



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRAULICA E AMBIENTAL
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – ÁREA SANEAMENTO AMBIENTAL

EDLENE SALES DE PAULA

**AVALIAÇÃO DO DESAGUAMENTO DE RESÍDUOS DE ESGOTAMENTO DE
CAMINHÃO LIMPA-FOSSAS ATRAVÉS DE TÉCNICA DE DESÁGUE EM
GEOTÊXTIL E APLICAÇÃO DE POLÍMEROS**

FORTALEZA

2012

EDLENE SALES DE PAULA

**AVALIAÇÃO DO DESAGUAMENTO DE RESÍDUOS DE ESGOTAMENTO DE
CAMINHÃO LIMPA-FOSSAS ATRAVÉS DE TÉCNICA DE DESÁGUE EM
GEOTÊXTIL E APLICAÇÃO DE POLÍMEROS**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Saneamento Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti

FORTALEZA

2012

EDLENE SALES DE PAULA

**AVALIAÇÃO DO DESAGUAMENTO DE RESÍDUOS DE ESGOTAMENTO DE
CAMINHÃO LIMPA-FOSSAS ATRAVÉS DE TÉCNICA DE DESÁGUE EM
GEOTÊXTIL E APLICAÇÃO DE POLÍMEROS**

Dissertação submetida à
Coordenação do Curso de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial para obtenção do
grau de Mestre em Engenharia Civil – Área de
concentração: Saneamento Ambiental.

Dissertação aprovada em: 24/09/2012

Banca Examinadora

Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti (orientador)
Universidade Federal do Ceará-UFC

Prof. Dr. Alfran Sampaio Moura
Universidade Federal do Ceará-UFC

Dr. Josué Tadeu Leite França
Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP)

Em memória à minha querida avozinha, Maria Consuelo de Paula.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo amor, saúde, fé e pelo sentimento que tenho de estar sempre comigo através de experiências vividas da demonstração de sua existência em minha vida.

Aos meus pais, José Wilson e Turíbia, pelo amor, educação, conselhos, incentivos e por serem meu porto seguro em todos os momentos.

Aos meus irmãos, Dedé, Nininha e Edinho, pela fraternidade, apoio e união.

Aos meus avós Manuel e Zuleide que apóiam e acreditam no estudo e na força do trabalho.

Ao meu esposo, Rafael Klein, por seu amor, dedicação, companheirismo, amizade e por estar sempre ao meu lado me ajudando, incentivando e acreditando em nossos projetos.

À minha prima Luana e minha irmã Edeline pela ajuda e apoio durante o período do projeto.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti, pela oportunidade de sua orientação, incentivo e paciência no decorrer do curso.

À Prof. Dra. Ana Bárbara pela sua grande contribuição em todo o processo da pesquisa.

Às minhas amigas e companheiras de pesquisa Geísa, Clarise e Bárbara que tanto se empenharam e se dedicaram a este projeto. Agradeço pelo carinho, amizade e pelos momentos únicos vividos durante a realização desse trabalho.

Aos bolsistas do laboratório de saneamento da UFC (LABOSAN) especialmente, Weudes, Vivi e Matheus pela contribuição e participação neste trabalho.

Aos amigos de turma do mestrado, especialmente Cláudio, Lívia, Laís, Tici, Karina e Gilmar pela convivência, experiências e momentos vividos durante o curso.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), especialmente Prof. Dr. André Bezerra dos Santos pelos valiosos ensinamentos.

À CAGECE pelo apoio na pesquisa e desenvolvimento do projeto, especialmente ao Jorge, Pacífico, Sr. Assis e Ronner Gondin.

Ao operador da estação Raimundo Nonato pela gentileza de sempre nos ajudar com as coletas.

Às desentupidoras Itapipoca e Estrela do Sol pela contribuição e por gentilmente autorizar nosso acompanhamento em seus processos de atendimento.

À FUNCAP pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

À FINEP pelo financiamento da pesquisa.

“Trabalhar com sustentabilidade é plantar um presente que garanta a subsistência das novas gerações num planeta que pede socorro e se aquece a cada dia. Pois melhor que plantar árvores, despoluir rios, proteger animais é semear a consciência de que a garantia da vida é respeitar as fronteiras da natureza.”

(Nildo Lage)

RESUMO

O lodo da fossa séptica deve ser removido periodicamente. Esse material sedimentado e já isento de material graxo é produto de digestões anaeróbias transformados em compostos mais simples. Geralmente são removidos por caminhão limpa fossa e dispostos nas estações de tratamento de esgoto, quando estas existem. O lodo, apesar de ser extremamente rico em sólidos, possui teor de água considerável que pode ser removido por técnicas de deságüe. De um modo geral, o desaguamento é utilizado para aumentar o teor de sólidos do lodo reduzindo seu volume. Esse material depois de estabilizado, por exemplo, através da compostagem, poderá ser aplicado no solo como adubo agrícola após tratamento e avaliação por meio de ensaios de caracterização e toxicidade. Dessa forma, o lodo de fossa séptica pode ter uma destinação ambientalmente mais nobre, inclusive, diminui a quantidade de material sólido nas estações de tratamento de esgoto e aumenta a vida útil das lagoas devido a menor frequência de dragagem. A proposta do trabalho é desenvolver uma metodologia de deságüe do lodo através de geotêxtil para avaliar a aplicação de polímeros orgânicos e poliacrilamidas por meio de teste de jarro e ensaios de turbidez com a finalidade de estabelecer o tipo do polímero e suas concentrações que apresentem melhor eficiência na redução do teor de sólidos. A função do polímero é favorecer a agregação das partículas de sólidos e formação de flocos através da desestabilização das forças químicas ou físicas atuantes nas partículas coloidais e no material particulado em suspensão imerso em meio líquido. Para avaliação do geotêxtil foram realizados ensaios de cone e saco suspenso. Nos testes de jarro foi verificado que os polímeros estudados apresentaram ótimos índices de remoção de turbidez (82,0% - 99,8%) com aplicações variando as concentrações de polímero de 14 a 275mg/L. Nos ensaios de cone as remoções variaram de 46,3% - 56,0%. Finalmente nos ensaios de saco suspenso as remoções variaram de 98,0% - 99,0%. Estas concentrações podem sofrer alterações de acordo com as características do lodo amostrado.

Palavras chave: Deságüe, lodo de fossa séptica, poliacrilamidas, polímeros, teor de sólidos.

ABSTRACT

The sludge from the septic tank must be removed periodically. This material has been consolidated and free fatty material is the product of anaerobic digestion transformed into simpler compounds. Are usually removed by truck clean sump and disposed in sewage treatment plants, where these exist. The sludge, despite being extremely rich in solids, has a considerable content of water which can be removed by techniques outflow. In general, it is used for dewatering to increase the solids content of the slurry reducing its volume. This material is stabilized after, for example, by composting can be applied to agricultural land as a fertilizer after treatment and assessment by testing for characterization and toxicity. Thus, the septic tank sludge disposal can have a more environmentally noble even decreases the amount of solid material in sewage treatment plants and increases the life of the ponds due to lower frequency of dredging. The purpose of this study is to develop a sludge outflow through the geotextile to evaluate the application of organic polymers and polyacrylamides through jar test and turbidity tests in order to establish the type of polymer and their concentrations which have improved efficiency reducing the solids content. The function of the polymer is to promote the aggregation of solid particles and flocculation destabilization by chemical or physical forces acting on the particles in the colloidal and suspended particulate material immersed in a liquid medium. For evaluation of geotextile tests were performed cone and bag drop. In jar tests it was found that the polymers studied have optimum turbidity removal rates (82.0% - 99.8%) applications with varying concentrations of polymer from 14 to 275mg / L. In tests of the cone removals ranged from 46.3% - 56.0%. Finally assays bag suspended removals ranged from 98.0% - 99.0%. These concentrations may change according to the characteristics of the sludge sampled.

Keywords: Drain, septic sludge fossa, polyacrylamides, polymers, solid theor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fossa absorvente em alvenaria.....	21
Figura 2 – Esquema de instalação de uma fossa absorvente em alvenaria	21
Figura 3 – Tanque séptico de câmara única	Erro! Indicador não definido. 3
Figura 4 – Tanque séptico de câmara em série.....	23
Figura 5 – Tanque séptico de câmaras sobrepostas.....	24
Figura 6 – Tanque séptico com filtro acoplado	25
Figura 7 – Sumidouro cilíndrico.....	27
Figura 8 – Estrutura de tubo geotêxtil durante uma tempestade	38
Figura 9 – Estrutura de tubo geotêxtil depois da tempestade	38
Figura 10 – Espigão em Bald Head Island	39
Figura 11 – Aplicação de geotêxtil na construção civil	39
Figura 12 – Aplicação de geotêxtil na indústria de mineração (Mineradora Baltimore)	41
Figura 13 – Drenagem ETE Cel. Macedo (SABESP).....	42
Figura 14 – Amostra de geotêxtil	43
Figura 15 – Imagem do tubo inflado com ar	44
Figura 16 – Ensaio de bolsa suspensa	47
Figura 17 – Gotejamento do filtrado em ensaio de bolsa suspensa.....	48
Figura 18 – Material de entrada (à esquerda) e filtrado (à direita).....	48
Figura 19 – Ensaio de Cone.....	49
Figura 20 – Ensaio de saco pendurado ou bolsa suspensa	49
Figura 21 – Ensaio de almofada	50
Figura 22 – Formação de pré-filtro x perda de partícula.....	51
Figura 23 – Ensaio com aplicação de pressão com geotêxtil	52
Figura 24 – Limpeza e nivelamento do terreno para assentamento de tubo geotêxtil	54
Figura 25 – Aplicação de manta impermeabilizante para assentamento de tubo geotêxtil.....	54
Figura 26 – Área preparada para assentamento dos tubos	55
Figura 27 – Esquema geral de desaguamento com tubo geotêxtil	55
Figura 28 – Tubo geotêxtil em processo de desaguamento.....	56
Figura 29 – Ilustração da camada de Stern e camada difusa.....	59
Figura 30 – Representação da teoria de Deryaguin-Landau-Overbeek (DLVO).....	60
Figura 31 – Fluxograma das etapas do processo de separação sólido-líquido	60

