

Ministério da Educação
Universidade Federal do Rio Grande Do Sul
Escola de Engenharia

Mestrado Profissionalizante em Engenharia
Ênfase: Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO
LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ESGOTO
MISTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Gilberto Teixeira Lessa

Porto Alegre (RS), 2005

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA**

**MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA
ÊNFASE: ENGENHARIA AMBIENTAL E TECNOLOGIAS LIMPAS**

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO LODO DE
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ESGOTO MISTO NA CONSTRUÇÃO
CIVIL**

GILBERTO TEIXEIRA LESSA

Orientadoras:

Prof. Dr^a. Denise Carpena Coitinho Dal Molin

Prof. Dr^a. Ângela Borges Masuero

Co-Orientador:

Prof. Dr. Jair Carlos Koppe

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ivo André Homrich Schneider

Prof. Dr^a. Fernanda Pereira Vieira

Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior

Trabalho de conclusão do curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia como
requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia – Modalidade Profissionalizante
Ênfase em Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas

Porto Alegre, RS

2005

Este trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de mestre em ENGENHARIA e aprovado em sua forma final pelos orientadores e pela coordenadora do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Profa. Dra. Denise Carpena Coitinho Dal Molin

Orientadora
Escola de Engenharia/PPGEC/NORIE
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Dra. Ângela Borges Masuero

Orientadora
Escola de Engenharia/PPGEC/NORIE
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Jair Carlos Koppe

Co-orientador
Escola de Engenharia/PPGEM/UFRGS

Profa. Dra. Carin Maria Schmitt

Coordenadora
Mestrado Profissionalizante em Engenharia
Escola de Engenharia/PPGEM/UFRGS

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Ivo André Homrich Schneider (DEMET/UFRGS)

Prof. Dr^a. Fernanda Pereira Vieira (CIENTEC/RS)

Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior (LdSM/PPGEM/UFRGS)

*“Ninguém está mais longe da verdade do que aquele
que sabe todas as respostas”.*

Chuang Tsu

Dedico este trabalho a minha turma feminina preferida: Margareth, Renata, Fernanda e Roberta, que muito me ouviram e sempre me deram força e ânimo para que todas as dificuldades fossem vencidas, atividades realizadas para a elaboração e concretização deste trabalho.

E aos meus pais Afonso e Jurema pela grande torcida.

AGRADECIMENTOS

Participar de um programa de mestrado profissional, dedicar-se às aulas, tarefas e elaboração de uma dissertação, concomitantemente ao cumprimento dos compromissos diários somente é possível graças à colaboração de um grupo de pessoas especiais. Portanto, aqui referencio todas elas através do reconhecimento e o agradecimento, pois com certeza, de uma forma ou de outra, contribuíram e orientaram para a conclusão de mais este objetivo.

Às minhas orientadoras, professoras Denise e Ângela, pela disponibilidade, objetividade e clareza nas respostas, incentivo, paciência, apoio permanente; por acreditarem no trabalho e em minha capacidade, e também pela autonomia dada no desenvolvimento do estudo.

À minha família, pelo fiel apoio sempre dedicado, e por muito mais, entendimento, constante valorização e incentivo em todas as etapas do trabalho.

Ao Professor Jair Carlos Koppe pelo apoio e incentivo recebido.

Ao Professor Ivo Schneider pela atenção, disposição e orientação sempre que solicitado.

Aos colegas de trabalho da Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Osório, com os quais dividi as angústias e as realizações deste momento tão importante.

Aos amigos Pingo, Sérgio, Miguel Calderon, Flávio Brito, Eduardo Rodrigues Renda e Roberto pelo incentivo e apoio recebidos.

Ao Laboratório de Materiais Cerâmicos – LACER e em especial à pessoa do colega João pela colaboração na fase inicial do trabalho.

Ao Engenheiro Civil Daniel (NORIE) pelo apoio e incentivo recebidos na moldagem dos corpos-de-prova.

Ao bolsista Rafael por sua dedicação, apoio, disponibilidade e interesse manifestado no processo de preparo da amostra, moldagem dos corpos-de-prova e realização dos ensaios.

Aos funcionários Éderson e Airton (NORIE) pelo apoio na moldagem dos corpos-de-prova e realização dos ensaios.

À amiga Alda pela colaboração, apoio e, fundamentalmente, pelo agradável convívio ao longo do curso.

Aos colegas de turma e amigos, que provaram que, no trato das questões ambientais, o trabalho multidisciplinar é o caminho que devemos seguir.

Por fim, agradeço ao amigão, acadêmico da UFRGS, Hugo Ricardo Tonoli, pelo companheirismo em participar efetivamente do trabalho, incentivando e trabalhando ativamente para que esse desafio fosse superado, transferindo sempre sua calma, sugestão, força e apoio.

RESUMO

O uso de resíduos pela indústria da construção civil vem se consolidando como prática para a sustentabilidade, atenuando o impacto ambiental gerado pela disposição inadequada de resíduos. O objetivo deste trabalho é de contribuir para os estudos das alternativas de disposição final dos lodos gerados na Estação de Tratamento Biológico de Esgoto Misto (ETE) da cidade de Osório, RS, verificando a possibilidade de utilização destes resíduos, após desaguamento em leitos de secagem e processo de incineração, tendo a cinza produzida e utilizada como adição em argamassa da construção civil. A evolução estrutural e química resultante do tratamento térmico (calcinação em diferentes temperaturas) identificou a ideal temperatura para os ensaios em argamassa. A calcinação proporcionou a diminuição do volume do material, eliminou o conteúdo de matéria orgânica, reduziu a cinza dos materiais combustíveis (tornando-o inerte), eliminou patogênicos e transformou o lodo de esgoto em material amorfo – critério essencial para torná-lo reativo com o cimento – avaliado através de ensaios específicos da amostra. A caracterização morfológica e mineralógica das cinzas em ensaios revelou que estas cinzas podem ser tratadas através de processo de conformação específica e contribuiu para revelar o bom comportamento físico e químico do material que apresentou características pozolâmicas e cimentantes. Moagem das cinzas, ensaios por difração de raios-X, microscopia eletrônica de varredura, moldagem de corpos-de-prova, resistência à compressão, ensaios de lixiviação e solubilização foram realizados, a fim de caracterizar as cinzas para que fossem utilizadas em argamassa, melhorando o seu desempenho, sem riscos ambientais.

Palavras-chave: Lodo, Portland, reuso, resíduos, concreto, argamassa, resistência.

ABSTRACT

The reuse of residues for the building construction industry has been consolidating with practicality for sustainability, attenuating the environmental impact generated by the inadequate disposal of residues. The objective of this work is to contribute to the studies of alternatives for the final disposal of the sludge generated in the Biological Sewage Treatment Plant of the city of Osório, RS, verifying the possibility of use of these residues, after draining in drying stream beds and an incineration process, having the ashes produced and used as addition in mortar of the building construction. The chemical and structural evolution resultant of the thermal treatment (calcination in different temperatures), has identified the ideal temperature for the analysis in mortar. The calcination provides the volume reduction of the material, eliminates the content of organic substance, reduces the ash of the combustible materials (becoming it inert), eliminates pathogenic and transforming the sludge into amorphous material – essential criterion to become it reactive with the cement – evaluated through specific assays of the sample. The morphological and mineralogical characterization of leached ashes in assays has shown that these can be treated through specific conformation process and has contributed to show the good physical and chemical behavior of the material which presents with pozzolamical and cementing characteristics. Milling of leached ashes, assays for X-Rays diffraction, electronic microscopy, molding in forms, compressive strength, leaching and solubilization assays were made, in order to characterize if these leached ashes can be used in mortar, improving its performance, without environmental risks.

Keywords: sludge, Portland, reuse, residue, concrete, mortar, strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação esquemática da Estação de Tratamento de Esgoto de Osório, RS	24
Figura 2	Fluxograma do Princípio de Gestão de Resíduos.....	29
Figura 3	Proporção sólidos/água nos esgotos domésticos (VON SPERLING, 1996).....	30
Figura 4	Representação esquemática do Sistema de Tratamento de Esgoto Sanitário Doméstico por Lagoas de Estabilização (SPERLING, 1999)	36
Figura 5	Parte do junco utilizada para o plantio possui três partes principais: 1. o “tronco subterrâneo” (rizoma), coloração branca e marrom; 2. as raízes finas no lugar dos brotos e 3. o broto, a parte verde da planta que produz a flor (SCHÄFER, 1996).....	41
Figura 6	Amostra do lodo de esgoto retirado da bacia de decantação (ETE de Osório, RS) para desaguamento em leitos de secagem	46
Figura 7	Características do lodo de esgoto obtido após processo de desaguamento obtido no protótipo de leitos de secagem.....	48
Figura 8	Distribuição aproximada dos sólidos do esgoto bruto, em terrenos de concentração (VON SPERLING, 1996).....	48
Figura 9	Etapas e processos de tratamento de lodo de esgoto (adaptado de WQI, 1994)	50
Figura 10	Modelo hipotético de hierarquia para a seleção de alternativas para a reciclagem (JONH, 2000)	58
Figura 11	Layout da Estação de Tratamento de Esgoto de Osório, RS (SECRETARIA DE OBRAS, 2004)	64
Figura 12	Aspecto construtivo da Bacia de Decantação: (a) em 1998; (b) situação atual (2004).	66
Figura 13	Aspecto construtivo da Área de Plantação	67
Figura 14	Lagoa de Polimento	67
Figura 15	Vista parcial da cidade de Osório, RS (Bairro Caiu do Céu), mostrando o sistema de arruamento para chegada do esgoto misto na ETE.....	69
Figura 16	Casa de Manutenção	70
Figura 17	Difração de Raios X do lodo de esgoto “ <i>in natura</i> ”	73
Figura 18	Secção do protótipo do leito de secagem.....	81
Figura 19	Amostra de lodo parcialmente seco no protótipo de leito de secagem. (a) vista geral e (b) detalhe	81
Figura 20	Fluxograma da realização dos ensaios.....	86
Figura 21	Difração de Raios X da amostra de CLE a 550° C.....	88
Figura 22	Difração de Raios-X da amostra de CLE a 650° C	88
Figura 23	Difração de Raios-X da amostra de CLE a 750° C	89
Figura 24	Difração de Raios X da amostra de CLE a 850° C.....	89
Figura 25	Difração de Raios X da amostra de CLE a 950° C.....	90
Figura 26	Microscopia eletrônica de varredura por elétrons secundários da cinza de lodo incinerada à 550°C, na ampliação de 100 vezes.....	99
Figura 27	Microscopia eletrônica de varredura por elétrons secundários da cinza de lodo incinerada à 550°C, na ampliação de 500 vezes.....	99
Figura 28	Microscopia eletrônica de varredura por elétrons secundários da cinza de lodo incinerada à 550°C, na ampliação de 1.500 vezes.....	100
Figura 29	Microscopia eletrônica de varredura por elétrons secundários da cinza de lodo incinerada à 550°C, na ampliação de 5.000 vezes.....	100
Figura 30	Microscopia eletrônica de varredura por elétrons secundários da cinza de lodo incinerada à 550°C, na ampliação de 20.000 vezes.....	101

Figura 31	Fluxograma de preparo do material para moldagem dos Corpos-de-Prova	104
Figura 32	Amostra da material após a calcinação e peneiramento	103
Figura 33	Realização dos ensaios de consistência	106
Figura 34	Fluxograma utilizado para a execução dos corpos-de-prova.....	107
Figura 35	Argamasseira utilizada na produção das argamassas	109
Figura 36	Identificação do traço no corpo-de-prova.....	110
Figura 37	Moldagem dos Corpos-de-Prova	111
Figura 38	Valores médios do ensaio de resistência à compressão, traço 1:3, nos proporcionamentos de adição de lodo de 0, 5, 10 e 20%.	112
Figura 39	Valores médios do ensaio de resistência à compressão, traço 1:4,5, nos proporcionamentos de adição de lodo de 0, 5, 10 e 20%.	113
Figura 40	Valores médios do ensaio de resistência à compressão, traço 1:6, nos proporcionamentos de adição de lodo de 0, 5, 10 e 20%.	113
Figura 41	Resistência à compressão dos três traços analisados.....	114
Figura 42	Resultado do ensaio de absorção capilar, traço 1:3.....	117
Figura 43	Resultado do ensaio de absorção capilar, traço 1:4,5.....	117
Figura 44	Resultado do ensaio de absorção capilar, traço 1:6.....	118

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Mecanismos de remoção nas <i>Wetlands</i> construídas (BRIX, 1993).....	42
TABELA 2	Vantagens e desvantagens dos leitos de secagem (ANDREOLI, 2001)	44
TABELA 3	Massa específica de agregados e resistência á compressão simples de argamassa (KATO e TAKESUE, 1984).....	53
TABELA 4	Análise do tijolo executado com lodo seco (ALLEMAN e BERMAN, 1984)...	53
TABELA 5	Propriedades dos tijolos com Lodo “ in natura” (TAY, 1987).....	54
TABELA 6	Composição química e propriedades típicas dos lodos de esgoto (METCALF e EDDY,1991).....	59
TABELA 7	Teores de metais pesados em lodos de ETE’s (TILLER apud ANDREOLI, 1999 e MIYAZAWA, 1996)	60
TABELA 8	Comparação dos parâmetros químicos em diferentes ETE’s	72
TABELA 9	Resultado da Análise Bacteriológica do Lodo de Esgoto	76
TABELA 10	Resultado de Lixiviação do lodo de esgoto desaguado “in natura” e os padrões estabelecidos pela NBR 10004	78
TABELA 11	Resultado da Solubilização do lodo de esgoto desaguado “in natura” e padrões estabelecidos pela NBR 10004	78
TABELA 12	Identificação das atividades para o preparo da amostra de lodo	83
TABELA 13	Identificação das atividades de caracterização da amostra de lodo.....	85
TABELA 14	Identificação das fases de moldagem das argamassas com adição de cinza de lodo	86
TABELA 15	Locais da realização das atividades de preparação da amostra de Lodo, caracterização da amostra de Lodo e dos experimentos das cinzas em concreto.	87
TABELA 16	Relação entre o percentual do resíduo fixo, não volátil, a temperatura de 550°C e 950°C.....	92
TABELA 17	Resultados dos ensaios de lixiviação (CLE)	95
TABELA 18	Resultados do ensaio de solubilização do resíduo (CLE)	96
TABELA 19	Resultado da massa de cinza produzida para ser utilizada nos experimentos, a partir do preparo da amostra de lodo desaguado.	103
TABELA 20	Composição química do cimento CPV-ARI (alta resistência inicial)	105
TABELA 21	Massa Específica e Massa Unitária do agregado miúdo utilizado nos ensaios...	105
TABELA 22	Composição Granulométrica do agregado miúdo utilizado nos ensaios.....	105
TABELA 23	Resultados do índice de consistência, a partir do fator água/cimento (a/c) com ou sem adição de cinza de lodo	108
TABELA 24	Média da carga de ruptura e da resistência à compressão simples em corpos-de-prova em argamassa aos 28 dias.....	112
TABELA 25	Absorção Total após 72h	116
TABELA 26	Absorção capilar em Kg/m ²	116
TABELA 27	Resultados obtidos no extrato lixiviado em comparação com os limites máximos permitidos pela NBR 10004/2004	119
TABELA 28	Resultados obtidos no extrato solubilizado em comparação com os limites máximos permitidos pela norma NBR 10004/2004.	120

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

- ACEVIR – Associação das Cerâmicas Vermelhas de Itu e Região
- CECLIMAR – Centro de Estudos Costeiros e Limnológicos Marinhos
- CLE – Cinza de Lodo de Esgoto
- CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento
- DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgoto/Porto Alegre
- ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
- FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental
- IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica/SP
- LACOR – Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais
- LdSM – Laboratório de Design e Seleção de Materiais
- MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura
- NORIE – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação
- PV – Pontos de Visita
- SABESP – Saneamento Básico do Estado de São Paulo
- UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. PROBLEMA E JUSTIFICATIVA.....	21
1.2. OBJETIVOS.....	24
1.3. LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	25
1.4. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	26
2. TRATAMENTO DE ESGOTO E GERAÇÃO DE LODO	28
2.1. COLETA DE ESGOTO SANITÁRIO	32
2.2. TRATAMENTO DO ESGOTO – FASE LÍQUIDA E GERAÇÃO DE LODO	33
2.3. <i>WETLANDS</i>	38
2.3.1 <i>Banhados naturais</i>	38
2.3.2 <i>Wetlands construídas para tratamento de esgoto</i>	39
2.3.3 <i>Técnicas de Wetlands construídas</i>	40
2.4. LEITOS DE SECAGEM.....	43
3. TRATAMENTO DA FASE SÓLIDA DO LODO	46
3.1. CLASSIFICAÇÃO DO LODO	46
3.2. TIPOS DE SÓLIDOS.....	48
3.3. TRATAMENTO DE LODOS	49
3.3.1 <i>Adensamento</i>	49
3.3.2 <i>Estabilização</i>	49
3.3.3 <i>Condicionamento</i>	49
3.3.4 <i>Desaguamento (Desidratação)</i>	49
3.3.5 <i>Incineração</i>	50
3.4. ETAPAS E PROCESSO DE TRATAMENTO.....	50
3.5. ALTERNATIVAS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE LODO DE ESGOTO	50
3.6. ALTERNATIVAS PARA O APROVEITAMENTO E/OU DISPOSIÇÃO FINAL DE LODOS DE ESGOTO SANITÁRIO	51
3.6.1 <i>Processo de uso na agricultura</i>	52
3.6.2 <i>Reuso industrial</i>	52
3.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A ALTERNATIVA DE DISPOSIÇÃO.....	58
3.8. METAIS PESADOS.....	58
3.9. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO LODO ÚMIDO OU PARCIALMENTE SECO	59
3.10. METAIS PESADOS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE’S)	60
3.11. PRINCIPAIS AGENTES PATOGÊNICOS PRESENTES NO LODO DE ESGOTO	60
3.12. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS	61
3.13. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO LODO DE ESGOTO	61
4. ESGOTAMENTO SANITÁRIO - CIDADE DE OSÓRIO - RS	63
4.1. DESCRIÇÃO DAS OBRAS QUE COMPÕE O SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO MISTO DA CIDADE DE OSÓRIO.	64
4.1.1 <i>Caixa de coleta</i>	65
4.1.2 <i>Bacia de Decantação</i>	65
4.1.3 <i>Área de plantação (tipo wetlands)</i>	66
4.1.4 <i>Lagoa de polimento</i>	67
4.1.5 <i>Leito de Secagem</i>	68
4.1.6 <i>Tubulações</i>	68
4.1.7 <i>Casa de manutenção</i>	70
5. CARACTERÍSTICAS DO LODO DE ESGOTO “IN NATURA”	71
5.1. AMOSTRAGEM	71
5.2. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA	72

5.3.	CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA.....	73
5.4.	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	75
5.4.1	<i>Teor de umidade</i>	75
5.4.2	<i>Teor de sólidos totais e densidade</i>	75
5.4.3	<i>Teor de matéria orgânica</i>	75
5.5.	CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS	76
5.5.1	<i>Classificação dos resíduos – lodo de esgoto desaguado</i>	77
6.	PROGRAMA EXPERIMENTAL – PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA CINZA DE LODO DE ESGOTO	80
6.1.	ETAPAS DO PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	80
6.1.1	<i>Etapa 1: Preparação da amostra de lodo</i>	80
6.1.2	<i>Etapa 2: Caracterização da amostra de lodo “in natura”</i>	83
6.1.2.1	Difração de Raios-X	84
6.1.2.2	Caracterização química do lodo calcinado	84
6.1.2.3	Caracterização da microestrutura através de Microscopia Eletrônica de Varredura	84
6.1.3	<i>Etapa 3: Utilização da cinza de lodo como adição em argamassa</i>	85
6.1.4	<i>Local da realização dos ensaios e experimentos</i>	87
6.2.	RESULTADOS OBTIDOS NAS ETAPAS: PREPARAÇÃO DA MOSTRA DE LODO E CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA DE LODO	87
6.2.1	<i>Definição da temperatura de queima</i>	87
6.2.2	<i>Estudo de impacto ambiental das cinzas</i>	92
6.2.2.1	Classificação ambiental das cinzas (CLE).....	93
6.2.2.2	Lixiviação do resíduo (CLE)	95
6.2.2.3	Solubilização do resíduo (CLE)	95
6.2.2.4	Emissão de poluentes atmosféricos	97
6.2.3	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i>	98
7.	PROGRAMA EXPERIMENTAL – APLICAÇÃO DAS CINZAS DE LODO ESGOTO COMO ADIÇÃO EM ARGAMASSAS	102
7.1.	MATERIAIS UTILIZADOS	102
7.1.1	<i>Cinza de lodo de esgoto</i>	102
7.1.2	<i>Cimento</i>	105
7.1.3	<i>Areia</i>	105
7.2.	PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS - MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA.....	106
7.2.1	<i>Proporcionamento dos materiais</i>	107
7.3.	ENSAIOS REALIZADOS.....	110
7.3.1	<i>Resistência à compressão</i>	111
7.3.1.1	Avaliação dos resultados da resistência à compressão	114
7.3.2	<i>Ensaio de Absorção capilar</i>	115
7.3.2.1	Avaliação dos resultados de absorção capilar	118
7.3.3	<i>Resultados e avaliação dos ensaios de lixiviação e solubilização do composto de argamassa</i>	119
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	121
8.1.	CONCLUSÕES	121
8.2.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	123
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
	APÊNDICES	130
	APÊNDICE A - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES EM ARGAMASSA ENDURECIDA AOS 28 DIAS (MEDIDOS EM KN).....	131

APÊNDICE B RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES EM ARGAMASSA ENDURECIDA AOS 28 DIAS (MEDIDOS EM MPA).....	131
APÊNDICE C - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ABSORÇÃO CAPILAR EM ARGAMASSA ENDURECIDA PARA TRAÇO 1: 3	132
APÊNDICE D - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ABSORÇÃO CAPILAR EM ARGAMASSA ENDURECIDA PARA TRAÇO 1:4,5	133
APÊNDICE E - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ABSORÇÃO CAPILAR EM ARGAMASSA ENDURECIDA PARA TRAÇO 1:6	134

1. INTRODUÇÃO

A coleta das águas servidas já era uma preocupação das civilizações antigas. No ano 3.750 a.C., eram construídas galerias de esgoto em Nipur (Índia) e na Babilônia. Em 3.100 a.C., já se tem notícia do emprego de manilhas cerâmicas. Na Roma imperial eram feitas ligações diretas das casas até os canais, e por se tratar de uma iniciativa particular de cada morador, nem todas as casas apresentavam essas benfeitorias (METCALF e EDDY, 1992).

Notícias de grandes realizações foram constatadas na Idade Média, no que se refere a coleta de esgoto. A grande despreocupação com os efluentes domiciliares, combinada com o desconhecimento da microbiologia até meados do século XIX, certamente foram às causas das grandes epidemias ocorridas na Europa no período entre os séculos XVI e XIX, coincidindo com o crescimento das populações e o início do aglomerado urbano em algumas cidades.

Em Londres, somente em 1815 os esgotos começaram a serem lançados em redes coletoras; em Hamburgo, em 1842 e em Paris, em 1880.

A preocupação com o tratamento dos esgotos surgiu inicialmente na Inglaterra, decorrente da nova epidemia da cólera ocorrida em 1848, com 25.000 vítimas fatais. Esse país, em função da pouca extensão de seus rios e ao crescimento acelerado de algumas cidades, foi um dos primeiros a sofrer com as conseqüências da poluição hídrica, sendo também o pioneiro na promulgação das primeiras leis de saneamento e saúde pública (METCALF e EDDY, 1992).

No ano de 1857 foi criado o Conselho de Proteção das Águas do Rio Tamisa, na Inglaterra.

A importância da destinação adequada dos resíduos sólidos gerados nos grandes centros urbanos foi reconhecida pela Agenda da Conferência Mundial de Meio Ambiente – Rio 92, que no capítulo 21 inclui o tema “Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionados com esgoto” que definiu quatro programas como sendo prioritários: a redução da produção de resíduos, o aumento ao máximo de reutilização e reciclagem, a promoção de depósitos e tratamento ambientalmente saudável e a ampliação do alcance dos serviços que se ocupam com os resíduos (ANDREOLI, SPERLING e FERNANDES, 2001).

Atualmente, a utilização dos resíduos gerados pela atividade humana já é uma prática bastante difundida, independentemente de ser líquido, gasoso ou sólido.

Até a alguns anos, a etapa inicial de controle de poluição das águas, normalmente com tratamento de esgoto, sempre se preocupava com a fase líquida, deixando em segundo plano a solução do problema da fase sólida, ou seja, o lodo gerado no tratamento da fase líquida.

No entanto, a busca de equilíbrio entre a Biosfera e a Tecnosfera, às quais o Homem pertence simultaneamente como vivente e como criador de tecnologias, requer que se olhe o horizonte histórico pela janela das mudanças de paradigma. É neste sentido que se torna um grande desafio apresentar propostas viáveis, em nível econômico, social e ambiental, de tal forma que a sua utilização da terra possa ser feita em ampla escala e de maneira que não comprometa o futuro daqueles que também dela usufruirão.

A partir do desenvolvimento social do homem, a produção de resíduos cresceu vertiginosamente, sem preocupação constante com sua disposição final. Com isso ocorre a quebra do Ciclo de Transformação da Matéria, com o qual a natureza procedia a sua regeneração, surgindo o fenômeno da poluição nas suas diferentes formas.

Resíduos sólidos e líquidos urbanos, como lixo e resíduos de processo de tratamento de efluentes sanitários passam a ser, entre outros, agentes causadores da poluição nas grandes áreas urbanas.

Normalmente os diferentes tipos de ETE's (Estação de Tratamento de Esgotos) tratam as águas residuais. No entanto, o tratamento do lodo é uma preocupação que se restringe atualmente à sua estabilização e o seu desaguamento para se atingir um teor de sólidos no lodo na faixa de 15% a 40%, visando quase que exclusivamente a sua retirada da área da ETE por caminhões ou similares, porém, sem uma definição clara de seu destino final.

Observa-se que com o decorrer do tempo as diversas ETE's implantadas no Brasil, através de operações e aumento do lodo, provocam o esgotamento da capacidade, tornando-se assim "uma solução provisória" para continuar recebendo a carga sólida.

A produção do lodo cresce com o aumento do número de estações de tratamento. Este fato pode ser exemplificado com a situação dos Estados Unidos: em doze anos, entre 1972 e 1984, a produção de lodo dobrou de volume, segundo MALINA (1993).

A partir de estimativas realizadas nos EUA (1993), pode-se concluir que em sete anos o lodo gerado alcançaria igual índice de crescimento, passando de 6,2 milhões de ton/ano para 12 milhões de ton/ano.

SPELLMAN (1997) verificou que a fase sólida de tratamento numa ETE é responsável por aproximadamente 40% dos custos de implantação, 50% dos custos de operação e 90% dos problemas operacionais. Cabe aqui ressaltar que este levantamento foi realizado há mais de vinte anos, sendo atualmente os requisitos de controle, monitoramento e qualidade do sólido muito mais exigentes.

Numa ETE, os principais sólidos removíveis nas diversas unidades de operação são compostos pelos seguintes tipos: material gradeado, areia, espuma e lodo/biossólido.

Este lodo/biossólido constitui o material sólido gerado durante o processo de tratamento de esgoto antes do tratamento adequado para disposição final.

A utilização mais comum para os lodos gerados nas ETE's é na agricultura. Porém, esta deve ser feita com controle, pois se de um lado o lodo possui características consideravelmente favoráveis ao seu reuso, por outro, não se deve esquecer que é um resíduo cuja origem é extremamente difusa, principalmente quando se refere aos lodos gerados em ETE's que tratam esgotos industriais, podendo vir a conter inúmeras substâncias prejudiciais tanto ao meio ambiente quanto aos animais e ao próprio homem, tais como bactérias, metais pesados e outros contaminantes.

Cada vez mais esta disposição final dos resíduos tem sido colocada em questão porque se mantêm presentes os riscos de contaminação direta do solo, das águas subterrâneas, da vegetação e mesmo a contaminação do homem por contato direto ou indireto dos alimentos vegetais (SATO et al, 1996).

Novas alternativas de disposição vêm sendo avaliadas, buscando-se identificar critérios adequados de disposição. Além da agricultura, pode-se destacar o reaproveitamento para produção de energia, bem como na construção civil.

A construção civil é apontada como o ramo de atividade tecnológica que, pelo volume de recursos naturais consumidos, parece ser o mais indiciado para absorver resíduos (SAUTEREY, 1978).

Alguns estudos de reaproveitamento do lodo sanitário na construção civil foram realizados visando a produção de blocos cerâmicos (TAY, 1987), de concreto asfáltico e de concretos convencionais (TAY, 1987; AGOPYAN e MORALES, 1992). No entanto, as questões ambientais quanto à estabilização definitiva do resíduo, desempenho e durabilidade ao longo do tempo, a partir do uso destes subprodutos, não têm sido investigadas com profundidade.

Neste trabalho será focado o aproveitamento dos lodos gerados na cidade de Osório, RS, que possui uma ETE com características biológicas, tendo como uma das suas fases construtivas de tratamento a bacia de decantação.

Especificamente, será abordada uma das possibilidades de aproveitamento das cinzas obtidas no processo de incineração, após sua retirada da bacia de decantação e disposição em leitos de secagem, e a sua utilização como insumo na produção de argamassa.

A partir das diversas informações estabelecidas pela bibliografia, observa-se que nas últimas décadas, diversos setores da sociedade têm dado cada vez maior importância e buscado alternativas para a preservação e recuperação do meio ambiente. Nesta função, destaca-se o meio científico, os focos de discussão e pesquisa, onde o progresso é evidente nas diferentes áreas de conhecimento. Entre estas, a engenharia e seu amplo leque de aplicações.

O Rio Grande do Sul possui problemas ambientais decorrentes de modelos de desenvolvimento que não consideraram adequadamente as variáveis ambientais e sociais, provocando assim degradação ambiental e suas injustiças sociais. Hoje, com a globalização e também com suas conseqüências ambientais, sociais e econômicas nas escala local e global. O surgimento vertiginoso de novas tecnologias exige conhecimento e precaução, remetendo às discussões sobre os mecanismos de participação da sociedade nas decisões de políticas de desenvolvimento.

Diante desta situação, grandes avanços foram conquistados. Dentre eles destacam-se: Zoneamento Ecológico-Econômico do Litoral Norte e o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, que se revelam como grandes instrumentos de participação da sociedade, que mesmo não sendo órgão de licenciamento, penalização e/ou fiscalização, executa funções múltiplas e importantes que são as de organizar o crescimento e desenvolvimento da região e gerenciar a gestão do uso das águas da região em seus diferentes conflitos de usos.

A necessidade de preservação do meio ambiente vem criando demanda por mudanças de paradigma ambiental, nos quais empresas vêm procurando conhecer a origem dos seus problemas, buscando tecnologias que substituam a convencional de fim-de-tubo, como modificações no processo produtivo com vistas à prevenção e controle de poluição. Este é o estágio em que atualmente encontram-se os diversos municípios do Brasil. Estes estão em fase de entendimento no que tange às conseqüências diretas e aos grandes benefícios que o tratamento ambiental adequado ao seu espaço local e regional trará, e certamente evitará transtornos e gastos desnecessários para soluções.

O saneamento dos efluentes líquidos gerados por uma comunidade municipal é um dos grandes desafios a que estão sujeitos os administradores atuais e futuros. Diante deste problema surge a adoção de diferentes métodos ou sistemas de tratamento, aqui caracterizados como ETE's, que por vezes implicam em investimentos de valores significativos e que com o passar do tempo pode-se constituir em uma solução alternativa ou convencional, tornando-se assim grande foco de geração de outros problemas em função do método de tratamento e operacional do sistema.

Em Osório, o sistema de tratamento de esgoto misto é constituído de três etapas no processo, quais sejam: Bacia de Decantação, Área de Plantação (tipo *wetlands*) e Lagoa de Polimento.

A Bacia de Decantação – também denominada *clarificador* – construída de concreto, tem a função de facilitar a decantação e a concentração do lodo depositado no fundo do tanque. Estando a ETE em fase de operação efetiva desde o ano de 1998, atualmente a sua capacidade de retenção da parte sólida está se esgotando. O lodo deverá então ser transferido para outro local, com a finalidade de adensamento do sólido de forma que possa a ser descartado com maior facilidade (com volume menor).

Este descarte do lodo para ser desidratado, em função do projeto estabelecido, atendendo também à legislação ambiental, deverá permanecer em leitos de secagem para que, num período de 30-40 dias, fique desidratado. Será necessária uma nova remoção deste lodo e sua disposição final em função da quantidade.

Diante do exposto, justifica-se o desenvolvimento deste trabalho, que tem por objetivo apresentar propostas para que alternativas de saneamento passem a desempenhar o papel a que

foram propostas, tornando-se assim obras com sustentabilidade no decorrer de sua operação efetiva. Que seja esta a premissa, e os objetivos convirjam para viabilizar o aproveitamento do resíduo gerado, garantindo, assim, a qualidade ambiental da região.

Considerando o aspecto ambiental, o trabalho servirá como um referencial e suporte de informações para futuros estudos e pesquisas, impedindo, com isto, que a região com características geológicas frágeis venha a ser afetada pela disposição final destes resíduos. Da mesma forma, o reuso do lodo surge como alternativa bastante viável, o que proporcionará uma certeza de que a ETE é favorável para o município e evitando com isto gastos desnecessários em preparo de áreas.

Por fim, o estudo proposto surge com ponto fundamental de interligação entre as situações:

- Bacia de decantação da ETE, em fase de esgotamento;
- Não existência de áreas disponíveis para disposição final;
- Não existência de aterros sanitários licenciados próximos à área da ETE para receber o lodo de esgoto desaguado;
- Existência de aterro sanitário licenciado distante aproximadamente 120 km da ETE, o que onera o município com o transporte;
- Inviabilidade de preparar área(s), através de técnica de engenharia, com possibilidade de receber este resíduo desaguado, oneroso aos cofres públicos municipais.

1.1. Problema e Justificativa

Os estudos que tratam do reuso ou destino adequado dos resíduos sólidos gerados nos diferentes tipos de ETE's passam a receber maior atenção dos técnicos e das autoridades envolvidas com o controle do meio ambiente.

A disposição final deste tipo de resíduos tem sido alvo de diversos estudos, uma vez que tem se tornado um grave problema ambiental, porque se por um lado promove-se o saneamento básico e a saúde pública com o tratamento dos esgotos, por outro se gera nos processos compostos indesejáveis devido à alta carga poluidora e patogênica que carregam.

O desenvolvimento da atuação técnica pelo incremento do reuso do lodo impõe medidas urgentes de um melhor conhecimento e ampliação da rede de troca de informações em todo o

país. A cada estudo local, é fundamental a revisão bibliográfica existente, servindo assim como via de comunicação global.

A adoção da alternativa de utilização das cinzas dos resíduos da ETE de Osório na produção de cerâmicas e/ou tijolos surge como uma prática que também pode ser utilizada. Entretanto, a escassez deste recurso mineral na Região associada à carência de estudos mais aprofundados que possibilitam identificar as possíveis reservas, tornam esta possibilidade pouco viável uma vez que a matéria prima utilizada pelas olarias na região, é oriunda de outros municípios.

Diante da situação, optou-se em desenvolver o trabalho na adoção da técnica de utilização das cinzas do Lodo gerado na ETE de Osório, na construção civil, como adição na argamassa visto que a indústria da construção civil é a que mais se desenvolve na Região do Litoral Norte.

A disposição final – caso não seja adotado o critério de reuso – está diretamente relacionada ao alto custo de viabilização e preparo do local adequado.

Do ponto de vista sócio-econômico o estudo, embora limitado, significará, baseado nos resultados obtidos, a possibilidade de fornecer uma alternativa técnica para o reuso do lodo, tornando-se um forte incremento de segurança para evitar que um dos itens citados acima venha de ser executado, e principalmente a ETE seguirá sua função, garantindo com isto sua sustentabilidade.

