITHER, R., eds. Municipal sewage sludge management - Processing, utilization and disposal. Lancaster: Technomic. v.4, c.6, p.223-298.
- HEIDE, B. A. & SPINOSA, L. 1984. Optimum use of chemicals in mechanical sludge dewatering. In: L'HERMITE, P. AND OTT, H., eds. Processing and use of sewage sludge, Dordrecht: D. Reidel. p.73-84.
- HULTMAN, B. 1982. Elimination of organic micropollutants. Water Science and Technology, Oxford, v.14, p.73-86.

- IDE, C. N. 1984. Qualidade da drenagem pluvial urbana da Bacia dos Açorianos, Porto Alegre - RS. Porto Alegre: UFRGS - Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 137f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.
- IMHOFF, K.; IMHOFF, R. R. 1986. Manual de tratamento de águas residuárias. São Paulo: Edgard Blücher. 301p.
- JACOBS, A., SILVER, M. 1990a. Sludge Management at the Middlesex County Utilities Authority. Water Science and Technology. Oxford, v.22, n.12, p.93-106..
- JACOBS, A., SILVER, M. 1990b. From ocean disposal to landfill cover. WATER/Engineering & Management. p.28-31. March.
- JOLLEY, R. L., CUMMING, R. B., LEE, N. E., THOMPSON, J. C., LEWIS, L. R. 1982. Micropollutants produced by disinfection of wastewater effluents. Water Science and Technology, Oxford, v.14, p.45-49.
- JOST, P. T. 1984. Produção, condicionamento e processamento do lodo gerado em Estações de Tratamento de Efluentes de Curtumes: Resultados analíticos da planta piloto de Estância Velha. Trabalho apresentado na Semana de debates sobre tratamento de efluentes da indústria de peles e couros, 19 a 23 de março de 1984. Estância Velha: SENAI/UNIDO. n.p.
- KARR, P. R., KEINATH, T. M. 1978. Influence of particle size on sludge dewaterability. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, v.50, n.8, p.1911-1930. Aug.
- KASAI, T. 1975. Konox process removes H S. Hydrocarbon Processing, v.2, p.93-95.
- KATO, K., KAZAMA, F. 1991. Respiratory inhibition of *Sphaerotilus* by iron compounds and the distribution of the Sorbed iron. Water Science and Technology, Oxford, v.23, p.947-954.
- KONCKE, W. R., TRAHERN, P. 1989. Freeze-Thaw Conditioning of Chemical and

- Biological Sludges. Water Research, Oxford, v.23, n.1, p.35-42.
- LAPORTE, s.d. Aluminum Chlorohydrate for sludge dewatering. UK: LAPORTE INDUSTRIES LIMITED. 28p.
- LATIMER, W. M. 1938. The oxidation states of the elements and their potentials in aqueous solutions. New York, Prentice-Hall. 293p.
- LEFTWICH, D. B., REIMERS, R. S., ENGLANDER Jr., A. J., LITTLE, M. D., BOWMAN, D. D. 1979. Investigation of parasites in southern domestic waste sludge: A possible industrial point source. In: Proceedings of the 34th Industrial waste Conference. Purdue University. Ann Arbor: Ann Arbor Science. p.910-919.
- LITTON, E. 1975. Exames parasitológicos. Série C, Biblioteca da Educação, Ciências da Saúde, v.1. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará. 299p.
- LOHMANN, J. H., GARBER, W. F. 1988. Some recent developments in sewage sludge pumping. Water Science and Technology, Oxford, v.20, n.4/5, p.227-236.
- LOTITO, V., SPINOSA, L., SANTORY, M. 1991. Influence of digestion on sludge characteristics. In: COLIN, F., NEWMAN, P. J., PUOLANNE, Y. J. eds. Recent developments in sewage sludge processing. Brussels: Commission of the European Communities. p.32-40.
- MARTINS, M. T., SANCHEZ, P. S. 1983. Caracterização microbiológica e parasitológica de lodos de esgotos e fertilizante orgânico mineral. São Paulo: CETESB. 10f. Trabalho apresentado no 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Balneário Camboriú, 1983.
- MASSON, C. A., HANER, A., HAMER, G. 1992. Aerobic thermophilic waste sludge treatment. Water Science and Technology, Oxford, v.25, n.1, p.113-118.
- MININNI, G., SPINOSA, L., LOTITO, V. 1991. Cost optimization of sewage sludge filter

pressing. Water Science and Technology. v.23, p.2001-2009.

MORRISON, I. R. 1986. The pasteurization of sludge. Cape Town: City Engineer's Department. 55p. (WRC Report n.86/1/86).

MURMANN, R. K., ROBINSON, P. R. 1974. Experiments utilizing FeO for purifying water. Water Research, Oxford, v.8, p.543-547.

NOVAK, J. T., PRENDEVILLE, J. F., SHERRARD, J. H. 1988. Mixing intensity and polymer performance in sludge dewatering. Journal of the Environmental Engineering Division. American Society of Civil Engineers, New York, v.114, n.1, p.190-198. Feb.

OSHIMA, Y. 1990. Treatment, disposal and utilization of sewage sludge in Japan. In: Sewage Works in Japan. TOKYO: Japan Sewage Works Association. p.48-60.

PAHREN, H. R., LUCAS, J. B., RYAN, J. A., DOTSON, G. K. 1979. Health risks associated sludge. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, v.51, n.11, p.2588-2648. Nov.

POLPRASERT, C., VALENCIA, L. G. 1981. The inactivation of faecal coliformes and *Ascaris ova* in faeces by lime. Water Research, Oxford, v.15, p.31-36.

REED, S. C., MIDDLEBROOKS, E. J., CRITES, R. W. 1988. Natural Systems for Waste Management & Treatment. New York: McGraw-Hill. 308p.

REGNIER, B., GOBLET, C., GENOT, J., MASSCHELEIN, W. J. 1982. The elimination of mineral micropollutants. Water Science and Technology, Oxford, v.14, p.87-105.

SAWYER, C. N., McCARTY, P. L. 1987. Chemistry for environmental engineering. 3ed. Singapore: McGraw-Hill. 532p.

SCAMBILIS, N., NOVAK, J. 1978. Land disposal of Chemical Sludge. In: Proceedings of the 32nd INDUSTRIAL WASTE CONFERENCE, May 10, 11 and 12, 1977. Purdue

University. Ann Arbor: Ann Arbor Science. p.272-287.

SCHINK, T., WAITE, T. D. 1980. Inactivation of f2 virus with ferrate(VI). Water Research, Oxford, v.14, p.1705-1717.

SCHREYER, J. M., OCKERMAN, L. T. 1951. Stability of the ferrate (VI) ion in aqueous solution. Analyt Chem., v.23, n.4, p.1312-1314.

SELBACH, P. A., TEDESCO, M. J., GIANELLO, C., CAVALET, L. E. 1991. Descarte e biodegradação de lodos de curtume no solo. REVISTA DO COURO, Estância Velha, ano XVII, n.81, p.83-94. Nov.

SIEGRIST, H., ALDER, A., BRUNNER, P. H., GIGNER, W. 1989. Pathway analysis of selected organic chemicals from sewage to agricultural soil. In: DIRKZWAGER, A. H., L'HERMITE, P., eds. Sewage sludge treatment and use: New developments, technological aspects and environmental effects. London: Elsevier. p. 133-144.

SILVEIRA, N. R. 1990. Verificação de parâmetros e constantes no processo de lodos ativados por aeração prolongada. Porto Alegre: UFRGS - Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 121f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.

SLADE, J. S., PIKE, E. B., EGLIN, R. P., COLBOURNC, KURTZ, J. B. 1989. The survival of human immunodeficiency virus in water, sewage and seawater. Water Science and Technology, Oxford, v.21, n.3, p.55-59.

SMOLLEN, M. 1990. Evaluation of municipal sludge drying and dewatering with respect to sludge volume reduction. Water Science and Technology, Oxford, v.22, n.12, p.153-161.

SOMMERS, L. E. 1980. Toxic metals in agricultural crops. In: BITTON, G., DAMRON, B. L., EDDS, G. T., DAVIDSON, J. M., eds. Sludge health risks of land application. Ann Arbor: Ann Arbor Science. p.105-140.

- SPAULL, A. M., McCormack, D. M., PIKE, E. B. 1989. Effects of various sewage sludge treatment processes on the survival of potato cyst nematodes (*Globodera* spp.) and the implications for disposal. Water Science and Technology, Oxford, v.21, p.909-916.
- STANDARD METHODS for the examination of water and wastewater. 1989. 17ed. Washington: American Public Health Association, n.p.
- STERRITT, R. M. & LESTER, J. N. 1984. Mechanisms of heavy metal concentration into sewage sludge. In: L'HERMITE, P., OTT, H., eds. Processing and use of sewage sludge. Dordrecht: D. Reidel, p.371-385.
- STENTIFORD, E. I. & PEREIRA NETO, J. T. 1993. Compostagem de lodos de esgotos: uma alternativa para países industrializados. Trabalho apresentado no 17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1993, Natal. Anais. Rio de Janeiro: ABES. v.2, Tomo III, p.167-181.
- STIEN, J. L., SCHWARTZBROD, J. 1990. Experimental Contamination of vegetables with helminth eggs. Water Science and Technology, Oxford, v.22, n.9, p.51-57.
- STRAUCH, D. 1989. Improvement of the quality of sewage sludge: Microbiological aspects. In: DIRKZWAGER, A. H., L'HERMITE, P., eds. Sewage sludge treatment and use: New developments, technological aspects and environmental aspects. London: Elsevier. p.160-179.
- SZPYRKOWICZ, L., RIGONI-STERN, S., GRANDI, F. Z. 1991. Pilot plant studies on tannery waste water treatment with the objective to reduce sludge production. Water Science and Technology, v.23, p.1863-1871.
- TÉCNICOS alertam sobre perigos do cisto da soja. Zero Hora, Porto Alegre, 22 nov. 1993. p.31.
- TEDESCO, M. J. & STAMMEL, J. G. 1986. Reciclagem de nutrientes contidos em resíduos orgânicos. In: Curso de atualização em fertilidade do solo sob condições de

cultivo reduzido. Santa Maria: UFSM. 40p.

- TEDESCO, M. J., VOLKWEISS, S. J., BOHNEN, H. 1985. Análises de solo, plantas e outros materiais. Boletim Técnico 5. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS. 188p.
- THEIS, S. H., STORM, D. R. 1978. Helminth ova soil and Sludge from twelve U.S. Urban areas. Journal Water Pollution Control Federation. Washington, p.2485-2493. Nov.
- TORPEY, W. N., ANDREWS, J., BASILICO, J. V. 1984. Effects of multiple digestion on sludge. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, v.56, n.1, p.62-68. Jan.
- TSANG, K. R., VESILIND, P. A. 1990. Moisture distribution in sludges. Water Science and Technology, Oxford, v.22, n.12, p.135-142.
- WAGNER, W. F., GUMP, J. R., HART, E. N. 1952. Factors affecting the stability of aqueous potassium ferrate solution. Analyt. Chem., v.24, p.1947-1498.
- WAITE, T. D., GILBERT, M. 1978. Oxidative destruction of phenol and other organic water residuals by iron(VI) ferrate. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, v.50, n.3, p.543-551.
- WEBBER, M. D., MONTEITH, H. D., CORNEAU, D. G. M. 1983. Assessment of heavy metals and PCBs at sludge application sites. Journal Water Pollution Control Federation. Washington, v.55, n.2, p.187-195. Feb.
- WEBBER, M. D., KLOKE, A., TJELL, J. 1984. Control of heavy metal contamination in soils. In: L'HERMITE, P., OTT, H., eds. Processing and use of sewage sludge. Dordrecht: D. Reidel, p.371-385.
- WEF, 1993. Biosolids and the 503 standards. Journal Water environment federation,

Alexandria, v.5, n.3, p.57-62. May.

WESTPHAL, P. A., CHRISTENSEN, G. L. 1983. Lime Stabilization: effectiveness of two process modifications. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, v.55, n.11, p.1381-1386. Nov.

WHO. 1989. Health and environmental criteria for the utilization of sewage sludge on land. Environmental Series n.9. Washington: Pan American Health Organization, World Health Organization-Environmental Health Program. 28p.