Figura 32 – Teste de jarro.....	61
Figura 33 – Preparação de solução de polímero (mecanizado e manual)	62
Figura 34 – Dosagem de polímero na linha de fluxo de alimentação do lodo	62
Figura 35 – Vista da ETE São Cristóvão / CAGECE, Fortaleza-CE	64
Figura 36 – Caminhão limpa-fossa descarregando na estação e a realização da coleta.....	65
Figura 37 – Amostra de lodo em frasco de polietileno e sua conservação em freezer.....	65
Figura 38 – Esquema das etapas de condução da pesquisa	66
Figura 39 – Lodo de fossa bruto homogeneizado nos jarros antes da aplicação de polímero .	69
Figura 40 – Aplicação dos polímeros, processo de mistura rápida e mistura lenta.....	69
Figura 41 – Separação de fases após aplicação dos polímeros	70
Figura 42 – Realização do ensaio de cone com diferentes aberturas aparentes do geotêxtil ...	71
Figura 43 – Realização do ensaio de saco suspenso com lodo de fossa séptica	72
Figura 44 – Teste de normalidade Shapiro-wilk para alcalinidade, condutividade, pH e temperatura para lodo de fossa séptica	74
Figura 45 – Teste de normalidade Shapiro-wilk ($p < 0,05$) para DQO e DBO.....	75
Figura 46 – Variações de alcalinidade, pH, temperatura e condutividade elétrica	77
Figura 47 – Variações de DQO e DBO em lodo de fossa.....	78
Figura 48 – Variações das concentrações de N-AMON. E NO em lodo de fossa	80
Figura 49 – Frações do NT em lodo de fossa.....	81
Figura 50 – Frações do fósforo total em lodo de fossa.....	82
Figura 51 – Frações fixas e voláteis dos ST e SST em lodo de fossa	83
Figura 52 – Valores médios de turbidez (lodo de fossa “diluído”) após aplicação das dosagens dos polímeros A, B, C, D e E	86
Figura 53 – Antes e depois da aplicação dos polímeros (lodo de fossa “diluído”).....	86
Figura 54 – Valores médios de turbidez (lodo de fossa “concentrado”) após aplicação das dosagens dos polímeros A, B, C, D e E	88
Figura 55 – Antes e depois da aplicação dos polímeros (lodo de fossa “concentrado”).....	88
Figura 56 – Valores médios de turbidez (lodo de fossa “concentrado”) após aplicação das dosagens dos polímeros A e B sem diluição	89
Figura 57 – Após aplicação dos polímeros A e B sem diluição (lodo de fossa concentrado)..	90
Figura 58 – Ilustração de lodos de fossa após aplicação de polímeros	91
Figura 59 – Filtração do lodo em geotêxtil: escoamento do líquido e sólidos retidos	92
Figura 60 – Lodo de fossa desaguado após ensaio de saco suspenso	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Alternativas para sistema local de disposição de esgoto com transporte hídrico...	19
Tabela 2 – Eficiência dos tanques sépticos citada por alguns autores	26
Tabela 3 – Características, classificação e comparação geral entre lodos sépticos de países tropicais	32
Tabela 4 – Concentração de sólidos em lodo de fossa das cidades de Joinville-SC e Curitiba-PR	32
Tabela 5 – Valores médios de resultados físico-químicos de caracterização de lodo.....	33
Tabela 6 – Características físico-química de lodo de fossa séptica citada por alguns autores	Erro! Indicador não definido. 4
Tabela 7 – Propriedades físicas de geotêxtil em polipropileno	44
Tabela 8 – Propriedades hidráulicas de geotêxtil em polipropileno.....	Erro! Indicador não definido. 5
Tabela 9 – Propriedades mecânicas de geotêxtil em polipropileno	45
Tabela 10 – Propriedades de diferentes tubos geotêxteis.....	46
Tabela 11 – Parâmetros realizados na caracterização das amostras de lodo.....	67
Tabela 12 – Nível de confiança e de significância das variáveis alcalinidade, condutividade, Temperatura e pH para lodo de fossa séptica.....	73
Tabela 13 – Nível de confiança e de significância dos dados analisados em lodo de fossa ...	75
Tabela 14 – Estatística descritiva para as variáveis temperatura, condutividade elétrica, pH e alcalinidade em lodo de fossa	76
Tabela 15 – Estatística descritiva para as variáveis DQO e DBO em lodo de fossa.....	78
Tabela 16 – Estatística descritiva para a série de nitrogênio.....	79
Tabela 17 – Estatística descritiva para as séries de ST e SS em lodo de fossa	82
Tabela 18 – Caracterização de lodo de fossa em algumas pesquisas nacionais.....	84
Tabela 19 – Médias de remoções após aplicação das dosagens dos polímeros A, B, C, D e E para lodo de fossa “diluído” (Aprox. 2.000NTU)	85
Tabela 20 – Médias de remoções após aplicação das dosagens dos polímeros A, B, C, D e E para lodo de fossa “concentrado” (Aprox. 7.000NTU)	87
Tabela 21 – Médias de remoções após aplicação das dosagens dos polímeros A e B sem Diluição para lodo de fossa “concentrado” (Aprox. 7.000NTU)	89
Tabela 22 – Médias das remoções dos testes de cone para lodos de fossa “diluídos”	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ag	Prata
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CT	Coliformes Totais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DLVO	Teoria Deryaguin-Landau-Verwey-Overbeek
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LABOSAN	Laboratório de Saneamento
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
N-AMON.	Nitrogênio Amoniacal
NBR	Norma Brasileira
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
OD	Oxigênio Dissolvido
Pb	Chumbo
PF	Pressão de Filtração
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNAD	Pesquisa Nacional de Amostras por Domicílios
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

POA	Porcentagem de área aberta
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
RESTI	Resíduos Esgotados de Sistema de Tratamento Individual
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
RPM	Rotação por minuto
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SEMAN	Secretaria Municipal do Meio Ambiente e Controle Urbano
SF	Sólidos Fixos
SS	Sólidos Suspensos
S Sed.	Sólidos Sedimentáveis
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
ST	Sólidos Totais
STV	Sólidos Totais Voláteis
SV	Sólidos Voláteis
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UNB	Universidade de Brasília
USEPA	United States Environmental Protection Agency
USP	Universidade de São Paulo
Zn	Zinco

SÚMARIO

1 INTRODUÇÃO	155
2 OBJETIVOS DA PESQUISA	157
2.1 GERAL.....	17
2.2 ESPECÍFICOS.....	177
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	1818
3.1 SISTEMAS INDIVIDUAIS DE DISPOSIÇÃO DE ESGOTOS.....	18
3.2 FOSSAS ABSORVENTES, TANQUES SÉPTICOS E SUMIDOUROS	19
3.2.1 Fossas Absorventes	20
3.2.2 Tanques Sépticos	22
3.2.3 Sumidouro.....	<i>Erro! Indicador não definido.</i> 7
3.3 LODO DE FOSSA	28
3.3.1 Definição	28
3.3.2 Produção	29
3.3.3 Características	<i>Erro! Indicador não definido.</i> 0
3.3.4 Destino final	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
3.4 GEOSINTÉTICOS E O SEU USO NO DESÁGUE DE RESÍDUOS SÓLIDOS	37
3.4.1 Aplicações.....	37
3.4.2 Características técnicas	43
3.4.3 Ensaio de filtração.....	46
3.4.4 Processo de desaguamento.....	53
3.5 POLÍMEROS E SUA APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE DESÁGUE	56
3.5.1 Polieletrólitos	56
3.5.2 Processo de separação sólido-líquido.....	58
4 MATERIAIS E MÉTODOS	18
4.1 LOCAL DE COLETA	63
4.2 METODOLOGIA DE COLETA	64

4.3 METODOLOGIA DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS RESÍDUOS SÉPTICOS	66
4.4 METODOLOGIA DOS ENSAIOS DE SEPARAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO	67
4.4.1 Testes de jarro	67
4.4.2 Testes de cone.....	71
4.4.3 Testes de saco pendurado ou saco suspenso.....	71
4.5 ESTUDO ESTATÍSTICO	72
5 RESULTADOS.....	73
5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS DA CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	73
5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA.....	76
5.2.1 Alcalinidade total, pH, temperatura e condutividade elétrica.....	76
5.2.2 DQO e DBO	78
5.2.3 Série de Nitrogênio e fósforo.....	79
5.2.4 Série de sólidos.....	82
5.3 TESTES DE JARRO.....	85
5.3.1 Ensaio Preliminares.....	85
5.3.2 Aplicação para lodo “diluído” (turbidez inicial até 3.000NTU).....	85
5.3.3 Aplicação para lodo “concentrado” (turbidez inicial maior que 3.000NTU).....	87
5.3.4 Aplicação dos polímeros naturais A e B para lodo “concentrado”	89
5.4 TESTES DE CONE	92
5.5 TESTES DE SACO SUSPENSO.....	93
6 CONCLUSÕES.....	95
7 RECOMENDAÇÕES.....	98
REFERÊNCIAS	99

1 INTRODUÇÃO

Embora se tenham observado melhorias na última década em alguns indicadores de cobertura de rede coletoras e por sistemas de tratamento dos esgotos no Brasil, de acordo com os resultados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico PNSB (2008), no caso do sistema de esgotamento sanitário a situação ainda revela-se preocupante, pois se verificou a falta de rede coletora de esgoto em 2.495 municípios, distribuídos pelas Unidades da Federação. A ausência da rede de esgotamento sanitário constitui, assim, a realidade de grande parte dos municípios com menos de 50 mil habitantes. A precariedade do sistema de esgotamento também faz parte dos grandes centros urbanos, onde a rede de coleta de esgoto sanitário fica comprometida a dar respostas à pressão demográfica. Desta forma pode-se concluir que o esgotamento sanitário é um dos maiores desafios postos à gestão pública do Brasil na contemporaneidade.

Neste sentido se verifica a importância de alternativas como a utilização de sistemas individuais de tratamento como as fossas absorventes e os tanques sépticos. Estes constituem uma maneira simples e barata para a disposição do esgoto em áreas urbanas, áreas suburbanas e rurais onde a rede coletora não abrange os serviços públicos de esgotos sanitários. Segundo Jordão e Pessoa (2005), nos países em desenvolvimento, com o crescimento acelerado da população, a implantação de serviços públicos de saneamento não tem acompanhado tal crescimento. Isso permite concluir que as soluções individuais de disposição de esgotos continuarão sendo amplamente adotadas. As fossas absorventes e os tanques sépticos ganharam importância dentro do saneamento ambiental em decorrência da sua representatividade dentro do âmbito do tratamento de esgotos. As características desses sistemas como a facilidade na instalação, operação e pouca manutenção os tornaram muito requisitados. Nesses sistemas, o lodo, produto da sedimentação dos sólidos e da retenção de material graxo, deve ser removido periodicamente através de caminhão limpa fossas e disposto nas estações de tratamento de esgoto, quando estas existem.

O lodo gerado em sistemas de fossas absorventes e tanques sépticos, material rico em matéria orgânica e nutrientes, necessita de uma disposição final adequada. Esses resíduos, quando destinados de forma adequada, geralmente são despejados em sistemas de tratamento de esgotos que são constituídos em sua maioria, por lagoas de estabilização. Em Fortaleza, atualmente a quinta maior capital do país em população e cidade da realização deste estudo, a CAGECE, Companhia de Água e Esgoto do Ceará recebe os despejos desses resíduos, originários de serviços de coleta particular através de empresas desentupidoras e limpa-fossas

em toda a cidade e região metropolitana, na Estação de Tratamento de Efluentes - ETE - São Cristóvão localizada no bairro São Cristóvão, desde que foi inaugurada em 1993. A ETE é constituída por tratamento preliminar composto de gradeamento e duas caixas de areia e por quatro lagoas de estabilização. A estrutura do tratamento preliminar existente é insuficiente para reter os sólidos do esgoto afluente e absorver a demanda adicional do lodo de caminhões limpa-fossas despejado. Esta situação tem dificultado a eficiência do tratamento preliminar e causado o assoreamento da lagoa anaeróbia, o que compromete a qualidade do esgoto tratado.