Sob a ótica econômica municipal, a manutenção da infra-estrutura da ETE a torna sustentável e não de caráter temporário ou provisório.

Para um melhor entendimento, para estas condições, uma população de 1 milhão de pessoas geraria um fluxo de esgoto de 400.000 ton/dia, uma quantidade de lodo úmido de 8.000 ton/dia e uma quantidade de lodo seco de 120 toneladas. Com o método de incineração da matéria seca, gerar-se-ia uma quantidade de cinzas de aproximadamente 40 toneladas (GEYER, 2001).

Estas quantidades podem apresentar variações dependendo dos processos de tratamento e desidratação utilizados como das características e da forma da coleta do esgoto. A média de geração de lodo seco por habitante encontra-se entre 100g a 150g ao dia (ANDREOLI, 1999; WQI, 1994).

A taxa média de lodo em lagoas facultativas é da ordem de 0,03 a 0,08 m³/hab.ano (SILVA, 1993). Através de medições em duas lagoas facultativas no Estado de São Paulo, observou-se uma elevação média em torno de 1,5 a 2,3 cm/ano. Como consequência desta baixa taxa de acúmulo, a ocupação do volume da lagoa é baixa.

A cidade de Osório é caracterizada pela adoção do sistema fossa-sumidouro nas residências, onde o excedente é coletado por uma malha de canalização que atende aproximadamente 60% das residências. Não há redes de separador absoluto, sendo a coleta realizada através da rede de drenagem pluvial em sistema misto de coleta, conforme informações obtidas junto à Secretaria de Obras da Prefeitura Municipal de Osório.

Até o ano de 1998 não havia qualquer tipo de tratamento do total de esgoto. Todo o volume de esgoto misto, por canalização e/ou drenagem natural, teria como ponto de chegada a Lagoa do Marcelino – sem nenhum tratamento – levando-se ao corpo receptor uma elevada carga poluidora.

A constante preocupação com esta situação fez com que, no ano de 1991, o município firmasse convênio com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul – CECLIMAR, com vistas a realizar o diagnóstico da Lagoa do Marcelino, corpo receptor dos efluentes gerados pela comunidade residente. O convênio estabeleceu os seguintes estudos:

- a) Levantamento da qualidade da água;
- b) Levantamento da carga sedimentar;
- c) Levantamento da comunidade biótica (vertebrados e invertebrados);
- d) Proposta de saneamento – medidas profiláticas e terapêuticas.

A partir do diagnóstico, em que se tinha a real situação do corpo receptor, elaborou-se a proposta para saneamento, que atenderia inicialmente 25% da comunidade residente. A proposta seria a construção de ETE com características biológicas, compreendendo sua construção e operação efetiva composta de três fases distintas. A Prefeitura Municipal de Osório, a partir da consolidação da proposta – com recursos próprios – iniciou o projeto de licenciamento junto à FEPAM e, tão logo licenciada, em 1995 as obras tiveram início. Sua inauguração ocorreu em 6 de junho de 1998, conforme informações obtidas junto à Prefeitura Municipal de Osório. A **Figura 1** mostra a representação deste projeto.

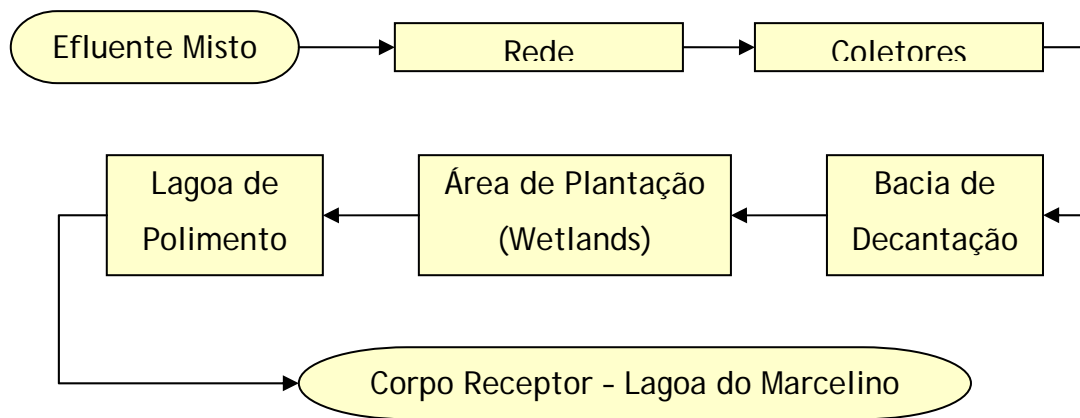


Figura 1 - Representação esquemática da Estação de Tratamento de Esgoto de Osório, RS.

A operação efetiva da ETE na sua primeira etapa (bacia de decantação, receptora da matéria sólida), durante estes cinco anos de atividade, gerou grande volume de carga sedimentar (em torno de 730 m³) a tal ponto que atualmente encontra-se quase saturada, ou comprometida para continuar a exercer suas funções. Diante da situação, estão previstas as obras de construção dos leitos de secagem para depositar a carga de sólidos existentes na bacia.

Os leitos constituem uma fase de desaguamento do lodo úmido já estabilizado, que é um dos métodos mais antigos usados, que certamente reduzirá o volume. No entanto, cabe destacar o problema que é o não conhecimento do lodo gerado, quer seja: quanto sua composição química, distribuição, e granulometria, mas fundamentalmente a não existência de locais que estejam disponíveis para a disposição final destes resíduos após secagem nos leitos.

Para que se possa evoluir no tema, o presente trabalho pode ser justificado com a necessidade de que sejam estudadas, com urgência, alternativas seguras para a disposição final do lodo gerado pela ETE de Osório, ratificado ainda mais por estar localizada no Litoral Norte do Estado do Rio Grande do Sul, região muito fragilizada pela sua constituição e formação geológica.

1.2. Objetivos

Este trabalho tem por objetivo principal contribuir para os estudos de alternativas de disposição final dos lodos gerados na Estação de Tratamento Biológico de Esgoto Misto da cidade de Osório, RS, verificando a potencialidade de utilização da cinza de Lodo de esgoto como material suplementar na produção de argamassa.

Os teores de substituição, em massa, de cimento Portland por Cinza de Lodo de Esgoto (CLE), após definidas para as argamassas, serão submetidos à verificação do seu desempenho através de suas propriedades mecânicas, a partir da realização de ensaios de resistência à compressão e absorção capilar.

Também serão realizados ensaios de lixiviação e solubilização na argamassa, com o objetivo de verificar uma destinação final adequada e segura para este resíduo, através do seu encapsulamento na matriz cimentícia, uma vez que a CLE possui em sua composição poluentes considerados perigosos e/ou nocivos à saúde pública e poderão pôr em risco o meio ambiente.

Por fim, propõe-se divulgar alternativas de disposição destes resíduos, com vista a buscar uma sinalização científica sobre novas alternativas de reuso de resíduos de lodo de esgoto, que indiquem tendências para melhor direcionar empreendimentos futuros, incluindo o uso de ferramentas que considerem os impactos ambientais.

1.3. Limitações do Trabalho

Considerando as limitações de tempo e complexidade dos estudos inerentes ao processo que trata de dissertação de mestrado profissionalizante é importante estabelecer algumas limitações, as quais se destacam:

- a) O material estudado foi coletado na ETE do Município de Osório, RS, em plena atividade, uma vez que se trata da única ETE deste tipo no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, não havendo similar, diferenciando-se das demais ETE's já implantadas;
- b) Não se realizou a identificação dos elementos emitidos na atmosfera, decorrentes do processo de queima. Para realização dos ensaios de “emissão de gases”, contatou-se com a Empresa “ISATEC – Pesquisa, Desenvolvimento e Análises”, com sede em Rio Grande, RS, e na oportunidade o Eng. H. Osmus relatou que a empresa realiza a identificação dos elementos que solicitamos, a partir da composição química original. O método utilizado é a queima do resíduo, onde as fumaças migram por através de uma chaminé, e no final do tubo é coletado material para identificação dos elementos solicitados. Este ensaio não foi realizado devido ao alto custo, valor em torno de R\$ 10.000,00 a R\$ 15.000,00;

- c) O trabalho foi desenvolvido na aplicação das cinzas de lodo de esgoto em na produção de argamassas, com vistas à confecção de postes, tubos, reboco interno, pisos internos, e ao mesmo tempo, para que sirva de material de apoio e incentivo para outros trabalhos.

1.4. Estrutura e Organização do Trabalho

A dissertação é composta por nove capítulos e está organizada da seguinte maneira:

O Capítulo 1 aborda a necessidade do reaproveitamento dos resíduos, com ênfase ao lodo de esgoto, seguido de uma pequena revisão bibliográfica e o histórico da implantação da ETE da cidade de Osório. Apresenta identificação e caracterização do problema, objetivos gerais, limitações do trabalho e a estrutura da dissertação.

No Capítulo 2 é apresentada a etapa inicial de controle de poluição das águas, onde se preocupa normalmente com o tratamento dos esgotos, deixando em segundo plano a solução do problema do lodo gerado no tratamento da fase líquida.

No Capítulo 3 é mostrado o espaço que o estudo do lodo vem ganhando no Brasil, face ao aumento do número de estações de tratamento de esgoto implantadas e à necessidade de se atender às exigências ambientais e saúde pública.

No Capítulo 4 relatam-se o sistema de tratamento de esgoto, obras e instalações implantados na Cidade de Osório – RS, obras da ETE e método de geração do lodo de esgoto.

No Capítulo 5 são apresentadas as características do Lodo de esgoto da ETE de Osório – “in natura”, metodologia de obtenção do lodo para os experimentos propostos no trabalho.

O Capítulo 6 apresenta parte do Programa Experimental onde foram estudadas a produção e caracterização da Cinza de Lodo de Esgoto (CLE), bem como a metodologia adotada para obtenção desta CLE.

No Capítulo 7 é apresentada parte do programa experimental proposto neste trabalho, que consiste da verificação das possibilidades de utilização das cinzas do lodo de esgoto misto como adição, em teores definidos, em argamassa, bem como suas implicações ambientais no que se refere à estabilização destes resíduos nesta aplicação. Neste Capítulo estão previstas as etapas:

- a) Experimentos com adição das cinzas de lodo de esgoto em argamassa, avaliando-se propriedades mecânicas;
- b) Avaliação da capacidade da argamassa em solidificar, estabilizar ou encapsular de forma segura os materiais nocivos presentes nos resíduos e, para isto, está prevista a utilização de ensaios de Solubilização dos materiais produzidos.

No Capítulo 8 são apresentadas as conclusões, considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

O Capítulo 9 apresenta as Referências Bibliográficas.

2. TRATAMENTO DE ESGOTO E GERAÇÃO DE LODO

Na busca de propostas alternativas para a carga sólida gerada na ETE de Osório, RS, além da indisponibilidade de local adequado, é reforçada pela fragilidade dos ecossistemas regionais, devendo assim trazer inúmeros benefícios, tais como: garantir a sustentabilidade da ETE e fundamentalmente identificar se a obra apresenta características construtivas, operacionais e funcionais, de acordo com a legislação ambiental.

Nas últimas décadas, diversos setores da sociedade têm dado cada vez mais importância ao meio ambiente, buscando alternativas para a sua preservação e recuperação. No meio científico, os focos de discussão e pesquisa são múltiplos e o progresso é evidente nas diferentes áreas de conhecimento. Entre elas está a engenharia e seu leque de aplicações (ROCHA, 2002).

Uma das principais características do subdesenvolvimento brasileiro é a degradação de vários de seus recursos ambientais. Entre os diversos problemas desta área, pode-se destacar o tratamento dos efluentes líquidos, seguido da disposição final da carga sólida gerada em qualquer que seja o sistema de tratamento implantado, o que causa – em consequência direta – a contaminação do solo e da água.

Estes problemas são, por vezes, fortemente influenciados pelos modelos econômicos que podem ou não incorporar o capital natural em seus custos, por decisões políticas que permitem a construção de obras que têm por objetivo fundamental sanar o problema.

A avaliação da aplicação de tecnologias limpas e realização de ações orientadas para a sustentabilidade dos recursos ambientais devem ter como princípio – nesta ordem – a priorização da não geração do resíduo, seguida da minimização ou redução, reutilização, reciclagem, a respeito da prática de tratamento e disposição final utilizada. A **Figura 2** mostra a representação destas etapas.

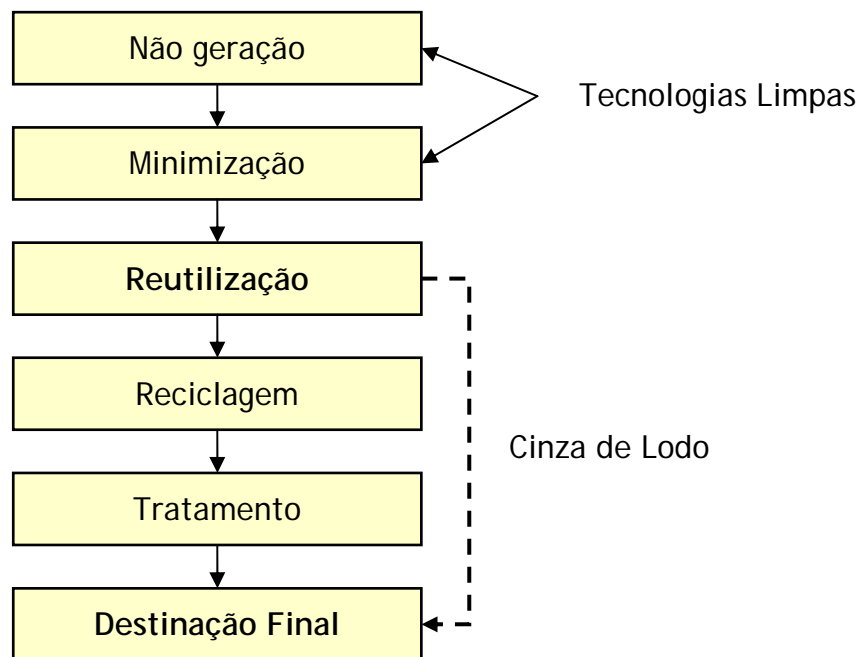


Figura 2 - Fluxograma do Princípio de Gestão de Resíduos (NATA, 2003)

O gerenciamento do lodo pode representar até 60% dos custos operacionais das ETE's (ANDREOLI e PEGORINI, 2003), uma vez que exigem disposição e/ou reutilização segura, visto ser fundamental a adoção de alternativas com menor impacto possível associado a custos atrativos.

Com o decorrer do tempo de operação de ETE's e com aumento da geração de lodo, poderá ocorrer o esgotamento da capacidade de armazenamento da fase sólida gerada pelo sistema implantado. É nesta fase que vem ocorrendo a maior atenção dos técnicos, com vistas a apresentar alternativas para disposição adequada do lodo, bem como propor critérios de reutilização.

STEINLE (1993) expõe a situação da aplicação de lodo de esgotos municipais em áreas rurais da Alemanha, onde as pequenas ETE's, após degradação do lodo (geralmente aeróbia), manteve-se o lodo armazenado em tanques até que os fazendeiros viessem buscá-lo, para aplicação em solos agrícolas. O desinteresse dos fazendeiros, segundo o autor, pelo lodo, obrigou algumas comunidades a fazer a desidratação mecânica do lodo.

A aplicação de lodo na agricultura, conforme se observa, é precedido de controle, visto não se poder esquecer que é um resíduo cuja origem é difusa. Além da agricultura, são conhecidas

novas linhas básicas de aplicação no sentido de disposição final e também do aproveitamento deste resíduo. Após a agricultura passou-se a pesquisar as possibilidades de utilização na geração de energia e na construção civil. É o chamado “*ACE Plan*”, áreas de agricultura (A), construção (C) e produção de energia (E) (ACE PLAN, 1990).

Os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água (VON SPERLING, 1996). A fração restante (0,1%), inclui sólidos orgânicos e inorgânicos em suspensão e dissolvidos, bem como microorganismos, e constitui a causa da necessidade de tratamento dos esgotos (Figura 3).

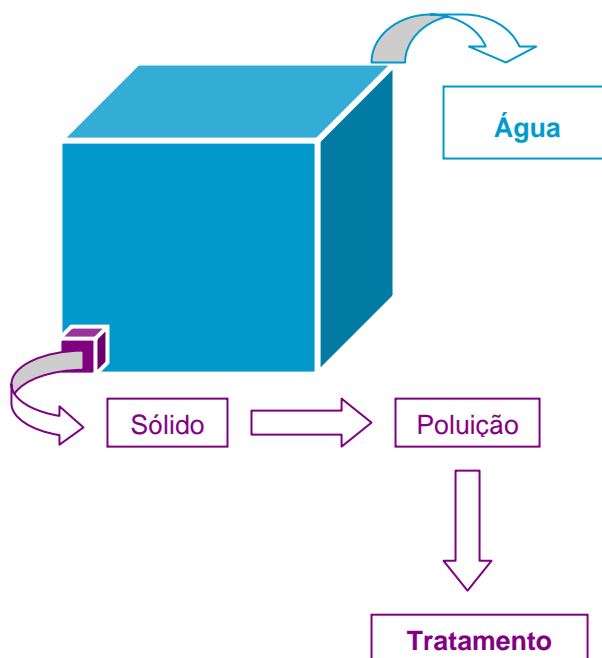


Figura 3 - Proporção sólidos/água nos esgotos domésticos (VON SPERLING, 1996)

O lodo contém em torno de 98,5 % de água na sua composição em massa, portanto a quantidade de lodo seco pode chegar, em massa, a 1,5 % do lodo úmido. Adotando-se o processo de incineração deste lodo, 100% seco, obtêm-se de cinza aproximadamente, em massa, 33% do material seco (GEYER, RECENA e SCHULER, 1995).

A maior experiência brasileira de reuso ou reciclagem de produtos gerados por indústrias na produção de materiais de construção civil é a conduzida pela indústria cimenteira, que recicla principalmente escórias de alto-forno e cinzas volantes. YAMAMOTO et al (1997) estimam que

em 1996 a indústria cimenteira brasileira ao adotar a reciclagem maciça de cinzas volantes e escórias granuladas de alto-forno básica, além da calcinação de argilas e adição de fíler, calcário, reduziu a geração de CO₂ em 29% e uma economia de combustível de 28%.

MARCIANO e KHIARA (1997) estimam que a indústria cimenteira economizou entre 1976 e 1995 cerca de 750 mil toneladas de óleo combustível, incinerando resíduos como casca de arroz, serragem e pedaços de madeira, pó de carvão vegetal, pedaços de pneus e borrachas, cascas de babaçu, entre outros.

A reutilização do lodo gerado em ETE's foi testada na fabricação de blocos de concreto para contrapiso e, também, em argamassas. A complementação desses produtos com os resíduos de ETE's contribuiu para um aumento de 5% na resistência em testes de compressão, além de reduzir os custos com a produção (CORDEIRO, 2002).

CORDEIRO (2002) recomenda que o uso de materiais de construção produzidos com o lodo é mais viável para ambientes internos. “Isto porque os produtos contendo lodo na fabricação têm uma maior capacidade de absorção da água, o que inviabiliza o uso em construções externas, exposta às intempéries”.

Uma vez identificada a possibilidade de se apresentarem como alternativas na gestão da reutilização do lodo, minimizar-se-á novas implicações ambientais e certamente será dado outro passo fundamental para a possibilidade de recuperação do meio já degradado, quer seja água ou solo, tendo em vista não termos mais o potencial de degradação (lodo), o que irá permitir o seu manejo sustentado.

A etapa inicial de controle de poluição das águas se preocupa normalmente com o tratamento dos esgotos, deixando em segundo plano a solução do problema de lodo gerado no tratamento da fase líquida.

Observa-se que além da aplicação de valores significativos nestas obras, no caso ETE's, associada ao não monitoramento adequado do sistema de tratamento, muitos dos casos como se não bastasse o comprometimento do meio físico, com o decorrer do tempo pode se tornar apenas mais uma obra com soluções provisórias e não definitiva (SOBRINHO, 2002), comprometendo, então, o ecossistema e a obra.

O sistema de esgotamento sanitário compreende três fases distintas e interligadas a coleta dos esgotos, quais sejam (SOBRINHO, 2001):

- a) Tratamento dos esgotos;
- b) Disposição final do efluente líquido;
- c) Disposição final do resíduo.

A produção de esgoto doméstico (residencial, comercial e público, também aqui incluído o esgoto de pequenas indústrias), bem como a qualidade da água do subsolo que se infiltra nas redes de esgoto, é muito importante para se estimar as características do esgoto sanitário. A quantidade de esgoto doméstico produzido, expressa em l/hab.dia, é afetada por diversos fatores, como condições climáticas, tamanho e condições econômicas da população, grau de industrialização da área, medição e serviços de água, oferta e custo da água etc.

Ressalta-se que todos os sistemas de tratamento de esgoto em sua fase líquida, seja pela remoção de sólidos sedimentáveis do esgoto (uso de produtos químicos que combinados com o esgoto geram sólidos em suspensão), seja pelo tratamento biológico (que transforma matéria orgânica biodegradável em sólidos suspensos voláteis que floculam), produzem um resíduo sólido – denominado de lodo de esgoto – que é removido do sistema de tratamento da fase líquida e que necessita de tratamento e disposição final.

A solução do problema do lodo gerado no tratamento da fase líquida do esgoto é tão ou mais complexa do que o tratamento do esgoto propriamente dito e, em algumas ETE's, chega a representar mais de 50% do custo do tratamento total quando incluída a disposição final do lodo (SOBRINHO, 2002).

2.1. Coleta de esgoto sanitário

As tubulações de coleta do esgoto sanitário implantadas junto às vias públicas ou de canais a céu aberto, nos quais são lançados os esgotos domésticos das habitações, é realizada através de redes. Estas redes coletam e transportam os esgotos domésticos que, por força da gravidade ou sistema de bombeamento, são levados até a ETE. Em situações não recomendáveis, os esgotos são lançados diretamente ao corpo hídrico.

Para caracterização das redes, a seguir se apresenta a nomenclatura de acordo com suas variantes, quais sejam:

- Redes: as que possuem pequeno diâmetro e estão instaladas junto às edificações;
- Coletores: aqueles que recebem os esgotos das redes de uma determinada área;
- Interceptores: redes de grande diâmetro que coletam os esgotos de um bairro, micro bacia ou bacias hidrográficas, transportando estes, por gravidade;
- Emissários: que se diferenciam dos anteriores por transportarem os esgotos por bombeamento.

Basicamente, quanto ao tipo de coleta, existem dois tipos: *sistema de separador absoluto* e *sistema unitário ou misto* (combinado). O sistema separador absoluto consiste no conjunto de redes, coletores, interceptores e emissários que coletam e transportam única e exclusivamente os esgotos sanitários domésticos. O sistema misto ou unitário consiste de rede que coletam conjuntamente os esgotos sanitários domésticos e os esgotos pluviais (GEYER, 2001).

A adoção de um ou outro sistema de coleta depende das características da micro bacia ou bacia hidrográfica, do tipo de tratamento de esgoto e, principalmente, dos recursos ou custos de implantação e operação de uma ou duas redes. Entretanto, é importante salientar que nos países em desenvolvimento a adoção do sistema tipo misto tem permitido uma maior velocidade de implantação e abrangência do Sistema de Esgoto Sanitário, uma vez que a implantação de uma única rede é mais rápida e com custos menores.

A questão do tipo de sistema de coleta tem sido alvo de inúmeras discussões por parte do poder público, Prefeitura e Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), o que não é objeto deste trabalho. Entretanto, cabe ser ressaltado mais especificamente que na cidade de Osório, RS é adotado somente o sistema misto, com rede que atende aproximadamente 65% do total das residências.

2.2. Tratamento do esgoto – fase líquida e geração de lodo

O tratamento do esgoto sanitário implica na remoção de matéria orgânica e inorgânica em suspensão e dissolvida do esgoto.

O tratamento do esgoto sanitário bruto pode ser feito por método físico-químico (muito pouco utilizado no Brasil), tendo sido implantado como solução provisória em ETE. Isto

contribuiu em primeira etapa apenas com o tratamento primário avançado e uma segunda etapa é necessária ser complementada por processo biológico, com a desativação de aplicação de coagulante. Este método é muito utilizado em áreas de veraneio no litoral do Estado de São Paulo, precedendo de lagoas de estabilização, com aplicação de produtos químicos apenas nas temporadas de verão. A desvantagem do tratamento físico-químico do esgoto bruto está relacionada com a relativa baixa remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e à elevada produção de lodo que ainda necessita de estabilização (SOBRINHO, 2002). A disposição final do lodo gerado, principalmente quando se utiliza alumínio, requer cuidados especiais, para o uso agrícola.

No que diz respeito aos tratamentos biológicos, os mais comuns utilizados no Brasil e as respectivas estimativas de produção de lodo são chamadas de soluções individuais ou coletivas.

Nas soluções individuais, têm-se como exemplo as fossas sépticas e tanques de Imhof e os reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). No tratamento coletivo, tem-se a coleta de esgoto de grandes núcleos ou centros urbanos. Este deve ser realizado em diferentes níveis, cujo objetivo é de cumprir a legislação relativa aos padrões de lançamento. Dentre os diferentes níveis, destacam-se: tratamento preliminar, tratamento primário e tratamento secundário.

O *tratamento preliminar* constitui-se na remoção de grandes sólidos e areia para proteger da abrasão as demais unidades de tratamento (dispositivos de transporte, bombas e tubulações) e facilitar o transporte de líquidos.

No *tratamento primário*, os esgotos ainda contêm sólidos não grosseiros em suspensão, cuja retirada deve ser feita em unidades de sedimentação, reduzindo a matéria orgânica no efluente. Os esgotos fluem vagarosamente pelos decantadores, permitindo com isto que os sólidos de maior densidade sedimentem gradualmente no fundo, formando o lodo primário bruto com materiais flutuantes como graxas e óleos, de menor densidade. Neste nível temos a eliminação média de DBO em torno de 30%.

No *tratamento secundário* se processa principalmente a remoção de sólidos e matéria orgânica sedimentável e, eventualmente, nutrientes como nitrogênio e fósforo. Após, os níveis primário e secundário a eliminação de DBO deve alcançar 90%. A etapa de remoção biológica dos poluentes e sua eficiência permitem produzir um efluente em conformidade com os padrões

de lançamento previsto na legislação ambiental. Destacam-se abaixo os principais sistemas de tratamento de esgoto em níveis secundários:

Sistema de lagoas de estabilização: trata-se de um dos sistemas de tratamento de esgoto mais antigos e mais utilizados no Brasil devido ao seu baixo custo, à sua simplicidade operacional e às condições climáticas favoráveis. Normalmente este tipo de tratamento é indicado onde há disponibilidade de grandes áreas para sua implantação. Segundo YANEZ (1982), nas lagoas com mais de 10 anos, os biossólidos ocupam mais de 30% do seu volume e para as lagoas com mais de 20 anos essa proporção já ultrapassa 60%. Esse acúmulo de biossólido reduz o volume útil da lagoa, prejudicando a eficiência do processo. Segundo MARA (1976) e YANEZ (1982), a limpeza das lagoas deve ser realizada antes que o volume de biossólido ultrapasse 50% do volume total da carga. As lagoas de estabilização podem ainda ser classificadas em quatro categorias:

- a) *Lagoas Facultativas:* neste tipo de sistema, a DBO solúvel e finamente particulada é estabilizada aerobicamente por bactérias dispersas no meio líquido, ao passo que a DBO suspensa é estabilizada anaerobicamente por bactérias no fundo da lagoa. O oxigênio requerido pelas bactérias aeróbias é fornecido pelas algas através da fotossíntese.
- b) *Lagoa Anaeróbia:* A DBO é em torno de 50% estabilizada na lagoa anaeróbia, que é mais profunda e com menor volume, enquanto a DBO restante é removida pela lagoa facultativa. Profundidade até 4,5 metros, reduzida área superficial.
- c) *Lagoa Aerada Facultativa:* Os mecanismos de remoção de DBO são similares aos de uma lagoa facultativa. Neste sistema o oxigênio é fornecido por aeradores mecânicos, ao invés de fotossíntese.
- d) *Lagoa Aerada de Mistura Completa – Lagoa Facultativa:* A energia introduzida por unidade de volume da lagoa é elevada, o que faz com que os sólidos, principalmente a biomassa, permaneça disperso no meio líquido, ou em mistura completa. A decorrente maior concentração de bactérias no meio líquido aumenta a eficiência do sistema de remoção da DBO, o que permite que a lagoa tenha um volume inferior ao de uma lagoa facultativa.

e) *Lagoa Aerada de Mistura Completa – Lagoa de Decantação*: Similar ao sistema anterior, com a diferença de que a unidade de decantação é constituída por uma lagoa de menores dimensões, onde o lodo deve ser retirado em período não superiores a 5 anos.

A **Figura 4** mostra esquematicamente o sistema de tratamento de esgoto sanitário por lagoas de estabilização.

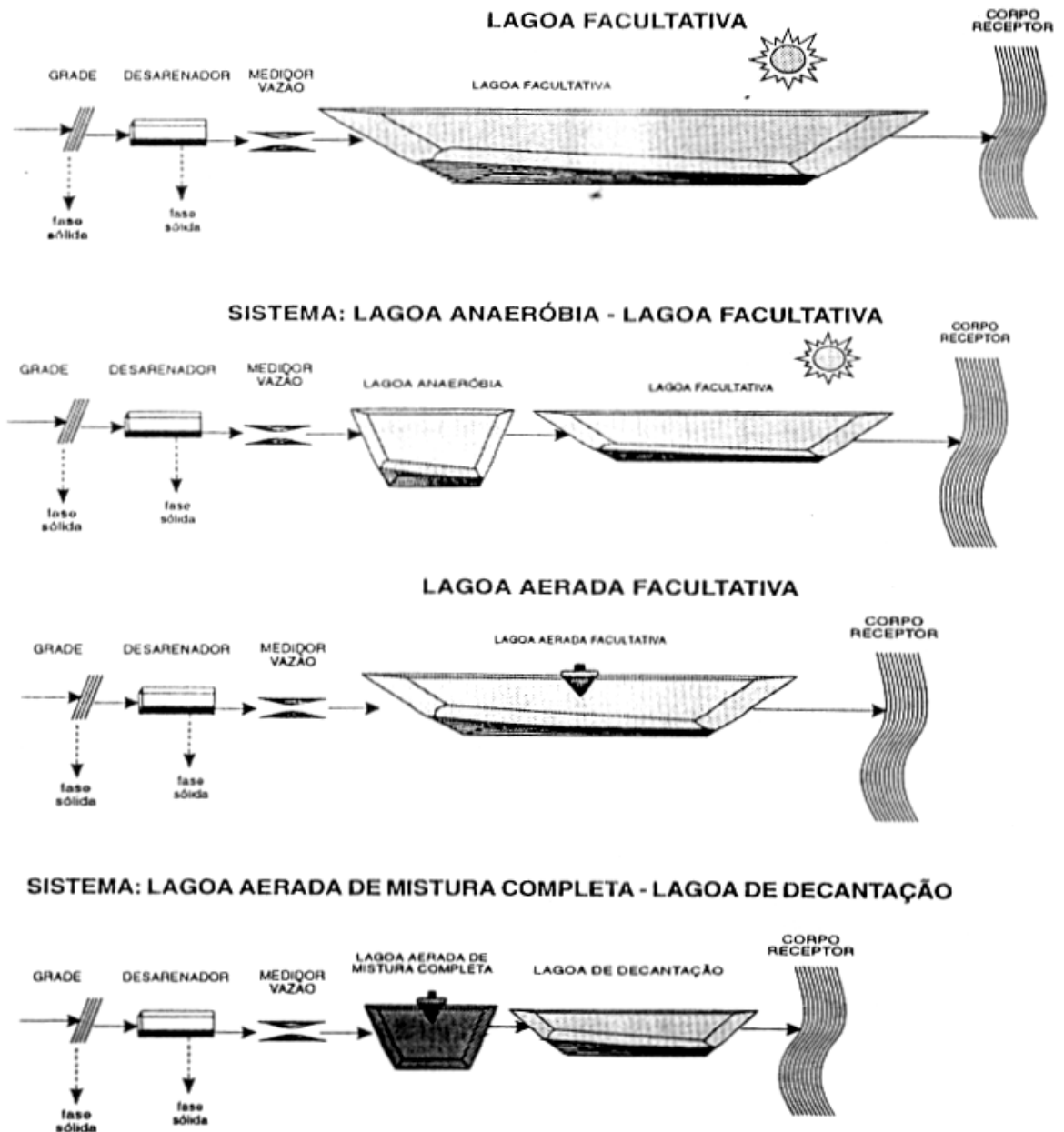


Figura 4 - Representação esquemática do Sistema de Tratamento de Esgoto Sanitário Doméstico por Lagoas de Estabilização (SPERLING, 1999)

Sistema de Lodos Ativados: tipo de sistema de tratamento de esgoto sanitário por Lodos Ativados que tem tido cada vez mais utilização, principalmente em grandes centros urbanos, pois permite com pequenas áreas se tratar grande quantidade de esgoto. Pode ser executado de três formas (ANDREOLI et al., 1999), quais sejam:

- a) *Lodos Ativados Convencional:* É composto por decantador primário, tanque de aeração, decantador secundário, adensador de lodo, digestor anaeróbio e desaguamento do lodo. A concentração de biomassa no reator é bastante elevada, devido à recirculação dos sólidos (bactérias) sedimentados no fundo do decantador secundário. A biomassa permanece no sistema mais tempo do que o líquido, o que garante uma elevada eficiência na remoção da DBO.
- b) *Lodos Ativados por Aeração Prolongada:* Similar ao sistema convencional, com a diferença que a biomassa permanece mais tempo no sistema, sendo necessário para tanto, os tanques de aeração maiores. Com isto, há menos DBO disponível para as bactérias, o que faz com que elas se utilizem da matéria orgânica do próprio material celular para sua manutenção.
- c) *Lodos Ativados de Fluxo Intermitente:* A operação do sistema é intermitente. Ocorrem no mesmo tanque, em fases distintas, as etapas de reação e sedimentação, onde os aeradores são ligados e desligados, respectivamente. Sendo os reatores desligados, os sólidos sedimentam-se, ocasião em que se retira o efluente (sobrenadante). Ao se religar os aeradores, os sólidos sedimentados retornam a massa líquida, o que dispensa as elevatórias de recirculação. Neste método não existem decantadores secundários.

Sistema de filtro biológico: A estabilização da matéria orgânica é realizada por bactérias que são aderidas a um suporte de pedras ou materiais sintéticos. A eliminação de patogênicos está entre 60-90%.

Sistema anaeróbio simplificado: Constitui-se em um sistema similar ao filtro anaeróbio.

Sistema de disposição no solo: É um sistema simplificado que requer áreas extensas. Este método não é utilizado devido às grandes implicações ambientais, contaminação das águas superficiais e subterrâneas, vegetação, etc.

A partir da identificação dos diferentes tipos de tratamento de esgoto em nível secundário, aqueles que vêm sendo utilizados são os métodos de Lagoas de Estabilização e os por Lodos Ativados.

Pode ainda existir o tratamento terciário. Contudo, este nível de tratamento é pouco aplicado devido principalmente ao seu alto custo de implantação, embora já venha sendo utilizado em alguns países desenvolvidos. Consiste em remover os poluentes tóxicos ou não biodegradáveis ou eliminação dos poluentes não degradados na fase secundária.

Num último nível de tratamento, está a desinfecção. Os microorganismos patogênicos em sua grande parte foram eliminados nas etapas anteriores, mas não na sua totalidade. A desinfecção total pode ser feita pelo processo de maturação artificial (via cloração, ozonização ou radiação ultravioleta) ou por lagoa de maturação (que requer grandes áreas, pois necessita pouca profundidade para penetração de radiação solar ultravioleta).