WOOD, R. H. 1958. The heat, free energy and entropy of the ferrate (VI) ion. Journal American Chemical Society, Washington, v.80, p.2038-2041.

WOZNAIK, D. J., HUANG, J. Y., C. 1982. Variables affecting metal removal from sludge. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, v.54, n.12, p.1574-1580. Dec.

WPCF. 1960. The Operator's corner. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, v.32, n.12, p.1317-1331.

WPCF. 1985. Sludge stabilization - Manual of Practice n.FD-9. Prepared by Task force on sludge stabilization. Washington: WPCF. 106p.

WPCF. 1986. Sludge disinfection: A review of the literature. Alexandria. 50p.

YEAGER, J. G. 1980. Risk to animal health from pathogens in municipal sludges. In: BITTON, G., DAMRON, B. L., Edds, G., DAVIDSON, T. J. M., eds. Sludge-Health risks of land application. Ann Arbor: Ann Arbor Science. p.173-199.

9. ANEXOS

ANEXO 1: RESULTADOS DOS ENSAIOS

Tabela A.1. Doses individuais de cal hidratada e ferrato(VI) de potássio aplicados, kg/kgPS

Doses	Amostras								
	SM1	SM2	SM3	ESM1	ESM2	ESM3	CUR1	CUR2	CUR3
CH	0,064	0,087	0,069	0,034	0,070	0,078	0,028	0,011	0,681
F1 - 10 g/l	0,362	0,225	0,272	0,085	0,089	0,083	0,091	0,165	0,326
F2 - 15 g/l	0,543	0,337	0,408	0,127	0,133	0,126	0,136	0,248	0,489
F3 - 30 g/l	1,087	0,674	0,815	0,254	0,267	0,251	0,273	0,496	0,977

CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio

Tabela A.2. Temperatura do ar registradas durante a pesquisa, em °C.

Amostra	Tempo			
	10 min	2 horas	24 horas	7 dias
CUR1	25,0	25,0	26,0	28,0
CUR2	18,0	18,0	17,0	15,0
CUR3	17,5	17,5	20,0	21,0
ESM1	25,0	25,0	25,5	25,0
ESM2	18,0	18,0	14,0	15,0
ESM3	19,5	19,5	20,0	19,5
SM1	25,0	25,0	23,5	23,0
SM2	13,0	13,0	12,0	16,5
SM3	19,0	19,0	21,0	20,0

Tabela A.3. pHs e temperaturas registradas durante o processo de estabilização.

Amostra	B		CH		F1		F2		F3	
	pH	Temp. °C	pH	Temp. °C	pH	Temp. °C	pH	Temp. °C	pH	Temp. °C
Tempo: 10 minutos										
CUR1	9,90	22,0	12,60	22,0	12,55	27,0	12,75	30,0	13,48	38,0
CUR2	8,08	19,0	12,63	19,0	11,10	21,0	11,78	22,0	13,07	29,5
CUR3	7,40	18,5	12,63	19,0	10,39	21,0	10,72	22,0	11,73	28,0
ESM1	6,48	24,0	12,60	24,0	11,50	27,5	12,58	29,5	13,45	32,0
ESM2	5,75	18,0	12,53	19,0	11,21	21,5	11,21	21,5	13,00	28,5
ESM3	5,81	19,0	12,99	19,5	9,53	22,0	10,34	23,5	12,60	27,5
SM1	6,06	23,0	12,50	23,0	13,48	27,0	13,91	28,0	14,59	32,0
SM2	6,68	14,0	12,69	14,0	11,94	17,0	12,27	19,0	12,80	23,0
SM3	6,63	20,0	12,80	19,0	12,45	23,0	12,89	23,0	12,45	29,0
Tempo: 2 horas										
CUR1	9,90	22,0	12,00	22,0	12,31	23,0	12,59	24,5	13,79	27,5
CUR2	8,08	19,0	12,05	19,0	11,01	20,0	11,65	21,0	13,05	22,5
CUR3	7,40	18,5	12,82	19,0	10,18	19,5	10,65	20,0	11,70	21,0
ESM1	6,48	24,0	12,25	24,5	11,07	26,5	12,20	27,5	13,48	28,0
ESM2	5,75	18,0	12,50	19,0	10,80	19,5	11,97	20,0	12,78	21,5
ESM3	5,81	19,0	12,48	19,5	9,44	20,0	10,30	21,5	12,17	22,0
SM1	6,06	23,0	12,30	23,0	13,41	26,0	14,00	27,0	14,70	29,5
SM2	6,68	14,0	12,57	14,5	11,84	16,0	12,34	17,0	13,01	19,0
SM3	6,63	20,0	12,34	19,0	12,05	20,5	12,78	20,0	13,54	25,5
Tempo: 24 horas										
CUR1	9,36	23,5	11,56	23,5	12,17	24,0	12,45	24,0	13,47	24,0
CUR2	7,90	19,0	11,24	19,0	10,56	19,0	11,34	19,0	12,71	19,0
CUR3	7,14	19,5	12,75	19,5	10,03	19,5	10,54	19,5	11,68	19,5
ESM1	6,53	25,0	11,45	25,0	10,41	25,0	11,79	25,0	13,49	25,0
ESM2	5,87	16,0	12,50	17,0	10,24	16,5	11,63	17,0	12,80	16,5
ESM3	5,87	19,5	12,11	19,5	9,27	19,5	9,99	19,5	11,88	19,5
SM1	6,34	22,0	9,74	21,0	12,61	21,5	13,40	21,5	14,22	22,0
SM2	6,66	15,5	12,39	15,5	11,39	15,5	12,15	15,0	12,93	15,5
SM3	6,59	20,5	10,61	20,5	10,86	20,5	11,90	20,5	12,76	21,0
Tempo: 7 dias										
CUR1	7,83	26,0	10,09	26,0	10,80	26,0	11,05	26,0	11,71	26,0
CUR2	7,47	17,0	10,95	17,0	10,33	17,0	11,15	17,0	12,73	17,0
CUR3	6,93	21,0	12,75	21,0	9,63	21,0	10,34	21,0	11,57	21,0
ESM1	6,89	25,0	11,05	25,0	9,68	25,0	11,07	25,0	13,11	25,0
ESM2	6,02	15,0	12,25	15,0	9,60	15,0	11,05	15,0	12,59	15,0
ESM3	6,44	20,5	11,37	20,0	8,44	20,0	9,17	20,0	11,36	20,0
SM1	5,88	22,5	7,55	22,5	9,68	22,5	11,45	23,0	12,80	23,0
SM2	6,47	17,0	11,84	17,0	10,01	17,0	11,70	17,0	12,97	17,0
SM3	6,19	19,0	7,89	19,0	9,20	19,0	10,51	19,0	12,52	19,0

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.4. Características físico-químicas das amostras individuais do lodo da ETE-SM, tratados com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.

Amostra		SM1 (3/5/1993)					SM2 (9/8/1993)					SM3 (27/9/1993)				
Parâmetros	Unidade	B	CH	F1	F2	F3	B	CH	F1	F2	F3	B	CH	F1	F2	F3
pH		6,34	9,74	12,61	13,40	14,22	6,66	12,39	11,39	12,15	12,93	6,59	10,61	10,86	11,90	12,76
Temperatura	°C	22,0	21,0	21,5	21,5	22,0	15,5	15,5	15,5	15,0	15,5	20,5	20,5	20,5	20,5	21,0
Condutividade	µmhos/cm	690	1150	5200	12700	29100	460	3100	6500	10500	24800	950	1250	7000	11000	25000
ST	%	2,76	2,94	3,76	4,26	5,76	4,45	4,84	5,45	5,95	7,45	3,68	3,94	4,68	5,18	6,68
SFT	%	37,75					55,48					40,40				
SVT	%	62,25					44,52					59,60				
Alcalinidade	mg/kg PS	23413	106235	100253	136521	183240	13435	46040	73921	92883	132418	108077	192713	250537	335043	661844
DQO	mg/g PS	800	724	584	520	300	566	514	430	360	238	824	760	644	512	362
Carbono Orgânico	%	27,70	24,50	20,46	14,49	12,15	17,61	15,89	15,03	11,17	10,74	28,02	26,98	22,41	18,47	13,49
NTK	mg/kg PS	47341	40071	39308	36538	32229	34849	27712	29007	27623	21315	50332	44398	44398	33770	26187
Amônia-N	mg/kg PS	1248	1758	999	772	408	900	500	628	561	459	1905	1377	980	870	687
N. Orgânico	mg/kg PS	46093	38313	38309	35766	31821	33949	27212	28379	27062	20856	48427	43021	433418	32900	25500
Nitrato-N	mg/kg PS	97	106	498	542	546	14	53	301	550	756	8	109	565	707	895
Fósforo Disponível	mg/kg PS	1894,0	394,6	106,3	91,8	78,4	413,1	90,9	29,9	12,1	10,5	315,0	109,2	127,1	112,1	96,8
O&G	%	16,5	15,2	6,2	5,6	5,8	6,4	4,2	4,4	3,9	3,0	6,5	4,3	3,1	2,5	2,2
Sulfatos Totais	mg/kg PS	8053	8913	5812	6796	7444	5704	5414	5157	5463	5765	7233	8601	5669	6831	7045
Sulfetos Dissolvidos	mg/kg PS	574	359	328	124	46	279	554	73	20	5	913	1279	269	0	0
REF	cm/g	1,19E+10	3,47E+10	5,19E+10	3,37E+10	1,18E+10	1,10E+10	1,52E+10	3,11E+10	3,45E+10	1,09E+10	2,86E+10	4,34E+10	3,71E+10	5,13E+10	2,76E+11

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.5. Características físico-químicas das amostras individuais do lodo da ETE-ESM, tratados com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.

Amostra	Unidade	ESM1 (12/4/1993)					ESM2 (5/7/1993)					ESM3 (13/9/1993)				
		B	CH	F1	F2	F3	B	CH	F1	F2	F3	B	CH	F1	F2	F3
pH		6,53	11,45	10,41	11,79	13,49	5,87	12,50	10,24	11,63	12,80	5,87	12,11	9,27	9,99	11,88
Temperatura	°C	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	16,0	17,0	16,5	17,0	16,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
Condutividade	µmhos/cm	435	700	3300	4450	10500	950	5000	6100	9000	19000	2700	3700	6000	9000	16500
ST.	%	11,81	12,21	12,81	13,31	14,81	11,24	12,03	12,24	12,74	14,24	11,93	12,86	12,93	13,43	14,93
SFT	%	61,24					53,83					55,27				
SVT	%	38,76					46,17					44,73				
Alcalinidade	mg/kg PS	16415	37047	39936	54821	77448	19164	94003	52794	62135	93406	26844	91978	42145	48845	72999
DQO	mg/g PS	638	622	561	555	435	764	720	688	636	496	776	728	708	694	584
Carbono Orgânico	%	22,76	20,61	17,82	16,96	13,32	26,60	25,40	23,51	23,09	16,79	28,23	24,90	25,11	24,70	21,38
NTK	mg/kg PS	25821	22884	22454	21895	19171	23924	20563	19339	19044	18680	29594	19880	23774	22436	19570
Amônia-N	mg/kg PS	3138	809	675	557	417	2277	669	862	828	545	2938	1363	2645	1678	559
N. Orgânico	mg/kg PS	22683	22075	21779	21338	18754	21647	19894	18477	18216	18135	26656	18517	21129	20758	19011
Nitrato-N	mg/kg PS	27	14	40	70	128	23	28	70	94	127	8	57	50	105	385
Fósforo Disponível	mg/kg PS	34,3	6,6	6,6	5,1	4,8	25,0	5,2	11,5	10,7	7,4	20,4	18,6	18,6	7,7	5,6
O&G	%	4,6	4,5	4,0	3,7	3,0	9,5	7,2	8,1	6,5	4,7	11,9	7,7	8,8	8,3	6,4
Sulfatos Totais	mg/kg PS	8992	14394	27215	33305	33128	12206	23174	24903	25046	25816	15250	25754	27992	31996	33671
Sulfetos Dissolvidos	mg/kg PS	745	865	630	207	62	673	908	549	264	59	691	801	637	153	28
REF	cm/g	9,90E+09	1,01E+10	1,73E+10	2,06E+10	2,38E+10	1,20E+10	9,40E+09	9,32E+09	1,91E+10	3,22E+10	1,32E+10	1,10E+10	1,01E+11	1,28E+11	3,28E+11

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.6. Características físico-químicas das amostras individuais do lodo da ETE-CUR, tratados com cal hidratada e com ferrato(VI) de potássio.

