

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Curso de Engenharia Civil

Projeto Integrado

**DESIDRATAÇÃO DE LODO PROVENIENTE DE ETA ATRAVÉS DE
TUBOS GEOTEXTEIS**

Aluno: Danilo Vieira Sampaio

Orientador: Prof. Dr. Wellington Cyro de Almeida Leite

Co-Orientadora: Dr. Marinalda Claudete Pereira

GUARATINGUETÁ

2011



DESIDRATAÇÃO DE LODO PROVENIENTE DE ETA ATRAVÉS DE TUBOS GEOTEXTEIS

Projeto Integrado apresentado na
Disciplina Projeto Integrado II do
Departamento de Engenharia Civil da
Faculdade de Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista,
como parte dos requisitos para obtenção do
diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Cyro de A. Leite

Co-Orientadora: Dr. Marinalda Claudete Pereira

GUARATINGUETÁ

2011

S192d	Sampaio, Danilo Vieira Desidratação de lodo proveniente de ETA através de tubos geotexteis / Danilo Vieira Sampaio – Guaratinguetá : [s.n], 2011. 50 p. : il. Bibliografia : f. 44-48 Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011. Orientador: Prof. Dr. Wellington Cyro de Almeida Leite Coorientadora: Dra. Marinalda Claudete Pereira 1. Lodo – desidratação I. Título CDU 631.4
-------	--



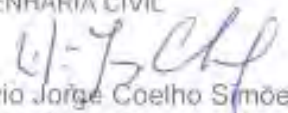
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

DESIDRATAÇÃO DE LODO DE ETA ATRAVÉS DE TUBOS GEOTÊXTEIS

DANILO VIEIRA SAMPAIO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE DO
REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL


Prof. Dr. Sílvia Jorge Coelho Simões
Coordenador


Prof. Dr. Wellington Cyró de A. Leite
Orientador


Eng. José Carlos Vertematti
Membro da banca examinadora


Prof. Dr. Yzumi Taguti
Membro da banca examinadora

Dezembro de 2011

To the faithful departed

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para a elaboração deste trabalho. Eduardo Guanaes e José Carlos Vertematti pelas longas discussões a respeito do tema, pelo incentivo e sugestão do trabalho. A CAB Piquete e CAB Guaratinguetá, Fernando Torres, Rodrigo Medeiros e Renato Schmidt por permitirem o estudo de caso e colaborarem com as informações necessárias. Aos professores e orientadores que me acompanharam nas coletas de material e foram incentivadores e colaboradores. A meus pais, amigos e minha namorada Renata que me apoiaram e foram compreensivos com a dedicação necessária para desenvolver o trabalho. A Huesker por fornecer informações e as ferramentas necessárias para realizar este estudo. Ao professor George Bernardes e ao técnico Flávio Bernardes pela imensa ajuda na realização de ensaios de caracterização, inclusive aos domingos. A minha querida tia Andréa por realizar a revisão gramatical e ortográfica do trabalho. Aos colegas de estágio, faculdade e república que sempre me apoiaram.

RESUMO

SAMPAIO, D. V. **DESIDRATAÇÃO DE LODO PROVENIENTE DE ETA ATRAVÉS DE TUBOS GEOTEXTEIS**. 2011. 61f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

Em todo o mundo atualmente existe uma crescente preocupação com a preservação do meio ambiente e no Brasil a conscientização ambiental tem se fortalecido durante as duas últimas décadas. Tal preocupação no Brasil surge da criação de mecanismos de fiscalização e punição por parte dos órgãos ambientais. A fim de atender a legislação pertinente muitas empresas públicas e privadas tem realizado a desidratação dos resíduos gerados em processos de tratamento de efluentes industriais, de esgoto sanitário e no tratamento de água com o objetivo de reduzir custos de transporte e destinação final. A utilização de tubos geotêxteis tem se mostrado técnica e economicamente viável para ser aplicada em diversas situações desde tratamento de água, esgoto a rejeitos de mineração. Neste trabalho será apresentada a solução adotada para um passivo ambiental em estação de tratamento de água através da utilização de tubos geotêxteis para redução do volume de descarte. Foram avaliadas as curvas granulométricas, limites de Atterberg, e composição química do resíduo. Foi encontrada grande concentração de alumínio no resíduo o que caracterizaria poluição ambiental o seu descarte direto na natureza se qualquer tipo de tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo, ETA, Resíduo, Geotêxtil, Desidratação.

ABSTRACT

SAMPAIO, D. V. **WATER TREATMENT PLANT SLURRY DEWATERING TROUGH GEOTEXTILE TUBES**. 2011. 61p. Undergraduate Thesis (Bachelor of Science Civil Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

Currently exists a growing concern for the preservation of the environment Around the world, the environmental awareness in Brazil has strengthened during the past two decades. This concern in Brazil arises from the creation of mechanisms of supervision and punishment on the part of the environmental agencies. In order to meet the pertinent legislation many public and private companies have performed dehydration of waste generated in the process of treatment of industrial effluents, waste water and water treatment in order to reduce transport and disposal costs. The use of geotextile tubes has proven technically and economically feasible to be applied in various situations from water treatment to mining tailings. This work presents the solution adopted for an environmental liability in water treatment plant through the use of geotextile tubes to reduce the water content of the disposal. We evaluated the size distribution curves, Atterberg limits, and chemical composition of the residue. Found high concentrations of aluminum in the waste which would characterize environmental pollution if disposed off directly in nature with no treatment.

PALAVRAS-CHAVE: Slurry, Water Treatment, Solid Waste, Geotextile, Dewatering.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE ABREVIACÕES	XII
LISTA DE TABELAS	XII
LISTA DE EQUAÇÕES	XII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objeto de estudo	3
1.1.1. Piquete	3
1.1.2. Concessão CAB	3
2. OBJETIVOS	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1. Legislação	7
3.2. Tratamento de água (potabilização)	8
3.2.1. Resíduos de ETAs	10
3.2.2. Disposição final de resíduos de ETAs	12
3.3. Geossintéticos	13
3.3.1. Introdução	13
3.3.2. Geotêxteis	14
3.3.3. Geofôrmas	15
3.4. Desidratação de lodo em tubos geotêxteis	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1. Introdução	23
4.2. Coleta e caracterização geotécnica do lodo	24
4.3. Ensaio de caracterização química e física	27
4.4. Estudo de caso	28
4.4.1. Introdução	28