2.3. *Wetlands*¹

Alternativamente, é possível o uso de métodos considerados biológicos. Nas últimas décadas, o uso planejado de terras úmidas com o tratamento de esgoto e melhoria da qualidade da água começou a ser seriamente estudado e implementado de maneira controlada, descritos a seguir:

2.3.1 Banhados naturais

São áreas alagadas, permanentes ou temporariamente, conhecidas na maior partes do país como brejo, também denominados de pântanos, charcos, varjões e alagados, entre outros (BRIX, 1993).

O papel funcional dos banhados na melhoria da qualidade de água tem sido um argumento fundamental para a preservação de terras úmidas naturais e, em anos mais recentes, para a construção de sistemas de banhados para tratamento de esgoto.

¹ *Wetlands*, do inglês, significa “banhados”.

É possível identificar algumas características comuns como a presença de água rasa ou solo saturado de água, o acúmulo de materiais orgânicos provavelmente da vegetação e a presença de plantas e animais adaptados à vida aquática.

Estudos realizados no Brasil aprofundam pouco os aspectos conceituais relacionados a estes termos, especialmente em relação à palavra “banhado”, que é utilizada principalmente no Rio Grande do Sul, onde este ecossistema ocupa (ou ocupava) grandes extensões da zona costeira e também de regiões internas. Ali, são definidos como áreas de solo cobertas por uma delgada lâmina de água, com vegetação palustre e sem o desenvolvimento de uma população limnética (CASHIN, 1992).

A Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) usa a definição de *Junk* para zonas que correspondem a banhados e áreas úmidas. Estas são “zonas de transição terrestre-aquáticas que são periodicamente inundadas por reflexo lateral de rios e lagos e/ou pela precipitação direta ou pelas águas subterrâneas e que resultam num ambiente físico-químico particular que leva a biota a responder com adaptações morfológicas, anatômicas, fisiológicas, fenológicas e/ou etológicas e a produzir estruturas de comunidades características para estes sistemas”.

Estes ecossistemas, em sua grande maioria, ocorrem associados aos outros e também com outros tipos de ecossistemas existentes na Zona Costeira, como mangues, estuários, deltas e/ou restingas. Na Região Sul, os banhados estão associados principalmente às lagoas costeiras, apresentando uma grande variedade de comunidades vegetais macrófitas que variam segundo o regime hidrológico, morfometria e outras características físicas de cada sistema.

2.3.2 Wetlands construídas para tratamento de esgoto

São banhados artificiais projetados e construídos a partir de banhados naturais, onde os esgotos são tratados por estes processos, com a utilização de plantas aquáticas disponíveis na região.

As plantas desempenham um papel eficaz no tratamento das águas residuais devido à capacidade de criar, em torno das suas raízes e rizomas, um meio de oxigênio, onde se geram condições de oxidação que estimulam a decomposição aeróbia da matéria orgânica e o crescimento das bactérias nitrificantes.

2.3.3 Técnicas de *Wetlands* construídas

Várias técnicas de *Wetlands* construídas foram desenvolvidas nestes últimos anos são utilizadas de acordo com as características dos efluentes a serem tratados, da eficiência final desejada na remoção de nutrientes, contaminantes e outros poluentes, do interesse da utilização da biomassa produzida e do interesse paisagístico (SALATI, 1997).

Esses sistemas podem se classificados como:

a) **Sistemas que utilizam plantas aquáticas flutuantes**

As macrófitas flutuantes formam um grande grupo de plantas abrangendo diversas espécies e normalmente são utilizadas em projetos com canais relativamente rasos. Esses canais podem conter apenas uma espécie de plantas ou combinações de espécies.

A espécie mais estudada é a *Eichornia crassipes* da família das pontederiáceas, pela suas características de robustez associada a uma grande capacidade de crescimento vegetativo. Esta planta recebe diferentes nomes populares no Brasil, sendo conhecida como “aguapés” (SALATI, 1997).

De forma resumida, a ação depuradora desses sistemas que utilizam plantas flutuantes é devida aos seguintes fatores:

- À absorção de partículas pelo sistema radicular das plantas;
- À absorção de nutrientes e metais pelas plantas;
- À ação de microorganismos associados à rizosfera;
- Ao transporte de oxigênio para a rizosfera.

b) ***Wetlands* como planta emergente – Caso da ETE de Osório**

Estes sistemas de purificação hídrica utilizam plantas que se desenvolvem tendo o sistema radicular preso ao sedimento e caule e as folhas parcialmente submersos. A profunda penetração do sistema radicular permite a exploração de um grande volume de sedimento, dependendo das espécies consideradas.

As espécies típicas de macrófitas aquáticas emergentes são conhecidas de forma genérica pelo nome de juncos, que são plantas herbáceas de diversas famílias.

As espécies mais utilizadas em projetos têm sido: *Phragmites australis*, *Typha latifolia* e *Scirpus lacustris*. Todas essas espécies são morfológicamente adaptadas para se desenvolverem em sedimentos inundados, em razão dos grandes volumes de espaços internos capazes de transportar o oxigênio para o sistema radicular. Parte do oxigênio pode ainda sair do sistema radicular para a área em torno da rizosfera, criando condições de oxidação para os sedimentos que de outra forma seriam anaeróbios, e também favorecendo a decomposição de matéria orgânica, e o desenvolvimento de bactérias nitrificadoras (SALATI, 1997).

As macrófitas emergentes que possuem o sistema radicular fixo no substrato representam as formas dominantes das *wetlands* naturais. Estas plantas podem se desenvolver em situações nas quais o nível freático está 50 cm abaixo do nível do solo, até 150 cm acima do nível do solo (Figura 5).

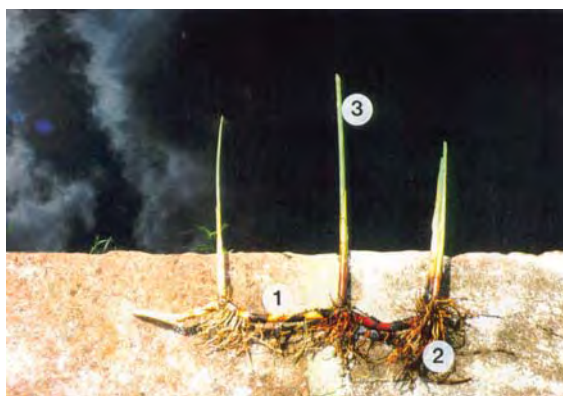


Figura 5 - Parte do junco utilizada para o plantio possui três partes principais: 1. o “tronco subterrâneo” (rizoma), coloração branca e marrom; 2. as raízes finas no lugar dos brotos e 3. o broto, a parte verde da planta que produz a flor (SCHÄFER, 1996).

De um modo geral, pelos estudos realizados até o momento, a utilização de *wetlands* construído para o tratamento de efluentes tem como principais vantagens, em relação aos sistemas convencionais, o seu baixo custo de implantação e operação e a alta eficiência na remoção de nutrientes, poluentes e contaminantes.

Fica, portanto, evidente a importância da preservação das áreas de *wetlands* naturais e o crescente interesse da comunidade científica na utilização de *wetlands* construídas como sistema de proteção e recuperação dos recursos hídricos.

Concluindo, o estudo ecológico de banhados é não só necessário como de extrema urgência, visto que estas áreas estão submetidas a todo o tipo de degradação e destruição pela

utilização adequada. A Tabela 1 representa a avaliação da eficiência dos sistemas construídos de *wetlands*, compreendendo o mecanismo de remoção.

TABELA 1 - Mecanismos de remoção nas *Wetlands* construídas (BRIX, 1993)

Processo	Mecanismo	Contaminantes								Descrição
		SS	SC	CBO ₅	N	P	MP	OR	B&V	
Físico	Sedimentação	P	S	I	I	I	I	I	I	Sedimentação por gravidade dos sólidos
	Filtração	S	S							Partículas são filtradas durante a passagem dos efluentes através do substrato e massa radicular
	Adsorção		S							Forças de atração interparticular (forças de Van Der Waals)
	Volatilização				S					Volatilização de NH ₃ da água residual
Químico	Precipitação					P	P			Formação ou co-precipitação de compostos insolúveis
	Adsorção					P	P	S		Adsorção no substrato ou em superfície vegetais
	Decomposição							P		Decomposição ou alteração de compostos poucos estáveis por fenômenos com radiação Ultra Violeta, oxidação e redução.
Biológico	Metabolismos bacterianos		P	P	P			P		Remoção de sólidos coloidais e substâncias orgânicas solúveis por bactérias em suspensão, bêmicas ou fixas às plantas. Nitrificação/desnitrificação.
	Metabolismos vegetais		P	P	P			P		Captação e metabolismo de substâncias orgânicas pelas plantas. Excreção radicular de toxinas.
	Adsorção radicular				S	S	S	S		Captação radicular de nutrientes
	Mortalidade natural								P	Aniquilamento de organismos em meio desfavorável.

- SS = Sólidos sedimentáveis
- SC = Sólidos coloidais
- MP = metais pesados
- OR = Orgânicos Refractários
- B&V = Bactérias e vírus
- P = Efeito primário
- S = Efeito secundário
- I = Efeito incidental (efeito que ocorre incidentalmente ao remover outros contaminantes)

2.4. Leitões de secagem

O lodo gerado deve sofrer desaguamento, uma operação unitária física (mecânica) que reduz o volume do lodo através da diminuição de seu teor de água. De acordo com METCALF e EDDY (1991), existem vários motivos que justificam esta redução do volume, podendo-se destacar:

- O lodo desaguado é normalmente mais fácil de ser manipulado que o lodo adensado ou líquido.
- O desaguamento permite uma incineração mais eficiente;
- Caso a compostagem seja utilizada posteriormente como opção de reuso, o lodo desaguado diminui a quantidade e, portanto, o custo dos agentes aditivos deste tipo de processo;
- Pode garantir certa redução na geração de maus odores, torná-lo menos ofensivo e pouco produtor de chorume, caso o destino seja aterro sanitário;
- Proporciona condições de análise e estudos para outras aplicações de reuso.

O processo de desaguamento pode ser dividido em métodos por secagem natural e métodos mecânicos. Os métodos de secagem natural mais comuns são: leitões de secagem e lagoas de secagem de lodo. Já os métodos mecânicos mais utilizados são filtros prensa de esteira, centrífugas e filtros de placas (ANDRIGUETI, MIKI e SOBRINHO, 2002).

Para o presente trabalho, será utilizado o método natural, através de um protótipo de leito de secagem, que se constitui em uma unidade de tratamento, geralmente em forma de tanques retangulares, projetados e construídos de modo a receber o lodo gerado na bacia de decantação. A Tabela 2 enumera as vantagens e desvantagens da utilização do método de secagem.

TABELA 2 - Vantagens e desvantagens dos leitos de secagem (ANDREOLI, 2001)

Vantagens	Desvantagens
Baixo valor de investimento	Elevada área requerida
Simplicidade operacional	Necessidade de estabilização prévia do lodo
Baixo ou inexistente consumo de energia	Lenta remoção da massa de lodo seco
Baixo ou inexistência de consumo químico	Necessidade elevada de mão de obra
Massa de lodo com alto teor de sólidos	Risco de contaminação do lençol freático, caso o fundo dos leitos e o sistema de drenagem não sejam bem executados.

O princípio dos leitos de secagem baseia-se na:

- Liberação de gases dissolvidos;
- Liquefação devido à diferença do peso específico do lodo digerido;
- Evaporação natural da água devido ao contato com a atmosfera;
- Evaporação devido ao poder calórico do lodo.

Os leitos de secagem podem ser classificados quanto:

- À construção: de alvenaria, concreto ou dique de terra;
- Ao dispositivo de drenagem: camada drenante artificial ou infiltração natural do terreno;
- À cobertura: ao ar livre ou cobertos;
- Ao sistema de remoção do lodo seco: manual, por tratores ou por mecanismo especial.

O lodo em condições normais de secagem poderá ser removido ao leito de secagem depois de período que varia de 30-40 dias, com umidade atingindo o valor de 60-70%.

A operação dos leitos de secagem consiste na:

- Remoção do lodo com umidade em torno de 70%;
- Não descarregamento do lodo em leito ainda ocupado;
- Remoção periódica das vegetações;

- Para caso de leitos construídos em camada superficial de areia, recomposição e nivelamento esta convenientemente.

Para leitos de tijolos, deverá ser varrida toda a área, limpas as juntas dos tijolos e recolocada areia nas falhas.

No leito de secagem é colocado uma camada de 20 a 30 cm de lodo e deixado secar. O desaguamento se dá pelos fenômenos de drenagem (através da massa do lodo e da areia de sustentação) e por evaporação da superfície exposta ao ar.

A maior parte da água retirada do lodo é feita por drenagem. Desse modo, é necessário que se providencie um sistema de subdrenagem adequado. Conforme ABNT (NBR 12209/1992), o fundo do leito de secagem deve ser plano e impermeável, com inclinação mínima de 1% no sentido de um coletor principal de escoamento do líquido drenado.

O lodo pode ser removido do leito de secagem depois que ele tenha sido drenado e desaguado suficientemente para ser retirado com uma pá.

3. TRATAMENTO DA FASE SÓLIDA DO LODO

Entre as etapas de tratamento da fase sólida, o acondicionamento e desaguamento de lodo ocupam certo papel de destaque. São nestas etapas de tratamento que o lodo diminui consideravelmente de volume, tornando-o de mais fácil manuseio e diminuindo os custos de transporte até a disposição final. Também a estabilização e higienização do lodo merecem consideração, especialmente em função de sua destinação final.

3.1. Classificação do lodo

Os sistemas de tratamento de esgoto sanitário produzem duas fases: (a) líquida, onde o efluente tratado é lançado no manancial; (b) mistura de sólidos com água de aparência de lodo (conforme mostra a **Figura 6**) que permanece na ETE para posterior tratamento e estabilização.

Estes resíduos, formados pelos sólidos em suspensão removidos na fase líquida, podem penetrar na Estação de Tratamento de Esgoto, carregados pelo próprio esgoto bruto ou misto.



Figura 6 - Amostra do lodo de esgoto retirado da bacia de decantação (ETE de Osório, RS) para desaguamento em leitos de secagem.

Denominado de lodo *in natura*, é constituído normalmente de uma forma líquida – que corresponde em torno de 1% a 2% dos esgotos sanitários – e composto cerca de 98% a 99% de água, possuindo coloração cinza escura.

A denominação de lodo é genérica para os sólidos que se acumulam no sistema de tratamento de esgoto e que devem ser periodicamente ou continuamente retirados, de acordo com o tipo de tratamento.

O lodo é uma mistura de matéria orgânica e inorgânica (ANDREOLI, 1999). O termo “lodo” também é utilizado para os sólidos gerados durante o processo de tratamento de esgoto antes do tratamento adequado para reuso e/ou disposição final.

Os lodos podem ser classificados, quanto à sua formação, em três tipos:

- *Primários*: são os lodos removidos nos decantadores primários ou em flotadores;
- *Secundários*: são resultantes dos sólidos em suspensão formados nos processos de tratamento e os microorganismos gerados no interior dos reatores biológicos nas estações de tratamento de esgoto de lodo ativado e filtração biológica. São geralmente removidos nos decantadores secundários;
- *Misto*: é o lodo secundário encaminhado para a entrada do decantador primário e então removido para o destino final.

A tendência de se adotarem processos no sentido de obter um lodo mais seco, portanto, com menor volume, nos diferentes tipos de Estações de Tratamento e Esgotos (ETE), vem atualmente se tornando um desafio, e é o grande enfoque para gradualmente obter-se sucesso (LUDUVICE, 1992). Os lodos, segundo as Companhias de Saneamento Básico, DMAE (1978) e SANEPAR (1997), quanto ao grau de umidade podem ser classificados em quatro grupos:

- a) Lodos “*in natura*”: Os lodos “*in natura*” compreendem aqueles lodos retirados logo após o processo de tratamento de esgoto e que possuem um teor de umidade em torno de 98%;
- b) Lodo parcialmente desidratado: Os lodos desidratados são aqueles que são submetidos a um processo de desidratação, podendo este ser mecânico (centrifugação) ou natural (leitos de secagem). Nesta fase o lodo tem uma aparência de material seco, porém ainda apresenta elevado teor de umidade, que pode estar entre 30 a 50% da sua massa. A Figura 7, mostra um exemplo de um lodo úmido, após seu descarte em protótipo de leitos de secagem. Observa-se que, após o lodo ter sido parcialmente seco no leito de secagem, ocorreu um rápido aparecimento de vegetação. Este fato é devido ao grande

grau de umidade existente no lodo e a elevada concentração de matéria orgânica, conforme pode ser observado na região destacada na **Figura 7**.



Figura 7 - Características do lodo de esgoto obtido após processo de desaguamento obtido no protótipo de leitos de secagem.

- c) Lodo seco: constitui-se em um material formado por mais de 99% de sólidos, o qual somente pode ser obtido mediante processo de secagem artificial em estufas.
- d) Lodo incinerado: é aquele representado pela cinza resultante do processo de incineração, podendo ser material do lodo seco, como também do lodo desidratado, que normalmente ocorre em temperaturas que variam entre 550°C e 950°C.

3.2. Tipos de sólidos

Os sólidos podem ser classificados em relação ao seu tamanho e estado (suspensão ou dissolvidos), pelas características químicas (voláteis ou fixos) e também pela sedimentação (sedimentáveis ou não-sedimentáveis) após período de uma hora num recipiente denominado *cone Imhoff*.

A **Figura 8** apresenta a distribuição típica dos sólidos de esgoto bruto.

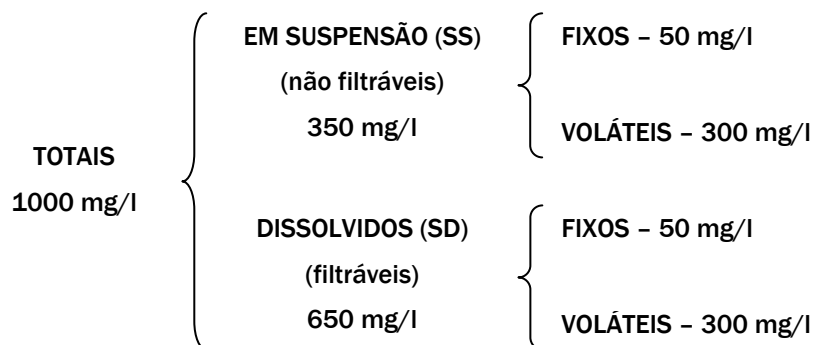


Figura 8 - Distribuição aproximada dos sólidos do esgoto bruto, em terrenos de concentração (VON SPERLING, 1996).

Numa ETE a maioria dos sólidos removidos nas diversas unidades de operação é composta pelos seguintes tipos: material gradeado, areia, espuma, lodo primário e lodo secundário.

3.3. Tratamento de Lodos

Os métodos de tratamento de lodos possibilitam diversas combinações de operações e processos unitários, compondo distintas seqüências. Destacam-se como principais etapas as seguintes:

3.3.1 Adensamento

O adensamento tem por objetivo reduzir a água dos resíduos através de meios físicos, com a conseqüente redução de volume. Dentre os principais exemplos estão aqueles por gravidade, por flotação ou por centrífugas.

3.3.2 Estabilização

A estabilização compreende a etapa que tem por objetivos reduzir a quantidade de patógenos, eliminar os maus odores e reduzir o potencial de putrefação. Os meios para se atingir a estabilização são: redução biológica do conteúdo de sólidos, oxidação química da matéria orgânica, adição de produtos químicos no lodo de modo a impedir a sobrevivência dos microorganismos e aplicação de calor para desinfectar ou esterilizar o lodo. Como tecnologias mais empregadas para a realização da estabilização, destacam-se a estabilização por cal, a digestão anaeróbia, a digestão aeróbia e a compostagem.

3.3.3 Condicionamento

O condicionamento compreende um processo que serve para melhorar as características de separação das fases sólido-líquida do lodo, seja por meio físico ou químico. Sua ação neutraliza ou desestabiliza as forças químicas ou físicas atuantes nas partículas coloidais e no material particulado em suspensão imerso no líquido. Este processo de desestabilização permite que as partículas pequenas se juntem para formar agregados maiores, ou seja, os flocos.

3.3.4 Desaguamento (Desidratação)

O desaguamento é uma operação unitária física (mecânica) que reduz o volume do lodo por meio da redução do seu teor de água.

3.3.5 Incineração

É um processo de combustão controlada dos resíduos, em que estes são queimados e transformados em pequenas quantidades (menos volumosas) de resíduos inertes, não inertes e gases ou resíduo incombustível, com produção ou não de energia. A incineração proporciona que os sólidos voláteis do lodo sejam queimados na presença de oxigênio, convertendo-os em dióxido de carbono e água, sendo que a parcela de sólidos fixos é transformada em cinzas.

3.4. Etapas e processo de tratamento

Para cada processo adotado na Estação de Tratamento de Esgoto, o lodo pode ser submetido a diferentes tipos de adensamento, estabilização, condicionamento e desidratação antes de sua disposição final, conforme se observa na **Figura 9**.

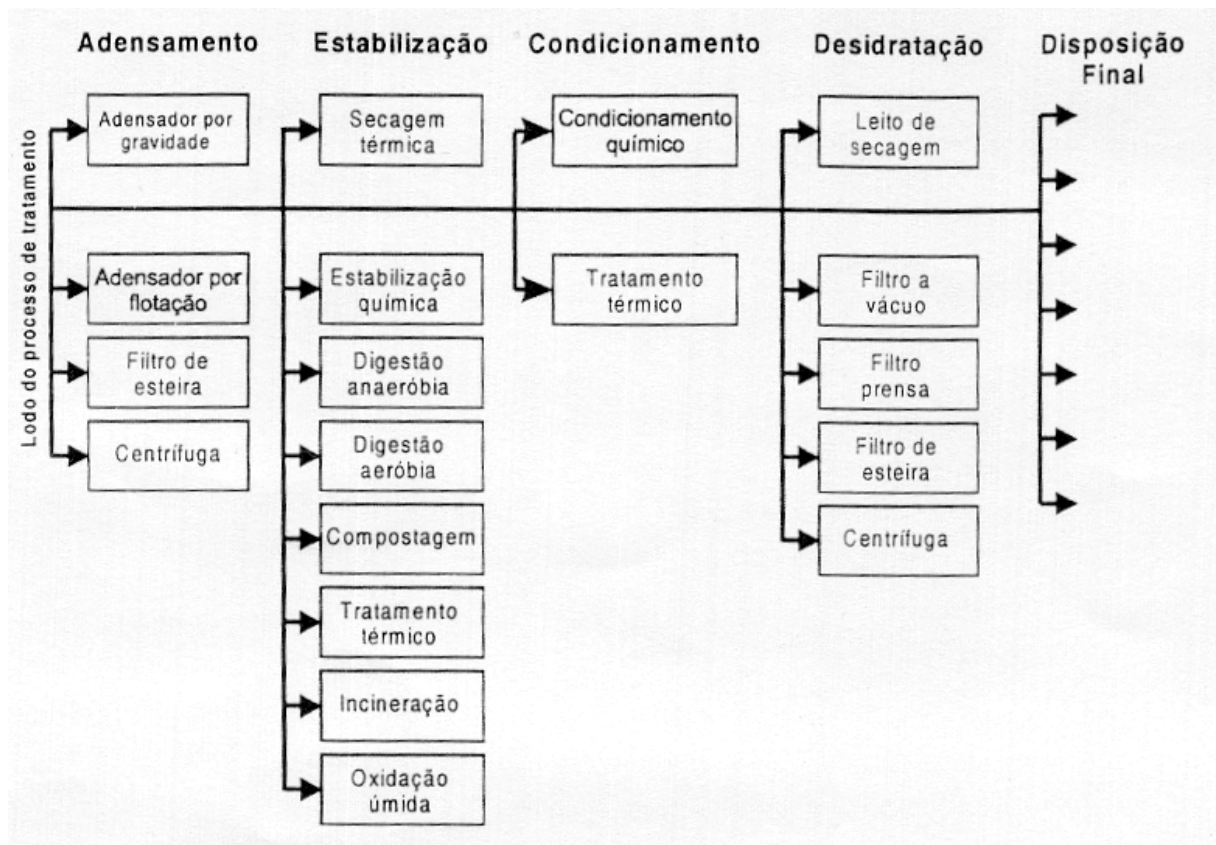


Figura 9 - Etapas e processos de tratamento de lodo de esgoto (adaptado de WQI, 1994)

3.5. Alternativas de disposição final de lodo de esgoto

O processo de tratamento separa as impurezas presentes no esgoto, que representam cerca de 1% a 2% do volume total de esgoto tratado.

Os custos para seu tratamento e disposição final são na ordem de 40% a 50% do custo operacional de uma Estação de Tratamento de Esgoto. Para cada processo adotado na ETE, o lodo pode ser submetido a diferentes tipos de tratamento (TSUTIYA, 2002).

O objetivo do primeiro estágio de lodo é a redução do volume, pela diminuição do volume de água. Após o adensamento, condicionamento e desaguamento, pode-se considerar como segundo estágio do tratamento, os seguintes processos:

- Digestão anaeróbia;
- Digestão aeróbia;
- Compostagem;
- Secagem térmica;
- Incineração;
- Pirólise;
- Oxidação úmida;
- Liquefação do lodo;
- Conversão do lodo em óleo combustível.

3.6. Alternativas para o aproveitamento e/ou disposição final de lodos de esgoto sanitário

As alternativas mais usuais para o aproveitamento e/ou destino final do lodo de esgoto sanitário, podem ser assim resumidas (ANDREOLI et al. 2001, TSUTIYA et al. 2002):

- Uso agrícola: aplicação direta do solo, como fertilizante;
- Aplicação em plantações florestais;
- Disposição em aterros sanitários: aterro exclusivo e co-disposição com resíduos sólidos urbanos;
- Reuso industrial: produção de agregados leves, fabricação de tijolos e cerâmicas e produção de cimento;
- Reuso na construção civil: produção de argamassas, concretos e blocos de concreto, a partir do consorciamento com entulhos de construção civil;
- Incineração: incineração exclusiva e co-incineração com resíduos sólidos urbanos;
- Recuperação de solos: recuperação de áreas degradadas e recuperação de áreas de mineração;

- Disposição oceânica.

A partir da identificação das diferentes possibilidades de reuso e/ou disposição do lodo de estações de tratamento, serão apresentadas algumas considerações sobre o uso do lodo na agricultura, bem como será dada ênfase na caracterização e identificação dos processos de reuso industrial e na construção civil, a partir da incineração para a obtenção da cinza, objeto fundamental a que se propõe este trabalho.

3.6.1 Processo de uso na agricultura

O interesse pelo lodo de esgoto como fertilizante decorre não só por sua composição dispor de nutrientes minerais, principalmente nitrogênio, fósforo e micro-nutrientes, mas também pelo seu teor em matéria orgânica. (SANEPAR, 1997).

Conforme TSUTIYA (2002), o lodo de esgoto em sua composição apresenta macro-nutrientes como o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, bem como micro-nutrientes (cobalto, zinco, manganês, boro, molibdênio, e cloro), que têm atuação direta no desenvolvimento dos vegetais.

A reciclagem agrícola do lodo de esgoto alia baixo custo e impacto ambiental positivo, embora deva ser realizada dentro de critérios seguros. Ambientalmente é a solução mais correta, pois promove o retorno dos nutrientes ao solo (ANDREOLI, 1999).

Conforme atestam ANDREOLI, SPERLING e FERNANDES (2001): “O sucesso da reciclagem agrícola do lodo depende da aceitação e do uso correto por parte do produtor a essa tecnologia. Desta forma, a eficiência econômica do processo, a segurança, a saúde e o meio ambiente são variáveis interdependentes das quais depende o sucesso da proposta”.

3.6.2 Reuso industrial

O lodo pode ser utilizado como distintos materiais de construção, tais como:

- a) *Agregado leve para construção civil*: trata-se de processo de produção de agregado leve, mediante a sinterização do lodo de esgoto na forma de biossólido proveniente da digestão anaeróbia. O modelo deste processo de produção foi concebido pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo – IPT e utilizado pela SABESP em uma instalação industrial que funcionou na ETE Vila Leopoldina entre 1979 e 1981

(SANTOS, 1996). O agregado leve produzido foi utilizado na fabricação de placas pré-moldadas para a construção de armários, pisos de concreto para pátios de almoxarifados; blocos de concreto para pavimentação das oficinas de manutenção e execução de uma laje do prédio administrativo da Superintendência de Produção (SIMONDI, 1989).

b) *Agregado miúdo leve*: é possível produzir agregados miúdos leves a partir de cinza de lodo sanitário. O processo para obtenção deste agregado consiste na incineração do lodo à temperatura de 1050°C seguido de um rápido resfriamento com água (KATO e TAKESUE, 1984). A Tabela 3 mostra os resultados obtidos pelos autores na utilização de agregado miúdo leve de cinza de Lodo, em argamassa, comparando com o uso de areia e agregado miúdo artificial, obtido pela moagem de rochas graníticas.

TABELA 3 - Massa específica de agregados e resistência à compressão simples de argamassa (KATO e TAKESUE, 1984)

Tipos de Agregado Miúdo	Massa Específica (kg/dm³)	Resistência à Compressão aos 7 dias (MPa)	Resistência à Compressão aos 28 dias (MPa)
Cinza de Lodo	1,33	23,9	41,0
Agregado Artificial	1,63	27,7	44,8
Areia	2,61	30,1	46,9

c) *Fabricação de tijolos*: nos EUA, ALLEMAN e BERMAN (1984) propuseram a confecção de tijolos com o uso de lodos. Os lodos apresentavam-se parcialmente seco, com quantidades de sólidos variando entre 15 e 25%, sendo estes adicionados às argilas comumente utilizadas na produção de tijolos na região, numa proporção volumétrica de até 50% de lodo. A Tabela 4 mostra os resultados de um experimento onde são comparados tijolos executados com diferentes quantidades de lodos e o tijolo regular sem adição. ALLEMAN e BERMAN (1984) recomendam a adição de lodo parcialmente seco para a produção de tijolos até limites de 30% em volume.

TABELA 4 - Análise do tijolo executado com lodo seco (ALLEMAN e BERMAN, 1984).

Tijolo	Aparência	Resistência à Compressão (MPa)	Absorção de Água em 24h (%)	Absorção de água após ferver por 5h (%)
Com 15% de lodo	Excelente	4,57	ND*	ND*
Com 30% de lodo	Boa	4,31	6,1	11,5
Com 50% de lodo	Regular	4,40	6,5	9,3
Sem adição	Excelente	6,05	5,1	5,1

ND* Não Disponível

TAY (1987) estudou a influência da adição de lodos parcialmente desidratados nas proporções em massa de 10%, 20%, 30% e 40%, na produção dos tijolos. Os resultados podem ser observados na Tabela 5. TAY (1987) conclui que os tijolos executados com lodo parcialmente desidratado perdem qualidade sob o ponto de vista de massa específica, resistência à compressão e absorção de água. Também apresentavam uma textura irregular, o que impede a sua utilização em alvenarias aparentes.

TABELA 5 - Propriedades dos tijolos com Lodo “in natura” (TAY, 1987)

Tijolo de lodo “in natura” (% de lodo)	Massa específica (ton/m³)	Resistência à compressão (MPa)	Absorção de água (%)	Fissura por secagem na queima dos tijolos (%)
0	2,38	8,72	0,03	9,91
10	2,32	5,99	0,74	10,15
20	2,24	4,59	1,37	10,84
30	2,17	3,95	2,58	12,26
40	1,98	3,79	3,63	12,87

Os resultados obtidos por TAY (1987) em termos de resistência à compressão foram menores do que os obtidos por ALLEMAN e BERMAN (1984).

No caso da utilização de resíduos como adição aos concretos ou materiais cimentantes, a fixação, microencapsulação e macroencapsulação ocorrem por processos químicos onde os resíduos supostamente reagem com os materiais, e os compostos não reagentes são encapsulados pela matriz formada.

No caso da utilização dos resíduos em tijolos ou cerâmicas, a estabilização e fixação ocorrem pelo processo térmico (através das altas temperaturas de queima), e os resíduos são incorporados na matriz formada.

- d) *Fabricação de material cerâmico*: segundo ALLEMANN e BERMAN (1984) os primeiros estudos para a utilização de lodos de ETE's em forma de subproduto na engenharia civil foram como insumo para a produção de material cerâmico. A alternativa de utilização de lodos de ETE's na produção de cerâmica vermelha no Brasil, carece de experiência. Segundo estudos realizados pelo Consórcio EEJ e a ACERVIR – Associação das Cerâmicas Vermelhas de Itu e Região, a adição de 10% em peso em substituição à argila resulta em produtos que não apresentam alterações

significativas nas suas características, em relação ao produto obtido pelos processos convencionais (ROCHA, 2002).

- e) *Produção de cimento*: a indústria do cimento é responsável por cerca de 7% da emissão de gás carbônico (CO₂) na atmosfera. Para cada tonelada de cimento produzida, 0,6 tonelada de CO₂ é lançada na atmosfera (TOLEDO e FAIRBAIRN, 2003).

No intuito de minimizar os impactos ambientais desta atividade, TOLEDO e FAIRBAIRN (2002) desenvolveram concretos a partir de misturas de cimento com resíduos industriais ou agrícolas, usando excedentes de cerâmicas, cinzas de casca de arroz e bagaço de cana e lodos sanitários na fabricação de cimento. A adição de 40% de resíduos cerâmicos – como o pó de telha moído – na composição do cimento proporciona uma redução de 10 milhões de toneladas de CO₂, por ano, liberadas na atmosfera. Conforme os autores, a pesquisa apresenta também vantagens econômicas e sociais ao reduzir o consumo de energia e principalmente, proporcionar o reaproveitamento de um material, que até então é descartado ou disposto incorretamente, causando danos ao meio ambiente. Conforme MALHOTRA e MEHTA (1996), o uso de adições minerais no cimento ou em concretos proporciona benefícios econômicos, ecológicos e de engenharia.

Como aspectos a serem considerados na conversão do lodo na forma de biossólido em materiais de cimento, destacam-se:

- Não há necessidade de aterro, uma vez que todo o material colocado no sistema é reciclado sem produzir cinza ou outro sub-produto;
- O sistema necessário para a transformação dos biossólidos em material de cimento pode ser implantado junto às Estações de Tratamento de Esgoto existentes, necessitando incluir apenas a secagem, tratamento da cal e tratamento do gás;
- Operação contínua, pois há uma demanda contínua de cimento;
- Utilização total do lodo produzido, pois todo o material do lodo – quer seja orgânico ou inorgânico – pode ser reciclado para combustível ou materiais de cimento;
- A análise econômica deve ser bem feita, para verificar se essa alternativa é adequada.

- f) *Adição de finos ou fillers*: o fíler é um material finamente moído, com aproximadamente a mesma finura do cimento Portland que, devido às suas propriedades físicas, tem efeito

benéfico sobre as propriedades do concreto, tais como: trabalhabilidade, densidade, permeabilidade, exsudação ou tendência de fissuração.

Os fílers compreendem um agregado muito fino, na ordem de 5 μm e 7,5 μm , que podem ser utilizados em concretos, argamassas e cimentos (PETRUCCI, 1978).

Usualmente os fílers são inertes, mas não é desvantajoso que apresentem algumas propriedades hidráulicas ou, caso reajam, que estas não sejam prejudiciais aos produtos de hidratação.

Os fílers podem também ativar a hidratação do cimento Portland atuando como pontos de nucleação (NEVILLE, 1997). Os fílers empregados como adições ao cimento Portland são materiais inorgânicos minerais – naturais ou artificiais – especialmente selecionados, que melhoram as propriedades do cimento. Sua ação é predominantemente física. Eles devem ser fisicamente compatíveis com o cimento com o qual vão ser usados. Por exemplo, com um alto teor de fíler, o cimento deve apresentar uma finura muito maior que a usual, de forma a manter uma graduação granulométrica na mistura.

g) *Incineração*: a partir das informações apresentadas em relação ao teor de umidade, é fundamental salientar que durante o processo de incineração, os sólidos voláteis são convertidos em gás carbônico e água (na presença de oxigênio), e os sólidos fixos são transformados em cinza.