Amostra		CUR1 (15/3/1993)					CUR2 (14/6/1993)					CUR3 (23/8/1993)				
Parâmetros	Unidade	B	CH	F1	F2	F3	B	CH	F1	F2	F3	B	CH	F1	F2	F3
pH		9,36	11,56	12,17	12,45	13,47	7,90	11,24	10,56	11,34	12,71	7,14	12,75	10,03	10,54	11,68
Temperatura	°C	23,5	23,5	24,0	24,0	24,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
Condutividade	µmhos/cm	14000	16000	19000	21000	35000	8500	10200	13500	16000	25000	7000	10000	12000	15500	26500
ST.	%	10,99	11,30	11,99	12,49	13,99	6,05	6,70	7,05	7,55	9,05	3,07	5,16	4,07	4,57	6,07
SFT	%	50,97					34,67					55,08				
SVT	%	49,03					65,33					44,92				
Alcalinidade	mg/kg PS	169072	198288	195992	214480	226569	207760	261020	240310	265700	282300	116844	562459	176270	190285	243089
DQO	mg/g PS	1270	1140	1130	1050	890	1080	955	915	765	655	755	400	530	478	398
Carbono Orgânico	%	45,09	42,94	39,93	37,79	33,49	48,24	45,11	45,11	44,35	40,13	26,67	15,00	19,38	18,54	4,59
NTK	mg/kg PS	25424	23397	22678	21678	17717	43041	33642	33957	32636	27386	34355	14599	26173	21653	14697
Amônia-N	mg/kg PS	3385	2415	1507	1092	1035	7156	3472	4541	3904	2875	4974	825	1353	931	412
N. Orgânico	mg/kg PS	22039	20982	21171	20586	16682	35885	30170	29416	28732	24511	29381	13774	24820	20722	14285
Nitrato-N	mg/kg PS	48	18	97	173	309	185	125	276	461	750	14	19	69	432	1043
Fósforo Disponível	mg/kg PS	7,3	6,4	5,7	5,1	4,1	7,8	6,5	6,5	6,0	5,2	11,7	5,1	8,3	6,9	5,7
O&G	%	26,6	26,4	23,7	19,1	17,6	20,9	15,3	19,6	16,4	11,7	22,0	7,0	10,5	6,7	5,8
Sulfatos Totais	mg/kg PS	13258	18431	20683	21849	22554	32180	29181	27732	31564	34509	81784	52806	54586	67279	72409
Sulfetos Dissolvidos	mg/kg PS	1270	1306	488	193	35	1653	2030	1191	742	0	1857	1344	802	89	0
REF	cm/g	6,60E+08	3,64E+08	4,77E+08	5,51E+08	4,30E+08	3,08E+09	1,48E+09	6,08E+09	3,80E+09	2,77E+09	4,44E+10	9,53E+08	4,58E+10	4,06E+10	3,30E+10

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.7. Concentrações de metal total e metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade, da amostra SM1 coletada em 3/5/1993.

Amostra	Parâmetros	Metal Total (mg/kg PS)	Lixiviação (mg/l)	Solubilização (mg/l)	Mob. pH 4 (mg/l)	Mob. pH 2 (mg/l)
B	pH		5,00	7,20	4,00	2,00
	Cádmio	2,88	0,14	0,06	0,11	0,13
	Cálcio	7917,24	344,82	62,52	498,53	964,42
	Chumbo	39,62	2,14	1,71	1,71	1,55
	Cobre	83,30	2,96	2,32	2,18	2,18
	Cromo Total	46,22	2,04	1,63	0,94	0,94
	Ferro	5790,84	58,76	17,05	109,06	302,10
	Magnésio	2368,30	169,87	17,61	184,11	217,14
	Potássio	3118,50	321,20	273,68	293,48	349,36
	Sódio	2294,00	250,20	197,64	246,08	272,96
	Zinco	475,15	2,35	1,03	2,17	16,67
CH	pH		5,25	7,87	4,00	2,00
	Cádmio	3,00	0,17	0,06	0,13	0,16
	Cálcio	44992,42	2264,77	1292,69	2363,03	2784,55
	Chumbo	37,59	2,75	1,39	1,87	2,20
	Cobre	63,78	3,09	2,22	2,18	2,27
	Cromo Total	37,61	2,26	1,46	1,12	1,12
	Ferro	5131,50	53,25	18,11	109,26	290,37
	Magnésio	2435,25	229,02	121,60	226,96	230,54
	Potássio	2387,00	349,25	270,16	300,96	368,28
	Sódio	2178,00	286,30	199,84	243,44	292,56
	Zinco	192,95	2,30	1,36	2,72	17,32
F1	pH		5,49	10,41	4,00	2,00
	Cádmio	2,52	0,18	0,09	0,12	0,18
	Cálcio	770,46	1015,86	45,23	1276,12	1712,00
	Chumbo	33,55	3,56	2,52	2,52	2,68
	Cobre	45,49	5,04	3,01	2,96	3,35
	Cromo Total	41,91	2,26	1,63	1,29	1,29
	Ferro	8776,19	116,44	66,22	69,82	140,24
	Magnésio	515,65	182,15	15,91	147,50	207,32
	Potássio	108050,00	18320,00	9844,00	14439,00	14744,00
	Sódio	1938,00	367,25	208,92	257,76	290,92
	Zinco	130,59	4,56	0,63	11,77	24,30
F2	pH		6,40	11,38	4,00	2,00
	Cádmio	2,64	0,20	0,10	0,14	0,23
	Cálcio	590,98	307,82	39,07	1027,86	1557,52
	Chumbo	41,64	3,96	2,85	2,68	3,01
	Cobre	43,05	5,46	3,15	3,05	4,03
	Cromo Total	41,91	2,47	1,80	1,29	1,46
	Ferro	9160,81	280,55	36,26	92,95	414,92
	Magnésio	404,00	106,25	6,98	144,82	178,75
	Potássio	138900,00	21580,00	15044,00	17128,00	17984,00
	Sódio	2030,00	305,65	208,92	274,48	298,60
	Zinco	71,86	3,15	0,87	6,74	21,35
F3	pH		8,41	13,19	4,00	0,25
	Cádmio	2,76	0,24	0,15	0,18	0,25
	Cálcio	360,21	64,23	22,06	578,21	1201,66
	Chumbo	47,72	4,57	3,01	3,01	3,33
	Cobre	38,78	8,70	6,61	3,25	6,22
	Cromo Total	41,91	2,69	1,98	1,63	1,98
	Ferro	9380,59	2805,50	60,58	137,97	678,65
	Magnésio	236,60	33,71	1,98	96,61	134,41
	Potássio	179300,00	28685,00	27740,00	28280,00	31068,00
	Sódio	2171,00	291,80	190,48	285,16	340,68
	Zinco	36,84	6,08	0,87	6,99	11,52

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.8. Concentrações de metal total e metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade, da amostra SM2 coletada em 9/8/1993

Amostra	Parâmetros	Metal Total (mg/kg PS)	Lixiviação (mg/l)	Solubilização (mg/l)	Mob. pH 4 (mg/l)	Mob. pH 2 (mg/l)
B	pH		5,00	7,54	4,00	2,00
	Cádmio	2,64	0,19	0,17	0,17	0,18
	Cálcio	2492,05	296,93	26,06	394,04	611,48
	Chumbo	39,62	23,42	1,55	1,39	2,04
	Cobre	59,51	3,57	2,61	2,52	2,62
	Cromo Total	39,76	0,96	1,46	0,60	2,84
	Ferro	5662,64	14,27	44,37	75,20	413,45
	Magnésio	2298,82	135,84	22,86	128,70	180,87
	Potássio	2381,50	371,80	262,24	399,96	421,96
	Sódio	1394,50	188,45	146,00	180,56	183,32
	Zinco	265,80	0,73	3,39	4,84	20,03
CH	pH		5,14	8,96	4,00	2,00
	Cádmio	3,36	0,26	0,21	0,24	0,24
	Cálcio	51280,30	6650,76	2077,79	5453,94	6302,42
	Chumbo	39,62	21,40	1,39	2,04	2,85
	Cobre	58,90	4,24	3,98	2,91	2,71
	Cromo Total	35,46	1,39	1,29	0,43	3,18
	Ferro	5442,86	6,56	19,52	34,32	55,64
	Magnésio	2043,50	206,76	23,43	115,17	186,66
	Potássio	2057,00	304,15	323,84	315,92	352,44
	Sódio	1353,50	179,50	146,00	180,56	183,32
	Zinco	190,90	0,89	2,56	2,98	10,76
F1	pH	3,24	0,22	0,19	0,21	0,23
	Cádmio	312,94	1673,10	31,19	1675,03	5975,15
	Cálcio	43,67	23,42	1,71	2,04	2,04
	Chumbo	52,20	23,76	4,47	3,53	3,44
	Cobre	13,94	1,18	1,29	0,43	3,18
	Cromo Total	8831,14	77,92	83,13	76,96	74,32
	Ferro	702,27	93,72	154,20	163,48	191,24
	Magnésio	69400,00	7325,00	7772,00	8380,00	9560,00
	Potássio	1880,00	115,20	169,76	192,68	210,00
	Sódio	106,89	1,62	15,44	4,74	21,18
	Zinco		5,48	9,49	4,00	2,00
F2	pH	3,36	0,24	0,21	0,23	0,23
	Cádmio	259,10	1436,55	24,63	248,46	1498,48
	Cálcio	39,62	27,47	2,04	2,20	2,36
	Chumbo	50,98	13,57	4,96	3,25	3,49
	Cobre	16,10	1,39	1,46	0,43	3,53
	Cromo Total	9160,81	95,77	31,33	125,99	80,84
	Ferro	699,57	93,66	134,88	111,30	153,82
	Magnésio	81300,00	9585,00	11968,00	10650,00	12559,00
	Potássio	1924,00	225,40	191,12	219,00	216,44
	Sódio	104,54	1,30	3,28	4,50	19,13
	Zinco		8,17	10,06	4,00	2,00
F3	pH	3,48	0,29	0,23	0,24	0,32
	Cádmio	236,02	5,91	21,55	130,92	234,15
	Cálcio	37,59	31,52	2,36	2,52	2,95
	Chumbo	48,54	7,41	5,49	3,59	4,11
	Cobre	18,25	1,39	1,46	0,60	4,44
	Cromo Total	28421,25	101,71	576,09	126,82	372,60
	Ferro	282,13	26,40	57,58	113,79	151,50
	Magnésio	117000,00	25390,00	19124,00	22048,00	28806,80
	Potássio	1976,50	257,90	220,32	263,84	314,34
	Sódio	68,62	0,93	2,09	2,57	9,09
	Zinco	36,84	6,08	0,87	6,99	11,52

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.9. Concentrações de metal total e metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade, da amostra SM3 coletada em 27/9/1993.