Uma medida operacional que poderia ser sugerida como forma de solucionar este problema e recuperar o sistema, seria remover o lodo das lagoas através de dragagem e posterior desidratação e disposição final em aterro sanitário licenciado. No entanto, esta solução além de ser desinteressante em termos de custos e operacionalização, é uma medida corretiva e que necessitaria ser realizada sempre que houvesse nova saturação do sistema. Pela necessidade de propor uma solução preventiva, eficiente, segura e que resultasse em baixo custo operacional, este estudo integra uma pesquisa que vem desenvolvendo uma alternativa que propõe um tratamento prévio de desaguamento dos despejos dos caminhões limpa-fossas, individualmente, com técnicas de separação de fases e segregação dos sólidos utilizando tubos geotêxteis e aplicação de polímeros de forma que apenas o produto do deságüe drenado seria conduzido à ETE. Para o lodo desaguado são sugeridas duas opções: disposição no solo para uso agrícola ou encaminhamento para um aterro sanitário licenciado. Para a primeira opção, o lodo necessitaria ser submetido a pós-tratamento para redução de patógenos e atender aos parâmetros da CONAMA 375 de 2006. Além da CONAMA 375, o lodo a ser destinado ao uso agrícola, como fertilizante ou condicionador de solo, deve atender as regras definidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

O processo de desaguamento do lodo dos caminhões limpa-fossas em escala real, requer uma série de estudos e ensaios preliminares que devem ser realizados pacientemente em escala de laboratório. O grande desafio é desenvolver um sistema eficiente que tenha um tempo de operacionalização bastante reduzido, por causa do caráter comercial das empresas de coleta particular (limpa fossas). Neste sentido, se dará ênfase, a avaliação da técnica de desaguamento em escala de laboratório com utilização de polímeros e geotêxteis. É esperado que este estudo possa agregar conhecimentos à pesquisa e demais estudos necessários ao desenvolvimento da técnica de deságüe dos despejos de lodo de caminhão- limpa-fossas em escala real e que, de alguma forma, possa contribuir para a reciclagem dos materiais gerados fazendo-os retornar aos seus ciclos biogeoquímicos e conseqüentemente gerar preservação ao meio-ambiente.

2 OBJETIVOS DA PESQUISA

2.1 Geral

Avaliar a técnica de deságüe de resíduos de esgotamento de caminhão limpa-fossas em geotêxteis com e sem aplicação de polímeros em escala laboratorial quanto aos aspectos da eficiência de redução de sólidos e turbidez.

2.2 Específicos

- Caracterizar quanto aos aspectos físico-químicos o lodo de fossa séptica coletados na região metropolitana de Fortaleza (RMF);
- Avaliar qual polieletrólito apresenta maior eficiência na separação de sólidos suspensos em litro de lodo;
- Avaliar as eficiências de separação em diferentes concentrações de aplicação dos polímeros.
- Avaliar qual abertura aparente do geotêxtil se adéqua melhor às técnicas de desaguamento do lodo quanto à sua eficiência e operacionalização;
- Avaliar os resultados obtidos em laboratório (testes de bancada) após alcance do horizonte de projeto e comparar com a literatura.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sistemas individuais de disposição de esgotos

O esgoto produzido diariamente possui um potencial poluidor bastante elevado, podendo causar danos em corpos aquáticos, aquíferos e em ambientes naturais ou não, caso disposto a céu aberto. Em mananciais o esgoto pode causar a diminuição de oxigênio dissolvido na água, carrear sólidos, organismos patogênicos, nutrientes, etc. Se disposto a céu aberto favorece um ambiente propício à proliferação de vetores transmissores de inúmeras doenças (JORDÃO E PESSÔA, 2005).

Ratis (2009), aponta que conseqüências como a eutrofização de lagoas e o assoreamento de rios são problemas comuns nos tempos atuais. Ou seja, a disposição inadequada de esgotos é um problema de saúde pública que é acentuado em locais onde a infra-estrutura de saneamento básico não existe ou é precária.

Vários municípios e localidades no Brasil, especialmente as áreas rurais, têm que conviver com o problema da carência ou simplesmente a inexistência de redes de coleta. Mesmo nas grandes cidades, onde muitas vezes o sistema de coleta não abrange todos os bairros, os sistemas de tratamento individuais representam a única alternativa de tratamento e disposição das águas servidas.

Os sistemas de disposição local de excretas e esgotos, também conhecidos como sistemas estáticos ou sistemas de tratamento individuais, podem ser classificados em sistemas sem transporte hídrico e com transporte hídrico. Nos sistemas sem transporte hídrico, não se utiliza água, servindo somente para disposição de excretos. Nos sistemas com transporte hídrico há geração de esgoto ou água servida que pode ser mais ou menos concentrado, dependendo da separação ou não das águas cinzas e das águas negras (ANDREOLI *et al.*, 2009).

Os sistemas mais comuns empregados nas cidades do Brasil são os sistemas com transporte hídrico, onde há a geração de esgoto. A Tabela 1 mostra os tipos de disposição de esgotos em sistemas com transporte hídrico.

Tabela 1 – Alternativas para sistema local de disposição de esgoto com transporte hídrico

DISPOSIÇÃO DE ESGOTOS	
Fossa absorvente / Poço absorvente	É uma escavação semelhante a um poço, onde são dispostos os esgotos, podendo ou não ter paredes de sustentação. Permitem a infiltração do efluente no solo.
Fossa estanque	Tanque impermeável que acumula esgoto até sua freqüente remoção.
Fossa química	É uma fossa estanque na qual se adiciona um produto químico para desinfecção dos dejetos
Tanque séptico	Unidades hermeticamente fechadas que tratam o esgoto por processos de sedimentação, flotação e digestão. Produzem um efluente que deverá ser destinado.

Fonte: adaptado Andreoli (2009).

3.2 Fossas absorventes, tanques sépticos e sumidouros

No Brasil, as fossas e os tanques sépticos são os sistemas alternativos mais utilizados para o tratamento primário e disposição dos esgotos sanitários, 21,1% dos domicílios particulares permanentes, utilizam este serviço (PNAD, 2006).

As fossas e tanques sépticos são unidades de disposição de esgoto que possuem diferenças consideráveis. A fossa é um simples buraco escavado no solo, enquanto o tanque séptico é uma unidade impermeável que não permite infiltração do esgoto por suas paredes e apresentam dispositivos de separação que retém lodo e materiais flutuantes. O tanque séptico é constituído para receber esgoto doméstico (fezes, urina e efluentes provenientes de pias, tanques e chuveiros). As águas pluviais não devem ser encaminhadas ao tanque séptico ou qualquer despejo capaz de causar interferência negativa em qualquer fase do processo de tratamento pela elevação excessiva da vazão do esgoto afluente, tais como os provenientes de piscina e de lavagens de reservatório de água (ABNT, 1993).

Outra diferença entre as duas unidades está relacionada ao custo de construção. As fossas, normalmente possuem baixo custo, enquanto que os tanques sépticos, construídos conforme a NBR 7229/93, apresentam custo relativamente maior (HELLER E CHERNICHARO, 1996).

3.2.1 Fossas absorventes

As fossas podem ser secas ou sépticas. A fossa seca consiste basicamente em um buraco e seus elementos acessórios, onde as excretas (fezes) são depositadas até um nível correspondente a aproximadamente de 0,5 a 1,0 metro abaixo da superfície do terreno. Quando este nível é atingido, o espaço livre existente é preenchido com terra e a fossa é desativada. Posteriormente, as estruturas superiores podem ser deslocadas para outro buraco, compondo uma nova fossa (VON SPERLING E OLIVEIRA, 2007).

Segundo Borges (2009), nas fossas absorventes o esgoto é tratado primariamente via sedimentação e digestão anaeróbia. Pelo fato da fossa não ser impermeabilizada, então ocorre o processo de infiltração do esgoto no solo, que mediante os processos biogeoquímicos os poluentes são parcialmente assimilados.

Para Heller e Chernicharo (1996), a fossa absorvente consiste em uma unidade que um único dispositivo possui os mecanismos que ocorrem nos tanques sépticos e sumidouros.

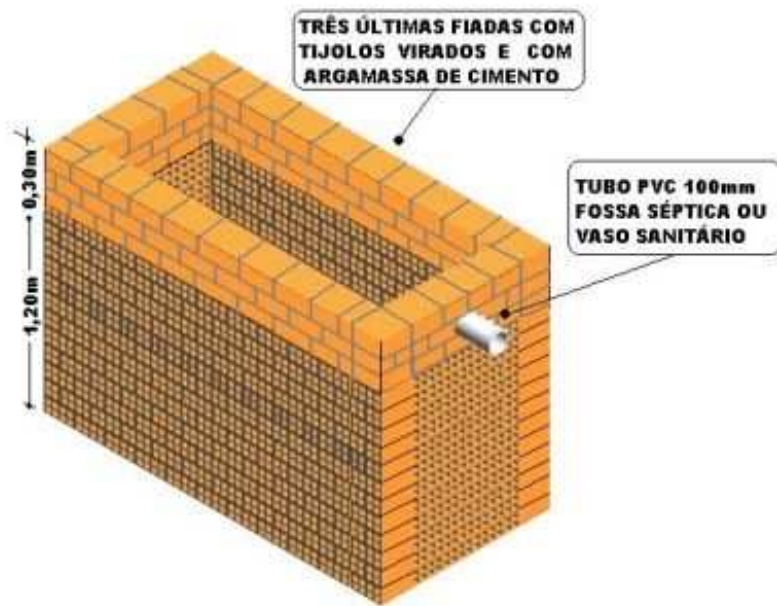
Dentre as fossas absorventes, encontram-se desde as mais rudimentares, que consistem em um simples buraco no solo, até construções mais bem elaboradas, com paredes de sustentação em alvenaria de tijolos ou anéis de concreto que possuem aberturas e fendas que permitindo a infiltração dos esgotos, e devidamente abrigadas, geralmente com laje de concreto. Estas estruturas podem retangulares, mas normalmente são cilíndricas, e as paredes de sustentação mais comuns são em alvenaria de tijolos, que utilizam tijolos vazados com os furos no sentido radial (exceto na parte superior e algumas fiadas de amarração) ou tijolos maciços com fendas entre os tijolos na maioria das fiadas da parede. Geralmente o fundo não é revestido, para permitir a infiltração da água, mas em algumas há uma camada de brita para constituir a base do fundo (ANDREOLI *et al.*, 2009).

De acordo com Hartmann *et al.*, (2009), as fossas são sistemas ultrapassados para os dias de hoje, mas são muito comuns nas áreas rurais.

De certa forma, a disposição por fossas é mais poluente do que por outros sistemas porque o líquido das águas servidas lava o material sólido presente no meio, carreando matéria orgânica, nutrientes e patógenos para o lençol freático trazendo sérios riscos de contaminação (SANTOS, 2009).