A incineração tem como principal vantagem a redução do volume de lodo, chegando a ser aproximadamente 10 a 20% do volume total de lodo. Em contrapartida, durante o processo de decomposição, apesar dos organismos patogênicos e compostos orgânicos tóxicos serem eliminados, os metais pesados continuam presentes nas cinzas e, portanto, torna-se necessária uma disposição final adequada para as cinzas geradas (TSUTIYA, 2002). A não observância da disposição adequada poderá acarretar a lixiviação dos metais presentes nas cinzas e estes serem absorvidos pelas plantas. Devido a este fato, as cinzas devem ser dispostas em aterros sanitários ou serem utilizadas em co-incineradoras – em fornos de cimento.

Destaca-se também que o controle na emissão de poluentes para a atmosfera – considerada por ANDREOLI et al. (2001) como principal impacto produzido pela incineração – pode ser obtido através do aperfeiçoamento do processo de combustão e da utilização de sistemas de filtros antes de os gases serem liberados na atmosfera.

Dentre as formas de incineração de lodos, TSUTIYA (2002) destaca a incineração exclusiva, a conjunta com resíduos sólidos urbanos (co-incineração), a conjunta com combustíveis e a avançada.

Dentre os processos de incineração, os mais comumente utilizados para combustão de lodos são as câmaras múltiplas e os leitos fluidizados.

A incineração, embora seja considerada um tipo de disposição final, não deveria ser realizada, visto que o processo gera resíduos e estes necessitam de uma disposição adequada e segura, uma vez que contêm em sua composição os metais pesados. Caso a cinza do lodo de esgoto consiga ser retida na matriz cimentícia da argamassa, esta pode ser convertida numa solução mais segura.

h) *Co-incineração*: durante vários anos verificou-se, na maior parte dos países desenvolvidos, um acúmulo irresponsável dos seus resíduos (urbanos, hospitalares, industriais, sanitários, outros), sem o respectivo tratamento ou reuso. É sabido que esta atitude certamente produzirá impactos a médio e longo prazos na contaminação dos solos, águas e ar, com efeitos nefastos para a saúde pública.

Após várias pesquisas realizadas, surgiu uma nova forma de tratamento dos resíduos: a *co-incineração*, que consiste essencialmente no aproveitamento dos fornos das cimenteiras e de suas altas temperaturas (entre 1450°C e 2000°C) para a queima dos resíduos perigosos (tais como solvente de limpeza, solvente de indústria química, tintas, etc.), com a produção simultânea de cimento.

Numa primeira fase, os resíduos industriais são enviados para uma estação de pré-tratamento. Posteriormente, em uma segunda fase, são levados para as cimenteiras. Após este processo não permanecem resíduos remanescentes da co-incineração, visto que estes são incorporados no próprio cimento, e devido às temperaturas e tempo de residência dos gases, a produção de gases tóxicos é muito baixa.

Diante desta alternativa é possível concluir, face aos fatos apresentados, que a co-incineração apresenta vantagens claras em relação à incineração clássica. No entanto, poderão existir algumas questões merecedoras de um estudo mais aprofundado relativamente à co-incineração, avaliando assim a certeza de inexistência de perigo para a saúde pública.

3.7. Considerações finais sobre a alternativa de disposição

A **Figura 10** apresenta um esboço de hierarquia para a seleção das alternativas de investigação, na qual os valores ao lado das caixas são os pesos relativos (hipotético, neste exemplo) entre as variáveis, estabelecidos pelo processo de comparação duas a duas. Deve-se notar que a soma de valores subordinados a uma variável sempre superior totaliza 1.

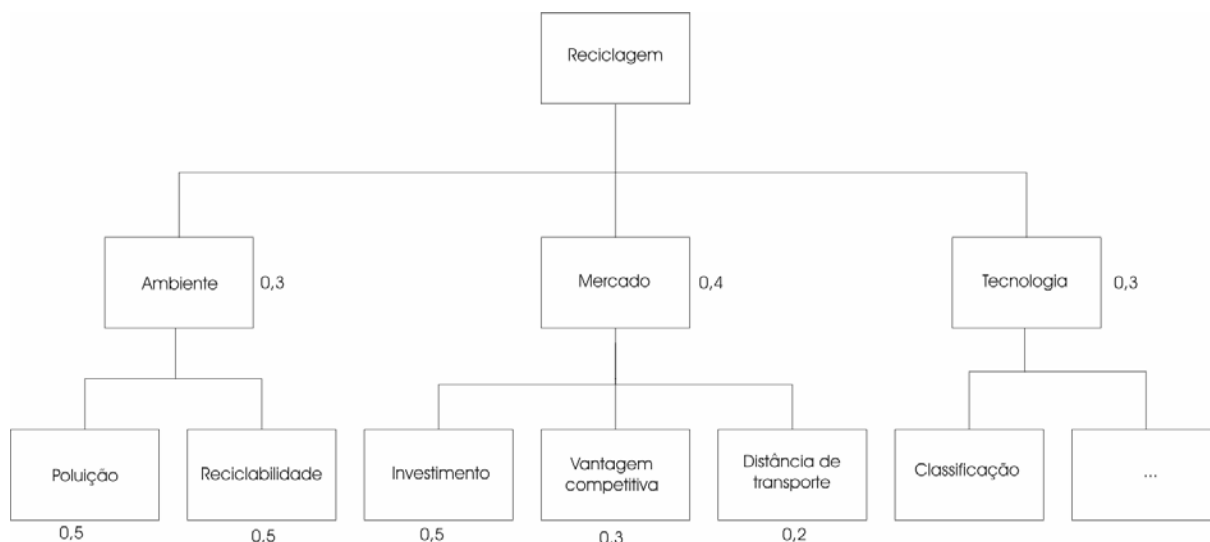


Figura 10 - Modelo hipotético de hierarquia para a seleção de alternativas para a reciclagem (JONH, 2000)

Ressalta-se que esta ferramenta tem como vantagem a possibilidade de integração de muitas variáveis, tanto qualitativas quanto quantitativas, num único julgamento. Porém é certo que a atribuição da importância de cada critério, a escala adotada, a leitura de cada alternativa mediante cada critério, juntamente com a lucidez de julgamento é que definirão a decisão.

3.8. Metais pesados

Os metais pesados se encontram distribuídos por toda a natureza. Precipitação atmosférica, cinzas, fertilizantes químicos e adubos orgânicos (esterco de animais, lixo domiciliar e biossólidos) constituem fontes que adicionam esses metais ao solo.

Os metais pesados contidos no lodo de esgoto são gerados pela atividade industrial. As estações de tratamento de esgoto recebem os esgotos sanitários, que se compõe de esgoto doméstico, água e esgoto industrial.

A planta retira do solo os elementos minerais indispensáveis para seu desenvolvimento, sendo eles: *macronutrientes* (N, P, K, Ca, Mg) e *micronutrientes* (B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Na, Se, Zn). Além desses elementos que são essenciais, a planta pode absorver outros elementos não essenciais (Al, Ag, Cd, Hg, Pb).

O lodo de esgoto, além de ser fonte de material orgânico e de nutrientes, contribui também para a contaminação do solo com metais pesados. Estes não apenas exercem efeitos negativos sobre o crescimento das plantas, mas também afetam os processos bioquímicos que ocorrem no solo. A decomposição do material orgânico adicionado ao solo, mineralização do nitrogênio e a nitrificação podem ser inibidos em locais contaminados por metais pesados.

Os principais elementos enquadrados neste conceito são: alumínio, antimônio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cobalto, cromo, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco. Esses elementos são encontrados naturalmente no solo e em concentrações inferiores àquelas consideradas como tóxicas para diferentes organismos vivos. Entre os metais, o arsênio, o cobalto, o cromo, o cobre, o selênio e o zinco são essenciais para os organismos vivos (TSUTIYA, 2002).

3.9. Caracterização química do lodo úmido ou parcialmente seco

ANDREOLI et al. (1999) apresenta faixas de composição química e propriedades de lodo de esgoto, adaptadas de MERCALF e EDDY (1991) e também a composição típica de lodos estudados no Brasil (Tabela 6).

TABELA 6 – Composição química e propriedades típicas dos lodos de esgoto (METCALF e EDDY,1991)

Item	Unidade	Faixa de Composição	Composição Típica
Sólidos totais	%	2,0 – 8,0	5,0
Sólidos voláteis	%	60 – 80	65
Nitrogênio (N)	%	1,5 – 4,0	2,5
Fósforo (P)	%	0,8 – 2,8	1,6
Potássio (K)	%	0 – 1	0,4
pH	-	5,0 – 8,0	6,0
Alcalinidade	Mg CaCO ₃ /litro	500 – 1500	600

3.10. Metais pesados em Estação de Tratamento de Esgoto (ETE's)

Os esgotos sanitários das cidades incluem quase sempre uma parcela de despejos industriais. Em geral vêm de pequenas fábricas, postos de serviços, oficinas, ou mesmo de fábricas de maior porte que se localizem próximas ou nos centros urbanos. Estas atividades contribuem com efluentes para a rede pública de coleta de esgoto. Nas regiões metropolitanas, como acontece nas cidades de Rio de Janeiro e de São Paulo, a contribuição de despejos industriais pode chegar a 30% da carga de esgoto (SANEPAR, 1997).

As ETE's, ao receberem esgotos sanitários, podem conter metais pesados provenientes dos efluentes líquidos das atividades industriais, do esgoto doméstico, da água de infiltração e do esgoto industrial.

A Tabela 7 mostra os teores de metais pesados em lodos de ETE's, por TILLER apud ANDREOLI (1999) e MIYAZAWA (1996), os quais podem ser relacionados com os valores obtidos na ETE de Osório, RS.

TABELA 7 – Comparativo dos teores de metais pesados obtidos na ETE de Osório com os de outras ETE's (TILLER apud ANDREOLI, 1999 e MIYAZAWA, 1996)²

Metais Pesados	Lodo de esgoto Osório-RS (%)	Lodo de esgoto EUA (%)	Lodo de esgoto Estado do Paraná (%)
Cádmio (Cd)	< 0,001	0,0002-0,1100	0,0002
Cobalto (Co)	-	-	0,0014
Cromo (Cr)	0,054	-	0,0125
Cobre (Cu)	0,142	0,084-1,0400	0,0401
Níquel (Ni)	0,024	0,0012-0,2800	0,0081
Chumbo (Pb)	0,036	0,0800-2,6000	0,0268
Zinco (Zn)	0,849	0,0072-1,6400	0,1340

3.11. Principais agentes patogênicos presentes no Lodo de Esgoto

Para efeitos de entendimento, é importante mencionar que o lodo de esgoto contém uma grande variedade de microorganismos, sendo que a maior parte deles não têm importância médica ou veterinária, uma vez que são saprófitos e participam nos processos de tratamento

² A análise de caracterização de metais pesados na ETE de Osório foi realizada no Laboratório de Agronomia da UFRGS – Departamento de Solos/Laboratório de Análises de Solo sob Registro n.º R-208/2004.

biológicos. Entretanto, existe uma pequena parte constituída por vírus, bactérias, fungos, protozoários e helmintos que são patogênicos.

Os patógenos presentes no Lodo de Esgoto, quanto à sua quantidade, são bastante variáveis e dependem fundamentalmente das condições sócio-econômicas da população, das condições sanitárias da região geográfica, da presença de indústrias agro-alimentares e do tipo de tratamento de esgoto adotado.

A concentração de agentes patogênicos pode também variar com o tempo, o que dificulta a comparação de resultados. Nos países mais desenvolvidos, cuja população apresenta padrões adequados de saúde, a densidade de alguns patógenos no lodo, como ovos de helmintos, é mais baixa do que em países em desenvolvimento.

As patologias causadas por vírus, bactérias, fungos, protozoários e helmintos no homem são variáveis, podendo se apresentar na forma de simples diarreia até gastroenterite severa, hepatite, meningites, infecções respiratórias, alterações neurológicas (neurocisticercose), dentre outras (SOCCOL e PAULINO, 2000).

3.12. Características microbiológicas

O nível de saúde da população, bem como as condições de saneamento básico local ou da região, podem ser detectadas através da presença ou não de agentes patogênicos de procedência humana ou animal, através do despejo dos dejetos em rios, córregos ou lagos.

ANDREOLI et al. (2001) identifica que no Brasil as informações sobre este assunto são pouco conhecidas, o que torna difícil sua correlação com os resultados obtidos, uma vez que vários fatores podem inibir ou comprometer os resultados. A metodologia de coleta de lodo, produção de lodo e o tipo de lodo produzido são apontados como algumas das dificuldades encontradas, não permitindo uma comparação confiável.

3.13. Caracterização física do Lodo de esgoto

Diversos autores, LUDUVICE (1992); OKUNO et al. (1997); SARDINHA e MORINGO (1992); WALDEMAR (1992) e WIBUSCH e SEYFRIED (1997) identificaram que o teor de umidade dos lodos úmidos de ETE por lodos ativados apresenta-se na faixa entre 98 e 99,5%.

O lodo de esgoto é constituído por água e sólidos granulosos, flocoso e coloidal. A água presente nos lodos pode-se dividir em:

- *Água livre* refere-se à parcela de água que fica separada quando os flocos de lodo, de maior peso específico, sofrem sedimentação ou adensamento devido à ação da força de gravidade após tempo de repouso.
- *Água interflocos* corresponde à parcela de água que permanece presa entre os flocos, após término do período de sedimentação ou adensamento por gravidade. Esta parcela de água é facilmente removida pela aplicação de pressão ou vácuo através dos flocos.
- *Água adsorvida no floco* é a parcela de água adsorvida sobre a superfície do floco e que, devido à tensão superficial e rigidez dos flocos, só pode ser retirada quando é aplicada uma adequada pressão ou vácuo.
- *Água adsorvida na partícula* é a parcela de água adsorvida sobre a superfície da partícula por tensão superficial ou sucção capilar, sendo difícil de ser retirada mecanicamente.
- *Água de partícula* é aquela parcela de água íntima e quimicamente ligada às partículas orgânicas. Este tipo de água somente pode ser eliminado por aplicação de combustão.

4. ESGOTAMENTO SANITÁRIO - CIDADE DE OSÓRIO - RS

Dentre as prioridades numa administração municipal encontra-se a de se ter um sistema de esgotamento sanitário configurado com rede coletora que atenda a 100% das residências, emissários e interceptores devidamente executados e sistema de tratamento para as águas residuárias domésticas.

O planejamento e a construção de um sistema de esgotamento sanitário eficiente numa cidade – seja ela de pequeno, médio ou grande porte – é um desafio para os administradores. Sistemas eficientes de esgotamento sanitário apontam abertamente nas estatísticas de impacto social, uma vez que em um curto espaço de tempo se podem alcançar índices satisfatórios, refletindo diretamente na qualidade de vida da população atendida.

A grande maioria das cidades conta atualmente com rede coletora de esgoto implantada em quase toda a extensão de sua área urbana, prescindindo, no entanto, de obras que se referem ao transporte e tratamento do esgoto doméstico. Este fato aponta para situações de grave agressão ao meio ambiente, pois mananciais que cruzam estas cidades são atingidos diretamente por vários pontos de descarga de esgoto bruto. Isto causa, além dos danos diretos ao corpo da água, sérios focos de proliferação de doenças.

Atualmente, os sistemas de esgotamento sanitário para atendimento de áreas urbanas devem possuir efetivo planejamento e monitoramento, tendo sua sustentabilidade de forma eficiente e econômica desde sua implantação, já que as obras a serem realizadas devem possibilitar expansão urbana e o desenvolvimento.

Ressalta-se ainda que um dos objetivos principais a serem atingidos é evitar que a interferência do homem – com a geração de despejos domésticos ou industriais – possa contribuir na introdução de compostos nas águas dos rios e córregos, afetando a sua qualidade.

A cidade de Osório, RS é identificada pela implantação de uma ETE com características biológicas, localizada no Bairro Caiu do Céu, Coordenadas UTM X 0571623 e Y 6693575, altura no nível do mar em torno de 38 metros, situada na Unidade Geomorfológica Planície Costeira do Rio Grande do Sul, área esta constituída eminentemente por terrenos arenosos inconsolidados. A área destinada ao tratamento do esgoto misto da cidade de Osório compreende uma gleba de 5,0 há.

A **Figura 11** mostra a representação esquemática geral da Estação de Tratamento de Esgoto da cidade de Osório, RS.

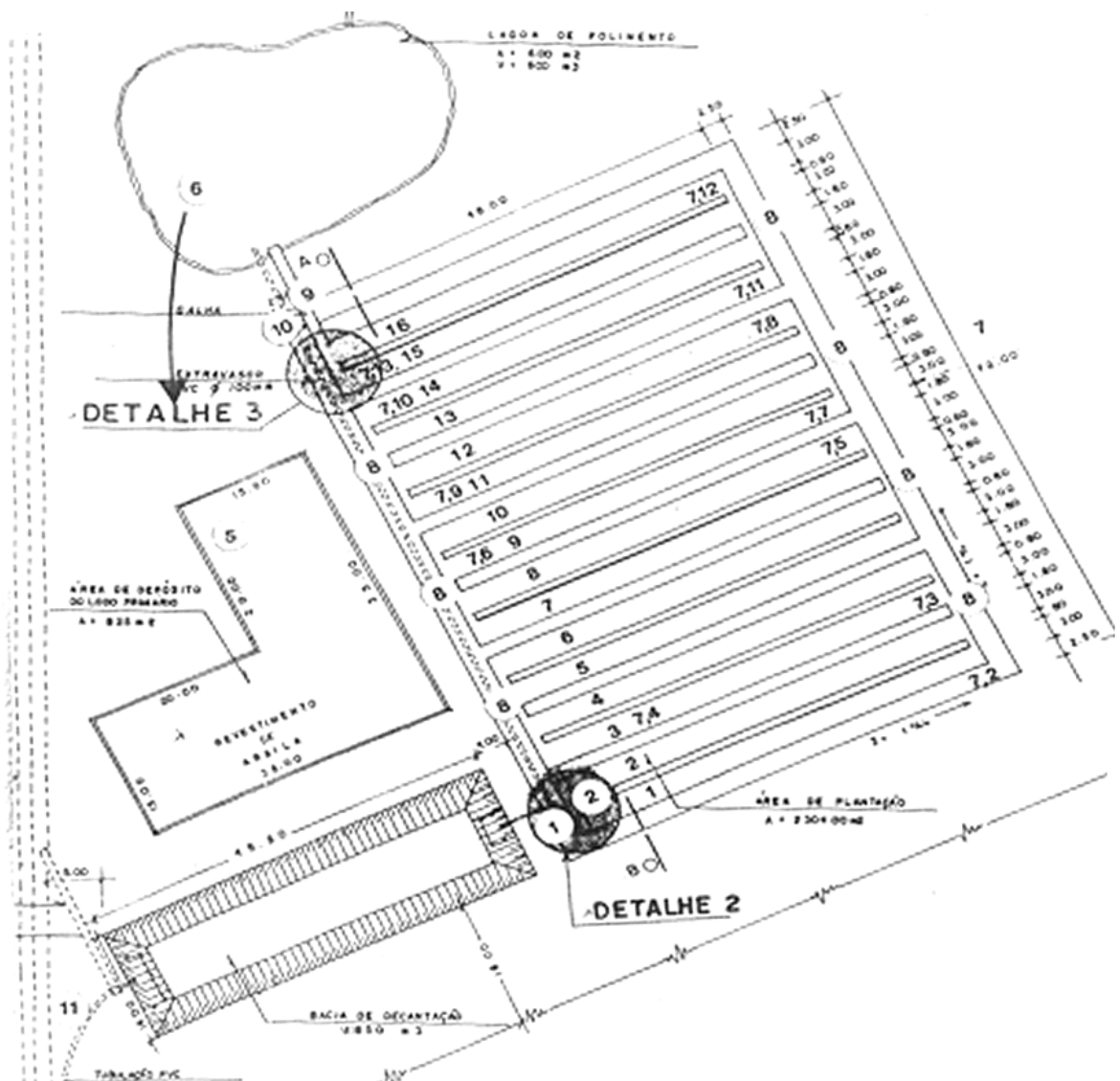


Figura 11 - Layout da Estação de Tratamento de Esgoto de Osório, RS

4.1. Descrição das obras que compõe o sistema de tratamento de esgoto misto da cidade de Osório.

O tratamento dos efluentes domésticos adotado nas residências é do tipo sistema conjunto fossa séptico-sumidouro. Neste, o efluente excedente é transportado para os coletores e para o interceptor principal existente na rua Barão do Triunfo, com interceptor secundário na Rua Leda Leal onde, por ação da força da gravidade, os efluentes escoam até caixa de coleta de esgoto. Deste, são conduzidos para o “by pass” construído para receber o efluente bruto, escoando posteriormente para a bacia de decantação e iniciando assim o tratamento da fase líquida. O

esgoto é do tipo misto (cloacal + pluvial), coletado conjuntamente, o que acarreta no material a ser tratado, outros componentes.

Através do interceptor com canalização do tipo PVC com diâmetro de 300 mm, o esgoto misto é conduzido à caixa de coleta e “*by pass*”, e então à bacia de decantação, ficando nesta fase retida a fase sólida. Após a retenção da fase sólida, através de um cano de PVC de 150 mm, a fase líquida resultante da decantação passará a área de plantação (tipo *wetlands*), na qual ocorrerá a oxigenação por processo mecânico biológico.

Posteriormente à passagem da fase líquida pela área de plantação, estas águas escoam para a Lagoa de Polimento onde ocorre o tratamento final do esgoto, e as substâncias mais finas provenientes da área de plantação são depositadas. Por último, através de um valo a céu aberto, a água é conduzida à Lagoa do Marcelino.

4.1.1 Caixa de coleta

A caixa de coleta foi construída de concreto armado, com dimensões de 4,30 m x 4,30 m x 3,75 m, ficando sua tampa no mesmo nível do leito da rua adjacente. O “*by pass*”, foi construído lateralmente à canalização, em blocos de grês, com dimensões de 3,0 m x 1,0 m x 1,8 m, ficando sua tampa no mesmo nível da bacia de decantação. A ligação entre o “*by pass*” e a bacia de decantação foi realizada através de uma tubulação PVC 300 mm.

4.1.2 Bacia de Decantação

Construída de forma que o fundo está implantado a 2,5 metros da cota superficial do terreno, obedecendo as dimensões de 42,0 m x 14,0 m. A base foi construída com blocos de pedra grês e suas laterais com lajes de pedra grês assentada em taludes formados por aterro de areia compactada.

Executado este lastro composto por pedras de arenitos, ocorreu a implantação de uma laje de concreto armado, conforme pode ser visto na **Figura 12** (a) e (b).



Figura 12 - Aspecto construtivo da Bacia de Decantação: (a) em 1998; (b) situação atual (2004).

Nesta fase da estação de tratamento de esgoto, o objetivo principal é proporcionar o armazenamento da carga sedimentar (o lodo primário), possuindo uma capacidade estimada de 825 m³, devendo o mesmo ser retirado sempre que necessário, com vista a uma disposição adequada, conforme prevê a legislação ambiental vigente.

4.1.3 Área de plantação (tipo *wetlands*)

É composta de canais executados com laje de pedra grês na base e blocos de pedra grês nas paredes laterais, com dimensões de 72,0 m x 48,0 m. Os canais estão agrupados dois a dois, distribuídos em oito filas paralelas e interligadas nas extremidades. Ao longo da fila de canais, a inclinação é de 0,1% e as suas ligações têm inclinação de 1%. Nas extremidades de cada fila existe uma mureta de tijolos, sendo a primeira fiada de tijolos de seis furos ditados e as três fiadas seguintes de tijolos maciços. Sobre esta mureta estão assentados tiras de telhas onduladas de fibro-cimento, de maneira a formarem pequenas calhas.

Ao longo dos canais têm-se uma base composta de duas camadas: a primeira de seixo com espessura de 10 cm e a segunda de substrato de areia grossa (“areião”) na espessura de 20 cm. Ao longo destes canais foram plantados “juncos” (Figura 13).



Figura 13 - Aspecto construtivo da Área de Plantação

A introdução de macrófitas nesta área de plantação destaca o potencial de melhoria da qualidade de água combinado com a criação de ambientes valiosos para o ecossistema, levando a um crescente interesse no uso de “terras úmidas” construtivas, para o tratamento e reciclagem de esgoto sanitário. Contudo que haja disponibilidade de áreas, esse sistema oferece um meio efetivo de integrar tratamento de esgoto e melhoria de recursos, freqüentemente a um custo competitivo com relação às alternativas de tratamento convencionais.

4.1.4 Lagoa de polimento

Construída artificialmente utilizando-se argila compactada para impermeabilizar o fundo e taludes, com vistas impedir a possível infiltração no solo. A passagem dos efluentes líquidos da área de plantação para a lagoa de polimento é feita através de uma tubulação de 300 mm.

O polimento é realizado com vistas a um tratamento final, onde as substâncias mais finas provenientes da área de plantação são depositadas, para posterior lançamento através de um conduto de PVC 300 mm, seguindo a céu aberto para as águas do corpo hídrico Lagoa do Marcelino. Esta lagoa de polimento tem capacidade estimada em 600 m³ (Figura 14).



Figura 14 - Lagoa de Polimento

4.1.5 Leito de Secagem

A cidade de Osório, RS, está projetando a construção de um leito de secagem com dimensões de 20,0 m x 40,0 m, onde as paredes laterais serão em concreto armado. As dimensões da cortina serão de 0,2 m x 1,5 m em toda a extensão, também em concreto armado.

Estas paredes farão o entorno do tanque, onde suas divisões (em quatro partes de 10,0 m x 20,0 m) formarão a parte de depósito (duas partes de 3,5 m x 20,0 m). A face superior das cortinas deverá receber tratamento de impermeabilização de emulsão asfáltica.

A laje de fundo será de concreto armado com espessura de 8,0 cm, executado sobre lastro de brita. Serão realizadas camadas drenantes. Sobre a brita deverá ser colocada uma camada de areia grossa de espessura de 15 cm, devidamente espalhada, nivelada e compactada, onde serão assentados os tijolos maciços com junta seca.

As calhas de laje de fundo, conforme descrito acima serão executadas com tubos de concreto perfurados na metade superior (sentido longitudinal) e assentados sobre lastro de concreto, com declividade mínima de 0,5%. Para unir estas calhas aos PV's será executada rede com tubos de concreto de 300 mm, tipo ponta e bolsa, rejuntado com argamassa de cimento e areia.

Para a execução dos PV's será utilizado tubo de concreto de diâmetro de 80 cm, colocados verticalmente, com uma tampa de concreto armado de 3 cm de espessura. O fundo será de lastro de concreto de 6 cm de espessura, sobre lastro de brita de 5 cm de espessura, devidamente compactado.

A escada de acesso será executada em bloco de grês, chapiscada e rebocada. O patamar terá dimensões de 1,0 m x 1,0 m, com degraus de 0,17 m de espelho, 0,25 m de patamar e 1,0 m de largura (SECRETARIA DE OBRAS, 2003).

4.1.6 Tubulações

De forma resumida, o sistema de tubulações da cidade de Osório pode ser assim descrito:

A partir da caixa coletora de esgoto, localizada na esquina da Rua Barão do Triunfo e Rua Benedito F. Soares, inicia a canalização dupla com diâmetro interno de 1,5 m cada, em concreto

Da bacia de decantação parte um tubo de PVC com diâmetro de 150 mm até a área de plantação.

Existem duas saídas de emergência: a primeira, a aproximadamente 1,00 m da entrada da bacia de decantação, executada com a seção 70 cm x 60 cm, estando ligada diretamente às tubulações de diâmetro 1,5 m; a outra saída de emergência, com diâmetro de 10 cm está localizada na entrada da área de plantação, seguindo direto para a lagoa de polimento.

4.1.7 Casa de manutenção

A casa de manutenção é uma construção de alvenaria com área de 25,0 m² e tem a finalidade de armazenar as ferramentas de uso diário e abrigo aos funcionários encarregados da manutenção, bem como servir de local para armazenar material de possível análise e/ou avaliação laboratorial (Figura 16).



Figura 16 - Casa de Manutenção

5. CARACTERÍSTICAS DO LODO DE ESGOTO “IN NATURA”

O presente capítulo apresenta a caracterização do lodo “in natura” desaguado na ETE de Osório, RS.

5.1. Amostragem

O lodo utilizado neste trabalho foi coletado na Bacia de decantação da Estação de Tratamento da cidade de Osório, RS, cuja localização pode ser vista na Figura 15. A descrição das obras e metodologias de tratamento estão contemplados no Capítulo 4.

Para obtenção de material a ser estudado foi retirada da amostra junto ao leito de secagem, onde foram coletados cerca de 100 kg de lodo que foram colocados em caixas de papelão.

Após a coleta, o resíduo foi acondicionado em sacos plásticos e armazenado em recipientes com capacidade de 200 litros. Deste material foi retirado a quantidade suficiente para proceder a caracterização do lodo “in natura”.

Em função das características apresentadas após desaguamento em leitos de secagem (conforme Figura 7), o lodo de esgoto da ETE de Osório apresenta identificação de lodo digerido com elevado teor de água, em função das fendas numerosas de largura mediana, de acordo com IMHOFF (1986).

Em relação ao nível de estabilização pode-se classificar (IMHOFF, 1986), a partir das características finais do lodo seco submetido à desidratação, da seguinte forma:

- Lodo seco com fendilhamento escasso e fino: indicação de lodo bem digerido e com baixo teor de água;
- Fendas numerosas, de largura mediana: indicação de lodo digerido com elevado teor de água;
- Fendas em pequenas quantidades e de grande largura: indicação de lodo mal digerido, pegajoso, requerendo longos períodos de tempo de secagem.

5.2. Caracterização Química

A análise química do lodo “in natura” do lodo da ETE de Osório, RS, foi realizada no Laboratório de Agronomia da UFRGS – Departamento de Solos/Laboratório de Análises de Solo. Os resultados obtidos³ dizem respeito à Tabela 8, que apresenta a caracterização química dos lodos parcialmente secos na ETE da cidade de Osório, RS (2004). Para efeitos comparativos também é apresentada a caracterização química dos lodos da cidade de Barueri, SP e da ETE IAPI na cidade de Porto Alegre, RS (DMAE, 1995).

TABELA 8 - Comparação dos parâmetros químicos em diferentes lodos de ETE's

Parâmetro	Osório	Porto Alegre	Barueri
	Osório – RS	IAPI – Porto Alegre – RS	São Paulo – SP
Matéria orgânica (%)	19	70	44
pH	5,4	8,3	11
Nitrogênio total (%)	2,0 (TKN)	3,64	2,25
P ₂ O ₅ (%)	0,84	0,19	1,48
K ₂ O (%)	0,19	0,17	0,01
Zinco (mg/Kg)	849	0,10	1879
CaO (%)	1,38	1,21	7,29
MgO (%)	1,09	0,06	ND
Fe ₂ O ₃ (%)	2,57	2,09	15.117 (mg/Kg)
Al ₂ O ₃ (%)	ND*	0,65	ND*
Na ₂ O (mg/Kg)	773,5	ND*	ND*
Cu (mg/Kg)	142	0,03%	348
Mn (%)	252 (mg/Kg)	0,02	ND*
S (%)	1,4	0,32	ND*
Ca (%)	0,99	0,0002	7,29
Pb (mg/Kg)	36	0,02	189
Hg (mg/Kg)	1,3	0,0003	2
B (mg/Kg)	13	ND*	ND*

ND* - Não Disponível

Valores em porcentagem (base seca)

Valores de concentração de mg/Kg (base seca)

No lodo de esgoto da ETE de Osório, como se pode perceber, foi detectada a presença de metais pesados que são considerados nocivos a saúde pública. Em função desta detecção pode-se associar uma não contribuição pluvial que transporte os poluentes.

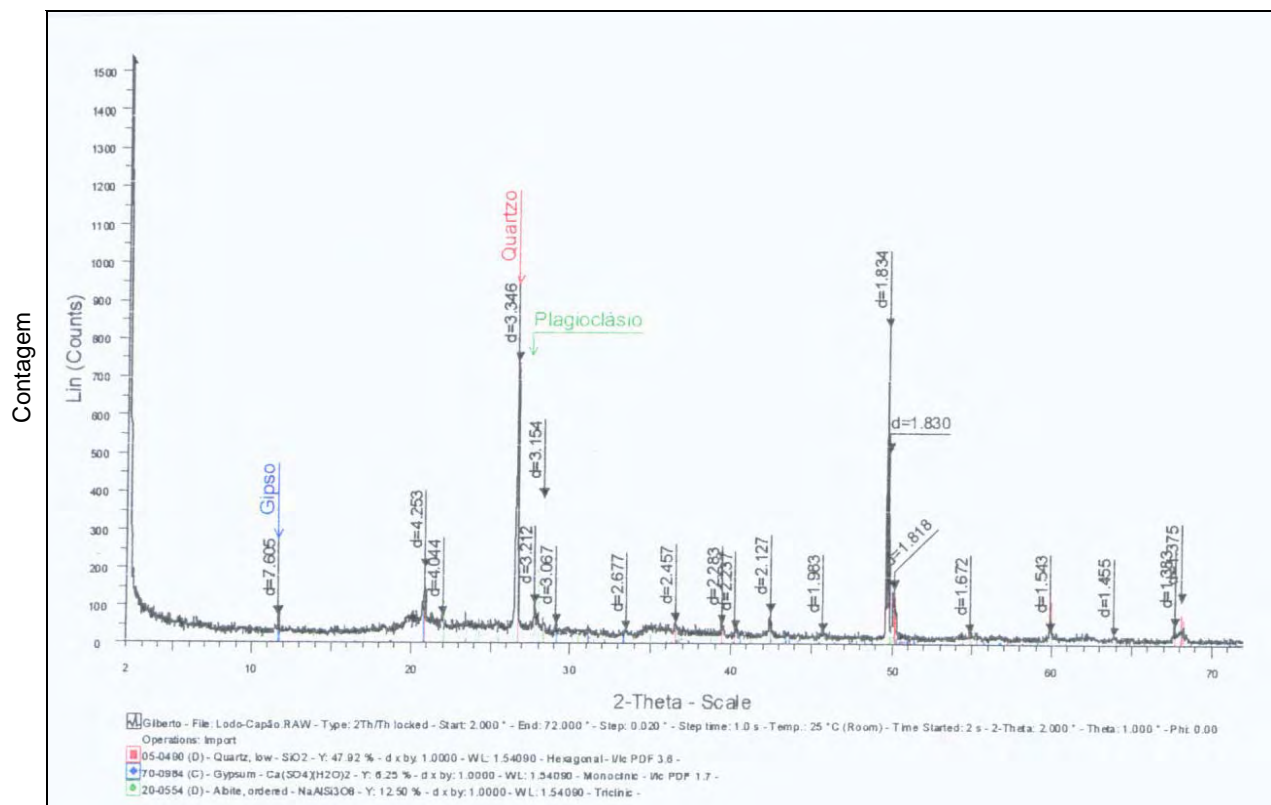
³ Para a obtenção dos valores, consideram-se as seguintes observações: (a) resultado expresso na amostra seca à 75° C; (b) média de duas determinações.

5.3. Caracterização Mineralógica

A caracterização mineralógica foi feita através da difração de Raios-X, realizada na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Geociências, no Centro de Estudos em Petrografia e Geoquímica, Laboratório de Difração de Raios-X.

O equipamento utilizado é o difratômetro SIEMENS – D5000, com goniômetro θ - θ . A radiação é $K\alpha$ em tubo de cobre nas condições de 40 KV em 25 mA. A velocidade e o intervalo de varredura do goniômetro para cada tipo de análise foi de 2 segundos para $0,02^\circ$ de graus do goniômetro de 2° a $72^\circ 2\theta$.