Amostra	Parâmetros	Metal Total (mg/kg PS)	Lixiviação (mg/l)	Solubilização (mg/l)	Mob. pH 4 (mg/l)	Mob. pH 2 (mg/l)
B	pH		5,00	7,46		
	Cádmio	3,60	0,29	0,23	0,07	0,09
	Cálcio	7158,63	374,48	53,41	489,93	1323,03
	Chumbo	35,57	1,74	0,90	0,58	1,06
	Cobre	99,76	4,24	3,10	3,05	3,10
	Cromo Total	22,50	1,39	0,77	0,77	0,43
	Ferro	6908,06	35,63	15,64	37,32	141,89
	Magnésio	5782,10	19,28	133,85	408,63	706,36
	Potássio	3949,00	337,00	316,36	436,92	468,00
	Sódio	1546,50	184,65	140,20	148,96	153,56
	Zinco	375,60	2,49	0,55	2,76	25,45
CH	pH		5,05	7,59	4,00	2,00
	Cádmio	3,72	0,35	0,24	0,11	0,13
	Cálcio	221241,40	2939,02	1138,21	2923,94	6053,94
	Chumbo	17,35	1,94	0,42	1,39	1,55
	Cobre	69,88	4,79	3,15	3,20	3,20
	Cromo Total	20,40	1,61	0,60	0,77	0,60
	Ferro	6175,46	44,00	58,99	101,21	291,84
	Magnésio	5809,05	578,21	156,14	598,49	611,32
	Potássio	2981,00	355,00	462,88	237,60	446,40
	Sódio	1487,50	186,55	147,56	161,84	157,00
	Zinco	224,75	4,18	1,37	6,26	12,07
F1	pH		5,13	9,47	4,00	2,00
	Cádmio	3,36	0,31	0,25	0,14	0,14
	Cálcio	6296,55	722,76	52,03	1833,38	1502,35
	Chumbo	31,52	1,74	1,39	0,90	1,23
	Cobre	92,44	7,66	3,64	3,93	3,59
	Cromo Total	29,00	1,83	1,12	0,94	0,60
	Ferro	22926,75	122,38	81,55	127,74	139,46
	Magnésio	1057,80	251,93	44,10	227,63	579,07
	Potássio	96650,00	14575,00	7812,00	8764,00	12580,00
	Sódio	1871,50	228,95	160,24	182,20	159,60
	Zinco	107,92	8,36	1,57	26,93	18,06
F2	pH		5,60	9,83	4,00	2,00
	Cádmio	3,48	0,34	0,27	0,12	0,15
	Cálcio	3847,39	230,89	26,06	746,48	1347,86
	Chumbo	31,52	1,94	1,71	1,39	1,87
	Cobre	54,03	5,34	3,98	3,53	3,53
	Cromo Total	29,00	1,61	1,12	0,77	0,94
	Ferro	30802,20	133,74	43,31	192,21	303,56
	Magnésio	904,53	162,56	12,23	153,24	203,48
	Potássio	113550,00	17455,00	10796,00	14952,00	17112,00
	Sódio	1949,00	229,20	164,08	190,48	189,40
	Zinco	116,16	3,95	1,50	6,09	16,92
F3	pH		8,94	10,26	4,00	2,00
	Cádmio	3,60	0,41	0,29	0,14	0,15
	Cálcio	3847,39	5,91	20,11	182,66	633,38
	Chumbo	17,35	2,75	1,87	1,55	2,04
	Cobre	50,37	5,22	3,64	3,69	3,49
	Cromo Total	37,61	2,04	1,29	1,12	1,12
	Ferro	34648,35	1876,87	351,91	328,47	406,12
	Magnésio	694,18	82,36	12,81	115,56	131,98
	Potássio	182800,00	31595,00	23280,00	22488,00	28788,00
	Sódio	2144,00	265,45	200,68	240,44	215,20
	Zinco	64,06	5,00	1,02	5,25	10,22

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.10. Concentrações de metal total e metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade, da amostra ESM1 coletada em 12/4/1993.

Amostra	Parâmetros	Metal Total (mg/kg PS)	Lixiviação (mg/l)	Solubilização (mg/l)	Mob. pH 4 (mg/l)	Mob. pH 2 (mg/l)
B	pH		5,00	6,97	4,00	2,00
	Cádmio	1,56	0,09	0,04	0,04	0,13
	Cálcio	3744,82	644,14	340,14	693,24	1392,27
	Chumbo	15,33	0,56	0,29	0,13	0,45
	Cobre	112,56	4,41	1,87	2,36	7,50
	Cromo Total	22,55	1,13	1,07	0,04	0,13
	Ferro	1732,32	28,50	18,75	10,99	65,78
	Magnésio	1613,55	77,66	141,83	155,17	630,85
	Potássio	522,50	162,50	97,40	134,20	157,60
	Sódio	263,50	53,78	54,00	58,32	63,84
Zinco	229,75	16,06	0,33	9,03	54,06	
CH	pH		5,25	7,01	4,00	2,00
	Cádmio	1,92	0,11	0,04	0,09	0,18
	Cálcio	35282,76	4105,68	2720,91	3139,31	5842,76
	Chumbo	23,42	0,26	0,29	0,61	1,42
	Cobre	112,56	3,40	1,89	2,55	14,43
	Cromo Total	22,55	1,24	0,99	0,13	0,21
	Ferro	3043,59	6,25	7,29	53,60	192,81
	Magnésio	1439,60	69,57	96,53	128,70	989,86
	Potássio	458,50	66,45	90,40	88,80	170,72
	Sódio	245,00	53,75	53,68	55,16	67,54
Zinco	417,65	18,06	0,26	14,41	61,90	
F1	pH		5,49	8,20	4,00	2,00
	Cádmio	2,16	0,09	0,05	0,06	0,09
	Cálcio	305,25	599,31	139,20	781,52	1398,33
	Chumbo	21,40	0,46	0,37	0,37	0,69
	Cobre	216,22	5,14	2,14	7,09	5,89
	Cromo Total	24,70	1,24	1,25	0,21	0,30
	Ferro	2897,07	21,45	13,55	55,77	104,89
	Magnésio	1190,80	74,04	64,60	242,12	346,47
	Potássio	21950,00	3340,00	3782,00	4356,00	4790,00
	Sódio	636,00	59,48	52,50	58,64	67,88
Zinco	492,55	23,71	4,15	5,75	19,87	
F2	pH		6,40	8,46	4,00	2,00
	Cádmio	2,28	0,10	0,07	0,07	0,15
	Cálcio	156,53	395,86	69,13	553,93	1067,03
	Chumbo	25,45	0,77	0,53	0,69	0,86
	Cobre	233,90	7,15	2,60	5,19	6,16
	Cromo Total	26,85	1,24	1,25	0,21	0,47
	Ferro	4179,12	19,69	18,83	27,20	223,58
	Magnésio	756,05	72,22	22,38	113,62	473,36
	Potássio	37800,00	5960,00	5106,00	6460,00	6720,00
	Sódio	733,00	64,73	48,10	59,40	69,14
Zinco	393,05	19,04	2,20	12,56	50,35	
F3	pH		8,41	9,95	4,00	2,00
	Cádmio	2,40	0,12	0,08	0,10	0,19
	Cálcio	36,02	73,14	13,75	475,31	747,03
	Chumbo	33,55	0,97	0,53	0,78	1,26
	Cobre	193,66	20,11	9,21	10,38	10,38
	Cromo Total	39,76	1,34	1,42	0,30	0,73
	Ferro	4417,22	15,13	36,98	27,65	258,01
	Magnésio	103,85	72,22	9,04	103,96	572,60
	Potássio	86350,00	13675,00	9544,00	11996,00	13404,00
	Sódio	828,00	71,38	47,60	62,56	173,56
Zinco	231,95	14,37	0,93	51,53	65,60	

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.11. Concentrações de metal total e metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade, da amostra ESM2 coletada em 5/7/1993.

Amostra	Parâmetros	Metal Total (mg/kg PS)	Lixiviação (mg/l)	Solubilização (mg/l)	Mob. pH 4 (mg/l)	Mob. pH 2 (mg/l)
B	pH		5,00	7,01	4,00	2,00
	Cádmio	1,68	0,17	0,13	0,13	0,28
	Cálcio	6158,62	1384,83	718,90	1449,93	2981,52
	Chumbo	7,23	0,12	0,09	0,09	4,63
	Cobre	116,83	8,70	4,03	4,42	39,40
	Cromo Total	20,40	0,75	0,94	0,08	1,12
	Ferro	1786,53	8,76	43,48	51,77	589,27
	Magnésio	1190,80	117,88	123,28	178,36	535,92
	Potássio	649,00	235,95	378,84	348,48	381,04
	Sódio	278,50	91,15	119,28	115,04	125,16
Zinco	298,65	30,79	3,46	9,91	93,16	
CH	pH		5,07	8,60	4,00	2,00
	Cádmio	2,28	0,26	0,16	0,16	0,26
	Cálcio	38662,07	8802,27	5593,33	13726,90	19768,28
	Chumbo	17,35	0,12	0,25	0,74	2,20
	Cobre	195,49	27,96	6,57	4,22	14,22
	Cromo Total	20,40	1,39	0,43	0,08	1,29
	Ferro	2160,82	17,13	0,84	26,92	467,66
	Magnésio	1101,50	129,47	6,82	88,12	211,78
	Potássio	700,00	192,50	341,44	342,76	336,60
	Sódio	312,00	89,20	114,52	118,68	118,52
Zinco	336,60	20,74	1,27	2,22	33,25	
F1	pH		5,00	8,60	4,00	2,00
	Cádmio	2,16	0,16	0,13	0,15	0,24
	Cálcio	200,12	266,91	21,75	1654,07	3130,00
	Chumbo	7,23	0,93	0,42	0,25	1,71
	Cobre	225,37	11,68	5,88	4,27	11,10
	Cromo Total	22,55	1,39	0,77	0,26	1,46
	Ferro	1396,75	52,81	79,26	37,49	104,46
	Magnésio	270,05	134,30	9,14	130,05	233,45
	Potássio	38750,00	10420,00	8576,00	11024,00	12880,00
	Sódio	805,00	225,15	118,96	138,36	155,84
Zinco	336,60	25,56	3,32	3,10	71,50	
F2	pH		5,00	8,95	4,00	2,00
	Cádmio	2,28	0,20	0,14	0,16	0,32
	Cálcio	125,76	146,07	18,47	1204,41	2451,21
	Chumbo	9,25	1,13	0,42	0,58	2,04
	Cobre	191,83	8,02	6,42	4,32	13,64
	Cromo Total	22,55	1,39	0,94	0,26	1,80
	Ferro	1634,23	24,18	22,87	47,36	508,69
	Magnésio	134,79	49,04	1,70	86,57	194,78
	Potássio	50100,00	14400,00	11648,00	15580,00	18536,00
	Sódio	817,50	162,75	119,56	140,84	160,92
Zinco	240,15	19,61	2,27	3,73	87,86	
F3	pH		5,23	9,79	4,00	2,00
	Cádmio	2,52	0,20	0,17	0,19	0,33
	Cálcio	43,71	60,69	7,60	1011,31	1659,59
	Chumbo	11,28	1,53	1,23	1,06	2,04
	Cobre	118,05	5,89	12,42	13,35	21,64
	Cromo Total	26,85	1,18	1,63	0,26	1,98
	Ferro	1781,37	10,08	14,94	117,52	570,23
	Magnésio	47,83	64,74	1,80	74,01	138,74
	Potássio	99000,00	17720,00	20424,00	23360,00	31544,00
	Sódio	1113,50	138,00	138,00	162,84	187,04
Zinco	118,05	14,09	2,06	7,32	100,11	

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.12. Concentrações de metal total e metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade, da amostra ESM3 coletada em 13/9/1993.