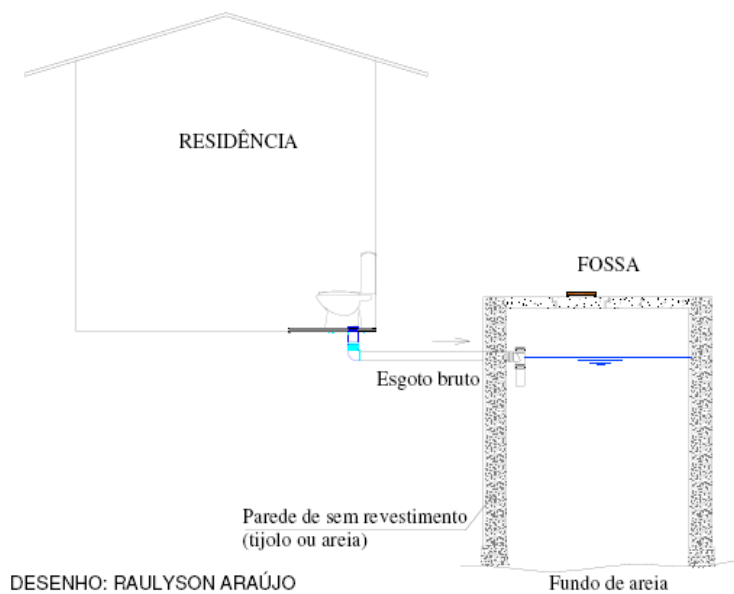
A Figura 1 ilustra uma fossa absorvente retangular bem elaborada construída em alvenaria de tijolos e a Figura 2 mostra o esquema de instalação.

Figura 1 - Fossa absorvente em alvenaria



Fonte: FUNASA – Ceará, 2006.

Figura 2 – Esquema de instalação de uma fossa absorvente com fundo de areia



Fonte: Ratis (2009)

3.2.2 Tanques sépticos

Tanque séptico é uma câmara construída de forma a receber a contribuição de esgoto sanitário de um ou mais domicílios, onde o esgoto é armazenado por um período de tempo estabelecido, de modo a ocorrer a sedimentação dos sólidos e a remoção dos óleos e graxas contidos nos esgotos, transformando-os bioquimicamente em substâncias mais estáveis (JORDÃO E PESSÔA, 2005).

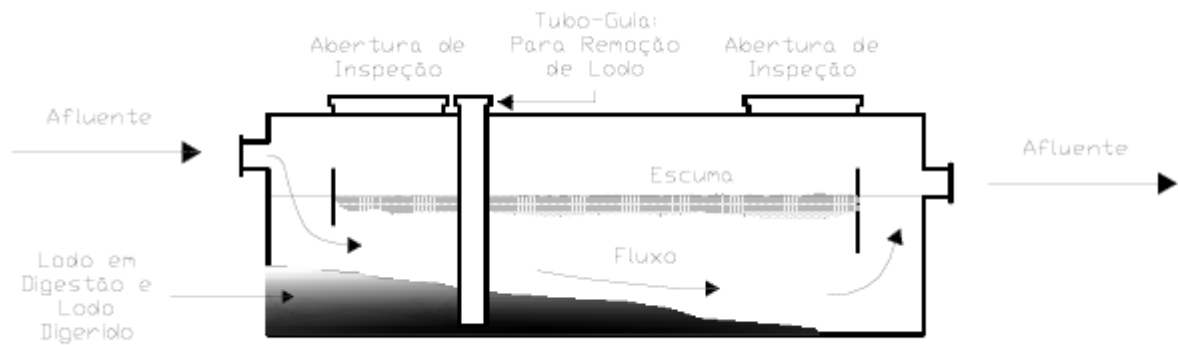
Tanque sépticos também chamados de decanto-digestores, são unidades de tratamento primário aplicados a domicílios unifamiliares ou comunidades desprovida de rede coletora pública, tratamento e disposição final de esgotos. Foi a primeira unidade desenvolvida para tratamento de esgoto e amplamente utilizada até os dias de hoje. Seu sucesso deve essencialmente à sua tecnologia simples e compacta além de não exigir técnicas construtivas ou equipamentos especiais. Além disso, não necessita da presença constante de um operador durante seu funcionamento (GONÇALVES, 2008).

Nos tanques sépticos, todas as suas paredes são impermeabilizadas de modo que se promova o acúmulo de esgoto em seu interior por um tempo determinado. Segundo Andrade Neto *et al.*, (1999) é na parte superior do tanque que estão localizadas a entrada e saída de esgoto sendo feitas através de dispositivos como tês, septos, chicanas, ou cortinas de modo a evitar turbulência no interior do reator e proporcionar a saída do esgoto tratado à uma profundidade em torno de 1/3 da altura útil do reator e maior ou igual a 40 cm. Assim evita-se que o material flotado saia do sistema com o esgoto tratado.

Andreoli *et al.*, (2009) definem tanque séptico como tanques simples ou divididos em compartimentos horizontais ou verticais, utilizados com o objetivo de reter por decantação os sólidos contidos nos esgotos, propiciar a decomposição dos sólidos orgânicos decantados no seu próprio interior e acumular temporariamente os resíduos, com volume reduzido pela digestão anaeróbia, até que sejam removidos em períodos de meses ou anos.

Os tanques sépticos podem ser de câmara única, de câmaras em série ou de câmaras sobrepostas, e podem ter forma cilíndrica ou prismática retangular. As Figuras 3, 4 e 5, mostram desenhos esquemáticos dos três modelos (ANDRADE NETO *et al.*, 1999).

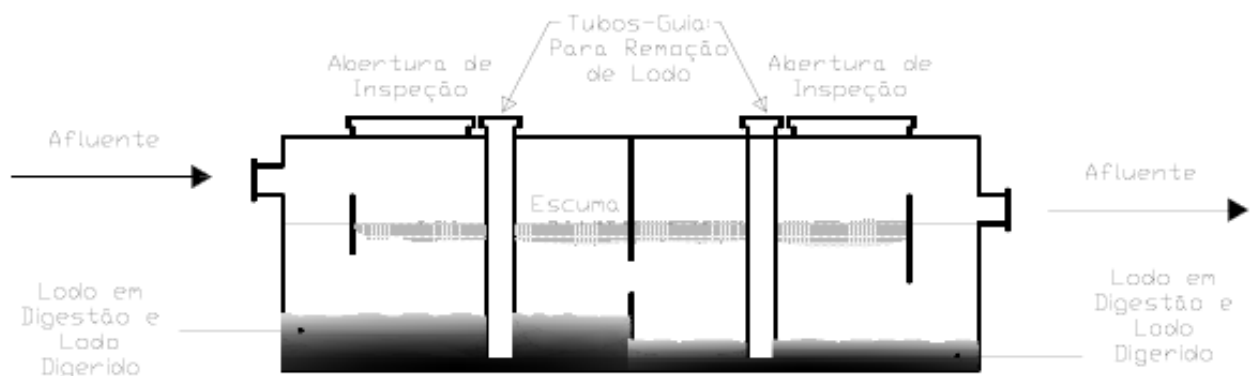
Figura 3 – Tanque séptico de câmara única



Fonte: Borges (2009 *apud* ANDRADE NETO *et al.*, 1999)

De acordo com Chernicharo (1999), nos sistemas de câmara única verifica-se a retenção de 60 a 70% dos sólidos sedimentáveis que são responsáveis pela formação do leito de lodo no fundo do digestor e da espuma flotada para a superfície do líquido (ver Figura 3). Esse ambiente, favorece a degradação ativa da matéria orgânica com baixa produção de biomassa considerando que, o processo anaeróbio utiliza a maior parte da energia para o metabolismo anabólico, mostrando-se extremamente eficiente nas atividades de degradação, obtendo como produtos finais metano e gás carbônico.

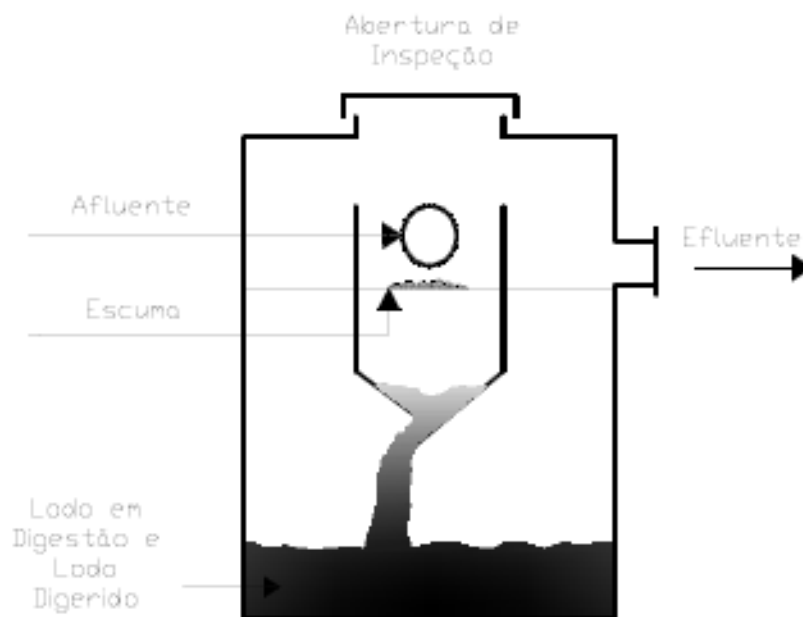
Figura 4 – Tanque séptico de câmara em série



Fonte: Borges (2009 *apud* ANDRADE NETO *et al.*, 1999)

No tanque séptico com câmara em série (Figura 4) Andrade Neto *et al.*, (1999, 2000) apontam que o sistema possui dois ou mais compartimentos, dispostos seqüencialmente, no sentido do fluxo do líquido e interligados por paredes com aberturas para passagem do esgoto. Na primeira câmara ocorre a sedimentação dos sólidos, onde conseqüentemente, há formação de acúmulo de lodo na mesma, apesar das bolhas ascendentes se formarem na decomposição da biomassa, a remoção de matéria orgânica dissolvida é significativa. Devido a menor produção de biogás na segunda câmara, a sedimentação dos sólidos suspensos é mais eficiente, o que permite que este tipo de tanque séptico propicie melhores resultados que os de câmara única, tendo as mesmas facilidades de construção e operação. O autor reforça que embora ocorram decantação e digestão nas duas câmaras, a primeira favorece a digestão e a segunda a decantação, sequenciadamente.

Figura 5 – Tanque séptico de câmara sobrepostas



Fonte: Borges (2009 *apud* ANDRADE NETO *et al.*, 1999)

O tanque séptico com câmaras sobrepostas possui uma configuração constituída por divisões internas que separam verticalmente o tanque em duas câmaras. A separação das câmaras pelas placas inclinadas possibilita a separação das fases sólida, líquida e gasosa, fazendo com que os sólidos que sedimentam na câmara superior sejam conduzidos para a câmara inferior, e os gases que são formados pela digestão do lodo na câmara inferior sejam

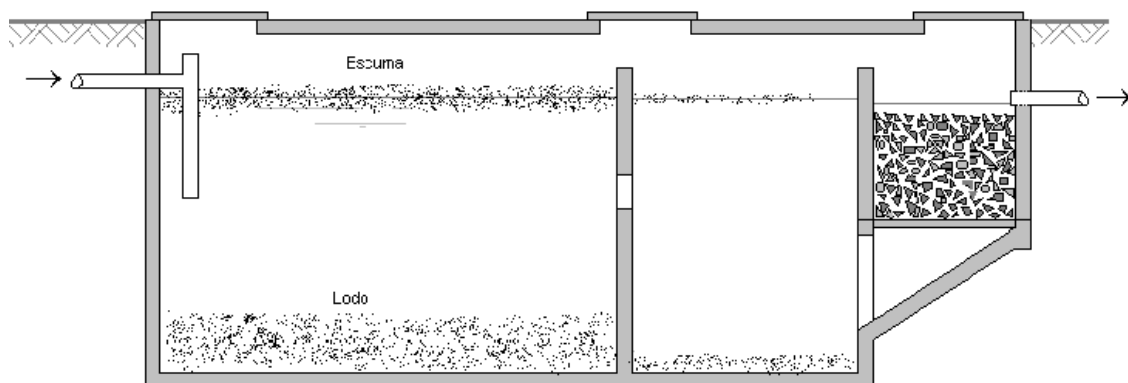
desviados da câmara superior pelas placas inclinadas (ANDREOLI *et al.*, 2009). Andrade Neto *et al.*, (2000) afirmam que nos tanques sépticos com câmaras sobrepostas, a câmara superior, que é a primeira e também a última em relação ao fluxo de esgoto, favorece apenas a decantação e a câmara inferior tem a função de atuar como digestor e acumulador de resíduos.