Esta análise foi realizada no intuito de obter uma identificação mais precisa da composição mineralógica, apesar da bibliografia pesquisada carecer de informações sobre a DRX em amostra de lodo “in natura”. A Figura 17 representa o espectro obtido da amostra “in natura”.



SiO₂- Sílica (72%)
(Na,Ca) Al (Al,SiO₂) SiO₂ – Plagioclásio (19%)
CaSO₄.H₂O - Gipso (0,9%)

Figura 17 - Difração de Raios X do lodo de esgoto “in natura”

A amostra foi submetida à análise via difração de raios-X sob a forma de amostra total (método do pó), onde a amostra é pulverizada e desorientada de forma a se obter o maior número de reflexões (picos).

A metodologia de preparação de amostra consiste em secá-la em uma temperatura de 60°C para que os argilos minerais não percam água de sua estrutura, sendo posteriormente desagregada e, se necessário, pulverizada em caso de rocha fresca (o que não é o caso), e quarteada.

Na amostra em pó cerca de aproximadamente 1 grama do material pulverizado ou desagregado é depositado em um sulco de lâmina de vidro procurando-se preservar a desorientação das partículas; é a chamada análise total ou do pó, onde os minerais ou estruturas cristalinas são analisados.

A **Figura 17** mostra a mineralogia e fases cristalinas identificadas, podendo-se dizer que parte do material apresenta-se cristalino. A ordem, na legenda, de cima para baixo, dos minerais e fases cristalinas identificadas indica a quantidade decrescente, sendo que os valores assinalados só devem ser considerados uma aproximação semiquantitativa.

A gipsita, identificada na difração, representa um mineral abundante na natureza, que é um sulfato de cálcio hidratado cuja fórmula química é $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, que geralmente ocorre associada à anidrita, sulfato de cálcio anidro (CaSO_4), que tem pouca expressão econômica. Trata-se de um mineral muito pouco resistente que, sob a ação do calor (em torno de 160°C), desidrata-se parcialmente originando um semi-hidrato conhecido comercialmente como o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$). Os termos “gipsita”, “gipso” e “gesso”, são freqüentemente usados como sinônimos.

Os minerais e/ou fases cristalinas são identificados através da medida das distâncias interplanares (valores de “d”) e das intensidades relativas dos picos no difratômetro. Os minerais identificados na análise total se apresentam comparados com os padrões do banco de dados do computador (JCPDS) e indicados/referenciados sobre o pico mais importante e diagnóstico do mineral. As análises são interpretadas através do programa DIFFRAC-PLUS em que os picos são indexados no difratômetro.

É importante salientar que o método dificilmente identifica estruturas cristalinas que ocorram em quantidades inferiores a 3% – 5% na amostra analisada.

5.4. Caracterização Física

5.4.1 Teor de umidade

A determinação do teor de umidade foi realizado na Faculdade de Agronomia da UFRGS – Departamento de Solos/ Laboratório de Análise de Solos, após desaguamento no protótipo de leito de secagem da amostra de lodo da ETE de Osório, RS. O valor obtido foi de 49%.

O teor de umidade do lodo de esgoto gerado nas diferentes ETE's pode apresentar variações, uma vez que esta intrinsecamente ligada ao tipo de sistema de tratamento adotado na ETE, como também a tecnologia empregada, mostrando então, grande variação dos teores de umidade quando relacionados.

5.4.2 Teor de sólidos totais e densidade

Os ensaios para determinação do teor de sólidos foram realizados na Faculdade de Agronomia da UFRGS– Departamento de Solos/Laboratório de Análise de Solos.

Com a construção do protótipo de leito de secagem, proporcionou-se o desaguamento e a conseqüente desidratação do lodo de esgoto. O teor de sólidos totais identificado foi de 51% e Densidade 0,5. Os resultados obtidos neste item possibilitam evidenciar uma das vantagens dos leitos de secagem que é o alto teor de sólidos, conforme pode ser observado na Tabela 2, no Capítulo 2 (ANDREOLI et al., 2001).

O lodo de esgoto disposto em leitos de secagem, após atingir teores em torno de 30%, deve ser retirado tão rápido quanto possível, com vistas a não dificultar a sua remoção posterior. Da mesma forma, a disposição muito prolongada promove o crescimento de vegetação que, além de caracterizar indícios de mau planejamento de operação da ETE, dificulta de forma considerável sua retirada.

5.4.3 Teor de matéria orgânica

Para a identificação, os ensaios foram realizados na Faculdade de Agronomia da UFRGS – Departamento de Solos/Laboratório de Análise de Solos. Sua determinação foi realizada através do método de Carbono Orgânico, o qual identificou valores de 19%.

5.5. Características microbiológicas

A análise microbiológica de lodo coletado foi realizada no Laboratório LDL – Análises Químicas e Microbiológicas Ltda, licenciado pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental, sob o n/ 0037/2000-DL. Realizada a análise através de dois critérios, quais sejam:

- a) Desaguamento e secagem por período de quarenta dias. A amostra do material (lodo) foi retirada de forma que apresentasse certa umidade, porção basal da porção de lodo de uma massa de aproximadamente 100g. Este material foi armazenado em recipiente plástico esterilizado e imediatamente entregue ao laboratório e,
- b) O restante do lodo foi retirado todo do leito de secagem, sendo armazenado inicialmente em caixas de papelão e posteriormente em recipiente plástico, por período de 30 (trinta) dias. Com isto, obteve-se uma secagem mais acentuada. Decorrido este período o material foi retirado do recipiente (peso aproximado de 600g), disposto em saco plástico e entregue ao laboratório para análise.

A análise bacteriológica do lodo de esgoto úmido permite caracterizar “a importância da água para o crescimento bacteriano”, uma vez que as bactérias são microrganismos unicelulares formados de uma combinação de compostos químicos, dentre os quais a água representa cerca de 80 a 90% da massa celular.

Os resultados obtidos relativos à análise biológica do lodo in natura encontram-se na Tabela 9.

TABELA 9 - Resultado da Análise Bacteriológica do Lodo de Esgoto

Lodo de Esgoto	Contagem de Coliformes Totais	Contagem de Coliformes Fecais (<i>Escherichia coli</i>)	Contagem de Microorganismos Heterotróficos
Úmido	$1,6 \times 10^5$ NMP / 10g	$3,0 \times 10^4$ NMP / 10g	$5,7 \times 10^6$ UFC / 25g
Seco	$6,0 \times 10^3$ NMP / 10g	$3,0 \times 10^3$ NMP / 10g	$4,8 \times 10^7$ UFC / 25g

- Limites de Detecção (LD) para CBH: 1,0 UFC/g
- Limites de Detecção (LD) para Coliformes Totais/Fecais: 2,0 NMP/10g
- Análise de acordo com a Resolução n.º 481 de 23/09/1999 (ANVISA)
- Relatórios n.º 19767/04 (lodo úmido) e 19233/04 (lodo seco)
- NMP – Número Mais Provável
- UFC – Unidades Formadoras de Colônias

Todas as bactérias necessitam de água para crescer e se multiplicar. Este líquido essencial participa de várias funções importantes para os organismos vivos, como a proteção das células contra mudanças bruscas de temperatura, a maioria das reações bioquímicas celulares,

especialmente aquelas envolvendo hidrólise e sua participação como solventes de uma grande variedade de substâncias. Esta última característica é muito importante porque a maioria das bactérias pode viver somente onde os nutrientes estão envolvidos com água (GIRAUDO, Monique Schipani -Bióloga/Microbiologista – Anexo I/Relatórios 19233/04 e 19767/04, 2004).

Os valores encontrados na análise do lodo úmido indicam que o crescimento da quantidade de bactérias se desenvolve na presença de água. Isto revela que o manuseio do lodo de esgoto a partir da retirada da ETE e, posteriormente, dos leitos de secagem requer inúmeros cuidados sanitários, além, é claro, dos ambientais.

5.5.1 Classificação dos resíduos – lodo de esgoto desaguado

A norma NBR 1004/87, alterada e vigorada em novembro de 2004 à NBR 10004/2004, classifica os resíduos quanto ao riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, indicando quais os resíduos que devem ter uma destinação eficiente com vistas a uma maior rigidez no controle.

A ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – editou esta nova norma por ocasião da primeira Feira Internacional do Meio Ambiente (FEIMA), realizada no final de 2004 na cidade de Bento Gonçalves, RS ao suscitar diversos comentários e avaliações.

No presente item, destaca-se a classificação do resíduo sólido “in natura”, lodo de esgoto da ETE de Osório, obtido junto ao leito de secagem, após desaguamento e permanência por 40 dias.

O laudo técnico de classificação do resíduo, identificado como lodo de esgoto desaguado em leitos de secagem “in natura” da ETE de Osório, foi realizado no Laboratório Pró-Ambiente – Análises Químicas e Toxicológicas.

A amostra apresentava-se seca, homogênea, fragmentada, em cor preta e odor característico.

A suspensão aquosa a 5% (m/v) da amostra do resíduo apresentou caráter neutro (pH=6,9), não situando-se na faixa ácida de corrosividade (pH entre 0,0 e 0,2). O pH, os componentes pesquisados e as informações obtidas indicam que se trata de resíduos não providos de reatividade.

Em função das análises químicas efetuadas, considerando as matérias-primas e transformações envolvidas, é possível concluir que no resíduo não se encontram concentrações superiores aos valores estabelecidos pela norma NBR 10004/2004. As Tabelas 10 e 11 a seguir apresentam, respectivamente, os resultados obtidos para os ensaios de lixiviação e solubilização dos resíduos de lodo de esgoto “in natura”.

TABELA 10 - Resultado de Lixiviação do lodo de esgoto desaguado “in natura” e os padrões estabelecidos pela NBR 10004

Parâmetro	Resultado da Amostra	Limite Máximo (NBR 10004)
Arsênio (mg/l)	ND	5,0
Bário (mg/l)	ND	100,0
Cádmio (mg/l)	ND	0,5
Chumbo (mg/l)	ND	5,0
Cromo (mg/l)	ND	5,0
Mercúrio (mg/l)	ND	0,1
Fluoreto (mg/l)	ND	150,0
Prata (mg/l)	ND	5,0
Selênio (mg/l)	ND	1,0

ND: Não Detectado

TABELA 11 – Resultado da Solubilização do lodo de esgoto desaguado “in natura” e padrões estabelecidos pela NBR 10004

Parâmetro	Resultado da Amostra	Limite Máximo (NBR 10004)
Dureza (mg/L CaCO ₃)	1.893,5	500,0
Fenol (mg/l)	ND*	0,001
Mercúrio (mg/l)	ND*	0,001
Arsênio (mg/l)	ND*	0,05
Bário (mg/l)	ND*	1,0
Cádmio (mg/l)	ND*	0,005
Chumbo (mg/l)	ND*	0,05
Cromo (mg/l)	ND*	0,05
Alumínio (mg/l)	ND*	0,2
Ferro (mg/l)	13,0	0,3
Manganês (mg/l)	5,9	0,1
Sódio (mg/l)	43,5	200,0
Zinco (mg/l)	1,6	5,0
Cobre (mg/l)	0,05	1,0
Cianeto (mg/l)	ND*	0,1
Fluoreto (mg/l)	ND*	1,5
Nitrato (mg/l)	ND*	10,0
Cloreto (mg/l)	24,0	250,0
Sulfato (mg/l)	260,6	400,0
Surfactante (mg/l)	ND*	0,2

Analisando-se os ensaios do teste de lixiviação do lodo de esgoto desaguado “in natura” da ETE de Osório, RS, verifica-se que elementos encontrados nos ensaios apresentam concentrações inferiores aos valores estabelecidos pela norma, ou seja, não foram detectados.

Para ensaio de solubilização do lodo de esgoto desaguado “in natura”, verifica-se que três dos elementos encontrados no ensaio apresentam concentração superior ao determinado pela norma – dureza (mg/L CaCO₃), Ferro (Fé) e Manganês (Mn). Os demais compostos apresentam valores inferiores ao determinado pela norma.

As avaliações e análises de acordo com as prescrições da NBR 10004/2004 e com diretrizes estabelecidas pela FEPAM, classificam o resíduo de lodo de esgoto desaguado “in natura” com **Classe II-A/Não-Inerte**.

6. PROGRAMA EXPERIMENTAL – PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA CINZA DE LODO DE ESGOTO

Este estudo apresenta uma metodologia para avaliação da viabilidade de utilização das cinzas do lodo gerado na ETE da cidade de Osório, RS, como adição a argamassas na construção civil, a partir da carência de alternativas e áreas para disposição final do material proveniente dos leitos de secagem.

Com vistas ao preparo e caracterização da amostra de lodo desenvolveu-se um programa experimental, tendo como objetivo: caracterizar o lodo gerado na bacia de decantação e a cinza, resultante da sua incineração, e verificar a potencialidade de uso como adição em argamassa.

6.1. Etapas do Programa Experimental

O programa experimental foi dividido em três etapas: preparação da amostra de lodo, caracterização da amostra de lodo, e utilização da cinza de lodo como adição em argamassa, conforme detalhado a seguir.

6.1.1 Etapa 1: Preparação da amostra de lodo

O material utilizado nos experimentos é o lodo, termo utilizado para os sólidos gerados durante o processo de tratamento de esgoto sanitário, antes do tratamento adequado para a disposição final. Na Figura 11 **Figura 11** (Capítulo 4) é possível identificar a bacia de decantação para disposição do lodo na ETE de Osório, RS.

A amostra, para o presente estudo, foi obtida a partir do processo de secagem natural tipo “leitos de secagem”, e para tanto se construiu um protótipo, o qual pode ser visto na Figura 18.

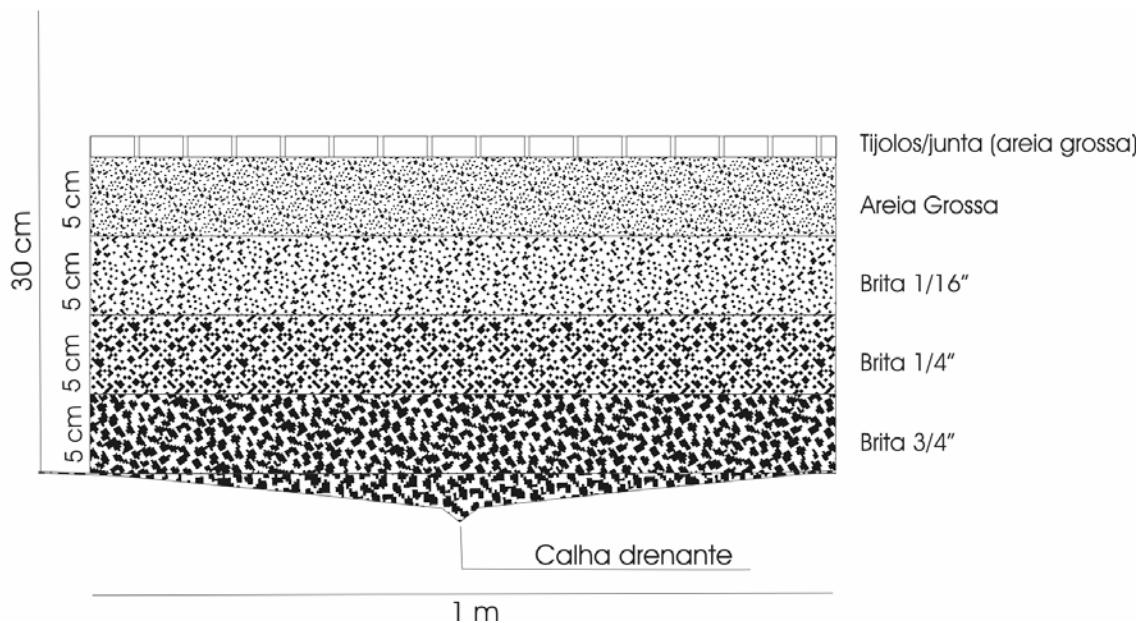


Figura 18 - Seção do protótipo do leito de secagem

A escolha deste tipo de leito para secagem justifica-se em função de ser o mais indicado para comunidades de pequeno e médio porte, com ETE's tratando população equivalente até cerca de 20.000 habitantes, localizadas em áreas afastadas dos grandes centros urbanos, como é o caso da cidade de Osório, RS.

Construído o protótipo de leito de secagem, procedeu-se a retirada do lodo disposto na bacia de decantação (Figura 11), e colocou-se no leito de maneira que formasse uma camada em torno de 5,00 cm, deixando-a secar, conforme ilustra a Figura 19 (a) e (b). O lodo deságua por dois mecanismos: drenagem através da massa do lodo e da areia de sustentação e por evaporação das superfícies expostas ao ar, sendo que a maior parte da água retirada do lodo é por drenagem.



Figura 19 - Amostra de lodo parcialmente seco no protótipo de leito de secagem. (a) vista geral e (b) detalhe

O lodo foi removido do leito de secagem depois de ter sido drenado e desaguado suficientemente para ser retirado com uma pá. O lodo seco apresentou uma superfície áspera, quebradiça e coloração marrom escuro a preto, após decorrido prazo de quarenta dias sob condições favoráveis. Este lodo foi caracterizado química e ambientalmente conforme descrito no item 6.1.2.

O próximo passo realizado foi a calcinação da amostra do lodo seco. A calcinação tem como objetivo principal eliminar água absorvida (presa à superfície), água ocluída (presa em cavidades), água sorvida (presa em cavidades nas partículas) e água essencial (água de hidratação, cristalização e constituição: um dos constituintes da rede de moléculas que forma o cristal), além de eliminar a matéria orgânica presente.

Segundo AZIZ e RAMANSWAMY (1992), a calcinação tem se tornado um dos principais métodos para o tratamento dos resíduos, particularmente nas grandes cidades. Este processo reduz significativamente o volume do resíduo seco, na ordem de 80%, elimina a necessidade de se trabalhar com grandes volumes e com grandes áreas para disposição final do material.

A queima, além de ser considerada segura, sob o ponto de vista sanitário, elimina a matéria orgânica, reduz a cinza os materiais combustíveis, em sua grande maioria também decomponíveis, tornando-os bastantes inertes se comparados ao seu estado original (SAITO, 1994).

Na calcinação os sólidos voláteis do lodo são queimados na presença de oxigênio, sendo a parcela dos sólidos fixos transformado em cinza, e eliminados no processo os microrganismos patogênicos e os compostos orgânicos tóxicos. Os metais, entretanto, não são eliminados pela incineração e se concentram nas cinzas (TSUTIYA, 2002).

A calcinação foi realizada em diferentes temperaturas, uma vez que não existem ainda procedimentos específicos para a queima de lodos sanitários. METCALF e EDDY (1992) comentam que os processo de calcinação de lodo envolvem temperaturas normalmente acima de 550°C, mas pode ser considerado até uma temperatura de 950°C.

Esta queima, em diferentes temperaturas, pode proporcionar a transformação do lodo em material amorfo, critério essencial para torná-lo reativo com materiais resultantes da hidratação do cimento e fundamentalmente definir qual a temperatura que proporciona uma cinza com

características adequadas para ser utilizada como substitutivo do cimento em concreto ou argamassa.

Após a calcinação e identificação da cinza mais adequada para uso em materiais cimentícios (conforme descrito no item 6.1.2), foi procedida a moagem da amostra visando alcançar uma granulometria semelhante à do cimento (~10 µm), para que fosse possível utilizá-lo como substitutivo do mesmo.

A Tabela 12 mostra o resumo das atividades e objetivos de cada etapa realizada para o preparo da amostra.

TABELA 12 - Identificação das atividades para o preparo da amostra de lodo

Atividades	Objetivos
Construção dos Leitos de Secagem	Oferecer condições ideais para o desaguamento do lodo de esgoto retirado da bacia de decantação.
Retirada do lodo da bacia de decantação.	Iniciar preparação da amostra.
Disposição do Lodo de Esgoto no Leito de Secagem.	Realizar o desaguamento do lodo de esgoto retirado da bacia de decantação. Período previsto 30-40 dias, em função das condições climáticas e ambientais.
Retirada do Lodo de Esgoto do Leito de secagem.	Iniciar a atividade de caracterização da amostra de lodo de esgoto. Eliminar água
Incineração (calcinação) da amostra do lodo seco em diferentes temperaturas: 550°C, 650°C, 750°C, 850°C e 950°C.	Reduzir o volume do resíduo seco Eliminar matéria orgânica e microorganismos patogênicos Tornar o lodo reativo com os compostos de hidratação do cimento
Moagem do lodo calcinado em moinho de eixo horizontal por 12 horas.	Redução da granulometria

6.1.2 Etapa 2: Caracterização da amostra de lodo “in natura”

A caracterização do lodo “in natura” foi realizada a partir da difração de raios-X, análise química e de risco ambiental. Nesta etapa foram determinadas as características que os compostos sólidos de lodos parcialmente desidratados apresentam, dentre os quais destaca-se: percentual de matéria orgânica, compostos inorgânicos, presença ou não de compostos nocivos.

A presença de compostos nocivos ao homem – como metais pesados⁴ – são indesejáveis em qualquer material (ANDREOLI, 1999).

6.1.2.1 Difração de Raios-X

Concluída a moagem dos lodos calcinados em diferentes temperaturas, estes foram submetidos à Difractometria de Raios-X, verificando-se a mineralogia do lodo, definindo com isto a temperatura ideal de queima, para prosseguir com os trabalhos.

6.1.2.2 Caracterização química do lodo calcinado

Identificada a temperatura ideal de queima do material (550°C, através dos ensaios de difração de raios-X) foi realizada a caracterização química do lodo calcinado, com a finalidade de identificar a existência ou não de elementos prejudiciais ao meio ambiente, tais como metais pesados, e a comprovação da eliminação da matéria orgânica do lodo “in natura”.

6.1.2.3 Caracterização da microestrutura através de Microscopia Eletrônica de Varredura

Concluídas as atividades de caracterização química e mineralógica, as cinzas foram analisadas através do uso de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) por elétrons secundários, a fim de conhecer a morfologia das partículas que compõe o resíduo de lodo incinerado, permitindo com isto identificar o comportamento físico, isto é, tamanho de grãos, forma e rugosidade.

Este tipo de análise permite visualizar, em três dimensões, o aspecto do material, em aumento de até 40.000 vezes.

Todas as atividades previstas para a caracterização da amostra de lodo são identificadas através da Tabela 13, onde é apresentada a forma seqüencial das atividades com os respectivos objetivos.

⁴ Os *metais pesados* são representados pelos elementos: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Pb, Sb, Se, Zn – termo atribuído a elemento químico que possui massa específica maior que 5g/cm³ ou número atômico maior que 20 (MELO et al. 1997). Na composição dos lodos são nocivos à saúde, devendo-se ter cuidados especiais com esses resíduos.

TABELA 13 - Identificação das atividades de caracterização da amostra de CLE

Atividades	Objetivos
2. Caracterização da amostra de lodo de esgoto	
2.1. Análise química	Caracterizar quimicamente o lodo parcialmente seco, que consiste em definir faixas de composição química do lodo, e também a possibilidade de comparação da sua composição com outros lodos gerados em ETEs
2.2. Análise do risco ambiental	Identificar a presença ou não de elementos nocivos à saúde, isto é, metais pesados, teores e limites segundo NBR 10004.
2.3. Difratomia de Raios-X das cinzas geradas nas diferentes temperaturas	Verificar a estrutura cristalina ou amorfa, obtendo-se com isto a definição da temperatura ideal de queima para se prosseguir com os estudos e trabalhos.
2.4 Caracterização química da cinza obtida na temperatura ideal (550°C)	Definir a composição química da cinza e identificar se ocorre a presença de elementos nocivos à saúde, bem como de metais pesados.
2.5 Caracterização micro-estrutural através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	Reconhecer a microestrutura do material, características físicas tais como: granulometria, forma e rugosidade.

Por fim, foi realizada a moagem do lodo calcinado, a fim de evitar torrões na amostra, obtendo-se uma granulometria similar à do cimento (~10µm), para que fosse possível utilizá-lo como substitutivo do mesmo.

6.1.3 Etapa 3: Utilização da cinza de lodo como adição em argamassa

Concluídas as atividades de preparação e caracterização da amostra foi iniciada a etapa final do programa experimental proposto neste estudo, que consiste na verificação das possibilidades de utilização das cinzas de lodo sanitário como adição, em diferentes teores, em argamassas, e suas implicações na resistência à compressão e absorção capilar. Foram também realizados ensaios de caracterização ambiental para aplicação. A Tabela 14 identifica a seqüência das atividades e seus objetivos.

TABELA 14 - Identificação das fases de moldagem das argamassas com adição de cinza de lodo

Atividades	Objetivos
3. Moldagem da argamassa	
3.1. Moldagem de corpos-de-prova em três proporcionamentos: caso de filer (sem função aglomerante) – Teores 5%, 10% e 20%.	Avaliar o comportamento da argamassa confeccionada quanto à compressão e absorção capilar.
3.2 Realização dos ensaios de compressão e absorção capilar.	Avaliar o comportamento da argamassa confeccionada.
3.3 Realização dos ensaios de caracterização ambiental: lixiviação e solubilização.	Avaliar a capacidade da argamassa em solidificar, estabilizar ou encapsular de forma segura os materiais nocivos presentes no resíduo – NBR 10004, NBR 10005 e NBR 10006/2004.

Conforme mostra a Tabela 14, a moldagem das argamassas compreende três proporcionamentos, com vistas a verificar o potencial das argamassas para absorver finos como adição, através da realização de ensaios de resistência à compressão, segundo a NBR 7215/1996, e de absorção capilar, segundo o método NBR 9779/1995.

A verificação da possibilidade de utilização das cinzas como adição em argamassa será realizada em diferentes atividades, cuja estrutura sequencial está contemplada na **Figura 20**.

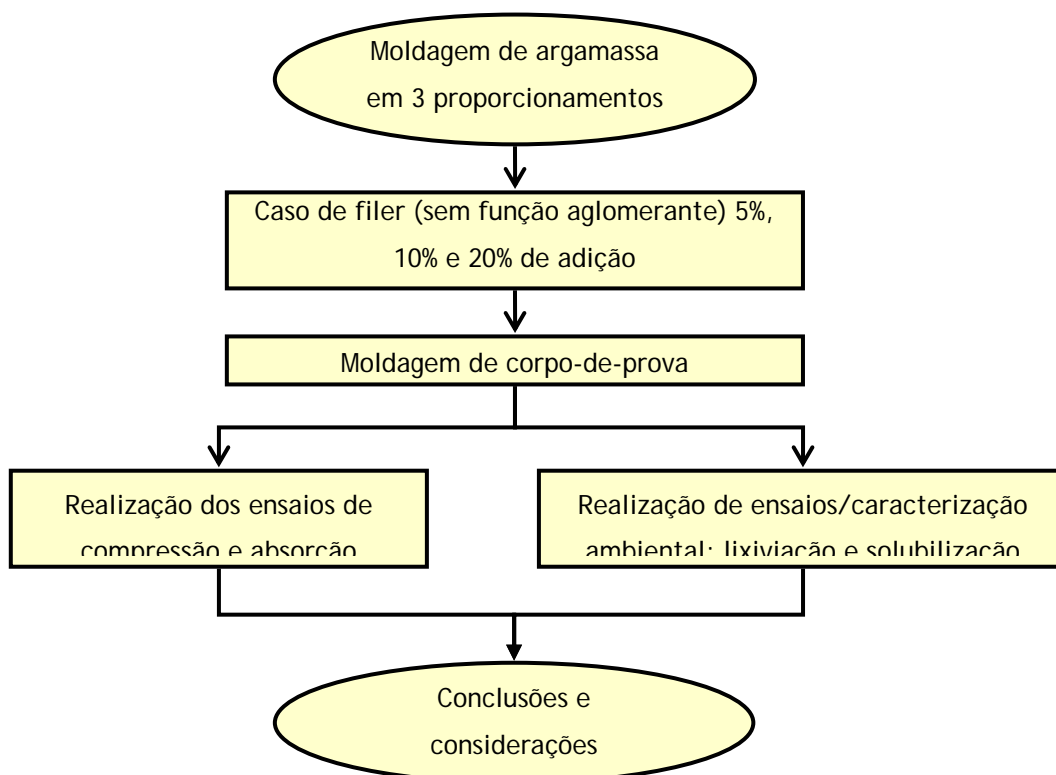


Figura 20 - Fluxograma da realização dos ensaios

6.1.4 Local da realização dos ensaios e experimentos

Os locais para realização das atividades de preparação da amostra de Lodo, caracterização da amostra de Lodo e dos experimentos das cinzas em argamassas, estabelecidas para os trabalhos, são identificados na Tabela 15.

TABELA 15 - Locais da realização das atividades de preparação da amostra de Lodo, caracterização da amostra de Lodo e dos experimentos das cinzas em argamassas.

Atividade	Local
1. Construção do protótipo do Leito de secagem	Área da ETE
2. Calcinação – queima do lodo parcialmente seco.	Laboratório de Materiais Cerâmicos – LACER/PPGEM/UFRGS
3. Difração de Raio-X e caracterização química	Programa de Pós-Graduação em Minas, Metalurgia e Materiais – UFRGS
4. Análise e Caracterização Ambiental	PPGEM/UFRGS Agronomia/UFRGS
5. Ensaios na área da construção civil	Laboratório de materiais (LEME) do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
6. Ensaio de solubilização e lixiviação (corpos-de-prova)	LACOR/UFRGS

6.2. Resultados Obtidos nas Etapas: Preparação da mostra de lodo e Caracterização da amostra de lodo

6.2.1 Definição da temperatura de queima

Para identificar a temperatura ideal de queima do lodo de esgoto, a fim de utilizá-lo como adição em materiais cimentícios, definiu-se, baseado na bibliografia (GEYER, 2001), cinco temperaturas de queima: 550°C, 650°C, 750°C, 850°C e 950°C.

Após calcinação, foram realizados ensaios de Difração de Raios-X. A análise da CLE foi realizada no Laboratório de Materiais Cerâmicos – LACER, do Departamento de Minas, Metalurgia e Mecânica da UFRGS, na qual se identificaram os seguintes principais compostos:

- SiO₂, na forma de quartzo, sendo o mais presente;
- (Ca, Na)(Si, Al) – Anortita (silicato) e sódio;

– (Na, Ca)(Si, Al) – Albita (feldspato) e cálcio ordenado.

As Figuras 21 a 25 apresentam os difratogramas obtidos.