Amostra	Parâmetros	Metal Total (mg/kg PS)	Lixiviação (mg/l)	Solubilização (mg/l)	Mob. pH 4 (mg/l)	Mob. pH 2 (mg/l)
B	pH		5,00	6,91	4,00	2,00
	Cádmio	0,95	0,07	0,05	0,06	0,07
	Cálcio	4155,08	1191,72	286,64	978,21	1041,66
	Chumbo	11,26	0,52	0,09	0,42	0,90
	Cobre	96,10	9,00	4,08	4,62	4,22
	Cromo Total	16,10	0,96	0,43	0,26	0,43
	Ferro	1618,74	4,36	39,78	23,57	53,53
	Magnésio	1710,15	191,55	195,34	142,61	615,75
	Potássio	573,00	307,50	147,60	255,60	297,60
	Sódio	239,50	75,45	58,12	57,80	104,40
	Zinco	281,20	30,69	0,28	10,69	21,84
CH	pH		5,01	7,26	4,00	2,00
	Cádmio	1,56	0,14	0,06	0,11	0,14
	Cálcio	39765,51	9378,03	2944,00	5120,61	6696,36
	Chumbo	25,45	1,13	0,58	0,90	1,23
	Cobre	138,17	13,27	4,18	4,22	4,32
	Cromo Total	18,25	1,18	0,60	0,60	0,26
	Ferro	2970,33	9,20	2,78	33,62	87,36
	Magnésio	2188,40	240,58	37,87	107,44	225,31
	Potássio	609,50	204,05	156,20	102,50	297,60
	Sódio	213,50	73,20	54,76	56,04	89,16
	Zinco	325,30	22,99	0,28	2,93	16,18
F1	pH		5,00	7,83	4,00	2,00
	Cádmio	1,44	0,10	0,05	0,09	0,10
	Cálcio	798,62	1574,48	98,92	523,03	1047,17
	Chumbo	15,33	1,94	0,90	0,25	2,20
	Cobre	188,78	9,37	4,18	6,52	5,05
	Cromo Total	22,55	1,39	0,94	0,77	0,94
	Ferro	2823,81	18,67	19,17	21,11	69,39
	Magnésio	1384,05	207,25	133,42	119,42	185,12
	Potássio	22500,00	5730,00	4228,00	4736,00	11136,00
	Sódio	568,00	99,95	74,36	77,88	123,36
	Zinco	406,40	28,64	2,35	1066,00	8,71
F2	pH		5,04	8,44	4,00	2,00
	Cádmio	1,56	0,11	0,07	0,09	0,14
	Cálcio	230,89	1443,45	18,47	694,07	1136,55
	Chumbo	17,35	1,74	0,74	0,90	2,20
	Cobre	166,83	11,13	4,22	6,71	4,76
	Cromo Total	24,70	1,18	0,94	0,77	0,77
	Ferro	3538,10	13,83	12,29	37,14	81,19
	Magnésio	659,40	169,81	24,89	94,30	149,37
	Potássio	36900,00	8470,00	4728,00	5780,00	17352,00
	Sódio	682,50	99,95	73,08	79,64	151,44
	Zinco	362,25	19,91	1,64	10,73	12,65
F3	pH		5,13	9,23	4,00	2,00
	Cádmio	1,78	0,19	0,08	0,10	0,16
	Cálcio	89,87	1315,86	20,32	1143,72	1532,69
	Chumbo	21,40	0,72	0,25	1,06	2,68
	Cobre	164,40	17,64	6,52	7,35	4,86
	Cromo Total	44,06	1,39	0,77	0,60	0,43
	Ferro	4453,85	9,20	11,41	38,73	135,69
	Magnésio	128,00	137,20	4,50	67,25	238,26
	Potássio	73900,00	14130,00	7164,00	10452,00	29912,00
	Sódio	845,00	120,30	74,64	89,52	134,32
	Zinco	208,35	20,43	1,38	9,23	21,84

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.13. Concentrações de metal total e metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade, da amostra CUR1 coletada em 15/3/1993.

Amostra	Parâmetros	Metal Total (mg/kg PS)	Lixiviação (mg/l)	Solubilização (mg/l)	Mob. pH 4 (mg/l)	Mob. pH 2 (mg/l)
B	pH		6,00	6,39	4,00	2,00
	Cádmio	5,17	0,17	0,09	0,14	0,15
	Cálcio	76280,30	7182,50	5193,33	27057,58	31209,09
	Chumbo	49,74	2,59	1,67	2,07	2,80
	Cobre	28,42	0,75	0,48	0,45	0,43
	Cromo Total	2985,84	3,39	0,99	24,54	178,04
	Ferro	261,61	4,60	3,06	5,18	13,02
	Magnésio	1891,30	597,90	94,01	503,13	523,62
	Potássio	1240,00	184,00	304,00	292,00	296,00
	Sódio	64350,00	9757,50	9274,00	8526,00	8692,00
Zinco	64,21	0,94	0,64	1,30	7,02	
CH	pH		6,36	8,76	4,00	2,00
	Cádmio	4,32	0,16	0,08	0,16	0,16
	Cálcio	90977,27	15964,02	14582,07	32815,15	39754,54
	Chumbo	41,64	2,59	1,50	2,31	2,39
	Cobre	27,81	0,84	0,45	0,60	0,65
	Cromo Total	2827,89	1,99	0,64	125,32	169,76
	Ferro	318,88	4,27	3,06	12,14	12,05
	Magnésio	2091,80	219,33	112,66	464,72	574,76
	Potássio	1110,50	100,93	317,20	314,16	371,80
	Sódio	58850,00	7942,50	4298,00	5996,00	7466,00
Zinco	72,60	0,94	0,56	4,02	8,91	
F1	pH		6,41	9,27	4,00	2,00
	Cádmio	2,76 †	0,13	0,07	0,13	0,18
	Cálcio	75522,73	10717,24	73,82	22390,91	30512,12
	Chumbo	37,59	2,18	1,42	1,99	2,88
	Cobre	17,44	0,90	0,67	0,62	0,97
	Cromo Total	2074,49	3,28	6,99	73,76	175,64
	Ferro	3886,08	5,04	4,47	15,93	57,83
	Magnésio	466,20	471,14	13,82	449,19	459,98
	Potássio	41950,00	7225,00	11028,00	13964,00	14112,00
	Sódio	42950,00	5965,00	4298,00	5194,00	5706,00
Zinco	25,04	0,87	0,59	3,18	10,96	
F2	pH		6,49	9,90	4,00	2,00
	Cádmio	2,64	0,07	0,07	0,14	0,18
	Cálcio	69537,88	9941,38	24,22	22178,79	22300,00
	Chumbo	43,67	2,28	1,75	1,99	2,64
	Cobre	16,83	0,96	0,82	0,58	1,04
	Cromo Total	1852,27	5,11	7,60	90,88	143,83
	Ferro	4069,23	5,04	4,65	10,99	61,24
	Magnésio	381,65	415,86	11,88	426,54	449,19
	Potássio	56050,00	8900,00	16588,00	14784,00	18452,00
	Sódio	38300,00	5162,50	4244,00	4636,00	5450,00
Zinco	21,66	0,86	0,59	2,38	4,82	
F3	pH		6,88	10,58	4,00	2,00
	Cádmio	2,28	0,15	0,09	0,15	0,18
	Cálcio	63174,24	4527,59	14,37	25996,97	26087,88
	Chumbo	47,72	2,49	1,91	2,23	2,48
	Cobre	15,00	1,18	1,43	0,65	1,16
	Cromo Total	1551,85	156,65	163,88	51,05	128,80
	Ferro	4197,44	8,34	10,11	5,80	110,76
	Magnésio	55,55	387,54	6,09	377,99	393,10
	Potássio	112400,00	18647,50	27232,00	26808,00	31184,00
	Sódio	36850,00	4835,00	3430,00	3554,00	3820,00
Zinco	15,09	0,86	0,53	1,50	4,42	

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.14. Concentrações de metal total e metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade, da amostra CUR2 coletada em 14/6/1993.

Amostra	Parâmetros	Metal Total (mg/kg PS)	Lixiviação (mg/l)	Solubilização (mg/l)	Mob. pH 4 (mg/l)	Mob. pH 2 (mg/l)
B	pH		5,21	6,39	4,00	2,00
	Cádmio	4,20	0,24	0,19	0,24	0,33
	Cálcio	42576,40	8476,52	2730,00	9809,66	19740,69
	Chumbo	59,86	3,36	2,52	3,01	4,79
	Cobre	45,49	2,05	1,49	1,40	1,35
	Cromo Total	3933,55	7,63	1,29	19,64	314,25
	Ferro	257,21	5,02	5,60	3,84	17,05
	Magnésio	9315,00	1765,91	1545,63	2047,03	3261,99
	Potássio	2046,00	242,00	389,84	330,88	503,80
	Sódio	75000,00	9330,00	25248,00	17240,00	29964,00
	Zinco	83,05	1,37	0,76	1,15	6,88
CH	pH		6,30	9,46	4,00	2,00
	Cádmio	4,32	0,26	0,18	0,28	0,38
	Cálcio	113310,35	8408,33	6429,70	17423,45	35512,12
	Chumbo	43,67	3,36	2,52	3,17	4,63
	Cobre	35,73	2,11	1,79	1,54	1,49
	Cromo Total	3394,34	5,05	1,29	18,02	270,68
	Ferro	195,53	5,02	3,66	4,89	15,29
	Magnésio	4748,80	1194,17	7,11	1235,82	2957,50
	Potássio	1490,00	220,00	400,80	380,00	436,80
	Sódio	61150,00	8525,00	19024,00	14168,00	14600,00
	Zinco	64,65	1,00	0,79	0,99	4,61
F1	pH		6,19	8,95	4,00	2,00
	Cádmio	3,00	0,22	0,17	0,22	0,31
	Cálcio	34884,10	4742,05	35,09	6940,69	16071,72
	Chumbo	63,91	2,56	2,56	3,33	4,95
	Cobre	25,37	2,11	1,35	1,59	1,74
	Cromo Total	3263,62	6,56	4,21	23,88	188,02
	Ferro	4105,86	6,34	13,35	17,23	98,73
	Magnésio	1891,30	1282,10	76,68	1006,26	1789,43
	Potássio	61750,00	9810,00	16884,00	17732,00	17504,00
	Sódio	45850,00	7660,00	12548,00	13052,00	13532,00
	Zinco	29,25	0,73	0,81	0,99	6,68
F2	pH		6,22	9,94	4,00	2,00
	Cádmio	3,00	0,20	0,18	0,22	0,32
	Cálcio	32063,60	3791,29	12,52	9312,10	14775,17
	Chumbo	57,84	3,15	3,33	3,49	5,95
	Cobre	24,76	2,23	1,83	1,59	1,83
	Cromo Total	3209,15	5,27	15,19	12,16	173,20
	Ferro	5919,05	7,00	9,65	10,53	119,59
	Magnésio	1480,70	1090,62	7,30	1168,07	1964,18
	Potássio	86400,00	14030,00	24004,00	24660,00	28352,00
	Sódio	44500,00	7205,00	11720,00	11904,00	13456,00
	Zinco	27,30	0,84	1,14	0,69	6,08
F3	pH		6,55	11,05	4,00	2,00
	Cádmio	3,12	0,20	0,21	0,27	0,39
	Cálcio	28986,65	1557,24	5,14	11216,55	14913,10
	Chumbo	49,74	3,56	3,49	4,95	6,57
	Cobre	26,59	2,35	2,57	1,93	2,22
	Cromo Total	3018,52	18,74	234,44	26,30	198,55
	Ferro	7072,90	12,51	7,89	8,42	132,39
	Magnésio	1287,45	583,61	2,86	1356,63	1995,26
	Potássio	138800,00	18090,00	37248,00	42328,00	48816,00
	Sódio	38650,00	5025,00	8588,00	9708,00	10308,00
	Zinco	25,87	0,88	1,66	0,78	7,93

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.15. Concentrações de metal total e metais dos testes de lixiviação, solubilização e mobilidade, da amostra CUR3 coletada em 23/8/1993.