Dentre os modelos de tanque séptico apresentados, Andrade Neto *et al.*, (1999) conclui que os de câmaras em série propiciam melhor eficiência do que os de câmara única, com as mesmas facilidades de construção e operação. O autor refere-se aos modelos de câmaras sobrepostas afirmando que além da maior simplicidade construtiva, apresentam a vantagem de propiciar menos profundidade, o que reduz os custos consideravelmente com escavação e por isso são vantajosos nesse aspecto.

Os tanques sépticos também podem ter filtros acoplados. O filtro tem a função de polimento, reduzindo os níveis de sólidos suspensos, melhorando o seu aspecto.

A Figura 6 mostra um sistema de tanque séptico em série com filtro acoplado.

Figura 6 – tanque séptico com filtro acoplado



Fonte: Santos (2009 *apud* ANDRADE NETO *et al.*, 1999)

Santos (2009) comenta que o filtro instalado na saída das câmaras retém os possíveis sólidos em suspensão que insistem em sair junto com o efluente, seu fluxo é ascendente e normalmente possuem pedra britada como leito filtrante.

De acordo com Jordão e Pessoa (2005, grifo nosso) os processos listados a seguir ocorrem simultaneamente nos tanques sépticos:

- **Retenção dos sólidos:** o esgoto é detido por um período de tempo especialmente estabelecido, podendo variar de 12 a 24 horas, conforme as contribuições dos afluentes;
- **Sedimentação:** consiste na sedimentação dos sólidos em suspensão; 60% a 70% dos sólidos contidos nos esgotos sedimentam, formando o lodo;

• **Flotação:** é a retenção na superfície livre do líquido de óleos, graxas, gorduras e outros materiais misturados com gases, formando assim a espuma;

• **Digestão anaeróbia do lodo:** ocorre a degradação de forma progressiva do lodo e da espuma pelas bactérias anaeróbias e arqueas.

Com relação à eficiência desses sistemas, Barbosa e Nolasco (2007) relatam que os decanto-digestores vem sendo estudados com o intuito de aperfeiçoar o tratamento dos esgotos sanitários mantendo ainda os baixos custos de construção e operação que essa tecnologia apresenta. A operação dessas unidades de forma isolada não consegue atender as melhores condições de tratamento e de disposição do esgoto sanitário, deixando a desejar numa remoção mais eficiente de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e patógenos. Esses elementos podem vir a trazer graves problemas ambientais e de saúde pública.

Segundo Andreoli *et al.*, (2009) o tanque séptico é uma tecnologia simples, compacta e de baixo custo. Apesar de não apresentar alta eficiência, principalmente na remoção de patogênicos e de substâncias dissolvidas, produz um efluente razoável, que pode ser encaminhado mais facilmente a um pós-tratamento ou ao destino final.

A Tabela 2 mostra abordagens de diversos autores sobre os percentuais de remoção de alguns indicadores analíticos.

Tabela 2 – Eficiência dos tanques sépticos citada por alguns autores

Autores Parâmetros	Azevedo e Hess (1970)	Macintyre (1996)	Sperling <i>et al.</i> (1996)	Andrade <i>et al.</i> (1999)	Metcalf e Eddy (2003)	Jordão e Pessoa (2005)	Nascimento Castro (2005)
DBO	40% a 60%	30 a 60%		40% a 70%	33% a 63%	30%	40% a 60%
DQO	30% a 60%			50% a 80%			30% a 60%
SS	50% a 70%	50% a 70%	60% a 70%		53% a 83%	50%	50% a 70%
S Sed.	85% a 95%						85% a 95%
Óleos e graxas	70% a 90%	70% a 90%					70% a 90%
N-Amon.							0% a 10%
N total							0% a 10%
Microog. Patog.			30% a 40%				
CT							20% a 60%

Fonte: adaptado de Borges (2009 *apud* AZEVEDO NETO,1970;MACINTYRE,1996; ANDRADE NETO *et al.* ,1999; JORDÃO E PESSOA, 2005; NASCIMENTO E CASTRO,2005)

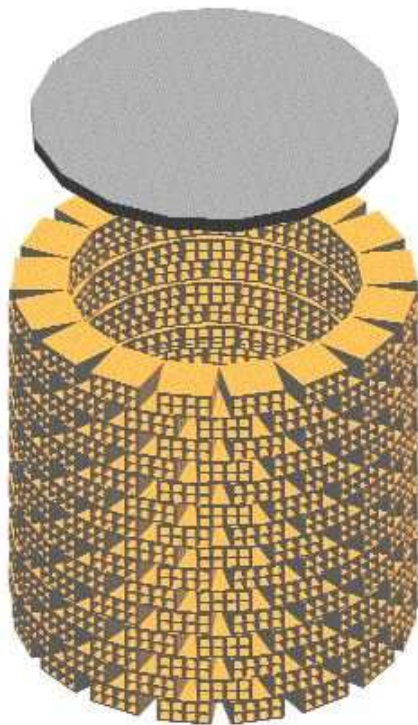
3.2.3 Sumidouro

Os sumidouros podem possuir formato cilíndrico ou prismático e as paredes podem ser construídas de pedra, tijolo, manilha de concreto, entre outros, de forma que estas devem ser revestidas para permitir a infiltração do líquido. Uma opção de projeto é colocar uma camada de brita para propiciar a filtração do esgoto tratado no fundo e/ou no entorno das laterais do sumidouro. Sendo que, ao construir os sumidouros, as pessoas raramente não adotam essa camada de brita no fundo ou no entorno do sumidouro, para reduzir os custos (RATIS, 2009).

Segundo Jordão e Pessoa (2005) a função dos sumidouros é receber os efluentes dos tanques sépticos e infiltrá-los no solo.

A figura 7 mostra um sumidouro cilíndrico construído em alvenaria.

Figura 7 – Sumidouro cilíndrico



Fonte: FUNASA – Ceará, 2006

O sumidouro é semelhante a um poço absorvente, no entanto possui essa denominação quando recebe o efluente proveniente do tanque séptico ou outra unidade de tratamento para infiltração no solo ao invés de esgoto bruto. Contudo, essa denominação não é consensual, e em algumas regiões do Brasil o sumidouro que recebe efluentes tratados também pode ser chamado de poço absorvente, em casos mais raros, a fossa que recebe esgoto bruto é denominada de sumidouro. O autor defende ser mais adequado reservar o termo “sumidouro” no caso do poço absorvente receber efluentes de unidades de tratamento (ANDREOLI *et al.*, 2009).

3.3 Lodo de fossa

3.3.1 Definição

Lodo de decanto-digestor, lodo de fossa séptica, lodo de tanque séptico, resíduos sépticos, lodo fecal, resíduos provenientes de fossas e tanques sépticos, resíduos esgotados de fossas e tanque sépticos, material removido de tanques sépticos, ou ainda a sigla RESTI (Resíduos Esgotados de Sistemas de Tratamento Individual), são alguns dos nomes encontrados na literatura para tratar este tipo de material.

Andreoli *et al.*, (2009) destacam o fato de os resíduos de fossas e de tanques sépticos, usualmente esgotados por caminhões limpa-fossa causadores de enormes problemas ambientais e sanitários, não terem uma definição específica. Os autores apontam ainda que desta forma, na bibliografia existente sobre o assunto, esse tipo de resíduos é tratado em alguns casos como se fosse esgoto e, em outros casos como se fosse lodo, sendo também comum encontrar na literatura internacional referências a tais resíduos como lodos fecais por ter sua origem tipicamente doméstica, dentre outras formas de referência. Isto dificulta bastante a revisão de dados em face da nomenclatura incerta.

O termo “lodo” tem sido usado para designar os subprodutos sólidos do tratamento de esgoto (VON SPERLING E ANDREOLI, 2001).

A *Environmental Protection Agency* (EPA) define como lodo séptico o material líquido ou sólido removido de um tanque séptico, banheiro químico ou sistema similar que receba apenas esgoto doméstico.

Ratis (2009) descreve o termo lodo como sendo uma mistura dos sólidos presentes no esgoto bruto (lodo primário) e os gerados no tratamento de esgoto (lodo secundário). Aponta que os dois tipos de lodo são inadequados para qualquer disposição final.

3.3.2 Produção

O resíduo do lodo de fossa na verdade é o material sedimentado coletado, geralmente por via sucção por caminhões limpa-fossas, do fundo dos sistemas de tratamento de esgoto doméstico, sejam eles fossa absorvente ou tanque séptico.

Leite *et al.*, (2006) comentam que esse tipo de resíduo deve permanecer retido durante certo intervalo de tempo e, ao seu término, é necessário que se faça a limpeza do tanque. A falta de limpeza, compromete a eficiência do tratamento.

De acordo com Andreoli *et al.*, (2009) a operação de sistemas como o tanque séptico, além de muito simples não é muito freqüente. Consiste na remoção do lodo na freqüência prevista no projeto, geralmente períodos de meses ou anos. Os autores apontam ainda que quando não há dispositivo de descarga do lodo, ele deve ser esgotado mecanicamente (por bombeamento, sucção ou sifonamento) e conduzido ao local adequado. O lodo que restante, aderido às paredes e depositado no fundo em pequena quantidade, não deve ser removido, porque o mesmo será importante para o desenvolvimento mais rápido da nova população bacteriana. Em outras palavras, não se deve raspar ou lavar o reator quando se procede ao esgotamento.

A NBR 7229/93 recomenda intervalos de limpeza de no mínimo 1 e no máximo 5 anos. Geralmente, deve ser efetuada a limpeza das fossas quando o lodo atingir camada igual ou superior a 50 cm ou 1/3 da profundidade de líquido no tanque para unidades maiores (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

Esta operação, embora muito simples, não pode ser negligente ou descuidada, principalmente quanto à data de esgotamento. Se no tempo adequado o lodo não for removido, o espaço que é destinado à decantação será ocupado por sólidos e o reator não terá qualquer função eficaz no tratamento dos esgotos (ANDRADE NETO *et al.*, 1999).

Coelho *et al.*, (2005), publicaram em seu estudo que o lodo de esgoto é um dos principais problemas ambientais urbanos da atualidade, tendo importância crescente, por se tornar comum o seu aproveitamento em culturas e sua disposição no solo, ambos de forma inadequada.