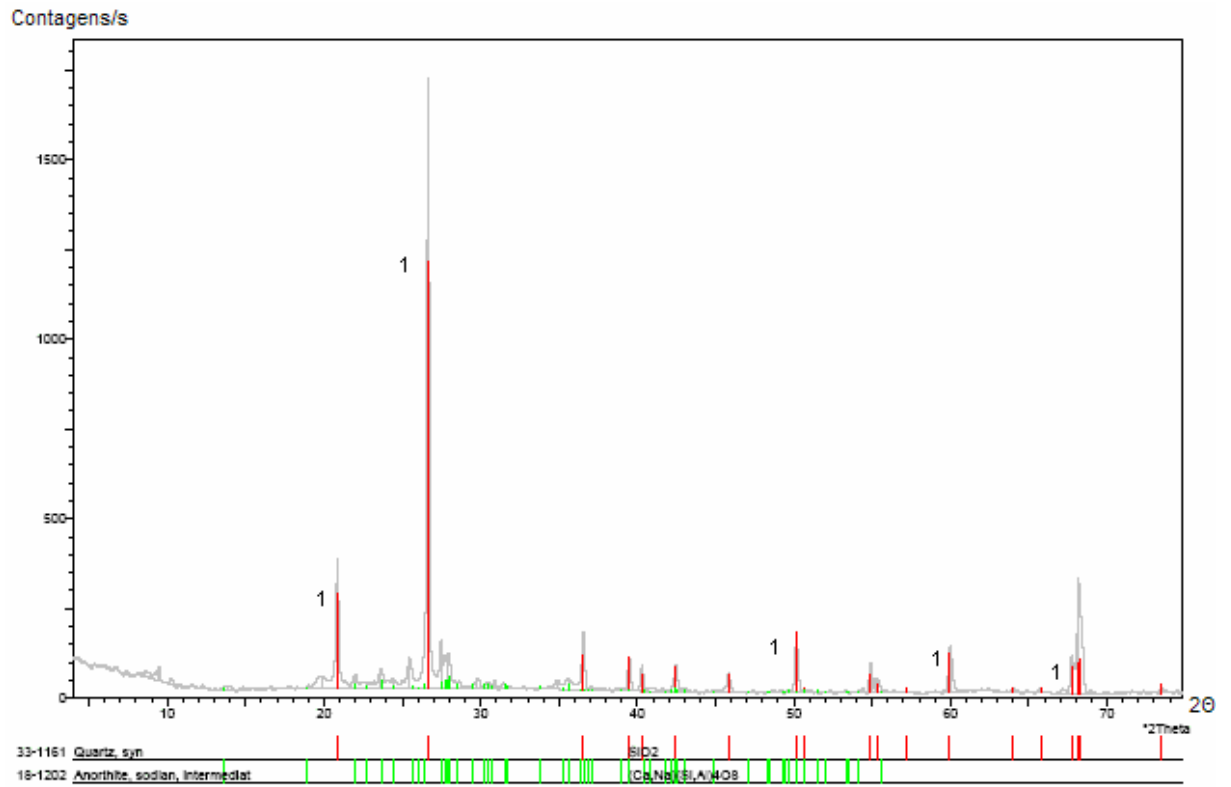


Figura 21 - Difração de Raios X da amostra de CLE a 550° C

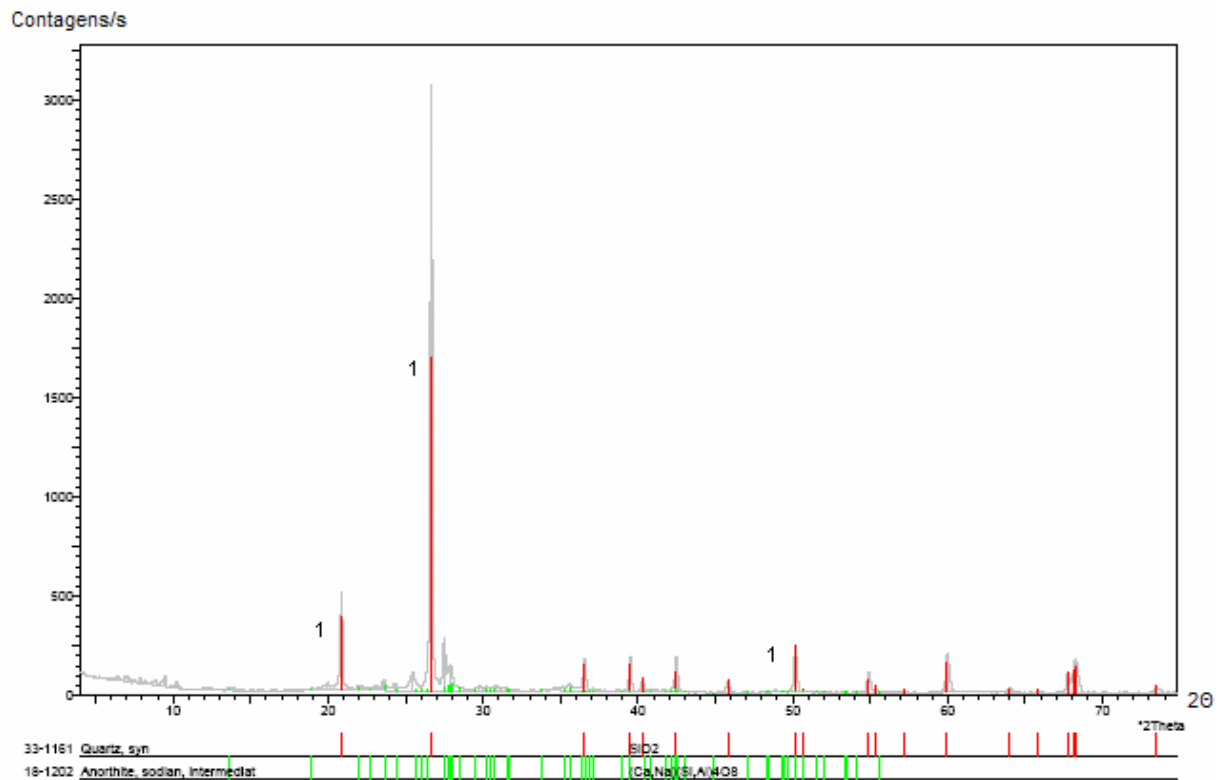


Figura 22 - Difração de Raios-X da amostra de CLE a 650° C

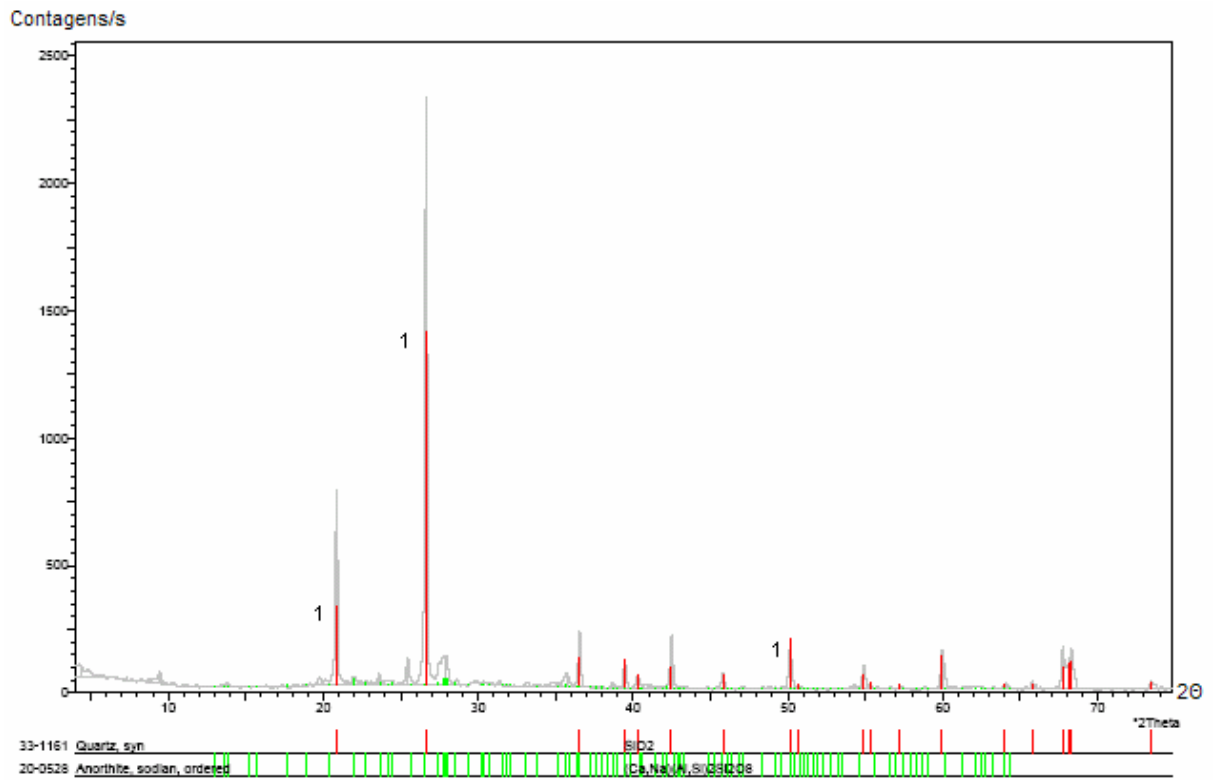


Figura 23 - Difração de Raios-X da amostra de CLE a 750° C

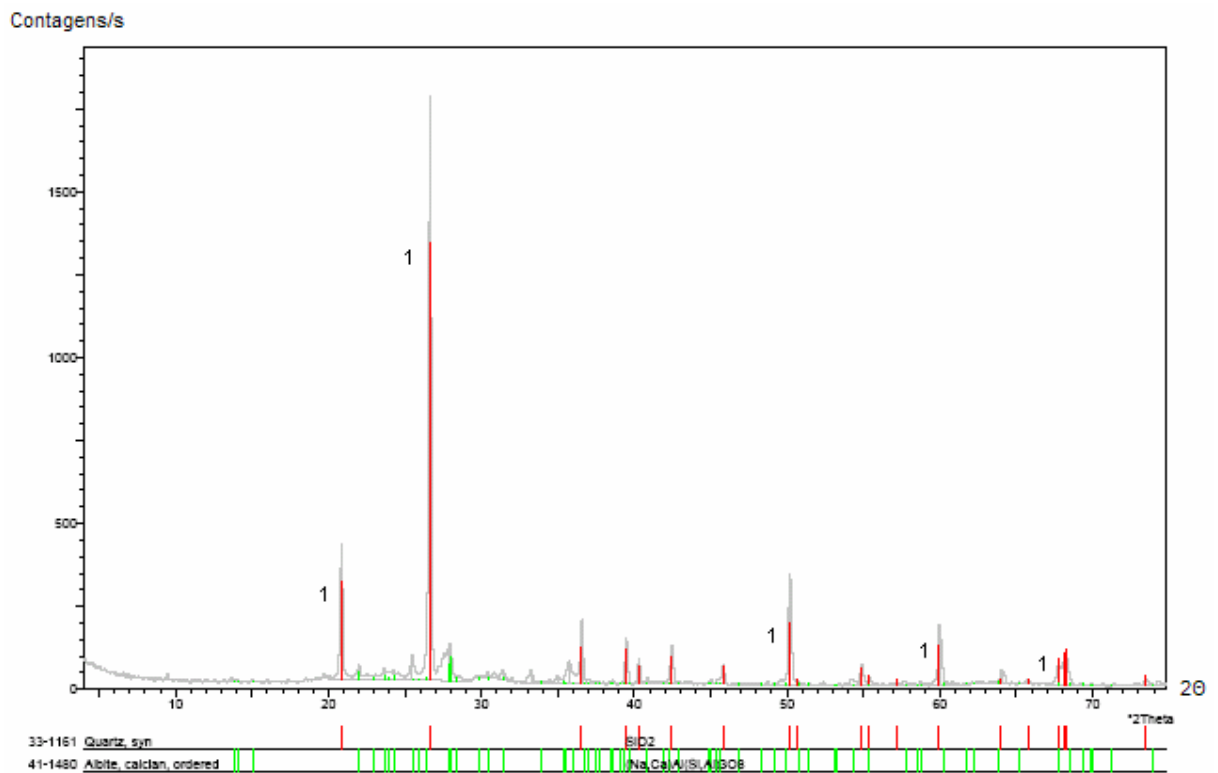


Figura 24 - Difração de Raios X da amostra de CLE a 850° C

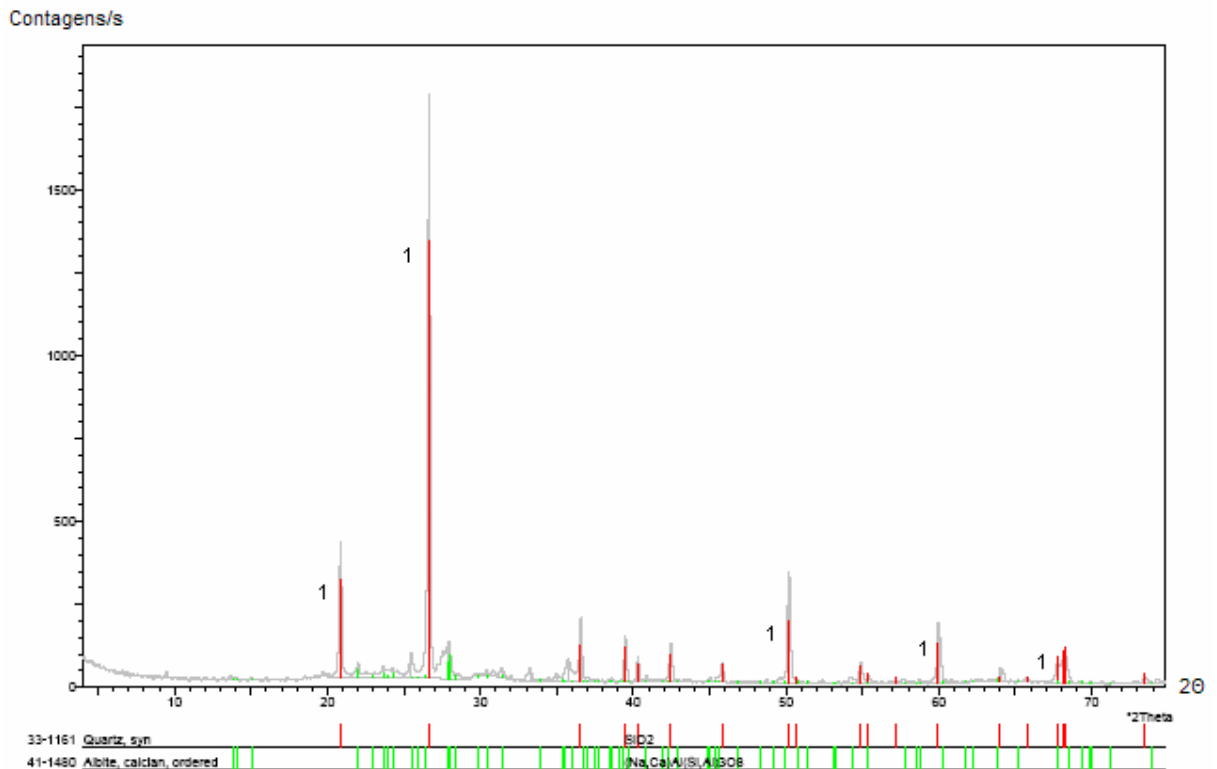


Figura 25 - Difração de Raios X da amostra de CLE a 950° C

Os difratogramas de raios-X apresentados nas **Figura 21** a **Figura 25** mostram a predominância do pico cristalino de Sílica (SiO_2). Os demais compostos, como Anortita (silicato duplo de alumínio e cálcio) e Sódio, Albite (feldspato) e Cálcio são percebíveis como uma presença constante, porém com menor intensidade.

A escolha da temperatura ideal de calcinação baseou-se nas seguintes considerações: (i) - poderia haver a presença de matéria orgânica na temperatura de 450°C, (ii) - as curvas apresentavam-se semelhantes em todas as temperaturas de queima, isto é, os picos não indicam algum tipo de transformação significativa, (iii) - nas temperaturas de 550°C, 650°C e 750°C, não ocorre a geração de odores desagradáveis ao ambiente, (iv) - para temperaturas de 850°C e 950°C, há um aumento significativo de odores no ambiente de trabalho, (v) - as curvas não apresentaram a presença de sílica amorfa e sim cristalina. Em função das considerações, decidiu-se que o trabalho teria seqüência através da utilização da temperatura de calcinação de 550°C, já que, em igualdade de condições com as temperaturas de 650°C e 750°C, resulta em menor consumo energético.

Após o processo de queima do lodo em laboratório à temperatura ideal de 550°C, constata-se que o volume de cinza gerado ficou em torno de 23%, ou seja, para cada 5 kg de resíduos, foi obtido cerca de 1,15 kg de Cinza de Lodo de Esgoto. A Tabela 19 (Capítulo 7) mostra, de forma sucinta, a etapa de preparo da amostra para calcinação, caracterização do volume em kg e a proporção resultante em kg.

O lodo de esgoto apresenta em sua constituição química, substância orgânica volátil (sólidas ou líquidas). No caso da água ser totalmente removida, a matéria orgânica volátil remanescente e a matéria inorgânica (cinza) são conhecidos como sólidos secos.

A matéria orgânica volátil pode ser caracterizada por seu valor calorífico. O conteúdo inorgânico do lodo de esgoto também varia. Entretanto, de um modo geral, pode-se considerar os seguintes valores:

- Lodo primário: 30-45 % de sólidos secos;
- Lodo secundário (lodo ativado): 20-35% de sólidos secos.

GEYER (2001) diz que é possível estabelecer uma relação entre a quantidade de lodo parcialmente seco e o volume de resíduos resultante após a queima. Por exemplo, na ETE IAPI, de Porto Alegre, o resíduo fixo, que é o material não volátil a 550° C, foi de 9,98% do total. Após esta incineração o material foi novamente levado ao forno a uma temperatura de 950°C, reduzindo em 2,7% o material em relação à temperatura anterior, isto é, passando para 9,71% o valor de material residual.

Diante da relação estabelecida por GEYER (2001), o presente trabalho estabeleceu para a ETE de Osório, RS, que os resíduos parcialmente secos, após moagem e calcinação à temperatura de 550°C, o percentual de resíduo fixo está na ordem de 23%, que representa o material não volátil.

O material foi retirado e levado ao forno, agora a uma temperatura de 950° C, e na oportunidade ocorreu uma redução de material em torno de 6,84%. A Tabela 16 mostra a relação entre o percentual do resíduo fixo, representando material resultante não volátil, a temperatura de 550°, estabelecido por GEYER (2001) e o presente trabalho.

TABELA 16 - Relação entre o percentual do resíduo fixo, não volátil, a temperatura de 550°C e 950°C.

Temperatura	ETE – OSÓRIO, RS Percentual de resíduo fixo, não volátil, novamente calcinado	ETE – IAPI, POA (GEYER, 2001) Percentual de resíduo fixo, não volátil, após queima.
550°C	23%	9,98%
950°C	21,4%	9,71%

Pode-se identificar, através do tato e visualmente, que as cinzas de lodo de esgoto incinerado compreendem material bastante friável, de coloração avermelhada (**Figura 32**). A cor vermelha pode indicar a presença de óxido de ferro na sua constituição química. Partículas brilhosas também pode coexistir, o que demonstra a presença provável de quartzo e mica nos resíduos, conforme já relatado em pesquisa realizada por GEYER, RECENA e SHULER (1995).

6.2.2 Estudo de impacto ambiental das cinzas

Define-se impacto ambiental como “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente”, sendo este causado por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, de forma direta ou indiretamente, afetam:

- A saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- As atividades sociais e econômicas;
- A biota;
- As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- A qualidade dos recursos ambientais.

Os diferentes processos de disposição final dos resíduos, conforme já abordado no Capítulo 3, pode representar uma forma de impacto ambiental, desde que esta seja considerada inadequada. Portanto o lodo, qualquer que seja o critério utilizado, poderá trazer inúmeros danos ou prejuízos à população ou ao meio ambiente.

A principal desvantagem da queima está na disposição da cinza gerada e na emissão de gases na atmosfera. Em função destas desvantagens procurou-se avaliar o impacto ambiental que pode ser causado por estes resíduos (CLE), através da realização dos ensaios de lixiviação e solubilização, os quais tem por objetivo principal classificar estes resíduos quanto a sua periculosidade. A emissão dos poluentes de gases também foi considerada, embora não tenham sido realizados devido ao alto custo dos ensaios.

6.2.2.1 Classificação ambiental das cinzas (CLE)

A Cinza do Lodo de Esgoto, segundo NBR 10004 (ABNT, 2004), classifica o resíduo sólido em categorias, procurando avaliar a potencialidade de oferecer riscos ao meio ambiente e à saúde pública, proporcionando com isto que o resíduo possa ser manuseado e disposto adequadamente.

A atualização da antiga norma (NBR 10004, de 1987) tem o mérito de classificar os resíduos sólidos para o gerenciamento, um aspecto inexistente na versão anterior do documento, a qual estava focada na classificação dos resíduos para disposição em aterros.

A nova e atual versão tem a visão ampliada, voltada para a classificação, com vistas ao gerenciamento dos resíduos, independente da sua destinação final.

A classificação para o gerenciamento dos resíduos na nova NBR 10004 estabelece dois grupos:

- a) Classe I – Resíduos perigosos

- b) Classe II – Resíduos Não perigosos
 - b.1) Classe II A – Não inertes

 - b.2) Classe II B - Inertes

Na seqüência da aplicação da Norma, um resíduo é considerado perigoso quando apresenta pelo menos uma das seguintes propriedades: corrosividade, inflamabilidade, toxicidade ou patogenicidade.

Ao definir resíduos perigosos a norma faz menção aos seus diferentes anexos bem como às demais normas relacionadas à 10004 para estabelecimento de uma correta classificação, caso da NBR 10005 relativa ao procedimento para obtenção do extrato lixiviado de resíduos e NBR 10006, relativa ao procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, e a NBR 10007, referente à amostragem de resíduos sólidos.

A NBR 10004 (ABNT, 2004), para o Rio Grande do Sul, foi incorporada à legislação por meio do Decreto Estadual N° 38.456, de 1° de abril de 1998, o qual estabelece em seu artigo 8° a

responsabilidade da fonte geradora em relação ao sistema de gerenciamento de seus resíduos, quanto à quantificação, à segregação dos resíduos, ao acondicionamento, ao transporte e à destinação final dos resíduos.

A adesão à Norma é voluntária até certo ponto porque, em Estados onde foi incorporada à legislação, a adesão é imprescindível por fazer parte de uma lei. A seguir apresenta-se a caracterização da cinza de lodo de esgoto, em conformidade com a NBR 10004 (ABNT, 2004):

a) Composição Química orientada:

- i. pH da suspensão a 5% (m/v): 6,0
- ii. Umidade: 2,8 %
- iii. Cinzas: 95,8%
- iv. Óleos e Graxas: 0,76 %
- v. Coliformes Fecais: ausentes

b) Aspecto da amostra: sólida, seca, homogênea, pulverizada, cor marrom.

c) Avaliação de corrosividade: A suspensão aquosa de 5% (m/v) da amostra do resíduo apresentou carácter ácido leve (pH=6,0), não se situando na faixa ácida de corrosividade (pH entre 0,0 e 2,0);

d) Avaliação de patogenicidade: Não foi verificada presença de microorganismos patogênicos nas análises microbiológicas efetuadas, indicando tratar-se de resíduo não provido de patogenicidade;

e) Avaliação de toxicidade:

- i. Presença de substâncias que Conferem Periculosidade aos resíduos: Baseado nas análises químicas efetuadas e no processo onde o resíduo é gerado, considerando as matérias-primas insumos e transformações envolvidas, conclui-se que não se encontra no resíduo concentrações significativas de substâncias e/ou elementos listados no Anexo D – Listagem nº 4 da NBR 10004;
- ii. Presença de Substâncias Agudamente Tóxica e/ou Tóxicas: Baseado nas análises químicas efetuadas e no processo onde o resíduo é gerado, considerando as matérias-primas insumos e transformações envolvidas, conclui-se que não se

encontra no resíduo concentrações significativas de substâncias e/ou elementos listados no Anexo E – Listagem nº 6 da NBR 10004;

6.2.2.2 Lixiviação do resíduo (CLE)

A Tabela 17 apresenta os resultados do ensaio de lixiviação realizado em conformidade com a NBR 10005 (ANBT, 2004) e os padrões da NBR 10004 (ABNT, 2004) para este ensaio. Para fins comparativos, constam também os resultados obtidos por GEYER (2001) para a lixiviação do lodo da ETE-IAPI, da cidade de Porto Alegre, calcinado a uma temperatura de 550°C.

TABELA 17 - Resultados dos ensaios de lixiviação (CLE)

Parâmetro	ETE Osório, RS	ETE IAPI – Porto Alegre, RS	Limite máximo NBR 10004
Arsênio (mg/L)	ND*	0,024	5,0
Bário (mg/L)	ND*	1,00	100,0
Cádmio (mg/L)	0,02	0,01	0,5
Chumbo (mg/L)	0,20	0,05	5,0
Cromo (mg/L)	ND*	0,02	5,0
Mecúrio (mg/L)	ND*	0,0005	0,1
Fluoreto (mg/L)	ND*	0,81	150,0
Prata (mg/L)	ND*	0,01	5,0
Selênio (mg/L)	ND*	0,062	1,0

ND*: Não Detectado

Os resultados mostram que as concentrações de todos os compostos lixiviados do lodo calcinado da ETE de Osório apresentaram-se abaixo dos valores estabelecidos por Norma. Este mesmo resultado foi obtido por GEYER (2001), para o lodo calcinado da ETE-IAPI de Porto Alegre.

Pode-se afirmar então que, com base neste ensaio, o material não pode ser classificado como tóxico e, portanto, perigoso.

6.2.2.3 Solubilização do resíduo (CLE)

O objetivo deste ensaio é diferenciar os resíduos da Classe II, isto é, investigar se o resíduo é não-inerte (A) ou inerte (B).

A Tabela 18 apresenta os resultados da caracterização química dos compostos solubilizados incinerados à temperatura de 550°C, da ETE de Osório e ETE-IAPI, de Porto Alegre (GEYER, 2001), bem como os limites da NBR 10004 (ABNT, 2004).

TABELA 18 – Resultados do ensaio de solubilização do resíduo (CLE)

Parâmetro	ETE Osório, RS	ETE IAPI – Porto Alegre, RS	Limite máximo NBR 10004
Dureza (mg/L/CaCO ₃)	1935,1	1811	500,0
Fenol (mg/L)	ND*	0,010	0,001
Mercúrio (mg/L)	ND*	0,0005	0,001
Arsênio (mg/L)	ND*	0,005	0,05
Bário (mg/L)	ND*	1,00	1,0
Cádmio (mg/L)	ND*	0,01	0,005
Chumbo (mg/L)	ND*	0,09	0,05
Cromo (mg/L)	ND*	0,02	0,05
Alumínio (mg/L)	ND*	0,28	0,2
Ferro (mg/L)	0,15	0,03	0,3
Manganês (mg/L)	5,4	0,01	0,1
Sódio (mg/L)	10,0	16,0	200,0
Zinco (mg/L)	0,05	0,02	5,0
Cobre (mg/L)	ND*	0,04	1,0
Cianeto (mg/L)	ND*	0,02	0,1
Fluoreto (mg/L)	ND*	2,2	1,5
Nitrato (mg/L)	ND*	0,9	10,0
Cloreto (mg/L)	14,4	56,0	250,
Sulfato (mg/L)	860,9	523,0	400,0

*ND: informação não disponível

Os resultados obtidos para o lodo calcinado da ETE de Osório mostram que os elementos presentes em concentrações superiores às estabelecidas pela Norma NBR 10004 são: CaCO₃ (dureza), Sulfato e Manganês, diferentemente dos encontrados por GEYER (2001).

Os resultados do teste de solubilização para os resíduos da ETE-IAPI de Porto Alegre, RS, mostram que sete elementos encontrados apresentam concentrações superiores aos valores determinados pela norma, quais sejam: CaCO₃ (dureza), Fenol, Cádmio, Chumbo, Alumínio, Fluoreto e Sulfato.

Compostos como Cromo, Bário e Fenol apresentam-se com valores iguais ou próximos ao admitido. GEYER (2001) manifestou que a presença destes compostos químicos pode ser explicada, baseado no tipo de coletor de esgoto utilizado, que é o misto, trazendo consigo este tipo de material, o que poderá comprometer a saúde pública, meio ambiente, onde se destaca a necessidade de disposição adequada.

Em função das avaliações e análises realizadas com as prescrições da NBR 10004 e com as diretrizes estabelecidas pela FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental, o resíduo de cinza de lodo de esgoto é classificado como Classe II-A, ou seja, resíduo não perigoso e não inerte.

6.2.2.4 Emissão de poluentes atmosféricos

A atmosfera pode ser considerada como um local onde, permanentemente, ocorrem reações químicas. Ela absorve uma grande quantidade de sólidos, gases e líquidos provenientes de fontes, tanto naturais, como industriais e outras atividades, que podem dispersar, reagir entre si ou com outras substâncias já presentes na atmosfera.

Após a etapa 6.2.1, que definiu a temperatura de queima, é necessário uma avaliação qualitativa e quantitativa da emissão dos possíveis poluentes para a atmosfera para a temperatura de queima, ou seja, 550°C.

STRAUSS (1975) classifica os efluentes gasosos em:

Partículas: as partículas são elementos químicos ou compostos sólidos ainda líquidos na forma de gotículas. Os principais parâmetros são: o tamanho, forma e densidade das partículas, os quais estão relacionados ao projeto dos separadores;

Gases: os gases são elementos químicos ou compostos cujos pontos de ebulição são suficientemente baixos, que em temperaturas ambientes se volatilizam. Os principais parâmetros são: a composição química, concentração e odores. Os principais poluentes gasosos normalmente contêm enxofre, nitrogênio, halogênio e carbono;

Odor: no odor existe uma série de compostos gasosos que irritam as narinas humanas e as dos animais. A remoção de odor está associada à remoção do gás. Entretanto, certos odores são detectados mesmo em porções ínfimas, o que dificulta o tratamento por remoção.

A geração de efluentes gasosos, devido aos processos industriais ou a que são submetidos resíduos para reuso, devem ser tratados ou eliminados. STRAUSS (1975), identifica a necessidade de eliminar este tipo de efluente, principalmente no que tange a eliminar a exposição a gases tóxicos.

Esta informação ratifica a necessidade de proceder-se a avaliação das emissões de gases, e para isto as perguntas essenciais a serem feitas para especificação de um analisador de gases são as seguintes: (i) – quais os gases que se deseja medir; (ii) – qual a concentração desses gases; (iii) – qual a versão; (iv) qual o combustível; (v) – qual o diâmetro do chaminé; (vi) – qual a temperatura dos gases e a umidade.

A avaliação dos gases gerados na queima do resíduos à temperatura de 550°, para o presente trabalho, não foi realizado devido ao alto custo, cujo valor não foi possível de ser viabilizado.

Diante desta situação, procurou-se identificar possíveis empresas ou Laboratórios que realizam este tipo de avaliação, para que sirva de apoio a trabalhos futuros, ou mesmo para complementar o presente.

A Empresa ISATEC – “Pesquisa, Desenvolvimento e Análises”, com sede em Rio Grande, RS, conforme contatos com o Eng. H. Osmus; O programa de Engenharia Química da COPPE – Núcleo de Catálise (NUCAT), por meio de Espectroscopia de Fluorescência de raio X, através do equipamento Rigater Rix 3100 com tubo de Rh (ródio).

6.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Após a moagem, realizaram-se ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura. As imagens obtidas através da MEV por elétrons secundários permitem visualizar em três dimensões o aspecto do material, em aumentos graduais de até 20.000 vezes. Com a análise, registraram-se detalhes importantes do formato das partículas e rugosidade de suas superfícies, considerando os diversos níveis de aumento.

As Figuras 26 a 30 apresentam, respectivamente, ampliação de 100, 500, 1.500, 5.000 e 20.000 vezes da amostra de lodo calcinado da ETE de Osório.

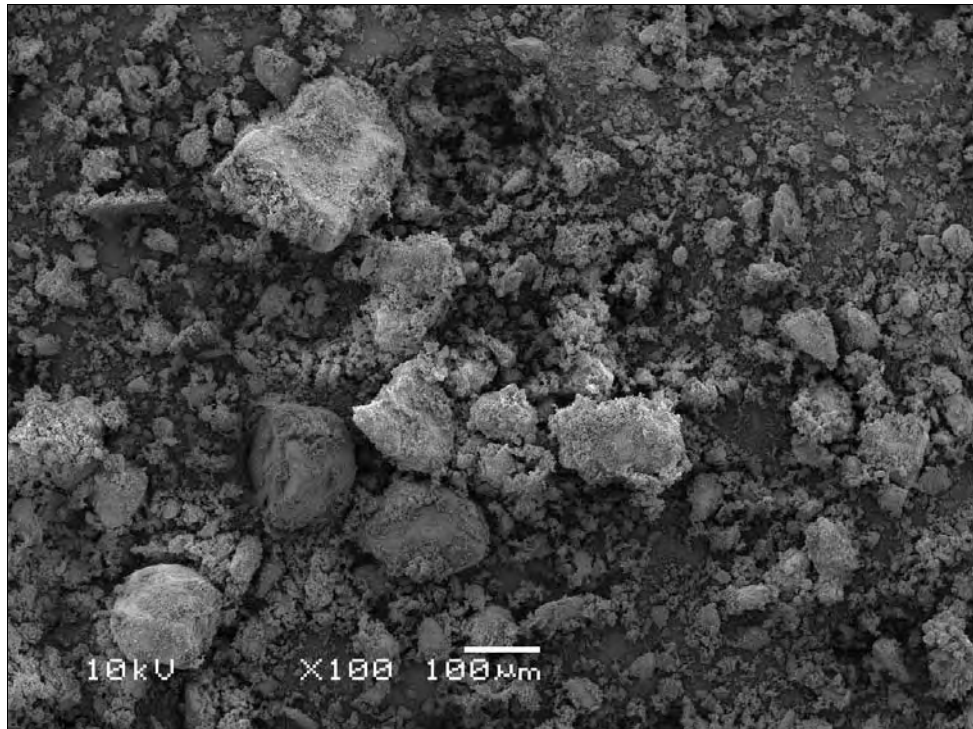


Figura 26 – Microscopia eletrônica de varredura por elétrons secundários da cinza de lodo incinerada à 550°C, na ampliação de 100 vezes.

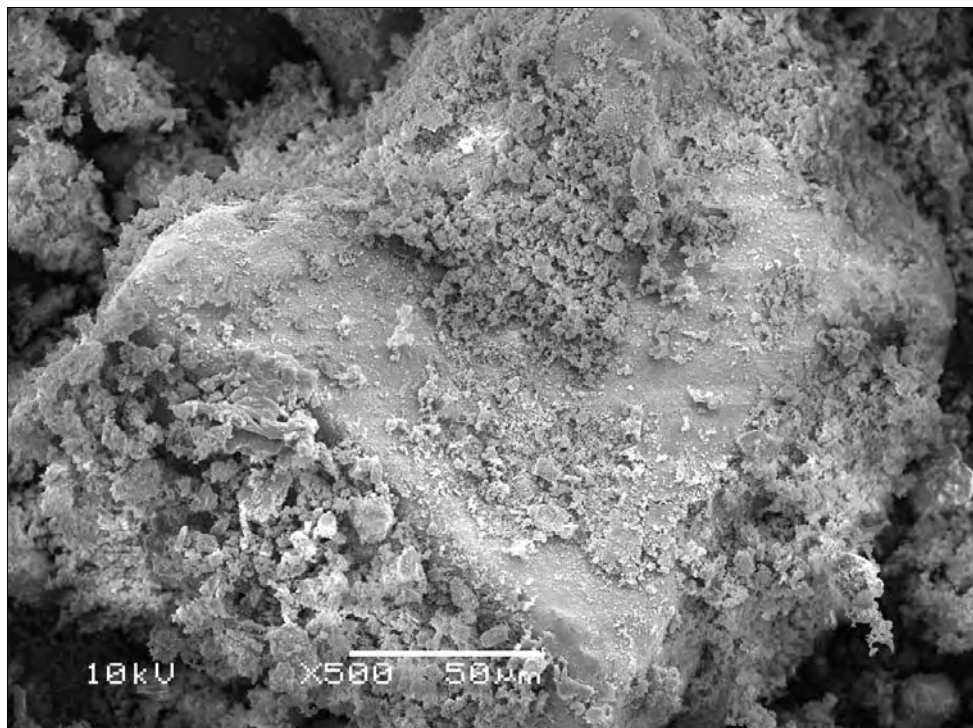


Figura 27 - Microscopia eletrônica de varredura por elétrons secundários da cinza de lodo incinerada à 550°C, na ampliação de 500 vezes.

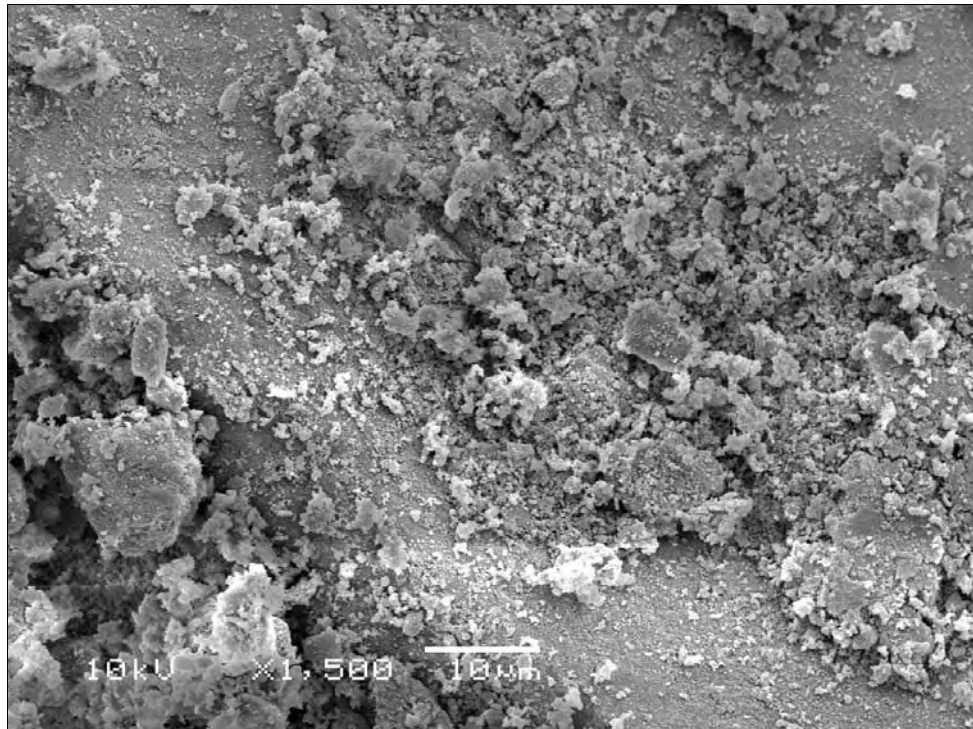


Figura 28 - Microscopia eletrônica de varredura por elétrons secundários da cinza de lodo incinerada à 550°C, na ampliação de 1.500 vezes.

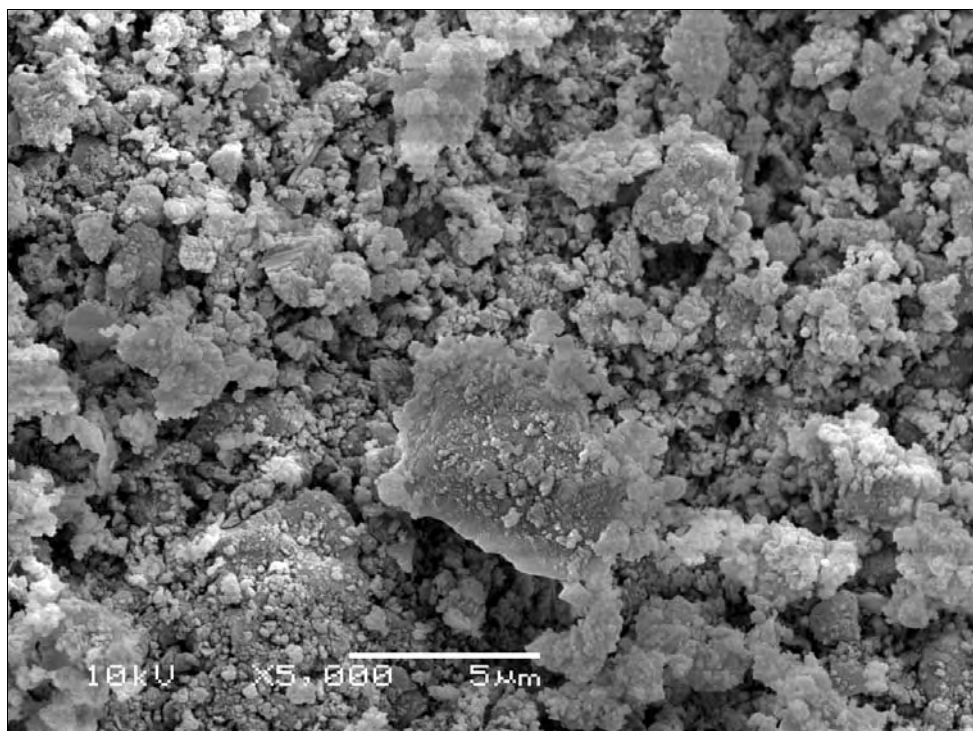


Figura 29 - Microscopia eletrônica de varredura por elétrons secundários da cinza de lodo incinerada à 550°C, na ampliação de 5.000 vezes.