Amostra	Parâmetros	Metal Total (mg/kg PS)	Lixiviação (mg/l)	Solubilização (mg/l)	Mob. pH 4 (mg/l)	Mob. pH 2 (mg/l)
B	pH		5,00	7,46	4,00	2,00
	Cádmio	10,70	0,20	0,14	0,15	0,18
	Cálcio	13158,62	2119,31	1441,66	2681,52	5202,76
	Chumbo	100,35	2,34	0,58	1,39	6,41
	Cobre	35,12	0,34	0,22	0,37	0,42
	Cromo Total	6711,33	25,56	0,77	24,72	445,84
	Ferro	191,13	2,81	1,19	5,25	18,81
	Magnésio	1130,45	250,73	300,86	114,59	166,76
	Potássio	2728,00	324,50	222,64	276,32	225,28
	Sódio	82250,00	9990,00	7788,00	7316,00	6620,00
Zinco	29,66	0,39	0,35	1,65	4,95	
CH	pH		9,69	11,83	4,00	2,00
	Cádmio	5,65	0,23	0,09	0,31	0,32
	Cálcio	185034,50	7946,21	279,17	2730,00	25784,85
	Chumbo	80,10	2,34	0,74	4,95	23,43
	Cobre	25,98	0,83	0,76	0,66	1,10
	Cromo Total	2440,74	1,18	0,60	121,51	284,62
	Ferro	30,33	1,93	0,66	7,36	13,18
	Magnésio	314,00	71,50	0,04	306,47	312,27
	Potássio	859,00	119,15	83,12	160,80	249,60
	Sódio	34750,00	5460,00	4464,00	4432,00	4672,00
Zinco	9,24	0,40	0,30	2,88	3,83	
F1	pH		5,66	9,34	4,00	2,00
	Cádmio	5,41	0,22	0,15	0,23	0,16
	Cálcio	13558,62	3408,71	14,37	884,41	895,45
	Chumbo	96,30	2,55	1,87	1,19	2,04
	Cobre	15,61	0,46	1,59	0,52	0,66
	Cromo Total	6635,08	44,89	9,13	123,49	165,55
	Ferro	7604,03	10,74	6,48	1,30	3,66
	Magnésio	200,50	151,69	1,99	45,99	87,54
	Potássio	114300,00	14630,00	12192,00	13352,00	14496,00
	Sódio	49100,00	7095,00	5588,00	6312,00	6656,00
Zinco	9,14	0,58	0,56	0,57	0,58	
F2	pH		6,27	9,70	4,00	2,00
	Cádmio	5,41	0,22	0,16	0,21	0,19
	Cálcio	3590,98	2108,97	8,63	1524,41	1634,76
	Chumbo	55,81	2,75	2,04	2,20	3,66
	Cobre	11,34	0,77	0,81	0,76	0,81
	Cromo Total	6618,74	89,75	268,50	302,92	428,85
	Ferro	6651,65	8,10	4,54	4,19	56,70
	Magnésio	128,00	96,14	1,80	45,99	81,74
	Potássio	138250,00	20560,00	15848,00	17704,00	16928,00
	Sódio	45050,00	6580,00	4924,00	5912,00	4480,00
Zinco	17,04	0,60	0,58	0,66	1,83	
F3	pH		8,41	10,12	4,00	2,00
	Cádmio	3,48	0,22	0,21	0,21	0,25
	Cálcio	2360,21	92,43	8,22	1852,69	2363,33
	Chumbo	23,42	3,36	2,68	2,85	4,47
	Cobre	8,30	1,50	0,55	0,96	1,15
	Cromo Total	5044,66	544,77	441,48	512,94	534,07
	Ferro	7604,03	5,24	3,48	9,48	84,69
	Magnésio	85,85	3,14	0,83	71,11	95,26
	Potássio	199150,00	36500,00	25344,00	23628,00	30940,00
	Sódio	34450,00	5600,00	4008,00	4140,00	5108,00
Zinco	20,12	0,69	0,58	1,65	1,93	

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.16. Microrganismos encontrados no lodo bruto e estabilizado com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, da amostra SM1 coletada em 3/5/1993.

Amostra	Parâmetros	Unidade	Lodo Tratado (horas)		
			2	24	168
B	pH		6,06	6,34	5,88
	Temperatura	°C	23,0	22,0	22,5
	Coliforme Total	NMP/g PS	2,9E+07	2,9E+07	8,7E+06
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	4,0E+06	6,2E+06	5,1E+05
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	9,8E+05	2,5E+07	1,3E+07
	Fungos	UFP/g PS	7,0E+05	4,7E+05	3,7E+05
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	9,2E+02	7,3E+02	5,8E+02
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	0,00	0,00	0,00
CH	pH		12,30	9,74	7,55
	Temperatura	°C	23,0	21,0	22,5
	Coliforme Total	NMP/g PS	1,7E+04	8,2E+04	1,7E+06
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	2,7E+03	7,8E+02	2,7E+05
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,0E+06	4,4E+06	8,8E+06
	Fungos	UFP/g PS	2,6E+05	3,7E+05	9,1E+05
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	2,7E+02	2,3E+02	1,4E+02
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	0,00	0,00	0,00
F1	pH		13,41	12,61	9,68
	Temperatura	°C	26,0	21,5	22,5
	Coliforme Total	NMP/g PS	5,3E+01	3,5E+02	< 5,3E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 5,3E+01	< 5,3E+01	< 5,3E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	4,5E+04	1,3E+04	7,5E+03
	Fungos	UFP/g PS	1,7E+05	4,3E+04	0,0E+00
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	2,8E+02	2,8E+02	2,5E+02
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	0,00	0,00	0,00
F2	pH		14,00	13,40	11,45
	Temperatura	°C	27,0	21,5	23,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	4,7E+01	< 4,7E+01	< 4,7E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 4,7E+01	< 4,7E+01	< 4,7E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,9E+03	1,2E+03	4,7E+01
	Fungos	UFP/g PS	7,0E+03	4,7E+03	3,5E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	3,8E+02	2,6E+02	1,2E+02
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	8,33	0,00	0,00
F3	pH		14,70	14,22	12,80
	Temperatura	°C	29,5	22,0	23,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	< 3,5E+01	< 3,5E+01	< 3,5E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 3,5E+01	< 3,5E+01	< 3,5E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	< 3,5E+01	< 3,5E+01	< 3,5E+01
	Fungos	UFP/g PS	3,5E+03	1,7E+03	1,7E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	5,8E+02	6,9E+01	9,3E+01
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	40,00	0,00	0,00

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.17. Microrganismos encontrados no lodo bruto e estabilizado com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, da amostra SM2 coletada em 9/8/1993.

Amostra	Parâmetros	Unidade	Lodo Tratado (horas)		
			2	24	168
B	pH		6,68	6,66	6,47
	Temperatura	°C	14,0	15,5	17,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	1,1E+08	5,4E+07	2,5E+07
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	1,1E+08	3,1E+05	2,9E+06
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,8E+07	6,3E+06	5,4E+05
	Fungos	UFP/g PS	2,4E+06	3,2E+06	2,2E+06
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	3,2E+02	3,6E+02	3,2E+02
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	0,00	0,00	0,00
CH	pH		12,57	12,39	11,84
	Temperatura	°C	14,5	15,5	17,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	6,2E+04	1,0E+03	4,8E+02
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	8,3E+02	< 4,1E+01	< 4,1E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	8,3E+03	6,2E+03	2,5E+05
	Fungos	UFP/g PS	1,4E+06	1,2E+05	2,0E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	3,7E+02	2,7E+02	1,5E+02
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	23,08	11,11	0,00
F1	pH		11,84	11,39	10,01
	Temperatura	°C	16,0	15,5	17,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	2,6E+03	1,5E+03	6,1E+02
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	2,0E+02	4,2E+02	< 3,7E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	9,2E+04	2,4E+03	9,2E+02
	Fungos	UFP/g PS	2,0E+05	3,5E+04	1,7E+04
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	3,6E+02	2,0E+02	2,0E+02
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	0,00	9,09	18,18
F2	pH		12,34	12,15	11,70
	Temperatura	°C	17,0	15,0	17,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	5,6E+03	5,0E+02	3,7E+02
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 3,4E+01	< 3,4E+01	< 3,4E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	5,0E+04	1,9E+02	1,5E+02
	Fungos	UFP/g PS	4,4E+04	1,4E+04	3,4E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	2,9E+02	1,7E+02	2,2E+02
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	5,88	10,00	0,00
F3	pH		13,01	12,93	12,97
	Temperatura	°C	19,0	15,5	17,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	3,1E+02	< 2,7E+01	< 2,7E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 2,7E+01	< 2,7E+01	< 2,7E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	9,4E+01	< 2,7E+01	< 2,7E+01
	Fungos	UFP/g PS	5,4E+03	1,3E+03	1,3E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	2,4E+02	2,2E+02	1,9E+02
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	0,00	0,00	6,25

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.18. Microrganismos encontrados no lodo bruto e estabilizado com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, da amostra SM3 coletada em 27/9/1993.

Amostra	Parâmetros	Unidade	Lodo Tratado (horas)		
			2	24	168
B	pH		6,63	6,59	6,19
	Temperatura	°C	20,0	20,5	19,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	3,5E+06	2,1E+07	8,2E+06
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	1,7E+06	2,1E+07	1,4E+06
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	2,1E+07	2,1E+07	1,4E+06
	Fungos	UFP/g PS	3,1E+06	2,6E+06	5,6E+05
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	3,3E+02	2,0E+02	1,1E+02
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	8,30	25,00	0,00
CH	pH		12,34	10,61	7,89
	Temperatura	°C	19,0	20,5	19,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	7,6E+03	6,6E+02	1,0E+02
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	6,9E+02	6,6E+02	< 5,1E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	2,8E+06	1,3E+06	2,3E+06
	Fungos	UFP/g PS	8,1E+05	1,6E+05	2,2E+05
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	4,3E+02	3,6E+02	3,1E+02
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	0,00	0,00	0,00
F1	pH		12,05	10,86	9,20
	Temperatura	°C	20,5	20,5	19,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	8,6E+01	1,1E+05	8,6E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	4,3E+01	1,3E+03	< 4,3E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	2,4E+05	1,7E+05	3,4E+06
	Fungos	UFP/g PS	1,1E+05	7,7E+04	6,4E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	5,6E+02	4,7E+02	3,4E+02
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	0,00	0,00	0,00
F2	pH		12,78	11,90	10,51
	Temperatura	°C	20,0	20,5	19,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	3,3E+02	1,4E+02	< 3,9E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 3,9E+01	7,7E+01	< 3,9E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	7,7E+01	3,3E+03	2,5E+04
	Fungos	UFP/g PS	4,9E+04	2,3E+04	1,9E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	4,1E+02	3,3E+02	3,1E+02
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	4,76	8,33	12,50
F3	pH		13,54	12,76	12,52
	Temperatura	°C	25,5	21,0	19,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	3,0E+01	< 3,0E+01	< 3,0E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 3,0E+01	< 3,0E+01	< 3,0E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	6,0E+01	< 3,0E+01	1,3E+02
	Fungos	UFP/g PS	2,3E+03	7,5E+02	0,0E+00
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	2,9E+02	1,8E+02	1,7E+02
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	16,67	0,00	9,09

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.19. Microrganismos encontrados no lodo bruto e estabilizado com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, da amostra ESM1 coletada em 12/4/1993.

Amostra	Parâmetros	Unidade	Lodo Tratado (horas)		
			2	24	168
B	pH		6,48	6,53	6,89
	Temperatura	°C	24,0	25,0	25,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	2,0E+06	1,1E+06	1,1E+04
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	2,0E+06	4,2E+05	6,8E+04
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	2,5E+06	2,5E+06	6,8E+04
	Fungos	UFP/g PS	1,1E+05	5,3E+04	5,0E+04
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	4,4E+03	4,1E+03	2,1E+03
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	0,00	25,00	2,70
CH	pH		12,25	11,45	11,05
	Temperatura	°C	24,5	25,0	25,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	1,9E+03	6,6E+01	< 1,6E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	1,9E+03	1,6E+01	< 1,6E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	4,1E+05	1,2E+04	3,3E+01
	Fungos	UFP/g PS	2,7E+04	1,6E+04	4,1E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	2,2E+03	1,5E+03	1,3E+03
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	0,00	0,00	4,17
F1	pH		11,07	10,41	9,68
	Temperatura	°C	26,5	25,0	25,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	1,6E+02	1,6E+01	1,9E+05
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	6,3E+01	< 1,6E+01	< 1,6E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	3,9E+05	1,9E+04	3,9E+05
	Fungos	UFP/g PS	1,8E+04	9,8E+03	5,5E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	3,6E+03	1,8E+03	1,4E+03
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	0,00	0,00	12,50
F2	pH		12,20	11,79	11,07
	Temperatura	°C	27,5	25,0	25,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	1,7E+02	3,0E+01	< 1,5E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	1,5E+01	< 1,5E+01	< 1,5E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	3,8E+04	6,8E+02	< 1,5E+01
	Fungos	UFP/g PS	9,4E+03	2,6E+03	1,9E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	3,2E+03	1,8E+03	8,1E+02
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	0,00	0,00	5,56
F3	pH		13,48	13,49	13,11
	Temperatura	°C	28,0	25,0	25,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	< 1,4E+01	< 1,4E+01	< 1,4E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 1,4E+01	< 1,4E+01	< 1,4E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	2,0E+02	2,0E+02	< 1,4E+01
	Fungos	UFP/g PS	6,1E+03	2,4E+03	1,0E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	1,5E+03	1,4E+03	1,1E+03
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	0,00	0,00	0,00

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.20. Microrganismos encontrados no lodo bruto e estabilizado com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, da amostra ESM2 coletada em 5/7/1993.