3.3.3 Características

A matéria removida de sistemas de disposição local de esgotos, também conhecidos como sistemas estáticos ou sistemas individuais, seja uma fossa rudimentar ou tanque séptico mais bem projetado e construído, é uma mistura de esgotos e lodo, que não apresenta as características típicas dos esgotos nem do que se conhece normalmente como lodo na terminologia da Engenharia Sanitária. Portanto, carece de definição própria (ANDREOLI *et al.*, 2009). Os autores reforçam ainda que nas fossas/tanques sépticos, parte do lodo decanta e sedimenta no fundo, e outra parte flutua, formando a espuma, ou lodo flotante. Na parte intermediária, fica o esgoto, que pode ocupar proporções diferentes do volume do reator em função de vários fatores de forma e sobretudo das condições operacionais, mas sempre está presente. Quando a fossa ou o tanque séptico é esgotado, geralmente remove-se todo o seu conteúdo, e não apenas o lodo decantado. Então, o conteúdo dos caminhões limpa-fossa que esgotaram pequenos sistemas locais de disposição de esgotos é uma mistura de esgoto e lodo que, às vezes, tem características mais próximas das dos esgotos concentrados e outras mais próximas das características de lodo de ETE, mas não tão próximas a ponto de ser caracterizado como tal, por isso há a necessidade de se buscar uma denominação própria para este material.

Os lodos normalmente apresentam características indesejáveis como a instabilidade biológica, presença de patógenos (vírus, bactérias, helmintos, etc.) e ainda concentrações elevadas de sólidos (CASSINI *et al.*, 2003).

Segundo Ratis (2009), embora as fases líquida e sólida estejam parcialmente separadas no interior dos tanques sépticos, elas se misturam completamente durante o processo de remoção, denominado esgotamento.

Algumas características do lodo de esgoto originado de tanques sépticos foram apontadas em estudos anteriores a respeito de sua qualidade:

- Apresentam coloração escura e odor característico devido a presença de gases especialmente o sulfídrico (MACINTYRE, 1985, *apud* SANTOS, 2009).
- Sua composição além da água em sua maior parte, material inorgânico, como areia, e matéria orgânica fecal (LEITE *et al.*, 2006).
- Devido ao potencial de sedimentação dos sólidos dos tanques sépticos, em consequência aumentam a retenção de microrganismos patogênicos, entre eles, os ovos de helmintos (SILVA *et al.*, 2008) que são resistentes aos fatores ambientais, podem sobreviver em condições úmidas de dois até 10 anos (VILLE, WALKER E BARNES, 1998 *apud* SILVA

et al., 2008) e atingem concentrações até 10 vezes maiores do que em águas residuárias (MONTANGERO *et al.*, 2000).

- Apresentam baixos teores de metais, devido a principalmente às contribuições de produtos de limpeza, cosméticos, xampus, desinfetantes, combustíveis, medicamentos, amálgamas dentários, termômetros clínicos, produtos alimentícios, tintas, lubrificantes, agentes de polimento, pesticidas, produtos de jardinagem, preservadores de madeira, fezes, urina e água de abastecimento quando se trata de esgoto preferencialmente domésticos (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

A composição do lodo gerado varia bastante podendo conter diferentes substâncias e organismos, dependendo do efluente tratado no sistema. Cerca de 75% dos sólidos são constituídos de matéria orgânica degradável, destacando-se a grande quantidade de microrganismos provenientes de fezes humanas e com probabilidade de ocorrência de patógenos. Quando há adição de efluentes industriais poderá conter metais tóxicos e outros componentes distintos daqueles decorrentes do esgoto doméstico (METCALF E EDDY, 1991).

O lodo séptico possui cor escura e forte odor. As concentrações de amônia e ovos de helmintos podem chegar a dez vezes mais que em águas residuais (LEITE, INGUNZA E ANDREOLI, 2006). Os autores afirmam ainda que a composição do lodo séptico é compreendida na maior parte por água, esgoto, material inorgânico (areia) e material orgânico fecal. Segundo Gonçalves (2008) uma propriedade marcante do lodo de fossa é a heterogeneidade de seus compostos que podem variar em função de alguns fatores como frequência de limpeza, características do efluente e mistura nos caminhões limpa-fossas.

Diversos fatores determinam as propriedades físicas dos septage (lodo de fossa), como o tamanho do sistema, hábitos dos usuários, frequência do esgotamento, resíduos orgânicos de cozinha, temperatura, desempenho de fossa e recebimento de águas residuárias cinzas e negras (HEINSS *et al.*, 1999; FORREST e ASSOCIATES, 2005).

Segundo Leite, Ingunza e Andreoli (2006), o lodo pode ser classificado quanto à estabilidade (alta ou baixa) dependendo do grau de digestão sofrida. Assim, o tempo de permanência do lodo na fossa séptica é o grande responsável pela estabilização. A tabela 3 mostra os tipos de lodo e suas características.

Tabela 3 – Características, classificação e comparação geral entre lodos sépticos de países tropicais

Item	Tipo A (alta estabilidade)	Tipo B (baixa estabilidade)	Esgoto Doméstico
Amostra	Banheiro Público ou químico	Tanque Séptico	Esgoto Tropical
Caracterização	Alta concentração, lodo séptico fresco (estocado por dias ou semanas)	Lodo séptico baixa concentração estocado por anos.	
DQO (mg/L)	2000 a 5000	< 15000	500 a 2500
DQO/DBO	5:1 a 10:1	-	2:1
N-AMON. (mg/L)	2000 a 5000	<1000	30 a 70
ST (mg/L)	< 3,5%	< 3%	< 1%
SS (mg/L)	< 30000	7000	200 a 700
Ovos de helm. (1/L)	2000 a 60000	4000	300 a 2000

Fonte: adaptado de Leite, Ingunza e Andreoli (2006)

Com relação às concentrações de sólidos nos resíduos sépticos, a Tabela 4 mostra os valores médios e máximos de sólidos sedimentáveis (SSed), voláteis (SV), fixos (SF) e totais (ST) encontrados nas as cidades de Joinville (SC) e Curitiba (PR). Segundo Leite, Ingunza e Andreoli (2006), o motivo da concentração de sólidos voláteis ser maior que a de sólidos fixos indica que se trata de um resíduo orgânico.

Tabela 4 – Concentração de sólidos em lodo de fossa das cidades de Joinville-SC e Curitiba-PR

Cidade	SSed. (mg/L)	SV (mg/L)	SF (mg/L)	ST (mg/L)
JOINVILE - SC	Méd. 580	Méd. <1000	Méd. <1000	Méd. 1000 a 2000
	Máx. < 1000	Máx. 3100	Máx. 5060	Máx. 8160
CURITIBA-PR	Méd. 700	Méd. 4000 a 5000	Méd. 4000 a 5000	Méd. 9000 a 10000
	Máx. < 1000	Máx. > 10000	Máx. > 10000	Máx. > 10000

Fonte: adaptado de Leite, Ingunza e Andreoli (2006)

Alguns estudos de caracterização físico-química do lodo de fossa comprovam a heterogeneidade de sua composição, a seguir temos a Tabela 5 onde foram avaliados os principais parâmetros de caracterização de lodo realizados por quatro instituições localizadas em cidades diferentes que fizeram parte da pesquisa do PROSAB.

Tabela 5 – Valores médios de resultados físico-químicos de caracterização de lodo de fossa séptica

PARÂMETROS	INSTITUIÇÕES DE PESQUISA			
	FAE	UFRN	UNB	USP
pH	7,2	6,6	7,1	6,9
Alcalinidade Total (mg/L)	773	471	390	477
Condutividade (uS/cm ²)	1636	1193	-	-
DBO (mg/L)	2734	2176	-	1524
DQO (mg/L)	11219	4205	1281	4491
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	124	75	51	-
NTK (mg/L)	444	129	160	-
Fósforo Total (mg/L)	132	-	14	39
Óleos e Graxas (mg/L)	1908	613	-	345
ST(1) (mg/L)	12116	6508	10214	5216
STV(2) (mg/L)	7891	4368	7368	3053
SST(3) (mg/L)	6656	3891	6395	3257
SSV(4) (mg/L)	4361	2776	4996	1749
S.Sed(5) (ml/L)	145	136	70	50

(1)ST: Sólidos Totais ; (2)STV: Sólidos Totais Voláteis; (3)SST: Sólidos Suspensos Totais ; (4)SSV: Sólidos Suspensos Voláteis; (5)S Sed: Sólidos Sedimentáveis.

Fonte: adaptado de Andreoli *et al.*, (2009)

A tabela 6 mostra resultados segundo USEPA (2002) e a literatura brasileira que trazem as características típicas desse resíduo. Observa-se que é evidente a heterogeneidade dos resultados apresentados na maioria das variáveis que foram levantadas na literatura avaliada. Como já foi dito é necessário que essas diferenças sejam compreendidas considerando que esse tipo de resíduo é proveniente de diferentes unidades de tratamento como tanques sépticos, fossas, sumidouros e etc. Ambos apresentando diferentes contribuições de esgoto como residências, condomínios, hospitais, restaurantes, que são mantidos e operados de forma diferentes. Além disso, os procedimentos de operação aplicados pelas empresas de esgotamento variam muito.

Tabela 6 – Características físico-químicas de lodo de fossa séptica citada por alguns autores

PARÂMETROS ANALISADOS	Leite <i>et al.</i> (2006)	Jordão e Pessoa (2005)	Belli <i>et al.</i> , (2009)	Tachin (2002)	Menezes <i>et al.</i> , (2001)
Ph	-	-	6,78	6,80	6,94
Alcalinidade (mg.L ⁻¹)	-	-	9.773	1.015	498
DBO (mg O ₂ L ⁻¹)	1.863	6.000	1.890	11.424	2.434
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	9.419	-	6.199	23.835	6.895
ST (mg.L ⁻¹)	9.267	-	7.186	49.593	12.880
SST (mg.L ⁻¹)	-	15.000	2.064	37.731	7.091
STF (mg.L ⁻¹)	4.399	-	3.773	-	2.824
SSV (mg.L ⁻¹)	-	7.000	3.272	-	3.518
STV mg.L ⁻¹)	4.868	-	3.413	29.685	2.246
S. Sed. (mg.L ⁻¹)	209	-	-	579	266
Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)		8.000	327	-	531
Cloretos (mg.L ⁻¹)		-	-	-	254
NT (mg N ₂ .L ⁻¹)	-	700	-	-	120
N-AMON. (mg. NH ₃ L ⁻¹)		400	58	-	89
Fósforo total (mg. P L ⁻¹)	-	250	90	-	18

Fonte: adaptado de Leite *et al.* (2006), Jordão e Pessoa (2005), Belli *et al.* (2004), Tachin (2002) e Menezes *et al.* (2001)

3.3.4 Destino final

A necessidade atual de preservarmos os recursos naturais como o solo, fontes e mananciais de água, é um desafio para a engenharia ambiental no sentido de buscar as melhores soluções de tratamento sempre objetivando o tratamento de efluentes e seu reuso, bem como a disposição adequada do lodo removido após sua estabilização. Algumas alternativas para disposição do lodo podem ser o aterro sanitário, compostagem ou aplicação na agricultura.

A conscientização ambiental da sociedade, e a pressão exercida por órgãos fiscalizadores e do Ministério Público, fazem com que se busquem alternativas de tratamento e disposição final ambientalmente correta, onde as matérias-primas consumidas pelas atividades humanas retornem para os ecossistemas de uma forma positiva, reduzindo a contaminação do meio FRANÇA (2009).