4.4.2.	Apresentação do problema	28
4.4.3.	Dimensionamento	29
4.4.4.	Instalação e operação	35
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
6.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	43
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
	ANEXO I	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Barragem de nível para captação da ETA Piquete (Arquivo particular Huesker, 2011).....	4
Figura 1.2 - Fluxograma de operação da ETA Piquete (AUTOR, 2011).....	5
Figura 3.1 – Esquema de um filtro lento de areia (DI BERNARDO, 1999).....	9
Figura 3.2 – Exemplos de geotêxteis (KOERNER, 1998 ADAPTADO)	15
Figura 3.3 – Exemplo de geofôrma linear (Huesker, 2011)	16
Figura 3.4 – Exemplo de geofôrma plana (Huesker, 2010).....	16
Figura 3.5 – Ensaios para avaliar a floculação e desempenho do sistema (Lawson, 2006).....	20
Figura 3.6 – Célula de filtração (Stefan & Cantré, 2006).....	21
Figura 4.1 – Segunda visita a ETA Piquete (AUTOR, 2011)	24
Figura 4.2 – Terceira visita ETA Piquete (AUTOR, 2011).....	24
Figura 4.3 – Amostrador utilizado para coleta do lodo. (AUTOR, 2011).....	25
Figura 4.4 - Granulometria por peneiramento (a) e sedimentação (b) (AUTOR, 2011).....	26
Figura 4.5 - Equipamentos para determinação dos limites de Atterberg (AUTOR, 2011)	27
Figura 4.6 – Seção transversal dimensionada pelo GeoCOPS (AUTOR, 2011).....	32
Figura 4.7 – Relação entre fator de forma e área consolidada para a geofôrma (AUTOR, 2011)	33
Figura 4.8 - Croqui da instalação (AUTOR, 2011)	36
Figura 4.9 - Berço e canal de drenagem (Arquivo particular Huesker, 2011)	36
Figura 4.10 – Preenchimento da geofôrma (Arquivo particular Huesker, 2011).....	37
Figura 5.1 – Granulometria dos materiais (AUTOR, 2011).....	40
Figura 5.2 – Limite de Liquidez (material acumulado no decantador) (AUTOR, 2011).....	42

LISTA DE ABREVIACÕES

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM - American Society for Testing and Materials
CAB – Companhia de Águas do Brasil
CC – Coeficiente de Curvatura
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CNU – Coeficiente de Não-Uniformidade
ETA – Estação de Tratamento de Água
FEG – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
ISO - International Organization for Standardization
MS – Ministério da Saúde
NBR – Norma Brasileira
UNESP – Universidade Estadual Paulista

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Modos de análise do aplicativo GeoCOPS	30
Tabela 4.2 – Fatores de redução parcial considerados no dimensionamento	32
Tabela 4.3 – Características do geotêxtil.....	34
Tabela 5.1 – Composição química dos resíduos da ETA Piquete	38
Tabela 5.2 – Amostras de água tratada e bruta.....	39

LISTA DE EQUAÇÕES

4.1 - Densidade do material de preenchimento	31
4.2 – Volume do material consolidado	31
4.3 – Comprimento total das geofôrmas.....	34

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação em relação ao meio ambiente, aumento da fiscalização pelos órgãos ambientais e endurecimento da legislação tem gerado uma crescente iniciativa das empresas que realizam tratamento e distribuição de água em minimizar os impactos do descarte inadequado dos resíduos gerados em ETAs. Entretanto a grande maioria das estações de tratamento de água realizam despejo de seus resíduos diretamente na natureza sem qualquer tipo de tratamento (Andreoli, 2001).

O processo de desidratação de lodo em estações de tratamento de água, esgotos e efluentes industriais visa reduzir o volume de lodo a ser descartado, o reaproveitamento da parte líquida deste efluente e reduzir a emissão de materiais sólidos, possivelmente poluentes, no meio ambiente.

O lodo em estações de tratamento de água é proveniente da lavagem dos filtros, decantadores e da floculação, possuindo características muito diversas, sendo muitas vezes singular a cada sistema, porém há freqüentemente o predomínio de materiais inorgânicos.

A redução do volume do lodo pode ser realizada de diversas formas:

- Sistemas naturais – Leitos de secagem, lagoas de lodo.
- Sistemas mecânicos – Filtro-prensa, centrífugas, filtros a vácuo.
- Descarga em rede de esgoto. (REALLI, 1999)

A utilização de tubos geotêxteis se apresenta como uma solução alternativa com grande potencial de desenvolvimento para proceder com a desidratação de lodo proveniente de ETA.(Guanaes, 2009)

Os tubos geotêxteis são também conhecidos como geofôrmas lineares, apesar de a NBR 12553:2002 definir este tipo de estrutura como geofôrma a denominação tubo geotêxtil é mais amplamente adotada pelo meio acadêmico devido à tradução do termo no idioma inglês *Geotextile Tube*.

O trabalho está dividido em sete capítulos, com os respectivos conteúdos descritos a seguir:

Capítulo 2 – Objetivos - Apresenta os objetivos determinados a serem alcançados durante a elaboração do trabalho.

Capítulo 3 – Revisão Bibliográfica- Descreve os processos de tratamento de água, alternativas de secagem de lodo e destinação final, assim como os conceitos aplicados a geossintéticos para a aplicação em estudo.

Capítulo 4 – Materiais e métodos- Apresenta os procedimentos realizados para caracterização do lodo da ETA Piquete/SP, assim como os procedimentos realizados para a implantação e utilização do sistema.

Capítulo 5 – Resultados e discussões- Contem os resultados da caracterização do lodo coletado na ETA Piquete/SP, e apresentação da solução adotada para desidratação deste material. Esta seção avalia de forma crítica os procedimentos realizados para a instalação do sistema.

Capítulo 6 – Conclusões e Sugestões apresenta- As conclusões obtidas a partir da elaboração do presente trabalho assim como sugestões para trabalhos futuros e destinação final do material.

Capítulo 7 – Referências Bibliográficas- Lista as fontes consultadas para elaboração do trabalho.

Também faz parte deste trabalho o ANEXO I, que contem uma lista de normas ABNT, ASTM e ISO referentes às características técnicas dos geotêxteis que podem ser utilizados na confecção de geofôrmas.

1.1. Objeto de estudo

1.1.1. Piquete

Piquete é um pequeno município do Estado de São Paulo, situado a aproximadamente 220 km da capital, no sopé da Serra da Mantiqueira, com população de 14.107 habitantes fundada em 1891. O município faz divisa com Delfim Moreira a noroeste e norte, Cruzeiro a leste, Cachoeira Paulista a sudeste, Lorena a sul e Guaratinguetá a sudoeste (IBGE, 2010).