Amostra	Parâmetros	Unidade	Lodo Tratado (horas)		
			2	24	168
B	pH		5,75	5,87	6,02
	Temperatura	°C	18,0	16,0	15,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	8,0E+06	1,2E+06	4,5E+06
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	9,8E+05	3,6E+04	1,5E+06
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	7,1E+07	1,2E+07	1,2E+07
	Fungos	UFP/g PS	1,8E+06	9,3E+05	6,4E+05
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	3,6E+03	3,7E+03	3,2E+03
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	3,45	15,79	0,00
CH	pH		12,50	12,50	12,25
	Temperatura	°C	19,0	17,0	15,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	2,7E+03	1,1E+02	< 1,7E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	6,7E+02	< 1,7E+01	< 1,7E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	2,5E+03	1,1E+03	< 1,7E+01
	Fungos	UFP/g PS	3,5E+04	5,0E+03	1,3E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	2,7E+03	2,3E+03	2,6E+03
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	13,33	6,67	3,23
F1	pH		10,80	10,24	9,60
	Temperatura	°C	19,5	16,5	15,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	1,4E+02	1,1E+02	1,6E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 1,6E+01	< 1,6E+01	< 1,6E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,3E+06	2,0E+05	2,7E+03
	Fungos	UFP/g PS	2,2E+04	1,4E+04	4,9E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	3,2E+03	3,2E+03	3,5E+03
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	13,33	7,69	6,98
F2	pH		11,97	11,63	11,06
	Temperatura	°C	20,0	17,0	15,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	6,3E+02	9,4E+01	< 1,6E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 1,6E+01	< 1,6E+01	< 1,6E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	6,3E+04	1,3E+02	3,1E+01
	Fungos	UFP/g PS	9,0E+03	6,7E+03	4,7E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	2,8E+03	3,3E+03	3,0E+03
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	11,43	4,76	0,00
F3	pH		12,78	12,80	12,59
	Temperatura	°C	21,5	16,5	15,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	5,6E+01	< 1,4E+01	< 1,4E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 1,4E+01	< 1,4E+01	< 1,4E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,5E+02	< 1,4E+01	< 1,4E+01
	Fungos	UFP/g PS	3,9E+03	2,5E+03	7,0E+02
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	2,8E+03	2,2E+03	1,6E+03
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	8,33	0,00	0,00

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.21. Microrganismos encontrados no lodo bruto e estabilizado com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, da amostra ESM3 coletada em 13/9/1993.

Amostra	Parâmetros	Unidade	Lodo Tratado (horas)		
			2	24	168
B	pH		5,81	5,87	6,44
	Temperatura	°C	19,0	19,5	20,5
	Coliforme Total	NMP/g PS	1,7E+05	4,2E+03	4,2E+04
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	4,2E+04	4,2E+03	1,1E+03
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,1E+06	2,5E+04	1,9E+04
	Fungos	UFP/g PS	6,1E+04	6,2E+04	9,2E+04
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	4,9E+03	4,8E+03	4,7E+03
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	3,45	0,00	0,00
CH	pH		12,48	12,11	11,37
	Temperatura	°C	19,5	19,5	20,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	1,3E+02	< 1,6E+01	< 1,6E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	8,6E+01	< 1,6E+01	< 1,6E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	6,2E+03	< 1,6E+01	< 1,6E+01
	Fungos	UFP/g PS	1,3E+04	2,7E+03	2,3E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	4,4E+03	4,7E+03	4,3E+03
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	5,26	3,33	5,45
F1	pH		9,44	9,27	8,44
	Temperatura	°C	20,0	19,5	20,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	3,9E+02	7,0E+04	3,9E+05
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	2,6E+02	3,1E+01	< 1,6E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,7E+05	2,6E+03	1,7E+05
	Fungos	UFP/g PS	1,8E+04	5,8E+03	4,6E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	4,6E+03	4,3E+03	4,1E+03
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	5,00	3,57	1,89
F2	pH		10,30	9,99	9,17
	Temperatura	°C	21,5	19,5	20,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	3,0E+01	< 1,5E+01	< 1,5E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 1,5E+01	< 1,5E+01	< 1,5E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	6,7E+03	9,7E+03	2,5E+04
	Fungos	UFP/g PS	7,5E+03	2,2E+03	2,2E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	5,9E+03	4,5E+03	3,8E+03
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	0,00	5,08	5,88
F3	pH		12,17	11,88	11,36
	Temperatura	°C	22,0	19,5	20,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	< 1,3E+01	< 1,3E+01	< 1,3E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 1,3E+01	< 1,3E+01	< 1,3E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	5,4E+01	< 1,3E+01	2,0E+01
	Fungos	UFP/g PS	4,0E+03	1,3E+03	1,0E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS	4,8E+03	4,0E+03	3,2E+03
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)	6,67	5,56	2,13

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.22. Microrganismos encontrados no lodo bruto e estabilizado com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, da amostra CUR1 coletada em 15/31993.

Amostra	Parâmetros	Unidade	Lodo Tratado (horas)		
			2	24	168
B	pH		9,90	9,36	7,83
	Temperatura	°C	22,0	23,5	26,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	7,3E+05	7,3E+02	1,9E+02
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	1,6E+03	4,6E+02	1,6E+02
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	3,6E+04	4,6E+03	3,6E+04
	Fungos	UFP/g PS	1,4E+04	4,6E+03	9,1E+02
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS			
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)			
CH	pH		12,00	11,56	10,09
	Temperatura	°C	22,0	23,5	26,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	2,0E+02	< 1,8E+01	< 1,8E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 1,8E+01	< 1,8E+01	< 1,8E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,2E+03	< 1,8E+01	< 1,8E+01
	Fungos	UFP/g PS	2,7E+03	2,2E+03	8,9E+02
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS			
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)			
F1	pH		12,31	12,17	10,80
	Temperatura	°C	23,0	24,0	26,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	< 1,7E+01	< 1,7E+01	< 1,7E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 1,7E+01	< 1,7E+01	< 1,7E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	2,5E+02	6,7E+01	1,7E+01
	Fungos	UFP/g PS	8,3E+02	8,3E+02	0,0E+00
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS			
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)			
F2	pH		12,59	12,45	11,05
	Temperatura	°C	24,5	24,0	26,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	< 1,6E+01	< 1,6E+01	< 1,6E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 1,6E+01	< 1,6E+01	< 1,6E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,6E+01	< 1,6E+01	< 1,6E+01
	Fungos	UFP/g PS	8,0E+02	8,0E+02	0,0E+00
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS			
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)			
F3	pH		13,79	13,47	11,71
	Temperatura	°C	27,5	24,0	26,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	< 1,4E+01	< 1,4E+01	< 1,4E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 1,4E+01	< 1,4E+01	< 1,4E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	< 1,4E+01	< 1,4E+01	< 1,4E+01
	Fungos	UFP/g PS	7,2E+02	7,2E+02	0,0E+00
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS			
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)			

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.23. Microrganismos encontrados no lodo bruto e estabilizado com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, da amostra CUR2 coletada em 14/6/1993.

Amostra	Parâmetros	Unidade	Lodo Tratado (horas)		
			2	24	168
B	pH		8,08	7,90	7,47
	Temperatura	°C	19,0	19,0	17,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	2,7E+07	3,8E+05	2,2E+05
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	8,3E+04	3,8E+05	2,3E+04
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	2,8E+06	1,3E+07	2,8E+05
	Fungos	UFP/g PS	1,7E+04	1,6E+03	3,3E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS			
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)			
CH	pH		12,05	11,24	10,95
	Temperatura	°C	19,0	19,0	17,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	2,5E+04	1,2E+02	< 3,0E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	6,0E+02	1,2E+02	< 3,0E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	5,1E+05	3,6E+03	6,0E+01
	Fungos	UFP/g PS	4,5E+03	3,0E+03	3,0E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS			
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)			
F1	pH		11,01	10,56	10,33
	Temperatura	°C	20,0	19,0	17,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	3,1E+03	4,3E+02	< 2,8E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	1,8E+03	1,1E+02	< 2,8E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,8E+05	3,4E+05	3,4E+03
	Fungos	UFP/g PS	1,2E+04	5,0E+03	2,8E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS			
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)			
F2	pH		11,65	11,34	11,15
	Temperatura	°C	21,0	19,0	17,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	6,6E+02	< 2,6E+01	< 2,6E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	2,6E+01	< 2,6E+01	< 2,6E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,7E+04	3,6E+02	< 2,6E+01
	Fungos	UFP/g PS	4,0E+03	2,7E+03	2,0E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS			
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)			
F3	pH		13,05	12,71	12,73
	Temperatura	°C	22,5	19,0	17,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	1,4E+02	< 2,2E+01	< 2,2E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 2,2E+01	< 2,2E+01	< 2,2E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	2,7E+03	2,5E+02	< 2,2E+01
	Fungos	UFP/g PS	2,2E+03	1,1E+03	1,1E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS			
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)			

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

Tabela A.24. Microrganismos encontrados no lodo bruto e estabilizado com cal hidratada e ferrato(VI) de potássio, da amostra CUR3 coletada em 23/8/1993.

Amostra	Parâmetros	Unidade	Lodo Tratado (horas)		
			2	24	168
B	pH		7,40	7,14	6,93
	Temperatura	°C	18,5	19,5	21,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	4,2E+07	2,6E+07	1,6E+07
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	1,6E+05	6,8E+04	5,5E+06
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,1E+07	1,6E+05	1,6E+04
	Fungos	UFP/g PS	6,4E+04	6,0E+04	4,9E+04
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS			
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)			
CH	pH		12,82	12,75	12,75
	Temperatura	°C	19,0	19,5	21,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	2,5E+02	1,6E+02	< 3,9E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 3,9E+01	< 3,9E+01	< 3,9E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	9,7E+02	3,9E+01	3,9E+01
	Fungos	UFP/g PS	2,6E+04	9,7E+02	0,0E+00
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS			
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)			
F1	pH		10,18	10,03	9,63
	Temperatura	°C	19,5	19,5	21,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	5,9E+04	9,8E+01	5,7E+02
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	5,4E+03	< 4,9E+01	< 4,9E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,2E+05	7,4E+03	2,2E+03
	Fungos	UFP/g PS	2,1E+04	4,9E+03	1,2E+03
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS			
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)			
F2	pH		10,65	10,54	10,34
	Temperatura	°C	20,0	19,5	21,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	5,7E+03	< 4,4E+01	1,8E+02
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	2,4E+02	< 4,4E+01	< 4,4E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	1,8E+04	2,9E+02	2,0E+02
	Fungos	UFP/g PS	3,3E+03	2,2E+03	0,0E+00
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS			
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)			
F3	pH		11,70	11,68	11,57
	Temperatura	°C	21,0	19,5	21,0
	Coliforme Total	NMP/g PS	4,9E+02	< 3,3E+01	< 3,3E+01
	Coliforme Fecal	NMP/g PS	< 3,3E+01	< 3,3E+01	< 3,3E+01
	Estreptococo Fecal	NMP/g PS	6,6E+01	< 3,3E+01	< 3,3E+01
	Fungos	UFP/g PS	8,2E+02	8,2E+02	0,0E+00
	Ovos de Helmintos Total	UOH/g PS			
	Ovos de Helmintos Inférteis	(%)			

B: Lodo bruto. CH: Tratamento com cal hidratada. F1, F2 e F3: Doses de ferrato(VI) de potássio.

ANEXO 2: MÉTODOS

A.1. MÉTODO PARA CONTAGEM TOTAL DE OVOS DE HELMINTOS EM LODO DE ESGOTO.

Este método foi modificado baseado no método desenvolvido por MORRISON, 1986.

PROCEDIMENTO:

- 1) Misture a amostra vigorosamente.
- 2) Determine o conteúdo de sólidos do lodo, de acordo com os procedimentos preconizados no STANDARD METHODS.
- 3) Pesagem da amostra. Pese uma quantidade desejável de lodo em um beaker pequeno e transfira-o quantitativamente para um Filtro de Visser. A quantidade requerida dependerá da precisão desejada. Devido as considerações de amostragem, o desvio padrão da contagem será aproximadamente igual a sua raiz quadrada, uma contagem de 100 então terá um desvio padrão de 10. Normalmente é conveniente utilizar massas de 1-20 gramas de lodo. A extremidade superior desta faixa pode tornar a contagem difícil e causar ondulações e enrugamento no filtro.