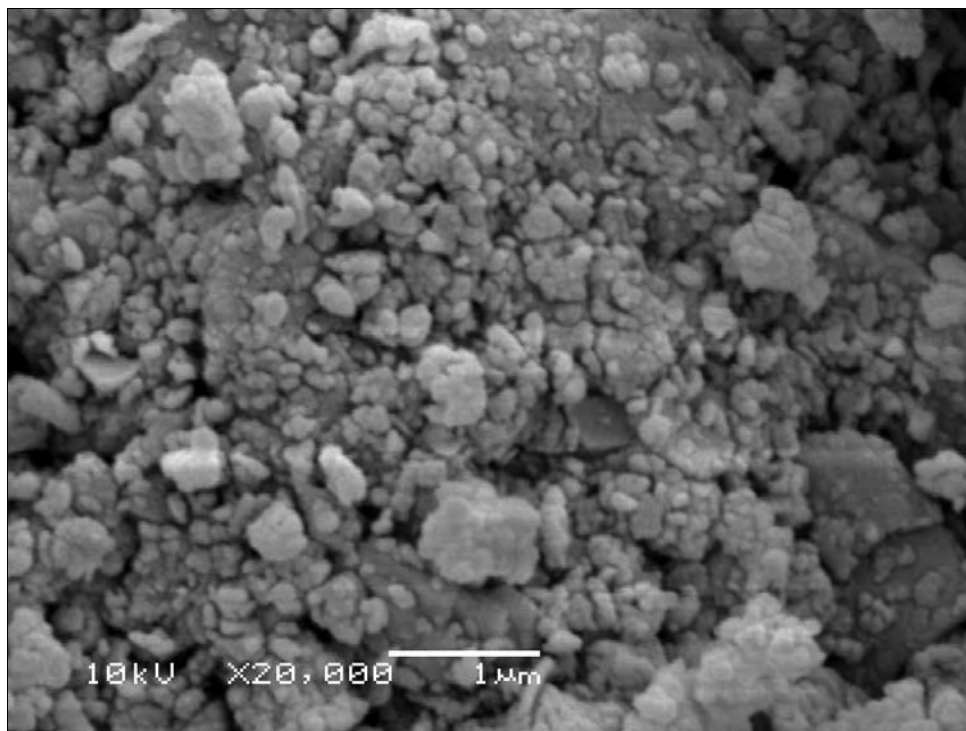


Figura 30 – Microscopia eletrônica de varredura por elétrons secundários da cinza de lodo incinerada à 550°C, na ampliação de 20.000 vezes.

A Figura 26 mostra a forma geral das partículas que compõe as cinzas e os maiores fragmentos encontrados. Observa-se ali uma baixa esfericidade e médio arredondamento, com grãos cujo diâmetro superam 200 µm.

A Figura 27 permite observar com clareza a maior partícula da amostra, comprovando seu formato não-esférico. Sua superfície relativamente plana garante o formato poliédrico e angular da partícula. Nota-se a presença de inúmeras partículas pequenas dimensões acumuladas sobre o grão maior.

As Figuras 28 e 29 mostram detalhes da constituição da superfície das partículas da CLE.

A Figura 30 aponta uma generalização do formato das micro-partículas que compõem a CLE, de cantos bastante arredondados, cujos diâmetros variam de 10 a menos de 1 micrômetro.

7. PROGRAMA EXPERIMENTAL – APLICAÇÃO DAS CINZAS DE LODO ESGOTO COMO ADIÇÃO EM ARGAMASSAS

Depois de realizada a caracterização da amostra da CLE (Capítulo 6), partiu-se para a última etapa do programa experimental, visando avaliar a potencialidade de uso da CLE como adição em argamassas.

7.1. Materiais Utilizados

7.1.1 Cinza de lodo de esgoto

A cinza de lodo de esgoto, para realização das argamassas, foi preparada a partir dos critérios estabelecidos na fase de produção e caracterização da CLE (Capítulo 6).

A amostra, em massa, de 30 kg antes do processo de queima foi devidamente preparada, a fim de torná-la mais homogênea possível. Inicialmente foi preciso destorroar a amostra, utilizando-se para isto o equipamento denominado “Britador de Rolo”.

Os trabalhos de passagem do material pelo britador foram executados duas vezes para obtenção de uma amostra com granulometria homogênea.

Concluído o trabalho de destorroar a amostra, procedeu-se o peneiramento desta amostra na peneira 2,4 mm, a fim de obter-se um material o mais homogêneo possível.

No trabalho de peneiramento, em função da amostra ter procedência de esgoto misto (pluvio-cloacal), constatou-se que aproximadamente 21% do volume inicial do resíduo ficava retido na peneira 2,4 mm, correspondendo a 6,3 kg.

O material retido na peneira 2,4 mm é constituído, além de pequenos torrões que não foram destorroados, também de outros resíduos (pequenos plásticos e fragmentos de papelão), indicativo de que a amostra deve ser bem preparada antes do processo de queima.

Concluídos os trabalhos de destorroamento e peneiramento da amostra na peneira 2,4 mm, o material passante (23,7 kg) foi colocado em formas e calcinado por duas horas à temperatura de 550°C em forno trifásico marca “Linn Eletro Therm”, com dimensões externas de 1,00 x 1,00 m e interna 0,60 x 0,50 m, com controle programado de rampa de aquecimento e temperatura máxima, localizado no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER) da UFGRS/PPGEM.

Após calcinação, foi obtida 23% da massa do material inicial (23,7 kg), correspondendo a 5,45 kg. O material restante (77%) corresponde à matéria orgânica, eliminada em forma de gases. No transcorrer deste processo, observou-se que a quantidade de odores exalados é bastante significativa.

A moagem da cinza resultante da queima foi realizada no Laboratório do NORIE (Núcleo Orientado para a Inovação na Edificação), UFRGS/PPGEC. Para tanto se utilizou o “Moinho de Eixo Horizontal” por um período de 12 horas, cujo objetivo fundamental é permitir que o material seja passante na peneira de abertura 0,075 mm – apresentando, com isto, uma granulometria de filer.

O material resultante desta etapa de moagem é considerado desprezível. No entanto, embora em quantidade insignificante, sugere-se armazenamento e direcionamento para aterro sanitário, objetivando um destino adequado.

A Figura 31 apresenta o material na forma obtida após a incineração e peneiramento em malha 0,075 mm (75µm).



Figura 31 - Amostra da material após a calcinação e peneiramento

A Tabela 19 mostra, de forma sucinta, as etapas de preparo da amostra do lodo.

TABELA 19 - Resultado da massa de cinza produzida para ser utilizada nos experimentos, a partir do preparo da amostra de lodo desaguado.

Amostra (kg)	Massa (kg)	Proporção Resultante (%)
Inicial	30,0	100
Após peneira 2,4 mm	23,7	79
Após calcinação (queima)	5,45	23
Após moagem	Desprezível	Desprezível
Programa Experimental	-	23

A Figura 32 mostra, de forma esquemática, o roteiro utilizado para preparo do material.

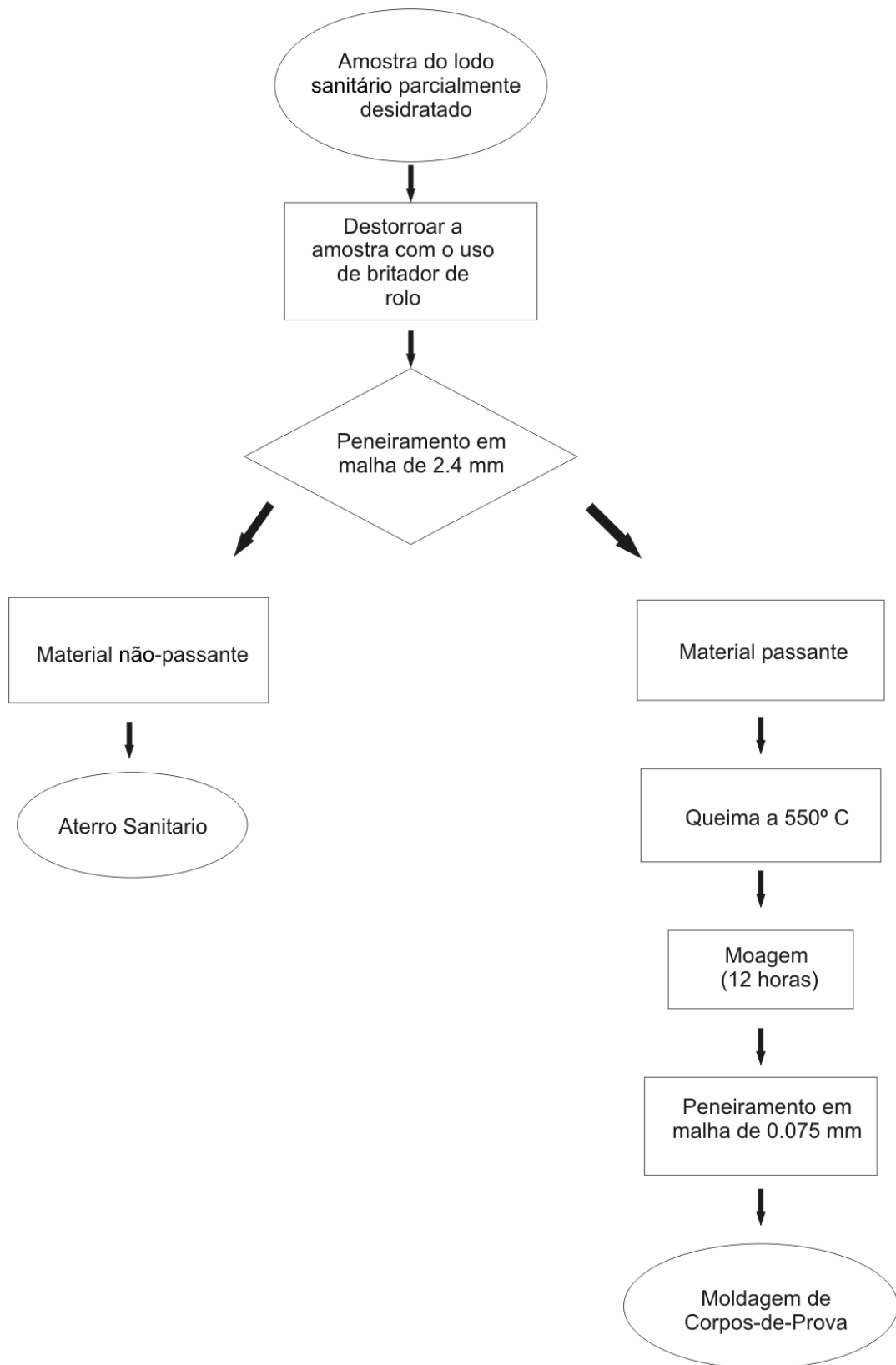


Figura 32 - Fluxograma de preparo do material para moldagem dos Corpos-de-Prova

7.1.2 Cimento

O cimento Portland selecionado para a produção das argamassas foi o CPV-ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial, disponível no mercado, o qual é produzido sem adições pozolânicas. A composição química do cimento consta na Tabela 20.

TABELA 20 - Composição química do cimento CPV-ARI (alta resistência inicial)

Determinação	Teor (%)	Determinação	Teor (%)
SiO ₂	19,2	SO ₃	2,96
Al ₂ O ₃	4,98	Na ₂ O	0,02
Fe ₂ O ₃	3,17	K ₂ O	0,57
CaO	65,6	CO ₂	1,76
MgO	0,36	Na ₂ O ₆	0,40

* Dados do Fabricante

7.1.3 Areia

O agregado miúdo utilizado nos ensaios foi a areia extraída do Rio Jacuí, e como características físicas estas areias apresentam, massa específica determinada através do ensaio descrito na NBR NM 52. Para massa unitária foi utilizada a NBR 7251. A composição granulométrica foi feita de acordo com o estabelecido na NBR NM 248. Para estes ensaios, a amostra foi coletada conforme a NBR NM 26. As informações técnicas referentes à areia foram obtidas junto ao NORIE.

Os resultados da massa específica, unitária e composição granulométrica constam respectivamente nas Tabelas 21 e 22.

TABELA 21 - Massa Específica e Massa Unitária do agregado miúdo utilizado nos ensaios.

Massa Específica (kg/dm³)	Massa Unitária (kg/dm³)
2,64	1,52

TABELA 22 - Composição Granulométrica do agregado miúdo utilizado nos ensaios.

Abertura das peneiras (mm)	Quantidade retida acumulada (%)
4,80	1
2,40	5
1,20	15
0,60	39
0,30	82
0,15	99
Módulo de finura	2,41
Dimensão máxima característica	2,4 mm
Limite granulométrico	Areia Média

7.2. Produção de argamassas - Moldagem dos corpos-de-prova

O procedimento seguinte foi a produção de argamassa para moldagem dos corpos-de-prova, realizada no Laboratório do NORIE - UFRGS/PPGEC.

As etapas para a obtenção das misturas foram as seguintes:

1. Pesagem (g) dos materiais (cimento, areia fina e cinza);
2. Definição da quantidade (g) de água;
3. Colocação dos materiais na argamasseira na seguinte ordem: Cimento e água. Mistura-se e se acrescenta areia; procede-se a mistura total na argamasseira em conformidade com a NBR 13276 (ABNT, 1995);
4. Determinação do índice de consistência através da mesa de consistência, padrão segundo a NBR 13276 (ABNT, 1995), conforme Figura 33;
5. Moldagem dos corpos-de-prova com adição de CLE.



Figura 33 - Realização dos ensaios de consistência

A moldagem dos corpos-de-prova consiste na utilização de formas cilíndricas de ferro com dimensões de 5 x 10 cm. A **Figura 34** mostra o roteiro utilizado para a execução dos corpos-de-prova.

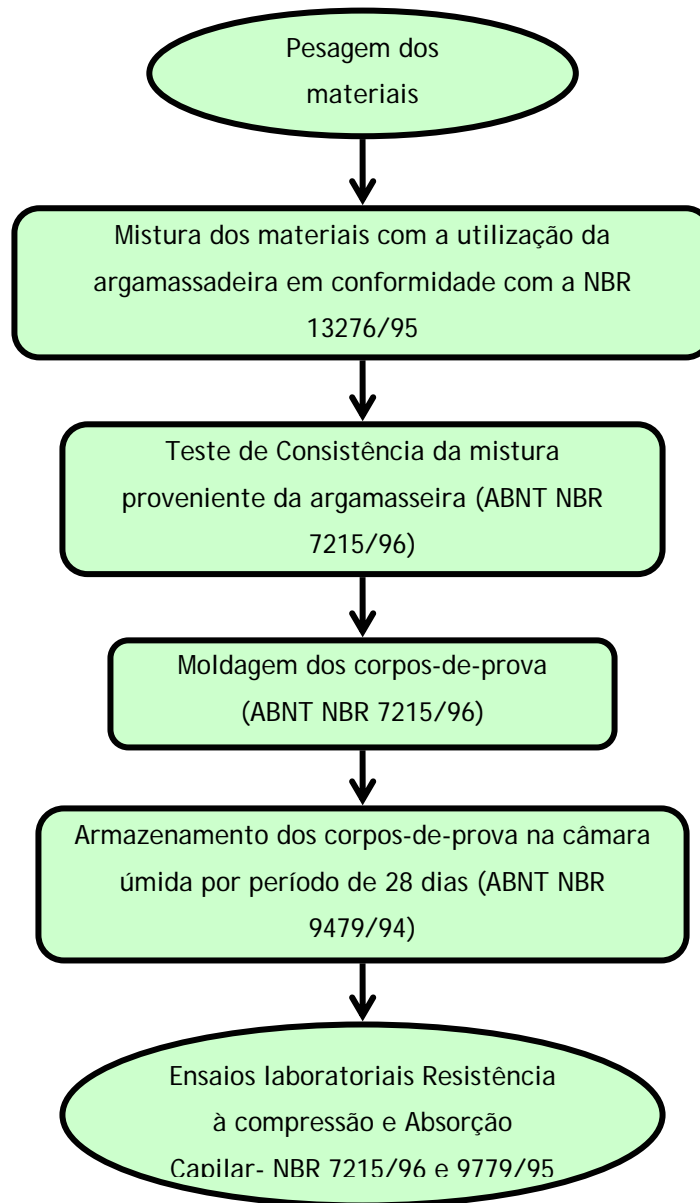


Figura 34 - Fluxograma utilizado para a execução dos corpos-de-prova.

7.2.1 Proporcionalamento dos materiais

Para o proporcionalamento dos materiais, partiu-se de três traços (cimento:areia), visando abranger uma ampla faixa de resistência (1:3; 1:4,5 e 1:6). A quantidade de água foi determinada a partir de uma consistência pré-estabelecida.

a) Consistência

A consistência pode ser caracterizada como sendo a propriedade da argamassa pela qual esta tende a resistir à deformação. Da mesma forma a consistência, sendo mantida no transcorrer

do tempo, é um indicativo de que a argamassa tem a capacidade de manter esta tendência ao longo do tempo de aplicação.

A determinação do índice de consistência das argamassas nos diferentes proporcionamentos foi realizada em conformidade com a NBR 7215 (ABNT, 1996), constituindo na medida do espalhamento (diâmetro) de uma porção de argamassa (cimento + areia + água), inicialmente moldada em forma tronco-cônica sobre a mesa de ensaio. A argamassa é forçada a deformar-se mediante quedas padronizadas da mesa, ou seja: 30 golpes em 30 segundos, seguido de duas medidas ortogonais, em diâmetro, da base do tronco de cone da argamassa, após a deformação. Deve-se assinalar que as argamassas foram dosadas buscando trabalhabilidade de 250 +/- 10 mm, na mesa de consistência (Flow table) e mostrado na Figura 33. A média aritmética dessas medidas corresponde ao chamado índice de consistência, expresso em milímetro. A Tabela 23 mostra os diferentes traços e o resultados obtidos quanto à relação a/c e índice de consistência.

TABELA 23 - Resultados do índice de consistência, a partir da relação água/cimento (a/c) com ou sem adição de cinza de lodo

Traço	Lodo (%)	Relação a/c	Consistência (mm)
1:3	0	0,54	257,5
	5	0,58	249,5
	10	0,58	249,2
	20	0,58	247,3
1:4,5	0	0,74	259,4
	5	0,78	258,4
	10	0,78	259,0
	20	0,78	259,5
1: 6	0	0,95	245,5
	5	0,98	244,0
	10	0,98	244,0
	20	0,98	243,0

Pela fórmula clássica de $H = \frac{a/c}{(1+m)}$ (HELENE e TERZIAN, 1993), calculou-se valores

muito próximo dos 14%, para todas as composições de cinza de lodo de esgoto. Este valor foi adotado para caracterização dos traços relacionados na Tabela 23.

A quantidade de água utilizada constitui-se em um elemento fundamental para a obtenção desta variável independente do programa experimental.

É importante mencionar que a consistência depende de fatores tais como a relação entre água/cimento (a/c), a relação pasta/inerte, tipo de inerte, dimensão, granulometria, forma, teor de

finos, porosidade e a natureza do ligante e a presença de aditivos na mistura (METHA e MONTEIRO, 1994).

b) Produção e cura das argamassas

As argamassas foram produzidas com teores de adição de CLE variando de 5%, 10% e 20% em relação à massa de cimento. Também, produziu-se uma mistura de referência no qual não houve utilização deste resíduo.

Para a mistura dos materiais, utilizou-se o equipamento denominado argamasseira, (Figura 35) com capacidade de 2,8 kg.



Figura 35 - Argamasseira utilizada na produção das argamassas

A seguir são descritas as etapas da mistura dos materiais (cimento, areia e cinza de lodo de esgoto):

- a) Os componentes, cimento/água/lodo, após pesados, são colocados na argamasseira, que é acionada por um período de 30 segundos;
- b) Em seguida colocou-se areia, e novamente a argamasseira é acionada por mais 30 segundos;
- c) A argamasseira foi acelerada por mais 30 segundos;
- d) O próximo passo foi baixar a rotação da argamasseira, mexer para tornar uma massa única, tampar com pano para evitar a evaporação de água e esperar um minuto e meio;

- e) Ligou-se a argamasseira por mais um minuto;
- f) Retirar o material da argamasseira, colocando-o diretamente nos moldes cilíndricos, em quatro camadas de igual altura, aplicando 30 golpes em cada camada com a ajuda do soquete, a fim de proporcionar uma melhor compactação da mistura.

Feita a moldagem, os corpos-de-prova foram mantidos por sete dias na forma, no interior de uma câmara úmida, mantida temperatura constante de 23°C e umidade relativa superior a 95%. Após desmoldados, foram marcados com auxílio de uma caneta de tinta hidrocor, a fim de garantir a identificação do traço, conforme mostra a Figura 36.

Em seguida foram dispostos em recipiente retangular e sem tampa e novamente encaminhados à câmara úmida para a cura, onde permaneceram por um período de 21 dias.



Figura 36 - Identificação do traço no corpo-de-prova

7.3. Ensaios realizados

Para a realização dos ensaios de argamassa, foram moldados 132 corpos-de-prova cilíndricos, com diâmetro de 5 cm e 10 cm de altura (**Figura 37**), conforme prescrito na ABNT (NBR 7215/1996). Da quantidade total de corpos-de-prova, 72 foram destinados aos ensaios de resistência à compressão, e os 60 restantes, aos ensaios de absorção capilar. A finalidade destes é avaliar o desempenho das argamassas quanto aos ensaios mecânicos, conforme descrito a seguir.



Figura 37 - Moldagem dos Corpos-de-Prova

7.3.1 Resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão mecânica das argamassas foram realizados segundo a prescrição da norma NBR 7215/96.

Observou-se que os corpos-de-prova apresentaram algumas irregularidades na superfície de topo, as quais provocam uma distribuição não uniforme da tensão de compressão em determinados pontos, o que poderia interferir nos resultados de resistência. Com o objetivo de se conseguir uma melhor uniformidade das superfícies, ou seja, torná-las o mais plano possível, topo e base do corpo-de-prova, utilizou-se o capeamento com o enxofre, conforme a descrição da norma NBR 6460/83.

Executado o capeamento os corpos-de-prova, os ensaios de resistência à compressão foram realizados no Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais – LEME/UFRGS, sendo na oportunidade utilizada uma prensa de tração e compressão hidráulica, com capacidade de 200 toneladas, marca Shimadzu.

Os ensaios obedeceram às recomendações da ABNT (NBR 7215/1996). A resistência à compressão é obtida através da divisão da carga aplicada pela área de seção transversal do corpo-de-prova.

Para execução dos ensaios se utilizaram seis corpos-de-prova de igual traço e composição, sendo o resultado expresso através da média dos valores obtidos. A Tabela 24 mostra os resultados da carga de ruptura dos ensaios de resistência à compressão, na unidade KN, e da resistência à compressão, em MPa.

TABELA 24 - Média da carga de ruptura e da resistência à compressão simples em corpos-de-prova de argamassa aos 28 dias.

Traço	Lodo (%)	Média da Carga (KN)	Média da Carga f_c (MPa)	Ganho de resistência em relação à mistura-referência (%)
1:3	0	66,59	33,92	0
	5	74,38	37,89	+11,70
	10	70,95	36,14	+6,54
	20	88,70	45,18	+33,2
1:4,5	0	46,86	23,87	0
	5	52,80	26,89	+12,65
	10	54,52	27,77	+16,34
	20	58,81	29,95	+25,47
1:6	0	24,06	12,25	0
	5	30,80	15,69	+28,09
	10	34,28	17,46	+42,53
	20	33,17	16,9	+37,96

Nos Anexos A e B encontram-se todos os resultados obtidos para obtenção das médias do ensaio de resistência à compressão.

Os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão estão apresentados nas Figuras 38 a 41.

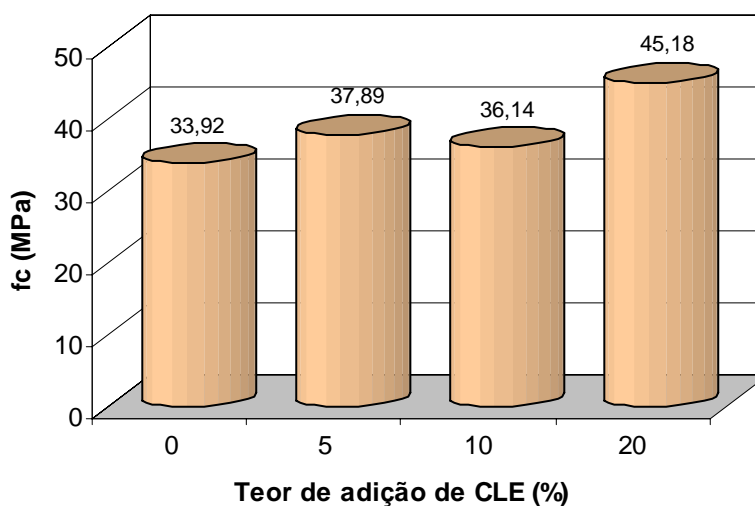


Figura 38 - Valores médios do ensaio de resistência à compressão, traço 1:3, nos proporcionamentos de adição de lodo de 0, 5, 10 e 20%.

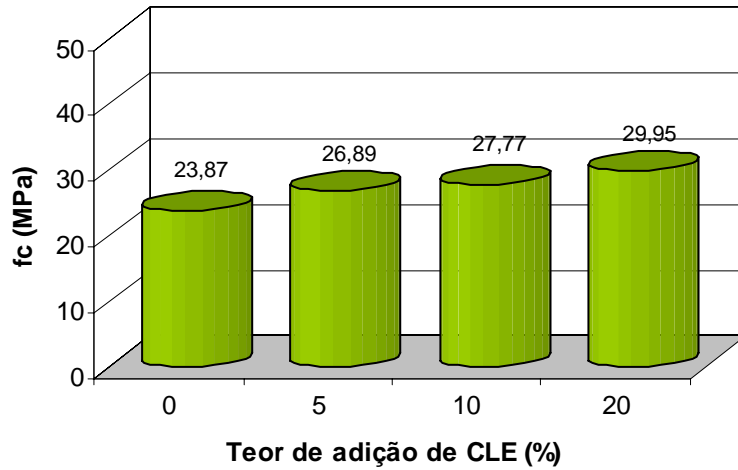


Figura 39 - Valores médios do ensaio de resistência à compressão, traço 1:4,5, nos proporcionamentos de adição de lodo de 0, 5, 10 e 20%.

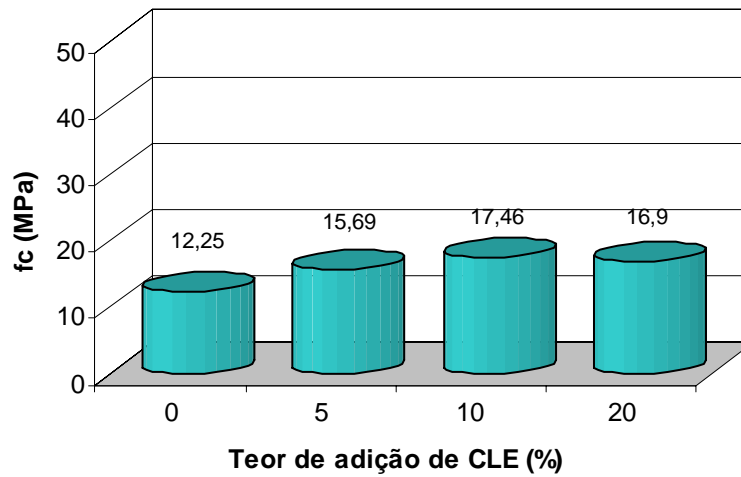


Figura 40 - Valores médios do ensaio de resistência à compressão, traço 1:6, nos proporcionamentos de adição de lodo de 0, 5, 10 e 20%.

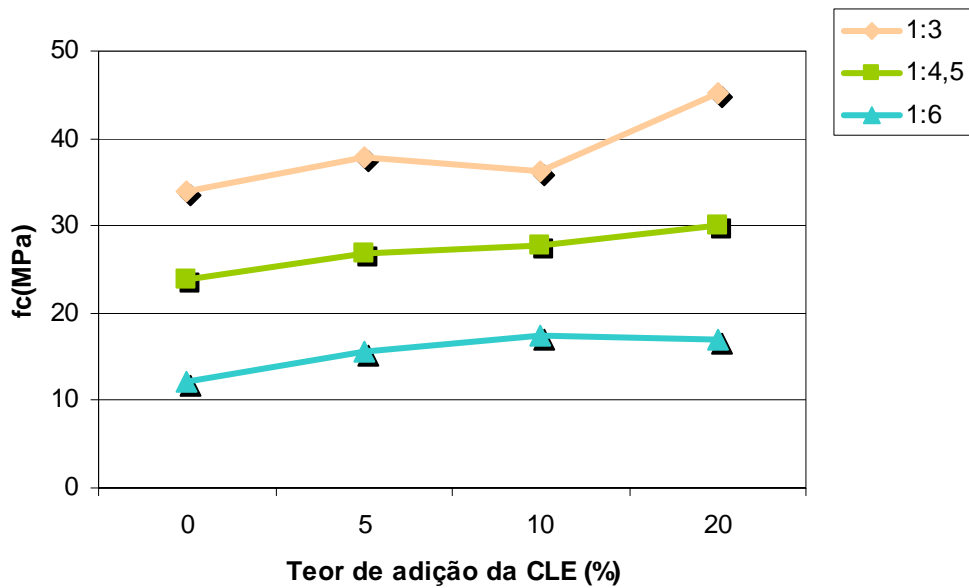


Figura 41 – Resistência à compressão dos três traços analisados.

7.3.1.1 Avaliação dos resultados da resistência à compressão

As Figuras 38 a 40 indicam que a adição de CLE nas proporções 5%, 10% e 20% em relação às misturas de referência (0%) promoveu um aumento significativo da resistência à compressão, que variou cerca de 6 a 42%.

De uma forma geral, a resistência à compressão cresceu com o aumento do teor de adição de CLE, sendo o efeito mais expressivo para o proporcionamento da adição de 20%, quando comparado com a mistura de referência, com ganhos de aproximadamente 33, 25 e 38% para, respectivamente, os traços de 1:3, 1:4,5 e 1:6. O traço 1:6, por possuir menos cimento e, conseqüentemente, uma relação a/c mais elevada para uma mesma consistência, foi o que apresentou os ganhos mais expressivos com a adição de CLE. Isto se deve, provavelmente, à maior presença de vazios que a argamassa possui para serem preenchidos com a CLE. Como a CLE possui uma estrutura cristalina, conforme Figuras 21 a 25, ela deve estar agindo predominantemente como fíler, sem ação química significativa, o que pode justificar sua ação mais eficaz para o traço 1:6, já que a CLE ajuda fisicamente no fechamento de poros entre os grãos.

Além disso, conforme se verificou na caracterização da CLE, a partir da MEV, que esta apresenta uma granulometria bastante variada, com partículas mais finas que a dos grãos do cimento. Pode-se então, considerando estes aspectos, supor que a adição atue no fechamento do

pacote granulométrico da argamassa, já que a mesma apresenta grande porosidade e com a adição de um material com graduada curva granulométrica, como é o caso da cinza, pode-se ter um melhor empacotamento da matriz argamassa.

Estes resultados podem ser corroborados por GEYER (2001), que avaliando o efeito de cinzas de lodo de esgoto urbano em concretos, em substituição parcial de cimento, observou “aumento de 20% nos resultados de resistência à compressão do concreto com a adição de até 20% de cinzas de lodo de esgoto da ETE do IAPI, Porto Alegre, RS, comparado com as amostras sem cinza”. Este valor corresponde a concretos de maior $a/(c+ad)$, uma vez que esta matriz apresenta grande porosidade.

FONTES (2003) também demonstrou o aumento de cerca de 30% na resistência à compressão em argamassas com adição de CLE da Estação de Tratamento de Esgoto Alegria, situada no bairro do Caju, região metropolitana da Cidade do Rio de Janeiro, RJ.

Por fim, baseado nos resultados das diferentes pesquisas que avaliaram o efeito da adição de CLE em concretos e argamassas, em teores de até 20%, fica clara a tendência de aumento da resistência à compressão, sendo tanto mais eficiente quanto maior a relação a/c .

7.3.2 Ensaios de Absorção capilar

Os corpos-de-prova, após período de vinte e oito dias de cura em câmara úmida (ABNT NBR 9479/1994), foram retirados, identificados e preparados para a execução dos ensaios de absorção, em conformidade com a ABNT (NBR 9779/1995).

O ensaio consiste na colocação dos corpos-de-prova, secos em estufa, em um recipiente retangular contendo uma pequena lâmina de água de 5 mm e pesando suas massas após períodos de 4, 9, 16 e 25 minutos, depois de uma em uma hora até 6 horas e em 24, 48 e 72 horas.

A Tabela 25 mostra a média da diferença de massa das amostras em cada traço e em cada proporcionamento de CLE adicionada.

TABELA 25 – Resultado dos ensaios de absorção capilar após 72h (em g).

Traço	Teor de CLE (%)	Massa Inicial (g)	Massa após 72h (g)	Total absorvido de água (g)
1:3	0	408,7	423,5	14,8
	5	414,3	426,5	12,2
	10	409,2	426,6	17,4
	20	412,8	422,5	9,7
1:4,5	0	395,0	417,5	22,5
	5	390,6	414,4	23,8
	10	396,8	417,5	20,7
	20	398,0	415,2	17,2
1:6	0	397,7	410,9	31,2
	5	381,5	407,7	26,2
	10	393,8	418,6	24,8
	20	394,2	420,4	26,2

A absorção é expressa em Kg/m², sendo a resultante entre a massa total de água absorvida e a área transversal do corpo-de-prova em contato com a água. A Tabela 26 mostra uma estimativa da absorção em 24h, expressa em Kg/m².

TABELA 26 – Resultados dos ensaios de absorção capilar após 72h (em Kg/m²)

Traço	Teor de CLE (%)	Absorção em 24h (Kg/m ²)	Absorção em 72h (Kg/m ²)
1:3	0	6,38	7,55
	5	5,28	6,21
	10	7,37	8,86
	20	4,48	4,94
1:4,5	0	10,08	11,46
	5	10,39	12,14
	10	9,1	10,58
	20	7,76	8,79
1:6	0	14,57	15,87
	5	11,22	13,34
	10	10,43	12,63
	20	8,01	9,23

As Figuras 42 a 44 mostram, em percentuais, os resultados obtidos nos ensaios de absorção capilar para os traços: 1:3, 1:4,5 e 1:6.