1.1.2. Concessão CAB

Em abril de 2010 a CAB, Companhia de Águas do Brasil, assumiu o controle operacional do sistema de tratamento e distribuição de águas, assim como a coleta e tratamento de esgotos do município de Piquete/SP, através de contrato de concessão plena com duração de 30 anos. (CAB, 2010)

A estação de tratamento de água do município tem capacidade de fornecer vazão de 260m³/h. A captação é realizada em uma barragem de nível (Figura 1.1) dentro dos limites da estação, é composta por quatro cursos d'água que são conduzidos até a barragem, Cristo, Prata, Coura e Benfica, o mais distante e pertencente a uma propriedade particular.



Figura 1.1 – Barragem de nível para captação da ETA Piquete (Arquivo particular Huesker, 2011)

Para manter uma boa qualidade de água a ser tratada e reduzir a adição de produtos químicos, é feito o monitoramento dos cursos d'água que compõem a captação, sendo feita a opção pelo afluyente que apresentar melhor qualidade e menor turbidez, interrompendo-se o fluxo dos demais que apresentarem maiores custos para o seu tratamento.

O sistema de abastecimento de água conta ainda com dois poços profundos, para suprir a demanda do município, os quais não serão discutidos neste trabalho, pois seu tratamento não é realizado na ETA em questão, não fazem parte do objeto de estudo.

Após a captação é realizada medição de vazão da ETA, em uma calha Parshall, a água então segue para o floculador, onde será adicionada solução de sulfato ferroso para coagulação, quando necessário, e também a correção do PH. Após a passagem pelo floculador, água será direcionada para os decantadores, para que ocorra precipitação dos sólidos em suspensão, a etapa seguinte é a filtração. Após a filtração é realizada a desinfecção, adição de cloro e adição de ácido flúor silícico, para atender às determinações da portaria MS 518. As etapas de tratamento realizadas na ETA Piquete estão representadas na Figura 1.2.

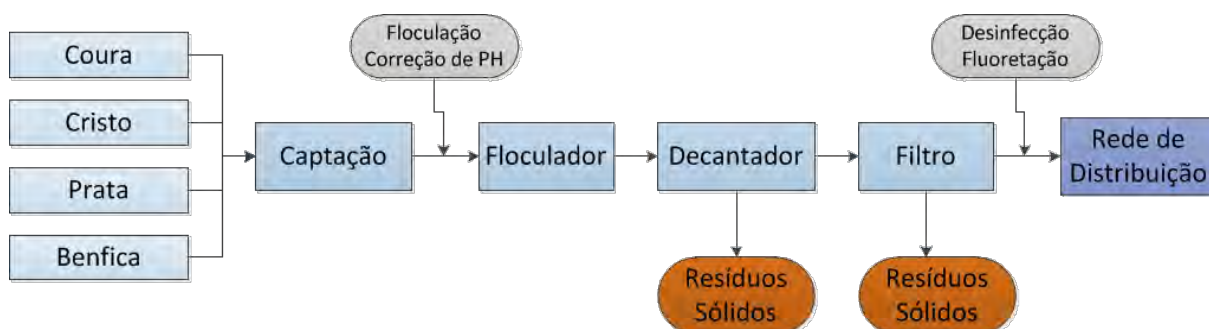


Figura 1.2 - Fluxograma de operação da ETA Piquete (AUTOR, 2011)

Após a filtração e desinfecção a água tratada segue para um reservatório dentro da ETA e em seguida para a rede de distribuição e abastecimento municipal.

A concessionária dos serviços de água e esgoto do município de Piquete/SP, CAB, ainda não realiza cobrança pelos serviços prestados a comunidade, pois quando os serviços eram prestados pela Prefeitura não havia cobrança. Está sendo realizada a instalação da hidrometração no município, esta medida gera resistência por parte da população, que acredita ser uma política incorreta. Após a instalação de hidrômetros em todo o município será iniciada a cobrança regular dos serviços de água e esgoto pela concessionária.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo principal apresentar e discutir a solução adotada para desidratação de lodo na estação de tratamento de água de Piquete/SP. Definir a distribuição granulométrica do material confinado nos tubos geotêxteis, realizar caracterização química e sugerir uma destinação final para o lodo em questão.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Legislação

A partir dos anos de 1970 ocorreu um grande aumento na preocupação mundial em relação à preservação do meio ambiente, com surgimento de novas legislações e políticas nacionais que possuem não apenas uma motivação econômica, enfatizando também a necessidade de proteger um patrimônio coletivo. O ocorrido foi motivado principalmente pela Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente, Estocolmo 1972.

O resultado da participação Brasileira nesta conferência foi a criação da Secretaria Especial do Meio Ambiente, pelo Decreto nº 73.030 de 30 de outubro de 1973. Tal secretaria possui a missão de atuar junto às entidades públicas e privadas criando diretrizes para a preservação, recuperação e aferição das características do meio ambiente. Podendo restringir a implantação de empreendimentos danosos ao meio ambiente, através da limitação de financiamento ou incentivos fiscais.

Em 1981 através da lei 6.938 é criado o CONAMA,(Conselho Nacional do Meio Ambiente), um órgão consultivo e deliberativo que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Em 2005 o CONAMA publica sua resolução número 357, que dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos, diretrizes ambientais e padrões de lançamento de efluentes.

Em 2004 é lançada a Portaria 518 do Ministério da Saúde, que regulamenta os parâmetros de qualidade de água para consumo humano, o padrão de potabilidade, os procedimentos e responsabilidades do sistema de abastecimento. Em seu 8º artigo a portaria determina que o controle de qualidade de água seja de responsabilidade do operador do sistema.

O padrão de potabilidade definido pela Portaria MS 518/2004 em seu quarto capítulo estipula valores máximos permitidos para:

- Padrão Microbiológico
- Padrão de Turbidez
- Substâncias Químicas
- Agrotóxicos
- Ciano toxinas
- Desinfetantes
- Radioatividade
- Metais.

Além de definir no Capítulo V o plano de amostragem para controle de qualidade da água a ser seguido pelo operador do sistema.

As Leis 9.433, de 8 de janeiro de 1997 – “Política Nacional de Recursos Hídricos” e 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 – “Crimes Ambientais”, trazem em seus conteúdos condições que deverão exigir nova postura dos gerentes dos sistemas de tratamento de águas diante dos resíduos gerados e sua disposição no meio ambiente. Um dos problemas mais sérios nesse contexto é a redução do volume de lodo produzido ou a diminuição dos volumes a serem dispostos. Em função da quantidade excessiva de água presente nesses rejeitos, a remoção desta é imperativa na solução do problema. (ANDREOLI, 2001)

3.2. Tratamento de água (potabilização)

O tratamento de água destinada ao consumo humano se faz necessário para proporcionar melhor qualidade de vida, saúde e condições sanitárias adequadas às populações. Os parâmetros de qualidade da água destinada ao consumo humano são determinados pela Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde.