O Filtro de Visser consiste de dois filtros concêntricos. O interno tem uma malha adequada para reter fragmentos mais grosseiros e deixa passar os ovos de helmintos, enquanto o outro (externo) de malha fina retém os ovos e permite material fino passar através dele. Para o filtro interno pode ser utilizada a tela de impressão serigráfica de poliéster monofilamento, marca ESTAL MONO, 68T, que tem abertura de malha de 90 μm . Para o filtro externo pode ser utilizada a tela de número 150T, que tem abertura de malha de 30 μm .

- 4) Lavagem do Filtro de Visser. Direcione um jato de água de torneira sobre o lodo e em torno dos lados de dentro e fora dos filtros. Uma lavagem de 5 minutos é suficiente para o filtro de 90 μm . Após o qual, o filtro deve ser removido e o lodo retido no filtro de 30 μm deve ser lavado de novo para remover alguma matéria estranha. Embora através da lavagem torne a contagem mais fácil, a quantidade exata deve ser feita pelo método das tentativas (ensaio e erro).

- 5) Recuperação do ovo no filtro de membrana. Quantitativamente transfira o material remanescente no Filtro de Visser a um beaker de vidro de 1 litro e filtre através de um filtro de 30 μm de abertura de malha e 50 mm de diâmetro. O filtro utilizado neste passo pode ser a mesma que a especificada para o filtro externo ou ser

utilizado um filtro de membrana de abertura igual ou menor. Enxague bem o frasco. Desligue a sucção uns poucos segundos após a água ter sido drenada.

6) Secagem do filtro. Coloque o filtro em um suporte de aço inox, com um anel de aço inox de diâmetro apropriado para evitar enrolar-se. A secagem pode ser feita entre a temperatura ambiente e 38 °C, até o filtro estar visivelmente seco. Não seque mais que o necessário pois os ovos podem tornar-se parcialmente dessecados.

7) Preparação do filtro para exame. Transfira o filtro seco com o lado de cima (invertido) para uma placa de petri de plástico de 65 mm. Os ovos e outros materiais aderem muito bem ao filtro e pode ser facilmente manipulado. Aplique óleo no filtro para torná-lo transparente somente o suficiente para imergí-lo, partindo do centro do filtro. Coloque a placa de petri sobre uma lâmina de microscópio de 76 x 51 mm e examine sob uma ampliação desejável (100 ou 200 vezes) para contagem.

O uso da placa de petri permite o filtro ser facilmente transportado e cuidadosamente armazenado. Entretanto o filtro usualmente torna-se leitoso após poucos dias, e um procedimento alternativo é colocá-lo com lado certo para cima, sobre uma lâmina de microscópio de 76 x 51 mm e aplicar óleo como descrito anteriormente. Se lâminas dessas dimensões não forem disponíveis, o filtro pode ser cortado pela metade e posto em duas lâminas menores. Filtros sobre lâminas de vidro não tornam-se leitosos.

8) cálculo do resultado.

Número de OVOS de Helmintos/g lodo seco = (Contagem x 100)/(Massa de lodo x % Sólidos)

A.2. MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DE VIABILIDADE DE OVOS DE HELMINTOS EM LODOS DE ESGOTO

Este método foi modificado baseado no método desenvolvido por MORRINSON, 1986.

PROCEDIMENTO:

1) Prepare uma suspensão de ovo para embrionação. Pese 20 gramas ou uma quantidade desejável de lodo bem homogeneizado em um beaker de 50 ml, transfira para um Filtro de Visser (ver o método Contagem de Ovos de Helmintos no Lodo de Esgoto) e lave por cerca de 5 minutos. A seguir transfira os ovos do filtro para um beaker de 250 ml ou um frasco cônico, adicione 2 ml de solução de formaldeído (40%) e complete a 100 ml com água.

Cubra folgadoamente ou tampe com rolha de algodão para permitir o acesso de ar. Deixe a 25-28 °C, por 6 semanas.

2) Preparação dos ovos para exame microscópico. Agite bem a suspensão, filtre uma porção de 20 ml ou outro volume desejável através de um filtro de tela de impressão serigráfica de 30 μ m ou filtro de membrana e prepare-o para exame da mesma maneira descrita no método para contagem total de ovos de helmintos.

3) Contagem da viabilidade. Examine pelo menos 100 ovos e classifique como segue:
A- Verme totalmente desenvolvido dentro da casca (quieto ou móvel); e
B- Todos os outros ovos.

4) Cálculo da porcentagem de ovos embrionados. O exame de 100 ovos permitirá que os resultados possam ser reportados a precisão próxima de 1%. Se uma precisão de 0,1% é requerida, 1000 ovos deverão ser examinados.

Para alguns propósitos a classificação de MURREY (mais detalhada) pode ser mais conveniente:

- 1- Verme totalmente desenvolvido dentro da casca (quieto ou móvel).
- 2- Ovos parcialmente desenvolvidos, isto é, contendo células desenvolvidas.
- 3- Ovos com célula única, incluindo ovos inférteis, sem mudança aparente.
- 4- Ovos degenerados, com ou sem vacúolos.

A.3. TESTE DE MOBILIDADE DE METAIS PESADOS NOS LODOS

Este teste foi modificado de KIEKENS & COTTENIE, 1984.

PROCEDIMENTO

Pesar 10 g de lodo seco, previamente macerado e peneirado em uma peneira de 2 mm de abertura, em um beaker de 150 ml. Adicionar 50 ml de água destilada e determinar o pH da suspensão (valor A) enquanto estiver sendo agitado (agitador magnético). Os passos B, C, e D, são conseguidos adicionando-se volumes controlados (V ml) de HNO₃ que não deverão exceder 20 ml.

A concentração de HNO₃ para diminuir o pH pode variar de 0,1 a 4 N ou mais, dependendo da natureza do lodo (capacidade tampão). É desejável determinar previamente, por meio de curvas de titulação, as concentrações de HNO₃ que devem ser usados para ajustes de pH.

O pH da suspensão continuamente agitada deve ser mantido constante durante 30 minutos. O uso de titulador automático é muito prático. Caso não o tenha a disposição, o pH pode também ser ajustado adicionando HNO₃ com uma bureta e registrando o pH. Após o equilíbrio, o volume final no beaker é elevado a 50 ml adicionando (50 - V) ml de água destilada, sendo (V) o volume de HNO₃ adicionado durante o equilíbrio. Então, a suspensão é centrifugada a 3000 g por 15 minutos e o pH da solução sobrenadante medido tão logo seja possível, após a decantação e filtração através de um papel de filtro Whatman 42. Esta solução é analisada por Espectrofotômetro de Absorção Atômica. Caso não seja possível analisar imediatamente, as amostras deverão ser preservadas com HNO₃, para pH < 2.

Os seguintes passos de pH devem ser observados:

- A- pH original da suspensão, lodo + água;
- B- pH 4,0;
- C- pH 2,0; e
- D- pH 0,5

Se a massa de amostra disponível for pequena, a quantidade original utilizada pode ser menor (por ex.: 5 g + 15 ml de água destilada).

A.4. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA ESPECÍFICA À FILTRAÇÃO DE LODOS

Esta determinação foi adaptada de ALMEIDA et al., 1991a; e LAPORTE, s.d.

PROCEDIMENTO

1) Coloque um filtro de papel (Whatman 41) de 70 mm de diâmetro no funil de Büchner de 76 mm de diâmetro interno (Figura A.1) e umedeça com um pouco de água para assegurar um ajuste perfeito. Coloque uma quantidade suficiente de água (cerca de 10 ml) para assegurar uma leitura inicial desejável na proveta graduada, e registre este volume.

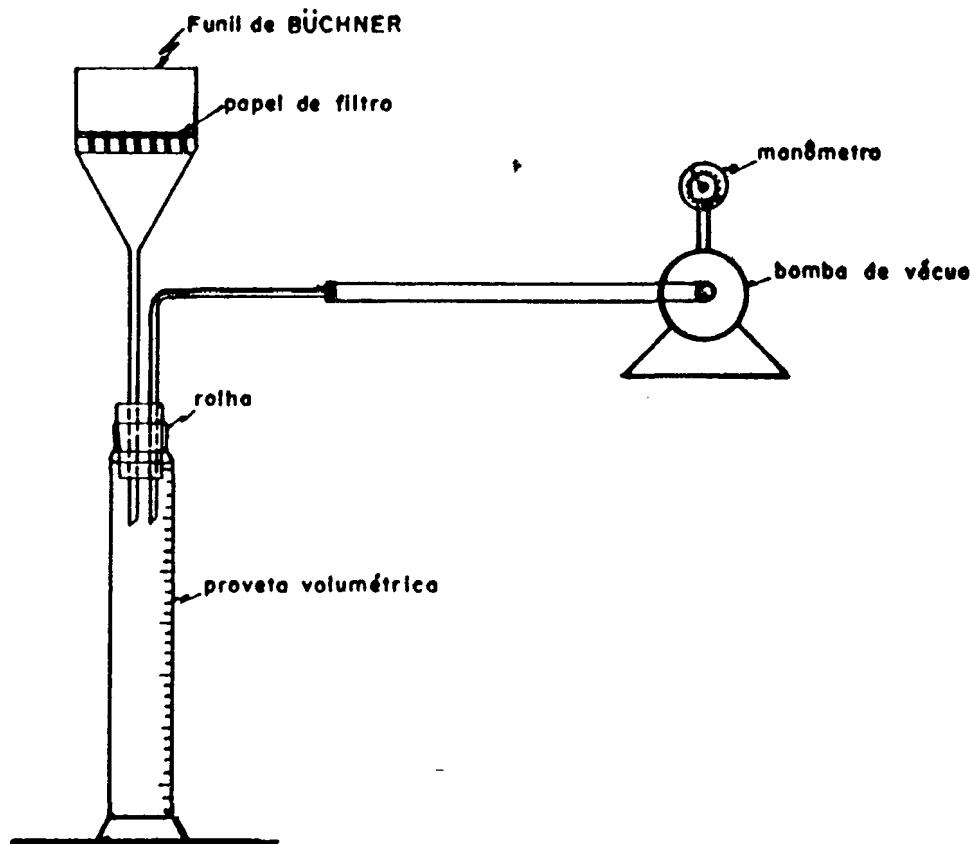


Figura A.1. Esquema do aparelho utilizado para a determinação da resistência específica à filtração.

- 2) Ligue a bomba de vácuo e acerte o vácuo a 38 cmHg.
- 3) Coloque 100 ml de lodo sobre o papel de filtro, iniciando pelo centro do

mesmo.

4) Após 1 minuto registre o volume de filtrado coletado e inicie a aplicação de vácuo. Este é o volume coletado (V_0 ml) ao tempo zero ($t = 0$).

5) Continue registrando o volume do filtrado coletado, a intervalos de 1 minuto, por um período de 10 minutos, assegurando-se que o vácuo aplicado é de 38 cmHg.

6) Cálculo da Resistência Específica.

Os resultados registrados devem estar na forma mostrada abaixo:

Tempo (t) (minutos)	Volume total de filtrado (ml)
Inicial (-1)	V_{-1}
0	V_0
1	V_1
↓	↓
10	V_{10}

Calcule e registre o valor inicial do filtrado (2 min) assim:

$$\text{Filtrado inicial (2 min)} = V_1 - V_0$$

Calcule então os valores do volume filtrado com o tempo e valores de tempo/volume de filtrado como segue:

t (min)	Volume total de filtrado (ml)	Volume de filtrado (ml)	t/V (min/ml)
0	V_0	-	-
1	V_1	$V_1 - V_0$	$1/(V_1 - V_0)$
2	V_2	$V_2 - V_0$	$1/(V_2 - V_0)$
↓			↓
10	V_{10}	$V_{10} - V_0$	$10/(V_{10} - V_0)$

Plote valores de t/V contra valores do volume filtrado (V). Trace a melhor linha através de pontos possíveis e determine a sua declividade (b).

A resistência específica a filtração, r , de um lodo é definido por:

$$r = \frac{2 PA^2}{\mu} \cdot \frac{b}{c}$$

onde: P = pressão aplicada, ou vácuo

A = área do filtro

μ = viscosidade do filtrado

c = concentração de sólidos do lodo

O parâmetro (c) corresponde a massa de sólidos depositados por unidade de volume filtrado, e é calculado pela equação:

$$c = 1/[(1 - c_f)/(c_f - (1 - c_i))/c_i]$$