Segundo Cassini *et al.*, (2003) os lodos de fossa, ao serem recolhidos pelos chamados “caminhões limpa-fossa”, estes usualmente são lançados de forma inadequada em terrenos nos limites das cidades, redes coletoras ou cursos d’água.

Gonçalves (2008) afirma que devido ao grande potencial poluidor do lodo de fossa, quando este é removido, o lodo não poderá ser disposto diretamente em corpos d’água ou galeria de águas pluviais. É necessário realizar um tratamento complementar antes de sua disposição final. O lançamento em estações de tratamento de esgoto (ETE) é uma alternativa interessante para a disposição desse resíduo de tanques sépticos no caso de grandes centros urbanos. No entanto, tal procedimento está sujeito à aprovação e regulamentação dos órgãos responsáveis pelo esgotamento sanitário (NBR 7229/93).

O destino do lodo deve ser determinado antes do início da operação de esgotamento, verificando-se se não haverá algum contratempo temporário. A disposição inadequada e insalubre de lodo séptico no meio ambiente tem como conseqüência a contaminação do solo e dos recursos hídricos, visto que o lodo produzido pelos sistemas de fossa séptica contém altas concentrações de nutrientes, matéria orgânica, poluentes inorgânicos e organismos patogênicos. Esta contaminação, além de comprometer a qualidade do solo e das águas, favorece também a criação de locais propícios à proliferação de vetores e, assim, a disseminação de doenças. (ANDREOLI *et al.*, 2009).

Coelho *et al.* (2005), apontam que o lodo de esgoto é um dos principais problemas ambientais urbanos da atualidade, tendo importância crescente, por se tornar comum o seu aproveitamento em culturas e sua disposição no solo, ambos de forma inadequada. Tal problema ganhará ainda mais visibilidade levando em consideração que em todas as discussões atuais sobre saneamento se coloca como desafio principal a busca pela universalização da prestação de serviços na área de saneamento básico LOBO (2003).

Desde que convenientemente tratado, o uso agrícola do lodo de esgoto é a forma de disposição final que pode ser considerada como a mais adequada em termos técnicos, econômicos e ambientais porque apresenta o menor custo para a reciclagem de matéria orgânica e nutrientes e transforma esse material em um produto útil dentro de um processo produtivo (ANDREOLI *et al.*, 1994; MATTEWS, 1998; ANDREOLI, 1998; TSUTIYA,

1999). Utilizar o lodo de esgoto na agricultura é a alternativa viável e interessante, pois o resíduo é fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas (DA ROS *et al.*, 1993), além de agir como corretivo da acidez do solo (BERTON *et al.*, 1989; DIAS *et al.*, 2001). A pesquisa para o uso de lodo de esgoto na agricultura no Brasil foi iniciada na década de 1980 com Bettioli e Carvalho que publicaram, no ano de 1982, os primeiros trabalhos sobre o tema (GUEDES *et al.*, 2006).

Entretanto, de acordo com Santos (2006), nem todos os lodos poderiam ser utilizados como insumo agrícola, sendo que os maiores problemas relativos à aplicação do lodo são devidos à sua aceitação pelo público, aos patógenos, aos riscos de contaminação do aquífero freático pela sobrecarga de nutrientes, à diminuição do seu aproveitamento pelas concentrações excessivas de metais pesados e aos riscos de contaminação da cadeia alimentar por elementos tóxicos.

Além disso, antes de sua utilização no solo, é necessário submeter o lodo a tratamentos que viabilizem esse processo, especialmente com relação à remoção de patógenos e substâncias tóxicas como metais pesados. Forrest e Associates (2005) ressaltam ainda que as características físicas dos resíduos esgotados é que tornam difíceis e o seu tratamento, pois este apresenta altos níveis de gordura, pedras e cabelo. Os resíduos esgotados são de natureza anaeróbia e libera gases odoríferos. O material também contém parasitas, vírus e bactérias que podem causar doenças.

Segundo França (2009) o processo de tratamento para separar as impurezas presentes no esgoto, produz lodos ainda na forma líquida representando cerca de 1% a 2% do volume de esgoto tratado. De forma que o custo para seu tratamento e disposição final é da ordem de 20% a 40% do custo operacional de uma estação de tratamento de esgoto (ETE). Para cada processo adotado na ETE, o lodo pode ser submetido a diferentes tipos de tratamento: adensamento, estabilização, acondicionamento e desidratação antes de sua disposição final.

Não existe como dispensar o lodo, sem que inicialmente a água que o dilui seja removida para que seu volume diminua. É com base nesta idéia que o presente trabalho será conduzido, ou seja, a desidratação do lodo para a redução de seu volume.

3.4 Geossintéticos e o seu uso no deságüe de resíduos sólidos

3.4.1 Aplicações

O uso de geossintéticos está difundido em diferentes projetos de engenharia em todo o mundo. Quando associado a outros materiais de construção, eles são utilizados na composição de projetos de engenharia. Eles devem ser projetados e especificados corretamente para desempenhar adequadamente suas funções, como qualquer outro material de construção.

Com importante papel na manutenção dos diques na Holanda, as primeiras aplicações de tubos de geotêxtil ocorreram na década de 60. Atualmente este procedimento já é amplamente dominado, em virtude das muitas aplicações já feitas em diversos países. É possível verificar a eficiência dos tubos de geotêxtil em muitos casos de aplicação marinha e/ou subaquática tais como criação de ilhas artificiais, diques, espigões quebra-mares entre outras obras de mesmo gênero (PILARCZYK 2000, CANTRÉ 2002, CASTRO 2005, LAWSON 2006, MARTINS 2006, WEGGEL 2008).

Desde a experimentação nos EUA, Brasil, Holanda e Alemanha durante os anos 1980, as técnicas têm sido aplicadas com sucesso em todo o mundo em um número de instâncias para a desidratação, o escoamento de drenagem, proteção a erosão e contenção de materiais contaminados (FOWLER; TRAINER 1997).

Castro, Escobar e Martins (2008) comentam que em 1997, na cidade de Sea Isle no estado de New Jersey – EUA foram instalados aproximadamente 1.200 metros lineares de tubos de geotêxtil cheios com areia local até a altura de 1,80 metros. A estrutura foi utilizada para restauração da avenida e para proteção da orla que há tempos vinham sendo destruídas pela ação das ondas, principalmente em tempos de ressaca. As Figuras 8 e 9 mostram os tubos de geotêxtil instalados durante e depois de forte tempestade. As unidades se mantiveram intactas e a avenida ficou protegida.

Figura 8: Estrutura em tubo de geotêxtil durante uma tempestade



Fonte: Geotube® - Dewatering Technology

Figura 9: Estrutura em tubo de geotêxtil depois da tempestade



Fonte: Geotube® - Dewatering Technology

Deve-se considerar que a versatilidade desses materiais permite combinações que dão origem a geocompostos, onde o uso, não só em termos de volume, como em variedade de combinação é crescente. O geotêxtil é o elemento mais versátil da família dos geossintéticos (PIEPER, 2008). As Figuras 10 e 11 mostram outras duas aplicações desse material na engenharia.

Figura 10: Espigão em Bald Head Island - EUA



Fonte: Geotube® - Dewatering Technology

Figura 11: Aplicação de geotêxtil na construção civil



Fonte: Geotube® - Dewatering Technology

Pieper (2008) aponta que inicialmente a aplicação de tubos geotêxteis tinha o propósito estrutural, principalmente em obras costeiras, e a partir da década de 80, passou a ser utilizado também para contenção de sedimentos degradados.

A rápida industrialização levou à geração de enormes quantidades de resíduos. Estes resíduos, sólidos ou líquidos apresentam problemas graves de eliminação. Normalmente, estes resíduos são dispostos no solo ou em corpos de água. Como resultado, o

solo em que os resíduos são dispostos tornaram-se impróprios para qualquer outra atividade. No caso de resíduos perigosos, a situação se agrava ainda mais (MUTHUKUMARAN E ILSMPARUTHI, 2006). Os autores afirmam também que uma alternativa técnica têm se desenvolvido a fim de conservar o solo e os recursos hídricos. Referem-se à desidratação através de tubo geotêxtil como uma técnica com méritos significativos quando comparado às técnicas convencionais de desidratação.

Os tubos geotêxteis podem ser de vários tamanhos, dependendo de alguns fatores, tais como a quantidade de material a ser contido e a disponibilidade de espaço físico para acomodar as bolsas durante o desaguamento.

Com a técnica de desaguamento por tubos de geotêxtil é possível reduzir o teor de umidade dos materiais e conter contaminantes que possam eventualmente estar presentes, mostrando, em alguns casos, um melhor desempenho em relação a técnicas convencionais e podendo também ser aproveitada como um recurso de otimização do processo de desaguamento já empregado para tal fim (CASTRO, 2005).

Os tubos geotêxteis são utilizados para desaguamento de materiais com alto teor de água e oferecem algumas vantagens como a desidratação rápida de grande volume de resíduos, facilidade de construção, conveniência de processo, alta eficiência, baixo custo, economia de trabalho e baixos impactos ambientais (FOWLER *et al.*, 1997).

Tubos geotêxteis são também eficientes para a separação e remoção de água de resíduos altamente contaminados (MOO-YOUNGETAL, 2002; KOERNERE KOERNER, 2006).

Como exemplo, um caso pioneiro na aplicação de tubos geotêxteis ao desaguamento de rejeitos finos é o de Maden Lakkos e Mavres Petres, minas localizadas na península de Chalkidiki, na Grécia (NEWMAN *et al.*, 2004). Com uma área de aproximadamente 314 quilômetros quadrados, já produziram cerca de 20Mt de minério sulfetado, pirita e minerais polimetálicos com Pb-Ag e Zn concentrados.

A Figura 12 mostra um tubo geotêxtil aplicado com a finalidade de desaguamento em indústria mineradora (Mineradora Baltimore –USA).

Figura 12 – Aplicação de geotêxtil na indústria de mineração (Mineradora Baltimore -USA)



Fonte: Miratech - Ten Cate Nicolon. "Geotube® - Dewatering Technology", versão 5.2. Seção: Aplicações – Mining & Mineral Processing (2005 *apud* MARTINS; VIDAL, 2006).

A utilização desses produtos para a resolução de problemas ambientais recebe muita atenção por empresas geradoras de resíduos, especialmente as que geram resíduos contaminados. Estudos sobre estrutura de acondicionamento e garantia de estabilidade desses resíduos vem adquirindo destaque. Os geossintéticos mais utilizados para este tipo de problema são os geotêxteis. É possível a partir de suas propriedades a utilização em sistemas de drenagem, filtração, contenção e desaguamento de resíduos (PIEPER, 2008).

Segundo Cantré e Saathoff (2011), os tubos geossintéticos estão cada vez mais sendo utilizados para os processamentos de desidratação de diferentes tipos de lodo, tais como materiais dragados, industriais e lodos de depuração. Os autores apontam ainda que embora haja uma falta de procedimentos de projeto, especialmente no que diz respeito à determinação do tempo necessário para a desidratação de lodo no interior de um tubo de geossintético, uma variedade de científica de publicações têm aplicado testes filtração sob pressão para determinar como se comporta a filtração em função da dimensão e características de várias combinações de lodos e filtros de geotêxtil.