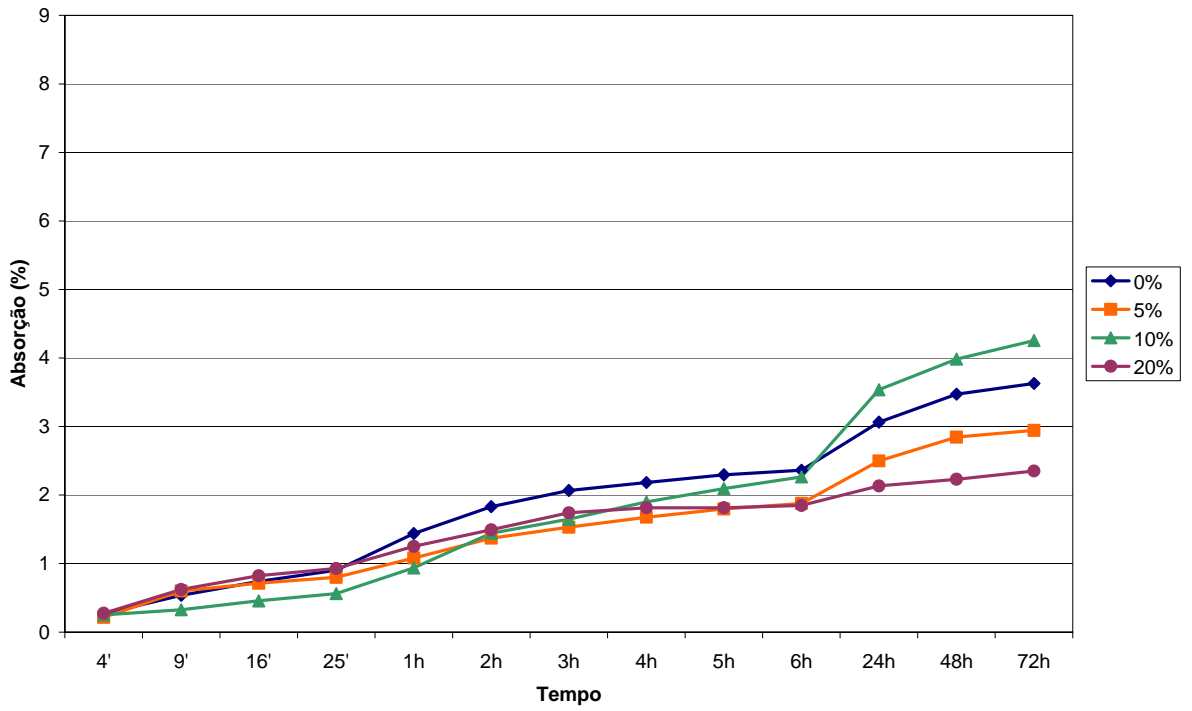


Figura 42 - Resultado do ensaio de absorção capilar, traço 1:3.

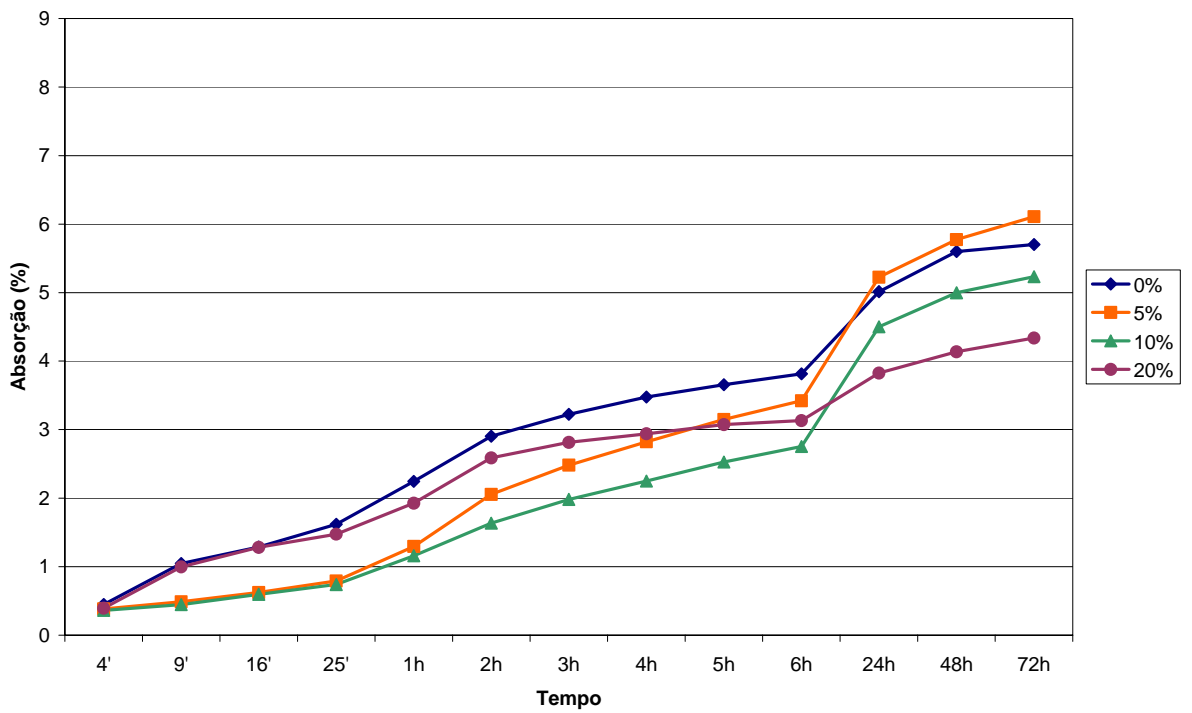


Figura 43 - Resultado do ensaio de absorção capilar, traço 1:4,5.

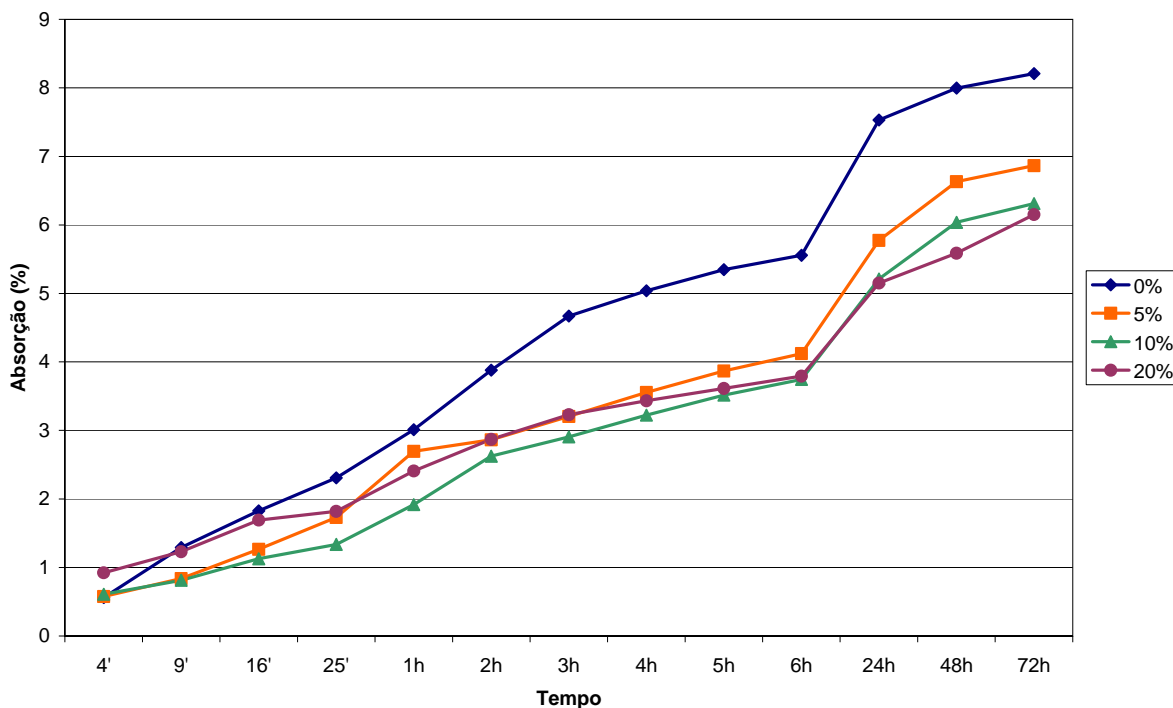


Figura 44 - Resultado do ensaio de absorção capilar, traço 1:6.

Nos Apêndices C, D e E encontram-se todos os resultados obtidos nos ensaios de absorção capilar.

7.3.2.1 Avaliação dos resultados de absorção capilar

Os resultados do Ensaio de Absorção de água por capilaridade, apresentados nas Figuras 42, 43 e 44, bem como na Tabela 25, permitem observar as tendências de absorção de água, onde foram traçadas curvas com os valores reais medidos no proporcionamento 0%, 5%, 10% e 20%, ao longo do tempo.

Como esperado, a absorção por imersão cresce com a redução do consumo de cimento dos traços (1:3, 1:4,5 e 1:6), o que leva a aumentos das relações a/c e, conseqüentemente, da porosidade.

No traço 1:6 – que é o menos resistente e mais poroso – observa-se nitidamente a redução da absorção de água com o aumento do teor de adição de resíduos de cinzas de lodo de esgoto, que atua preenchendo os espaços vazios existentes na argamassa. Nos demais traços, 1:3 e 1:4,5, que possuem menores relações a/c (0,58 e 0,78, respectivamente) em relação ao traço 1:6 (a/c=0,98), com menores porosidades, o efeito da adição de CLE não apresentou uma tendência

linear. Observa-se, no entanto, que apenas um teor, dos três analisados, para cada um dos traços, teve desempenho inferior à mistura de referência, sem adição. O aumento de absorção em relação à mistura de referência, nos dois casos, foi inferior a 0,63%.

GEYER (2001) diz que “a influência da adição de CLE na absorção não apresenta uma tendência clara e como os resultados não foram significativos estatisticamente, não se pode obter maiores conclusões do ensaio”. Portanto, o presente estudo ratifica a necessidade de se realizar modelos estatísticos, a fim de obtermos uma melhor interpretação do comportamento destas argamassas, com relação à absorção de água.

7.3.3 Resultados e avaliação dos ensaios de lixiviação e solubilização do composto de argamassa

Os ensaios de lixiviação e solubilização dos corpos-de-prova foram devidamente preparados e realizados no LACOR – Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

O extrato lixiviado foi analisado em função da possível presença de constituintes perigosos. Na Tabela 27, o resultado dessas análises químicas e também os valores máximos permitidos pela norma NBR 10004/2004, publicados no Anexo F – Concentração – limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação.

TABELA 27 – Resultados obtidos no extrato lixiviado em comparação com os limites máximos permitidos pela NBR 10004/2004

Parâmetro	Código de Identificação	Limite máximo no lixiviado (mg/L)	Concentração obtida no extrato lixiviado (mg/L)	CAS – Chemical Abstract Substance
Bário	D006	70	< 0,5	7440-39-3
Cádmio	D007	0,5	< 0,01	7440-43-9
Chumbo	D008	1	< 0,05	7439-92-1
Cromo Total	D009	5	0,29	7440-47-3
Fluoreto	D010	150	2,6	
Mercúrio	D011	0,5	< 0,02	7439-97-6
Prata	D012	5	< 0,01	7440-22-4

Por sua vez, o extrato solubilizado foi analisado para verificar se nenhum dos constituintes presentes no resíduo está solubilizado em concentração maior do que os valores estipulados no

Anexo G – Padrões para os ensaios de solubilização. O resultado dessa análise química e também os valores máximos permitidos pela norma NBR 10004/2004 contam na Tabela 28.

TABELA 28 – Resultados obtidos no extrato solubilizado em comparação com os limites máximos permitidos pela norma NBR 10004/2004.

Parâmetros	Limitem máximo solubilizado (mg/L)	Concentração obtida no extrato solubilizado (mg/L)
Alumínio	0,2	0,6
Bário	0,7	< 0,5
Cádmio	0,01	< 0,01
Chumbo	0,01	< 0,05
Cianeto	0,07	< 0,02
Cloreto	250	1,6
Cobre	2,0	< 0,02
Cromo Total	0,05	0,15
Fenóis Totais	0,01	< 0,01
Ferro	0,3	0,04
Fluoreto	150	2,6
Manganês	0,1	0,01
Mercúrio	0,1	< 0,02
Nitrato	10	0,8
Prata	5,0	< 0,01
Sódio	200	62
Sulfato	250	104
Surfactante	0,5	0,03

A partir dos resultados obtidos e demonstrados nas Tabelas 27 e 28, conclui-se que o resíduo em questão enquadra-se na Classe II-A – Não Inerte.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve com objetivo estudar, avaliar e investigar a possibilidade de disposição final e segura do Lodo da Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário da Cidade de Osório, RS, com base em parâmetros técnicos, ambientais, sociais e econômicos.

Na oportunidade utilizou-se o material sólido gerado na Bacia de Decantação, após incineração, à temperatura de 550° C, como adição na produção de argamassa.

O estudo desenvolvido procura divulgar alternativas, ainda que não convencionais, de disposição dos resíduos sólidos gerados em ETE, visando romper barreiras da estagnação com formas de disposição de uso corrente, porém não necessariamente mais adequadas ou até mesmo inexequíveis num futuro, representando então, uma sinalização científica sobre novas alternativas de reuso deste resíduo para o Litoral Norte do Rio Grande do Sul.

Por fim, as conclusões a serem apresentadas não devem ser tomadas de forma absoluta, pois se referem tão somente aos dados a serem obtidos na análise dos lodos gerados na ETEs de Osório, RS, e que constitui-se em dados e informações essenciais na execução de novas pesquisas que apresentem resultados que possam complementar e/ou confirmar os dados obtidos neste estudo.

8.1. Conclusões

Em consonância com os trabalhos similares realizados, a conclusão geral e a mais significativa foi a confirmação da viabilidade técnica – a partir da resistência à compressão e absorção capilar – e ambiental das possibilidades de reuso do lodo de esgoto gerado na bacia de decantação da ETE de Osório, RS, na construção civil, referendando assim o prosseguimento de estudos, pesquisas e desenvolvimento para este fim.

De forma mais específica pode-se listar as seguintes conclusões:

- a) Os lodos não podem ser considerados como um resíduo único, pois eles constituem uma família de lodos diferentes de ETE para ETE, e conseqüentemente cada ETE deve ser tratada como única, em um processo de reuso ou reciclagem;

- b) O resíduo de maior importância gerado na ETE de Osório, RS, é o lodo gerado na bacia de decantação, porém destaca-se também que atenção deve ser dada ao lodo gerado na “Área de Plantação”;
- c) De forma geral, 21% da massa sólida utilizada para o processo de calcinação não é aproveitada, permanecendo na forma de resíduos em torrões e outros materiais, caracterizando assim, o esgoto misto. Em linhas gerais este material que não é aproveitado na calcinação deverá ser disposto em aterros sanitários;
- d) Ensaios de difração de raios-X e de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) indicam que a cinza é formada basicamente por grãos de quartzo sobre os quais se depositam outros compostos mais finos;
- e) As cinzas são formadas principalmente por Sílica, sendo os mais finos representados, principalmente por Feldspatos: Anortita e Sodalita, que compreende Cálcio, Sódio e Alumínio, os quais predominam na forma cristalina;
- f) Os compostos químicos presentes na cinza conferem ao material, um bom potencial químico para ser utilizado como adição em argamassa;
- g) A resistência à compressão cresceu com o aumento do teor de adição de CLE, sendo o efeito mais expressivo para o aproveitamento da adição de 20%, quando comparado com a referência de aproximadamente 33,25% e 38%, para respectivamente os traços: 1:3, 1:4,5 e 1: 6;
- h) No traço 1: 6 observou-se que este é o menos resistente e mais poroso, notando-se nitidamente a redução da absorção de água com o aumento do teor de adição de resíduos de CLE, que atua preenchendo os vazios existentes na argamassa;
- i) Baseado na caracterização ambiental da cinza de lodo de esgoto da ETE de Osório, RS, pode-se classificar o material como Classe II A – Não Inerte, formado por alguns compostos perigosos, o que reforça a necessidade de cuidados com o seu manuseio e a sua disposição final.
- j) Os resultados obtidos no programa experimental, no que se refere ao aspecto ambiental, isto é, quanto a capacidade da argamassa em reter de forma segura os compostos nocivos presentes na cinza mostrou-se satisfatório;

- k) Os ensaios de solubilização revelaram que as argamassas com adição de CLE mostraram-se muito positivo, uma vez que os compostos perigosos ou patogênicos presentes nas cinzas não foram lixiviados das argamassas, podendo-se então, admitir que a matriz estabilizou e fixou de forma segura estes materiais.

Por fim, a utilização de ferramentas que proporcionaram a análise ambiental contribuiu para modificar a forma de abordagem dos problemas enfrentados pelos resíduos gerados em ETE. Os critérios estabelecidos no trabalho mostram de forma geral a dimensão da possibilidade de ver estes resíduos como algo que possa apresentar postura com princípios de desenvolvimento sustentável, deixando de ser visto como algo que possa ser simplesmente descartado.

8.2. Sugestões para trabalhos futuros

Em função das observações ao longo da realização deste trabalho, algumas questões foram surgindo e estão listadas a seguir, as quais representam propostas para continuidade ou novos estudos:

- a) Estudos, para outras ETE's existentes no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, de mecanismos de gerenciamento de lodo;
- b) Estudos detalhados das características físicas, químicas e mineralógicas do lodo gerado na etapa de tratamento do efluente líquido caracterizada como área de plantação;
- c) Que sejam realizados estudos de caracterização dos gases emitidos no processo de calcinação do lodo, bem como ensaios de granulometria a laser das cinzas.
- d) A utilização das cinzas mostra-se restrita à sua adição em argamassa. Sugerem-se estudos com adição em concreto;
- e) Manter em monitoramento contínuo a chegada do efluente na bacia de decantação, dando ênfase na clandestinidade de atividades que não se enquadram no tratamento;
- f) Prosseguimento da pesquisa no sentido de utilizar as cinzas de forma concreta, ou seja: no fabrico de postes e moirões para cercamento, pisos, tubulações e outros usos de interesse do município, tal como estudo de revestimento.
- g) Que seja elaborado “manual de manuseio” dos resíduos a serem submetidos ao processo natural de desaguamento em leitos de secagem, com vista a garantir a saúde operacional

no manuseio do lodo, o que se constitui em uma tarefa importante sobre a saúde ocupacional dos trabalhadores;

- h) Que seja construída estrutura de armazenamento especial para receber toda a massa de lodo desaguado, para garantir a qualidade dos serviços e o ambiente natural.

O presente trabalho procurou demonstrar uma metodologia de reuso de resíduos gerados em ETE, reforçado pela dificuldade de definição de critérios ambientalmente seguro e correto para disposição final, decorrente da própria complexidade do setor público, associado principalmente à falta de planejamento que precede a construção da obra da ETE.

Finalmente, sabe-se que a implementação do trabalho aqui proposto requer ampliação dos estudos até aqui realizados, representando investimento específico, cuja avaliação extrapola o escopo do presente estudo. Porém, cabe sugerir que o administrador público, diante da escassez de método e área para disposição do lodo gerado em ETE, entenda é de fundamental importância proporcionar e incentivar inovações neste sentido.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 10004**. Resíduos Sólidos: Classificação. Rio de Janeiro. 2004.
2. ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 10005**. Lixiviação de Resíduos: Procedimentos. Rio de Janeiro. 2004.
3. ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 10006**. Solubilização de Resíduos: Procedimentos. Rio de Janeiro. 2004.
4. ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 10007**. Amostragem de Resíduos: Procedimentos. Rio de Janeiro. 2004.
5. ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 12209**. Projeto de Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro. 1992.
6. ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 13276**. Argamassa para assentamentos de paredes e revestimento de paredes e tetos. Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência. Rio de Janeiro. 1995.
7. ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 7215**. Cimento Portland. Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro. 1996.
8. ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 9479**. Câmara-úmida e tanques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto. Rio de Janeiro. 1994.
9. ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 9779**. Argamassa e Concreto Endurecidos: Determinação da Absorção de água por Capilaridade. Rio de Janeiro. 1987.
10. ACE PLAN – **Areawide Sewage Sludge Treatment and Disposal Project**. Japan Sewage Works Agency. 10p. Tokyo, 1990.
11. AGOPYAN, V. e MORALES, G. **Caracterização do Agregado Leve a partir do Lodo de Esgoto da Cidade de Londrina**. Bol. Téc. EPUSP, BT/PCC/64, São Paulo, 1992.
12. ALLEMAN, J. E. e BERMAN, N. A. **Constructive sludge management: Biobrick**. Journal of Environmental Engineering, Vol 110, n. 2, April, 1984.
13. ANDREOLI, C. V. et al. **Reciclagem de Biossólidos: Transformando Problemas em Soluções**. Curitiba, SANEPAR, FINEP, 1999.
14. ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E.S. **Reciclagem agrícola de biossólidos: Impactos e Regulamentação**. XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Ribeirão Preto, 2003.
15. ANDREOLI, C.V.; SPERLING, M.V.; FERNADES, F. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias** - Volume 6. Editora FCO, 483 p, Curitiba, 2001.

16. ANDREOLI, C. V. **Lodo de Esgoto: Tratamento e Disposição Final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG. Companhia de Saneamento do Paraná. 2001.
17. AZIZ, M. A. e RAMASWAMY, S. D. Incinerator Residue for Roads. In: **Geotechnical Testing Journal**, GTJODJ, Vol 15, n. 3, pp 300-304, September, 1992.
18. BRIX, H. **Wastewater Treatment in Constructed Wetlands System Design, Removal Processes and Treatment performance**. In: *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. Ed. By Gerald A. Moshiri Lewis Publishers, 1993.
19. CASHIN, G. E. **Wetland Alteration Trends on the North Carline Costal Plain**. *Wetlands* 12: p. 63-71. 1992.
20. DMAE – DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS. **Normas gerais para ensaios**. Divisão de Pesquisa do Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre. Porto Alegre, 1978.
21. DMAE – DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS. **Plano Plurianual de investimentos do DMAE de Porto Alegre**. Porto Alegre, 1995.
22. FONTES, C. A. **Potencialidades da cinza de lodo de Estações de Tratamento de Esgotos como material suplementar para a produção de concretos com cimento Portland**. COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, 2003. 120p. Tese (Mestrado).
23. GEYER, A. L. B., RECENA, F. P. e SCHURER, A. **Caracterização dos Lodos de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários de Porto Alegre**. CPGEC – UFRGS, 1995.
24. GEYER, A. L. B., RECENA, F. P. e SCHURER, A. **Caracterização dos Lodos de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários de Porto Alegre**. CPGEC – UFRGS, 1995.
25. GEYER, A.L.B. **Contribuição ao estudo da disposição final e aproveitamento da cinza de lodo de estação de tratamento de esgoto sanitário como adição ao concreto**. Porto Alegre, 2001, 216p. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
26. HELENE, P. R. L. e TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo: PINI, 1993.
27. IMHOFF, K. R. **Desenvolvimento das Estações de Tratamento de Esgotos**. In: *Manual de Tratamento de Águas Residuárias*. São Paulo, Edgard Blucher, 1986.
28. JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento**. São Paulo. Tese (livre docência) – Escola Politécnica. 102p. Universidade de São Paulo, 2000.
29. KATO, H. e TAKESUE, M. Manufacture of artificial fine lightweight aggregate from sewage sludge by multi-stage stream kiln. In: *International Conference of Recycling. Proceedings...* Berlin, Germany, 1984.

30. LUDUVICE, M. **Uso e Disposição de Lodos Orgânicos Biossólidos.** In: Anais do Seminário Internacional de Tratamento e Disposição de Esgoto Sanitário, p. 89-86. Brasília, DF, 1992.
31. MALHOTRA, V. M. e METHA, P. K. **Pozolanic and Cementitious Materiald – Advanced in Concrete Technology.** Vol 1 -, Amsterdam, 1996.
32. MALINA, J. Sludge Stabilization. In: **Tratamento e destino final do Lodo.** In: Seminário de Transferência tecnológica. Anais. ABES/WEF, Ro de Janeiro, 1993.
33. MALINA, J.F. Anaerobic digestion. IN: **II Seminário de Transferência de tecnologia/tratamento e destino final do lodo.** Rio de Janeiro. Anais: Rio de Janeiro, ABES/WEF, p.36-44, (1993).
34. MARA, D. **Sewage Treatment in Hot Climates.** 1976.
35. MARCIANO, E.; KIHARA, Y. Looking green. **World Cement.** Abril, 1997.p.82-88.
36. METCALF e EDDY, INC. **Design of Facilities or the Treatment and Disposal of Sludge.** In: Wastewater Engineering, New York, Mc Graw-Hill, 1991.
37. METCALF e EDDY, INC. **Wastewater Engineering, Treatment, Disposal en Reuse.** Third Edition, New York 1992.
38. METHA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo, 1994.
39. NATA – **Núcleo de Avaliação Tecnológica e Ambiental / SEIA – Sistema Estadual de Informações Ambientais.** Desenvolvido por COTI/DIPLAN/C. Salvador, BA. 11p. Agosto, 2003.
40. NEVILLE, A. M. – **Propriedades do Concreto.** Trad. Salvador E. Giamusso. Ed. Pini, São Paulo, 1997.
41. OKUNO, N. Evaluation of thermal sludge solidification. In: Wat. Sci. Tech. Vol 36, n. 11, pp 227-233. IAWQ, **Proceedings...** Great Britain, 1997.
42. PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland.** 6.^a ed. Atualizada e revisada por Vladimir Antônio Paulon. Porto Alegre: Globo, 1978.
43. ROCHA, Valda. **Caminhos para o reuso.** Programa Prosab incentiva pesquisa na área de saneamento básico. Univerciência. 15 p. Dezembro 2002.
44. SAITO, L.M. **Incorporação de resíduos em tijolos de cerâmica.** Revista Ambiente, vol. 8. São Paulo, 1994.
45. SALATI, E. **“Wetlands no Brasil”.** In: Livro comemorativo de 45 anos do CNPq. CNPq. Brasília, 1997.
46. SANEPAR – COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Manual Técnico Para Utilização Agrícola do Lodo de Esgoto.** Curitiba, 1997.

47. SANTOS, H.F.; MANCUSO. P.C.S.; **Reuso de Água**. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. Barueri, SP: Manole, 600 p. 2003.
48. SARDINHA, V. L. A. e MORINGO, E. **Lodo de esgoto: características técnicas e de utilização**. SABESP, São Paulo, 1992.
49. SATO, K. et al. **Recycling and reuse of sludge**, Tóquio, 1996.
50. SCHÄFER, A.; **Fundamentos de Ecologia e biogeografia das águas continentais**. – Porto Alegre: Ed. Da Universidade, UFRGS, 532 p. 23 cm – (livro-texto; 28), (1996).
51. SIMONDI, S. et. al. **Propriedades e aplicações do agregado leve de lodo de esgoto**. Revista DAE p 291-298. São Paulo, 1989.
52. SPELLMAN, F.R. **Dewatering biosolids**. Tecnominc Publishing Company, Inc. (1997). Tradução de Miki, M.K. Escola Politécia da Universidade de São Paulo. 10 p. (2002).
53. STEINLE. **Sludge Treatment and Disposal Systems for Rural Áreas in Germany**. In: Wat. Sc. Tech. v. 27, n. 9, p. 159-171. 1993.
54. TAY, J. **Bricks Manufactured from Sludge**. Journal of Enviromental Engineering, Vol. 113, N. 2, april, 1987.
55. TAY, J. H. e SHOW, K. Y. Resouse recovery of sludges as a builing and construction material – A future trend in the sludge management. In: Wat. Sci. Tec. Vol 36, n. 11. pp 259-266. IAWQ. **Proceedings...** Great Britain, 1997.
56. TSUTIYA, M.T; COMPARINI. J.B.;SOBRINHO, P.S.;Hespanhol, I.; CARVALHO, P.C.T.;MELFI.A.J.;MELO.W.J.;MARQUES.M.0. **Biossólidos na Agricultura**. ABES – Escola Politécia – USP/ASALQ-USP/Nupegel – UNESSP – Jaboticabal. 2^a ed. – São Paulo, 2002. x-468 p.
57. VON SPERLING, Marcos. **Lagoas de estabilização. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**, Departamento de engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 140 p. 1996.
58. WALDEMAR, C. C. **Avaliação do Potencial de utilização do lodo das estações de tratamento de esgotos**. Relatório 1. DMAE, Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 1992.
59. **Water Quality International**. Europe's Mountainous Problem. Number 3 p. 22 – London, 1994.
60. WIEBRUSH, B. e SEYFRIED, C. F. **Utilization of sewage ashes sludge in the brick and tile industry**. IAWQ/PZITS. Specialized Conference on Sludge Management. Wastewater Sludge: Waste or Resource? Czestochowa, 1997.
61. YAMAMOTO, J. K. ; KIHARA, Y. ; COIMBRA, A. M. ; MONTANHEIRO, T. J. . **Environmental Impact Reduction In The Production Of Blended Portland Cement In Brazil**. Environmental Geosciences, Estados Unidos, v. 4, n. 4, p. 192-206, 1997.

62. YANEZ, F. **Avances en el tratamiento de aguas residuales por laguna de estabilización.** 1982.

APÊNDICES

Apêndice A - Resultados dos ensaios de Resistência à compressão simples em argamassa endurecida aos 28 dias (medidos em KN).

Traço	Lodo (%)	Carga (KN)						Média
1:3	0	72,3	73,7	70,3	72,8	51,9	58,5	66,59
	5	79,6	72,4	80,8	82,7	79,4	51,4	74,38
	10	71,4	79,7	54,6	68,4	73,5	78,1	70,95
	20	64,8	100,4	83,8	88,0	97,5	97,7	88,70
1:4,5	0	50,7	40,25	42,6	48,3	50,1	49,2	46,86
	5	59,4	55,5	52,2	52,7	53,8	43,7	52,80
	10	49,3	61,1	52,8	54,1	53,1	56,7	54,52
	20	69,5	60,7	39,8	58,3	63,2	61,4	58,81
1:6	0	25,2	18,0	24,3	27,3	25,52	24,6	24,15
	5	33,6	29,0	29,9	30,8	29,9	28,6	30,80
	10	30,0	30,4	49,8	34,5	30,5	31,5	34,45
	20	36,9	32,6	31,4	32,0	32,3	33,8	33,17

Apêndice B Resultados dos ensaios de Resistência à compressão simples em argamassa endurecida aos 28 dias (medidos em MPa).

Traço	Lodo (%)	Carga (MPa)						Média
1:3	0	36,85	37,54	35,81	37,08	26,43	29,80	33,92
	5	40,55	36,88	41,16	42,12	40,44	26,18	37,89
	10	36,37	40,60	27,81	34,84	37,44	39,78	36,14
	20	33,01	51,14	42,68	44,82	49,66	49,77	45,18
1:4,5	0	25,82	20,50	21,70	24,60	25,52	25,06	23,87
	5	30,25	28,01	26,59	26,84	27,40	22,26	26,89
	10	25,11	31,12	26,89	27,55	27,05	28,88	27,77
	20	35,40	30,92	20,27	29,69	32,19	31,27	29,95
1:6	0	12,83	9,16	12,37	13,90	12,99	12,61	12,31
	5	17,11	14,77	15,23	15,69	15,23	14,56	15,69
	10	15,28	15,48	25,36	17,57	15,53	15,26	17,41
	20	18,79	16,60	15,99	16,30	16,45	17,21	16,90

Apêndice C - Resultados dos ensaios de Absorção Capilar em argamassa endurecida para traço 1: 3

Traço	Lodo (%)	0 min	4 min	9 min	16 min	25 min	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	24 h	48 h	72 h
1:3	0	405,4	406,9	407,6	408,3	409,2	411,5	413,1	413,8	414,2	414,6	415	418,1	420,2	420,7
		417,5	418,6	420,3	421,6	422,4	425,1	426,6	427,6	428	428,5	428,6	430,8	432,2	432,9
		403,2	403,9	404,8	405,3	405,6	407,2	408,9	410,1	410,7	411,2	411,5	414,8	416,3	417
	5	414	415,2	416,9	417,4	417,8	419,2	420,2	420,8	421,2	421,6	421,9	424,2	425,1	425
		423,4	424,5	426,5	427,1	427,7	429,1	430,5	431,2	431,9	432,3	432,5	434,9	436,5	436,9
		405,6	406	407,1	407,4	407,5	408,2	409,4	410,1	410,8	411,5	412	415	416,8	417,7
	10	417,6	418,6	418,9	419,5	420	421,6	423,7	424,5	425,5	426,3	427	432,1	434,1	435
		411,5	412,7	412,9	413,4	413,6	415	416,9	417,8	418,9	419,8	420,5	426,1	427,9	428,4
		395,4	398,9	399,7	400,2	400,8	402,4	404,6	405,4	406,4	407,1	407,8	412,7	414,4	416,3
	20	408,4	409,5	411,1	411,7	412	413,2	414	415,2	415,4	415,5	415,6	416,7	417,6	418,1
		426,1	427,1	428,5	429,5	430,1	431,5	432,7	433,9	434,2	434,1	434,2	435,1	434,9	435,7
		404	405,3	406,6	407,5	407,9	409,3	410,3	411	411,4	411,4	411,6	413,1	413,6	413,8

Apêndice D - Resultados dos ensaios de Absorção Capilar em argamassa endurecida para traço 1:4,5

Traço	Lodo (%)	0 min	4 min	9 min	16 min	25 min	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	24 h	48 h	72 h
1:4,5	0	397,1	399,1	401,8	403,4	404,4	407,1	409,3	411	412,1	413,2	413,7	418,9	420,6	421,1
		406,5	408,1	410,6	411,8	412,8	414,9	417,9	419	420	420,2	421,1	425,4	427,6	427,8
		381,4	383,1	385	385,1	387	389,6	392,2	393,2	394,1	394,9	395,4	400,1	403,1	403,6
	5	403,4	405	405,4	406,2	407	409,4	412,5	413,9	415,3	416,6	417,6	424,1	426,1	426,9
		386,3	387,8	388,1	388,5	389,1	390,6	393,5	395,8	396,5	397,6	398,8	405,8	407,7	409,1
		382	383,4	383,9	384,3	384,9	386,9	389,8	391,1	393	394,4	395,4	403	405,5	407,2
	10	392,8	394,6	394,9	395,8	396,6	398,7	401,1	402,2	403,2	404,3	405	411,1	413,1	413,9
		386,8	388	388,3	388,6	389	390,1	391,1	392,9	393,9	395	396	403,3	405,5	406,4
		410,7	412	412,4	413	413,5	415,3	417,6	418,8	420	421,1	422,1	429,5	431,2	432,3
	20	399,3	401,3	403,2	404,2	405	406,7	408,7	409,8	410,4	411,1	411,3	415,1	416,7	417,1
		394,4	395,6	398,3	399,4	400,1	401,9	404,7	405,4	405,7	406,1	406,2	408,2	409,3	410,5
		400,2	401,7	404,3	405,6	406,4	408,3	411,4	412,3	412,9	413,4	413,8	416,3	417,3	418,1

Apêndice E - Resultados dos ensaios de Absorção Capilar em argamassa endurecida para traço 1:6

Traço	Lodo (%)	0 min	4 min	9 min	16 min	25 min	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	24 h	48 h	72 h
1:6	0	382,6	385	387,8	390,1	391,7	394,7	398	400,9	402,3	403,4	404,2	411,7	413,6	414,5
		378,7	380,7	383,4	385,1	387,8	390,2	393,6	397,6	398,9	399,9	400,7	407,6	407,7	408,7
		377,8	379,8	382,6	384,7	385,9	388,5	391,7	393,8	395,3	396,7	397,5	405,6	408,9	409,4
	5	387,3	390	390,8	392,1	393	395,5	398,5	399,6	400,9	402,1	403	408,7	411,8	413
		379,5	382,4	383,9	387,2	391,3	395,7	396	397,8	399,6	401,3	402,6	410,9	414,7	415,3
		377,6	378,6	379,3	379,6	379,9	384	382,7	383,7	384,6	385,3	386	390,9	393,8	394,7
	10	398,9	400	400,3	400,6	400,9	401,7	403	403,6	404,2	405	405,6	411,1	413,8	414,9
		389,5	392,5	393,8	396,2	397,7	401,6	406	407,6	409,4	411	412,1	418,5	421,9	423,3
		386,4	388,6	389,4	390,4	391,1	393,4	396,3	397,5	398,8	399,9	400,9	406,6	409,6	410,7
		400,4	403,7	404,5	405,7	406,5	408,6	411,1	412,1	413,4	414,5	415,4	420,9	424,8	425,5
	20	406,4	408,7	411,7	413,3	414,1	416,5	419,2	421,1	422,3	423,2	423,7	430,2	433,5	434,8
		386,1	388,2	390,6	391,8	392,8	395,8	398,6	400,8	401,7	402,6	403,2	409,5	411,5	412,1
		390,2	393,8	395	396,8	397,3	399,6	401,4	402,8	403,6	404,3	405	410,3	412	414,2