O processo convencional de tratamento de água é composto pelas seguintes etapas:

- Captação
- Floculação
- Decantação
- Filtração
- Desinfecção
- Fluoretação

O processo de floculação é a etapa onde se adicionam produtos químicos necessários para aglutinar os materiais particulados em suspensão, os quais irão precipitar durante o processo de decantação. A etapa seguinte, a filtração, tem como objetivo reter o material que não ficou retido no decantador.

Os filtros de estações de tratamento de água são usualmente compostos por diversas camadas de materiais granulares, as quais possuem granulometrias crescentes com o fluxo.

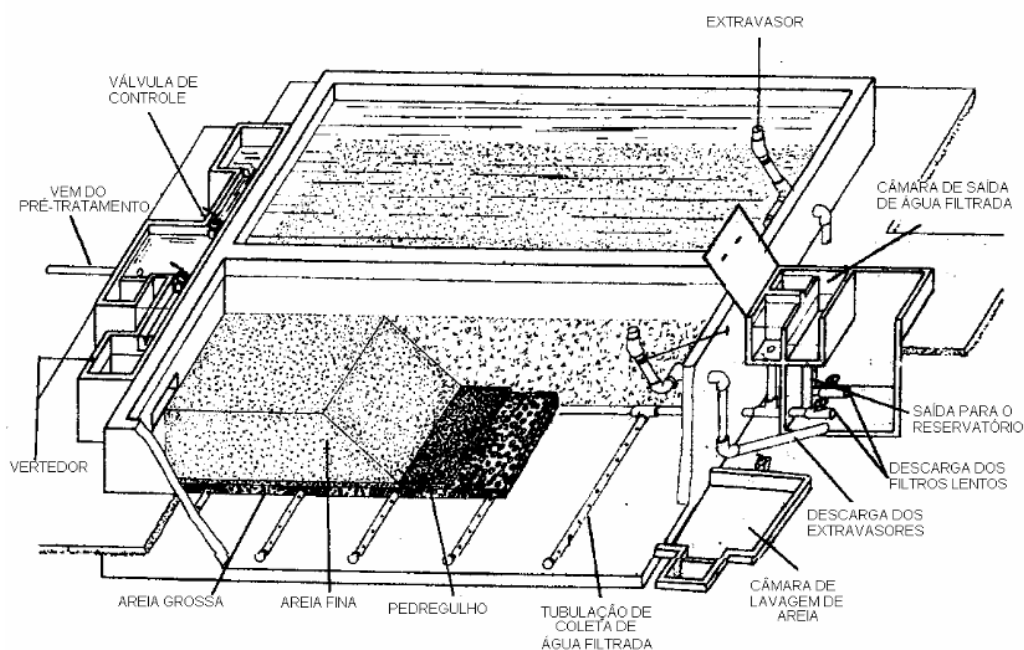


Figura 3.1 – Esquema de um filtro lento de areia (DI BERNARDO, 1999)

A desinfecção, que ocorre através da adição de cloro, tem como objetivo garantir a não proliferação de organismos nocivos à saúde humana. O cloro adicionado deve estar presente em todo e qualquer ponto da rede de distribuição de água, com teor mínimo de 0,5 mg/l, denominado cloro residual livre. (VIANNA, 1997)

A fluoretação, adição de flúor à água tratada, tem como objetivo reduzir a ocorrência de problemas dentários, como a cárie. Tal procedimento é regulamentado e exigido pela portaria MS 518/2004.

Como uma etapa do processo de potabilização da água, a coagulação/floculação com sulfato de alumínio é um dos processos mais utilizados no Brasil para proceder à clarificação da água em ETAs, tendo como inconveniente a produção de dois tipos de resíduos principais (Viessman Jr. & Hammer, 1998): o lodo sedimentado no fundo dos decantadores, que contém materiais inertes, materiais orgânicos e precipitados químicos, incluindo hidróxidos de alumínio em grande quantidade; e a água de lavagem dos filtros, que contém pequenos flocos formados pela aglomeração de colóides e hidróxidos de alumínio. Esses lodos são constituídos por resíduos orgânicos e inorgânicos provenientes da água bruta, por hidróxidos de alumínio resultantes da adição de produtos coagulantes e, eventualmente, por polímeros condicionantes do processo. Possuem baixa concentração de sólidos – uma vez que para sua descarga é utilizada grande quantidade de água – e alta concentração de alumínio. (ANDREOLI, 2001)

3.2.1. Resíduos de ETAs

Os resíduos gerados nas estações de tratamento de água, usualmente são proveniente das etapas de decantação e filtração. O descarte deste material pode ser feito através de descarga na rede de esgoto, ou transportado até um aterro sanitário ou outra destinação final. Para o transporte economicamente viável destes resíduos se faz necessária à redução de volume deste material, desidratação, podendo ser procedida através de:

- Filtros prensas,
- Filtros de esteira,
- Leitos de secagem,
- Centrifugação,
- Geofôrmas.

Estes processos têm como objetivo a remoção gradativa da água contida nos lodos, para a obtenção de torta com teor de sólidos adequado para transporte e destinação final (REALLI, 1999).

A NBR 10004:2004 classifica resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Esta norma divide os resíduos sólidos em três classes:

- Resíduo perigoso - classe I,
- Resíduo não inerte - classe II-A,
- Resíduo inerte - classe II-B.

Portanto, os lodos provenientes de estações de tratamento de água são classificados como resíduos sólidos, apesar de serem constituídos majoritariamente por água, o que não permite o seu lançamento in natura em corpos d'água superficiais.

Andreoli (2001) ressalta que a prática do lançamento do material proveniente da descarga dos decantadores é uma pratica comum à maioria da ETAs brasileiras, causando impactos ambientais, algumas vezes intensos. Tem sido dada somente a correta atenção aos resíduos provenientes de ETAs. A ocupação e crescimento desordenado de áreas de proteção causa degradação dos mananciais, implicando em maior consumo de produtos químicos para tratamento de água e como consequência maior geração de resíduos.