França (2009) realizou estudos de desaguamento e acondicionamento do lodo dragado de lagoas de estabilização na ETE Cel. Macedo na região da Unidade de Negócio do Alto Paranapanema – SABESP conforme mostra a Figura 13.

Figura 13 – Drenagem ETE Cel. Macedo (SABESP)



Fonte: FRANÇA, 2009

Hasbach (1999), realizou um estudo na Califórnia onde uma indústria de curtume enfrentava uma situação crítica quando a produção de lodo da ETE da fábrica ultrapassou sua capacidade. O lodo, produzido ao longo dos anos continuava a se acumular, de forma que a fábrica além de ter sido multada pelo órgão ambiental estadual, recebia reclamações constantes da população que morava nas proximidades do curtume. A solução empregada por eles foi utilizar os tubos geotêxteis para desidratar o lodo até que se atingisse um teor de sólidos aceitável para a disposição em um aterro sanitário. Ele realizou testes em modelos de protótipos de tubos geotêxteis de alta resistência para estudar o seu desempenho. Foram utilizados no trabalho vários tamanhos e tipos de materiais geotêxteis. Cerca de 1400 metros cúbicos de lodo foram bombeados para o interior dos tubos e após duas semanas o teor de sólidos variava de 18 a 30 por cento atingindo o objetivo de 17 por cento que era a condição permitida pelo aterro. Após três semanas os tubos foram cortados e abertos e o lodo desidratado foi carregado em caminhões para seguirem para o aterro. Assim, os tubos geotêxteis forneceram uma solução emergencial que permitiu ao curtume continuar operando em conformidade com as normas ambientais, retomando o sistema de tratamento de águas residuais para suas condições normais de operação.

3.4.2 Características técnicas

O corpo da unidade para contenção, desaguamento e armazenagem de lodo, neste estudo, é produzido com resina de polipropileno, obtido através de processos de extrusão e tecelagem formando um tecido conhecido como geotêxtil. Segundo o fabricante (TOPACK DO BRASIL LTDA, 2010), no processo de extrusão da resina, a massa é aditivada com material que confere a ela resistência à incidência de raios UV. O fabricante afirma que esse tecido possui alta resistência para suportar às elevadas pressões de bombeamento e manter a total segurança do sistema. Os fios empregados na fabricação do tecido possuem características adequadas de resistência, tenacidade e durabilidade, determinadas pela adequação de titulagens, dimensões e tratamentos especiais de retorção e fibrilagem.

Figura 14 – Amostra de geotêxtil



Fonte: A autora, 2012

O tecido do corpo e o da válvula de enchimento é formado pela disposição de fios em duas direções, longitudinal (urdume) e horizontal (trama) como mostra a Figura 14, pela forma sarjada que melhor viabiliza a capacidade de retenção das partículas sólidas presentes no material a ser desidratado, e ao mesmo tempo, capacita a drenagem do percolado. O fabricante garante que quando o tubo é confeccionado, ele é capaz de desidratar pequenos ou grandes volumes, além de permitir múltiplos bombeamentos sem que ocorra rompimento do tecido por fadiga ou esforço mecânico, bem como, rompimento de suas costuras. A Figura 15 mostra um tubo inflado com ar.

Figura 15 – Imagem do tubo inflado com ar



Fonte: TOPACK DO BRASIL LTDA, 2010

De acordo com Pieper (2008), as características das propriedades técnicas de um geossintético envolvem a definição de gramatura; espessura; parâmetros de resistência de interface; aberturas de filtração; permeabilidades normal e longitudinal; resistência ao puncionamento; durabilidade; resistência a luz ultravioleta (se exposto); compatibilidade com o meio; resistências químicas, biológicas, térmica; características mecânicas e hidráulicas; etc. As características mecânicas, compreendem à resistência à tração, resistência à tração em emendas, fluência e resistência de interface. As características hidráulicas dizem respeito à resistência de *piping*, resistência à tração, resistência à tração em emendas, permeabilidade, módulo de rigidez axial e a curva de ruptura por fluência. As propriedades hidráulicas assim como as físicas podem variar de acordo com o método de ensaio por isso a importância dessas características serem determinadas por métodos normatizados.

As Tabelas 7, 8 e 9 mostram as propriedades físicas, hidráulicas e mecânicas de um fabricante de tubos geotexteis que comercializa esses produtos no Brasil.

Tabela 7 – Propriedades Físicas de geotêxtil em polipropileno

Propriedade Física	Unid.	Valor	NORMA
Gramatura	g/m ²	559	ABNT NBR 12568
Espessura Nominal	mm	2,15	ABNT NBR 12569

Fonte: adaptado de TOPACK DO BRASIL LTDA, 2010

Tabela 8 – Propriedades Hidráulicas de geotêxtil em polipropileno

Propriedade Hidráulica	Unid	Valor	NORMA
Abertura Aparente de Filtração	mm	1,09	AFNOR G 38017
Permeabilidade	cm/s	0,148	ASTM D 4491
Permissividade	s ⁻¹	0,69	ASTM D 4491

Fonte: adaptado de TOPACK DO BRASIL LTDA, 2010

Tabela 9 – Propriedades Mecânicas de geotêxtil em polipropileno

Especificação Mecânica	Unid	Valor	NORMA
Resistência a Tração Longitudinal	kN/m	104,74	ABNT NBR 12814
Resistência a Tração Transversal	kN/m	57,12	ABNT NBR 12814
Resistência ao Estouro	Mpa	5,88	ASTM D 3786
Resistência a Tração de Costura	kN/m	27,92	ABNT NBR 12814
Resistência Puncionamento - Força	kN	7,72	ABNT NBR 13359
Resistência Puncionamento - Deslocamento	mm	43,53	ABNT NBR 13359
Resistência Puncionamento - Queda do Cone	mm	1,68	ABNT NBR 14971
Porcentagem de Negro de Fumo	%	1,06	ASTM D 4218

Fonte: adaptado de TOPACK DO BRASIL LTDA, 2010

Aydilek e Edil (2003) realizaram testes de filtração de lodo de ETE utilizando geotêxteis com diferentes propriedades. A Tabela 10 mostra algumas especificações dos tubos utilizados nesse estudo.

Tabela 10 – Propriedades de diferentes tubos geotêxteis

Geotêxtil	Massa/ unid. área (g/m²)	Espessura (mm)	Abertura aparente (mm)	Porosidade (%)	Permissividade (s⁻¹)
N	136	0.45	0.208	66.4	0.7
L	492	3.80	0.106	85.6	0.7
P	387	3.00	0.106	85.7	0.8
I	278	2.30	0.150	86.6	1.2
M	340	2.53	0.150	85.0	1.1
K	136	1.13	0.212	86.6	2.3

Fonte: adaptado de AYDILEK e EDIL, 2003

De forma geral, devido a suas características, Pieper (2008) destaca dentre as principais funções dos geossintéticos: (1) a filtragem, pois permitem a passagem de fluidos com perda limitada de sólidos; (2) a drenagem, pois permitem a livre passagem de fluidos e separação do material sólido evitando que se misturem; (3) o reforço, porque promovem o aumento de resistência reforçado pela inclusão de elementos de elevada resistência à tração (barreira de fluidos), evitando a passagem de fluidos; (4) o encapsulamento com uso de materiais como brita, concreto e areia; (5) a proteção, porque permitem a redistribuição de tensões/ deformações transmitidas ao material a ser protegido (barreira de solo que retém parcial ou totalmente partículas em suspensão, estabilização superficial e reforço de vegetação); (6) deságüe de lodo de estações de tratamento de esgoto.

3.4.3 Ensaio de filtração

Diante das várias especificações e diferentes propriedades dos geossintéticos, a escolha e dimensionamento do geotêxtil para a aplicação do desaguamento de lodo de fossa

em campo, é o principal desafio dessa pesquisa. A literatura mostra alguns ensaios de bancada que tentam prever o que acontece na prática e estudam a forma como os materiais se comportam neste tipo de sistema.

Vários ensaios com o objetivo de caracterizar e dimensionar esses materiais têm sido desenvolvidos. As propriedades do geotêxtil podem variar dependendo do tamanho da abertura aparente, a porcentagem de área aberta (POA) e a distribuição de tamanho de grão do material de enchimento (BAW 1993; GIROUD 1996; FAURE e MLYNAREK 1998; SAATHOFF 2003; KOERNER 2005; WILMERS 2005; AYDILEK 2006).

Um ensaio estudado por Martins (2006) possui o objetivo de simular a eficiência no processo de filtração e desaguamento, onde são realizados ensaios de bolsa suspensa. Este ensaio é conhecido também como teste de saco pendurado ou *hanging bag test*. O ensaio é muito simples e consiste em medir em um determinado intervalo de tempo, o volume de efluente que passa através do tubo geotêxtil. Com essa quantidade de efluente que atravessa o tubo, é possível estimar a quantidade total de sólidos suspensos e a razão de fluxo desse material.

Este ensaio foi realizado por Newman; Rodgson e Rosselot (2003) em uma mineradora localizada na região Chalkidiki na Grécia. O ensaio tinha o intuito de determinar o potencial do desaguamento do lodo e sua eficácia em vários tecidos de desidratação. Os geossintéticos testados eram compostos de polipropileno, poliéster e uma mistura de poliéster / polietileno.

Figura 16 – Ensaio de bolsa suspensa ou saco pendurado



Fonte: NEWMAN; RODGSON E ROSSELOT 2003

Os sacos geotêxtil tinham um volume aproximado de 0,22 m³. Os sacos foram preenchidos com o material a ser desaguado e depois deixado em repouso para desidratar enquanto a taxa de remoção de água e sua clareza eram monitoradas. O teor de umidade dos sólidos retidos foi determinado somente depois que o deságue tinha ocorrido de forma suficiente. Isso podia variar de algumas horas a vários dias, dependendo do caso. Os sacos ficaram suspensos por um período prolongado para determinar em longo prazo o desaguamento potencial da suspensão. O material sujo escoou por cerca de 90 s antes de desacelerar seu fluxo e clarificar consideravelmente.

A água límpida foi vista em gotejamento consistente a partir do fundo do saco.

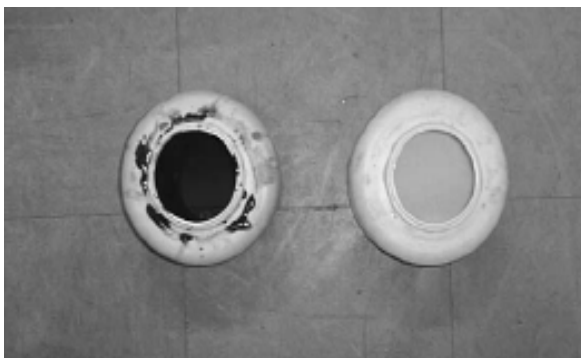
Figura 17 – Gotejamento do filtrado em ensaio de bolsa suspensa



Fonte: NEWMAN; RODGSON E ROSSELOT 2003

Foi verificada uma boa qualidade do filtrado final quando comparado ao material de entrada (Figura 18).

Figura 18 – Material de entrada (à esquerda) e filtrado (à direita)



Fonte: NEWMAN; RODGSON E ROSSELOT 2003