Os lodos gerados nos decantadores das ETAs são resultados dos processos e operação de coagulação/floculação e sedimentação das partículas presentes na água bruta. Essas partículas sofrem ação de reações químicas e operação física de formação de flocos que se tornam propícios para a operação de sedimentação ou de flotação. O material removido da água bruta é retido em tanques por certo tempo e disposto, quase sempre. Os rejeitos de ETAs são compostos basicamente de partículas do solo, material orgânico carreado para água bruta, subprodutos gerados da adição de produtos químicos e água. As partículas presentes na água a ser tratada são basicamente colóides que conferem à mesma cor e turbidez. Os colóides têm tamanho que varia de 1 nm (1 nm = 10⁻⁶ mm) a 1 mm (1 mm = 10⁻³ mm). Essa característica dificulta a remoção da água livre dos lodos. (ANDREOLI, 2001)

Hsieh & Raghu (1997) classificam a água presente nos rejeitos de ETAs como:

- Água livre – Parcela que se move livremente por gravidade a qual pode ser removida facilmente por meios mecânicos ou naturais,
- Água do floco – Intimamente ligada à estrutura do floco, para sua remoção é necessária maior energia,
- Água capilar – Ligada a partícula sólida através de pontes de hidrogênio, se difere da água do floco por se movimentar junto às partículas sólidas,
- Água absorvida – Ligada quimicamente à partícula sólida, sendo necessárias elevadas temperaturas para sua remoção.

3.2.2. Disposição final de resíduos de ETAs

No Brasil, na maioria dos casos, os resíduos gerados durante o tratamento de água têm sido lançados diretamente nos cursos d'água, o que é considerado poluição, ou crime ambiental. Entretanto as autoridades de defesa e proteção do meio ambiente não têm realizado questionamentos quanto a essa prática. Em São Paulo a CETESB tem fiscalizado a disposição, porém as ações tem sido tímidas. (ANDREOLI, 2001)

De acordo com Hoppen (2005) para a escolha da melhor disposição final devem ser consideradas quantidade e características do lodo, assim como os custos inerentes da solução adotada.

Para utilização de lodos provenientes de ETAs em fins agrícolas ou em áreas degradadas por atividade de mineração, é necessário considerar os efeitos dos metais pesados presentes nestes resíduos, que podem causar impactos ambientais no sistema solo-planta. Os lodos de ETAs possuem maior potencial de fertilização. (ANDREOLI, 2001)

Dias (2004) estuda a alternativa de destinação final do lodo da ETA Meia Ponte em Goiânia/GO utilizando os resíduos para fabricação de blocos cerâmicos, onde foi definido percentual máximo de lodo a ser adicionado à argila para produção dos blocos de 20%. O lodo estudado apresentava em sua composição grande fração de argila. E ressalta que o lançamento destes materiais in natura poderia causar grandes impactos ambientais devido às altas concentrações de alumínio.

O lodo de ETA pode substituir certa quantidade de agregados miúdos em matriz de concreto como forma alternativa de destinação final. Entretanto a adição destes resíduos pode reduzir a resistência final do concreto e também aumentar sua absorção de água, o que pode implicar em menor durabilidade, sendo recomendada a sua utilização em concreto não estrutural (HOPPEN, 2005).

De Deus (1996) estudou a codisposição de resíduos de ETAs em aterros sanitários, ressalta que é importante estudar a lixiviação dos metais pesados presentes no lodo e a resistência do lodo de ETA à passagem de água diminuiu o efeito da hidrólise fermentativa

sobre a matéria orgânica, concluindo-se que a incorporação do lodo de ETA permitiu a manutenção do pH a valores próximos à faixa neutra, condição propícia ao desenvolvimento das bactérias metano gênicas.

3.3. Geossintéticos

3.3.1. Introdução

A NBR 12.553:2002 classifica geossintéticos como produtos poliméricos (sintéticos ou naturais), industrializados, desenvolvidos para obras geotécnicas que desempenham uma ou mais funções, com destaque para:

- Reforço
- Filtração
- Drenagem
- Proteção
- Separação
- Impermeabilização
- Controle de erosão.

Existem diversos produtos geossintéticos e constantemente surgem novos produtos, muitos deles ainda não estão devidamente classificados e definidos. Serão apresentados a seguir os geossintéticos mais usuais e classificados de acordo com a NBR 12.553:2003:

- Geobarra – Produto em formato de barra, predominantemente utilizado como reforço.
- Geocélula – Produto com estrutura aberta constituído de células interligadas para confinar os materiais de preenchimento, aplicado como reforço e controle de erosão.
- Geocomposto – Produto oriundo da superposição de um ou mais geossintéticos, concebido para desempenhar função específica.
- Geocomposto argiloso para barreira impermeabilizante – Estrutura formada através da associação de geossintéticos a um material argiloso, ex. bentonita, para bloquear o fluxo de água.
- Geocomposto para drenagem – Produto composto por um geotêxtil atuando como elemento filtrante e outro geossintético atuando como elemento drenante.

- Geoespaçador – Geossintético com estrutura tridimensional com grandes espaços vazios, usualmente utilizado como elemento drenante.
- Geoespandido – Produto tridimensional composto por polímero expandido, formando uma estrutura leve, usualmente utilizada para reduzir o peso de uma estrutura de aterro.
- Geofôrmas – Estrutura confeccionada em geossintéticos para confinar materiais.
- Geogrelha – Produto em formato de grelha utilizado predominantemente para reforço.
- Geomanta – Produto com estrutura tridimensional utilizado para controle de erosão.
- Geomembrana – Similar uma película, utilizado para bloquear o fluxo de água.
- Georrede – Produto em formato de grelha utilizado para drenagem.
- Geotêxtil – Produto têxtil bidimensional permeável.
- Geotêxtil não-tecido – Produto têxtil bidimensional composto por fibras ou filamentos contínuos, distribuídos aleatoriamente sem trama definida.
- Geotêxtil tecido – Produto têxtil bidimensional com trama definida.
- Geotira – Geossintético em formato de tira, predominantemente utilizado como reforço.
- Geotubo – Tubo perfurado com função drenante. (VERTEMATTI, 2004)

3.3.2. Geotêxteis

Geotêxteis são produtos similares a mantas constituídos de fibras ou filamentos têxteis, permeáveis e bidimensionais, podem ser aplicadas em diversas obras geotécnicas, com função de separação, drenagem, filtração, reforço, proteção e recuperação de pavimentos flexíveis, (GUANAES, 2009)

A denominação geotêxtil foi oficializada em 1977 na “International conference on the use of fabrics in geotechnics” realizada em Paris, por Jean Pierre Giroud da universidade de Grenoble-França.(URASHIMA, 1996)

A Figura 3.2 demonstra alguns exemplos de geotêxteis tecidos e não-tecidos, sendo possível perceber a trama definida dos tecidos e a aleatoriedade das fibras dos não-tecidos.

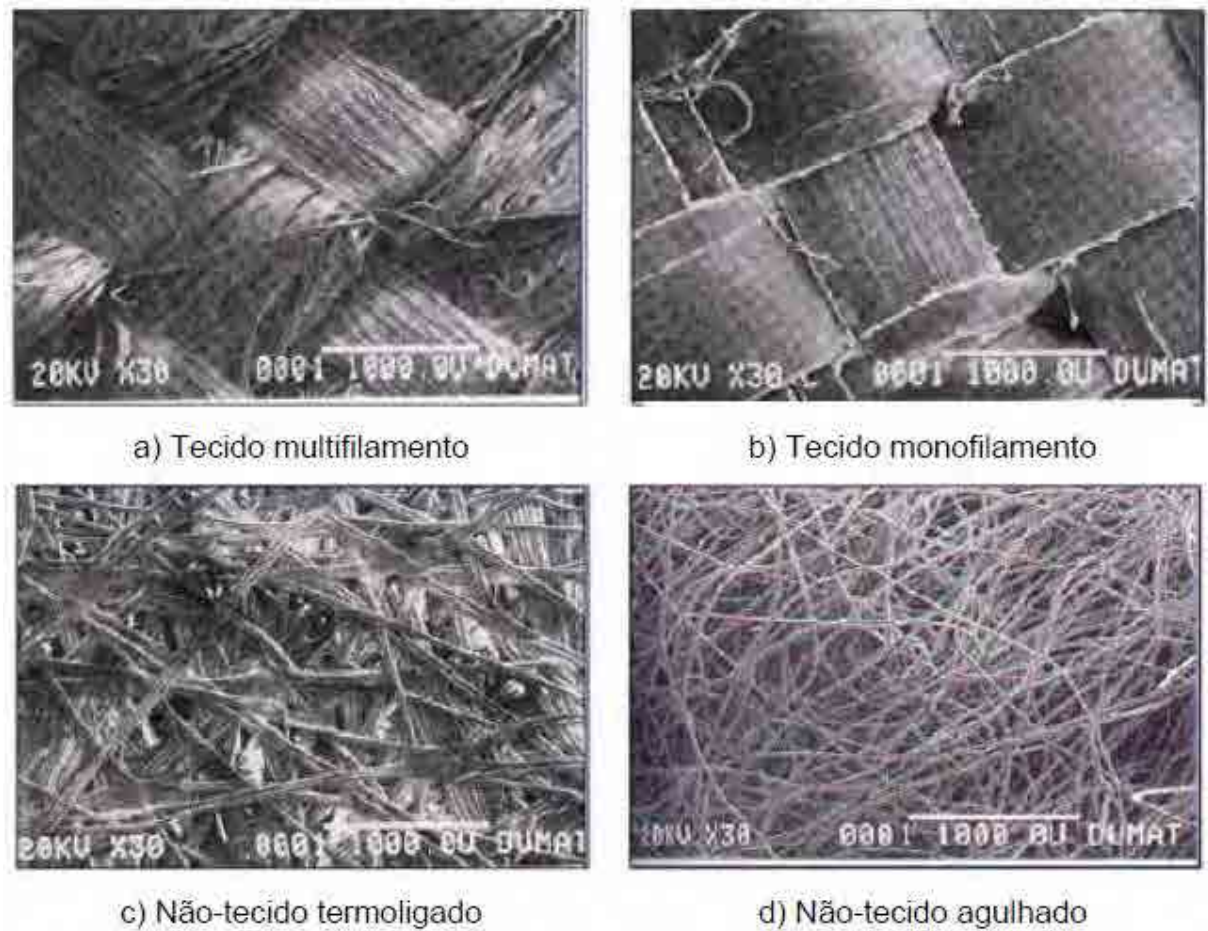


Figura 3.2 – Exemplos de geotêxteis (KOERNER, 1998 ADAPTADO)

3.3.3. Geofôrmas

Geofôrmas são estruturas confeccionadas a partir de geossintéticos, as quais possuem finalidade de conter, confinar, materiais de forma permanente ou provisória. (VERTEMATTI, 2004).

As geofôrmas podem ser classificadas como:

- Lineares – Apresentam formato similar ao de cilindros, com alturas variando de 50 a 500cm e comprimentos podendo chegar a 100m.
- Planares – Seu formato usualmente se assemelha a colchões, tendo a espessura relativamente menor que as outras dimensões.
- Volumétricas – Com formato semelhante a sacos dos mais variados tamanhos, com volume da ordem de dezenas de litros até centenas de metros cúbicos. (VERTEMATTI, 2004).



Figura 3.3 – Exemplo de geofôrma linear aplicada em proteção costeira (Huesker, 2011)



Figura 3.4 – Exemplo de geofôrma plana (Huesker, 2010)

O primeiro teste utilizando geofôrmas lineares no Brasil ocorreu na década de 1980, em São Luís/MA, o preenchimento foi executado hidraulicamente com material proveniente de dragagem, as geofôrmas desempenhavam a função de dique de contenção para um aterro hidráulico onde posteriormente seriam construídas moradias de baixo custo. (Bogossian et Al, 1982)

No ANEXO I apresenta uma tabela com as principais normas ASTM, ISO e ABNT relevantes às propriedades dos geotêxteis que podem ser utilizados na confecção de geofôrmas.

3.4. Desidratação de lodo em tubos geotêxteis

O início da desidratação de lodos provenientes de ETAs em tubos geotêxteis pode ser descrito como filtração de um líquido fluído livremente contendo partículas finas em suspensão, onde os grãos não estão em contato e não existe nenhuma estrutura rígida organizada para retenção das partículas (URASHIMA, 1996). Em um primeiro momento as partículas menores que os poros irão atravessar do geotêxtil, porém gradualmente irá ocorrer a formação do pré-filtro uma película formada na interface geotêxtil/lodo, que reduz a permeabilidade e aumenta a eficiência de filtração (GUANAES, 2009). A formação do “filter cake” ocorre devido às partículas maiores ficarem retidas no geotêxtil, passando assim reter partículas cada vez menores. A colmatação ocorre quando as partículas carregadas pelo fluxo são depositadas no interior do geotêxtil, reduzindo sua permeabilidade e alterando suas propriedades hidráulicas (URASHIMA, 1996).

Segundo Martins (2006) para filtração em meio poroso a distribuição granulométrica é um fator que influenciará na formação do pré-filtro, não havendo inversão no sentido de fluxo e mais eficiente quanto melhor graduado for o meio.

Para determinação de quão bem graduado é um determinado solo são utilizados os coeficiente de não-uniformidade (CNU) e de curvatura (CC). O coeficiente de não uniformidade indica a amplitude dos tamanhos de grãos, e o coeficiente de curvatura permite detectar descontinuidades ou concentração muito elevada de grãos mais grossos no conjunto. Quão maior o valor do CNU mais bem graduado será um solo, areias com CNUs inferiores a 2 são denominadas uniformes. Um solo bem graduado apresenta CC entre 1 e 3. (PINTO, 2000)

$$\text{CNU} = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad \text{CC} = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}.$$

O dimensionamento de um filtro geossintético pode ser realizado através de dois métodos, o método convencional e o método racional. O dimensionamento de um filtro através do método convencional leva em consideração os seguintes critérios:

- Critério de retenção.
- Critério de permeabilidade.
- Critério de sobrevivência.

O critério de retenção avalia a capacidade do geotêxtil de bloquear a passagem de solo pelo filtro, de acordo com a granulométrica do solo. O critério de permeabilidade avalia as propriedades hidráulicas do geotêxtil, como permeabilidade, sendo aplicável a lei de Darcy. O critério de sobrevivência leva em consideração a durabilidade do filtro.

O método racional, proposto por Urashima (2002), é baseado em análise probabilística, avaliando a distribuição de poros e distância de confrontos do geotêxtil. Os pontos de confronto são definidos como pontos de estrangulamento no geotêxtil, dificultando a passagem de água, são delimitados por três ou mais fibras pertencentes ou não a um mesmo plano. Um ponto de confronto difere de um poro, sendo um poro um volume vazio (amorfo) entre as fibras e um ponto de confronto definido como o maior diâmetro de uma esfera capaz de atravessar este estrangulamento (VERTEMATTI, 2004).

Para filtração em meio poroso recomenda-se a verificar se o solo é auto filtrante ou não. Sob essa condição as partículas maiores retêm partículas menores sucessivamente formando um pré-filtro. Esta verificação pode ser realizada através do critério de Chen et al¹ (1981):

$$D_{50s} > \frac{D_{85s}}{5}; \quad D_{35s} > \frac{D_{50s}}{5}; \quad D_{15s} > \frac{D_{35s}}{5}.$$

¹ – CHEN, Y. H.; Simons, D. B.; Demery, P. M.; “Hydraulic Testing of Plastic Filter Fabrics”. ASCE, vol 107, n° IR3 Setembro [Virginia, EUA, 1981] apud VERTEMATTI, J. C.; Manual Brasileiro de Geossintéticos; São Paulo: Edgardg Blucher; 2004

De acordo com Stefan & Cantré (2006), estimar o tempo de desidratação de lodo em tubos geotêxteis, geofôrmas lineares, é um cálculo de grande complexidade, pois o tempo de desidratação depende dos seguintes parâmetros:

- Propriedades do lodo, como tamanho e distribuição das partículas, salinidades e presença de compostos orgânicos.
- O caminho de percolação na torta.
- Propriedades do geotêxtil, como abertura aparente e distribuição dos poros.
- Tendência de colmatação do geotêxtil.
- Pressão externa atuante no sistema.
- Evaporação.

Stephens et al. (2011) descrevem a aplicação de tubos geotêxteis na desidratação de sedimentos contaminados dragados do Canal do Fundão, na cidade do Rio de Janeiro. Para estimar o teor de umidade alcançado nos tubos foram utilizadas bolsas de pequena dimensão capazes de representar o protótipo em escala real.

Em muitos casos de desaguamento de material em tubos geotêxteis é necessária a adição de produtos químicos para que este material forme flocos consistentes e possa ser contido corretamente. Este condicionamento químico é de suma importância para a eficiência do sistema de filtração (GUANAES, 2009)

Para verificar a floculação do lodo a ser inserido na geofôrma existem dois ensaios rápidos que podem ser executados, o cone test e o hanging bag test (Figura 3.5). O procedimento básico dos ensaios é o mesmo, deve ser realizada a floculação de uma amostra de efluente, que é então colocada em um cone, para o cone test, ou em uma pequena bolsa, hanging bag test, ambos confeccionado com o geotêxtil que se deseja utilizar para a confecção das bolsas. Os dois métodos de ensaio diferem principalmente em escala, sendo o cone test menor e em seus resultados. O cone test é utilizado principalmente para dosar e especificar o floculante que será utilizado e pode auxiliar a prever o teor de sólidos consolidado, qualidade do percolado e redução de volume. Já o hanging bag test é um ensaio mais elaborado onde as características do percolado e do lodo confinado são monitoradas de tempos em tempos, são

obtidos resultados mais precisos com relação ao desempenho e performance do sistema. (LAWSON, 2006)

Stefan & Cantré (2006) propõe um método de ensaio para estimar o tempo de desaguamento de lodo em tubos geotêxteis, este método é baseado na teoria de filtração de torta (tradução livre do inglês “*cake filtration*”) e leva em consideração apenas o regime de desaguamento devido ao peso próprio, o experimento é interrompido quando o processo dominante é a evaporação. A proposta de ensaio utiliza a filtração de lodo sob pressão através de um geotêxtil em uma célula de filtração, como demonstrado na Figura 3.6.

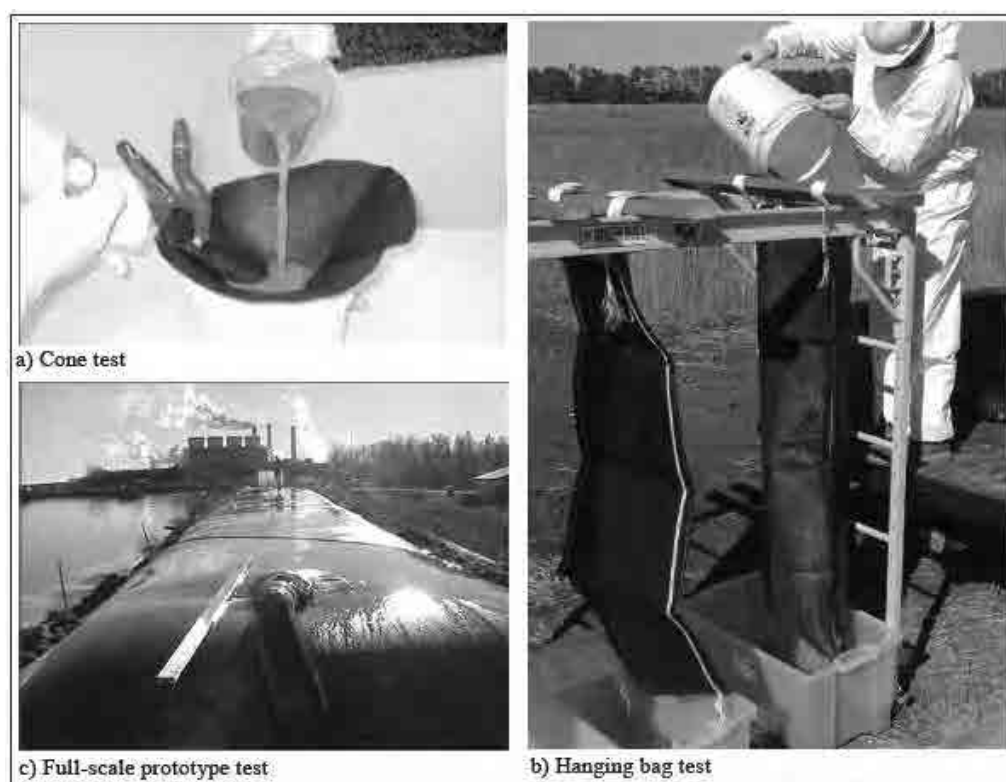


Figura 3.5 – Ensaio para avaliar a floculação e desempenho do sistema (Lawson, 2006)



1: Manômetro; 2: Célula de Filtração; 3: Filtrado;
4: Balança; 5: Sistema de aquisição de dados.

Figura 3.6 – Célula de filtração (Stefan & Cantré, 2006)

Segundo Vidal, Fabrin, e Montez (1999) os seguintes fatores de redução parcial devem ser aplicados aos geossintéticos quando seu dimensionamento:

- Fluência por tração,
- Danos de instalação,
- Degradação ambiental,
- Emendas
- Fatores de redução devido à colmatagem.

Para o dimensionamento da seção transversal podem ser utilizadas equações diferenciais elípticas, Leshchinsky et al. (1996) apresentou uma solução para o problema de seção transversal que considera a base da geofôrma como rígida. Quando o peso específico inicial e perímetro da seção transversal são conhecidos, a solução passa a ser função de um parâmetro x desconhecido e de um dos parâmetros usualmente conhecidos, altura da geofôrma, pressão de bombeamento, e resistência última do geotêxtil. Tal solução foi implementada no software GEOCOPS (Adama Engineering, 1996). Plaut e Suherman (1998) apresentaram uma solução que contorna um problema da solução proposta por Leshchinsky et al. (1996), a impossibilidade de calcular a seção da geofôrma em uma fundação não rígida.

Cantré (2002) apresenta algumas considerações para simulações de geofôrmas utilizando-se do método dos elementos finitos:

- Estado de deformações planas (o tubo tem comprimento longitudinal significativamente maior que a seção transversal),
- O peso próprio do geotêxtil é negligenciado,
- O atrito entre fundação/geotêxtil, assim como geotêxtil/material de preenchimento é negligenciado,
- O carregamento é linear e atua diretamente no geotêxtil,
- A drenagem é dependente da poro pressão,
- As propriedades do material de preenchimento estão relacionadas à poro pressão para pressões positivas elevadas,
- Modelo de fluxo unidirecional para drenagem.

As simulações realizadas neste estudo confirmaram as suposições feitas por Leshchinsky et al. (1996) que as maiores tensões ocorrem durante a etapa de preenchimento.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Introdução

A elaboração deste trabalho se divide em três etapas principais:

- Revisão bibliográfica sobre a tecnologia em questão
- Visitas técnicas e entrevista com os responsáveis pela operação da ETA Piquete/SP.
- Análise química e granulométrica do material

A revisão bibliográfica compreende a etapa de aprofundamento dos conhecimentos pertinentes ao tema, foram consultados artigos técnicos, dissertações de mestrado e livros.

Foram realizadas três visitas técnicas a ETA Piquete durante o ano de 2011, nos dias 02 de março, 29 de junho e 12 de setembro. A visita de março foi apenas para apresentação da área de estudo, realizada na companhia do Eng. Eduardo Guanaes e Fábila Tanabe, ambos funcionários da empresa que forneceu as geofôrmas. Em junho (Figura 4.1) foram coletadas amostras de água bruta e tratada, assim como duas amostras dos resíduos desaguados em uma das geofôrmas, esta visita foi realizada na companhia de três professores do Departamento de Engenharia Civil da FEG-UNESP. Em setembro (Figura 4.2) foram coletadas duas amostras de lodo em uma das geofôrmas e três amostras de lodo do floculador de forma a apresentarem representatividade das características físicas químicas do material, foi realizado o quarteramento.

A coleta, preservação e análise das amostras foram realizadas de acordo com o Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 21^aed e também de acordo com a NBR 10004-2004 da ABNT.



Figura 4.1 – Segunda visita a ETA Piquete (AUTOR, 2011)



Figura 4.2 – Terceira visita ETA Piquete (AUTOR, 2011)

4.2. Coleta e caracterização geotécnica do lodo

Para coleta de amostras do material confinado no tubo geotêxtil e do material acumulado no floculador foi utilizado um amostrador composto por tubos de pvc, uma válvula e uma haste prolongadora (Figura 4.3). Para preservação das amostras durante o transporte foram utilizados potes plásticos que não permitissem a perda de umidade e caixa de poliestireno expandido para evitar grandes variações de temperatura.



Figura 4.3 – Amostrador utilizado para coleta do lodo. (AUTOR, 2011)

Foram realizadas coletas de amostras de apenas uma das geofôrmas, para a caracterização dos sedimentos acumulados no decantador. O material amostrado foi removido de região próxima aos bocais, único local onde seria possível realizar uma coleta sem danificar a geofôrma. Os sedimentos do floculador foram coletados em três pontos distintos para demonstrar de forma representativa as características dos mesmos.

A determinação da granulometria dos materiais foi realizada no laboratório de mecânica dos solos da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, FEG-UNESP, foram seguidos os procedimentos das normas:

- ABNT NBR 7181:1984 - Solo – Análise granulométrica
- ABNT NBR NM ISO 3310-1:1997 - Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação
- ABNT NBR NM ISO 3310-2:1997 - Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação
- ABNT NBR NM ISO 2395:1997 - Peneira de ensaio e ensaio de peneiramento – Vocabulário
- ABNT NBR 6508:1984 - Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica

Em ambos os materiais foram determinadas granulometria através de peneiramento (Figura 4.4 a) e sedimentação (Figura 4.4 b), a umidade higroscópica foi determinada de acordo com o estabelecido na norma ABNT NBR 6457:1986 – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

A determinação dos Limites de Atterberg, liquidez e plasticidade foi realizada somente para o material proveniente do decantador, de acordo com as normas ABNT NBR 6459:1984 - Solo - Determinação do limite de liquidez e ABNT NBR 7180:1988 - Solo - Determinação do limite de plasticidade.

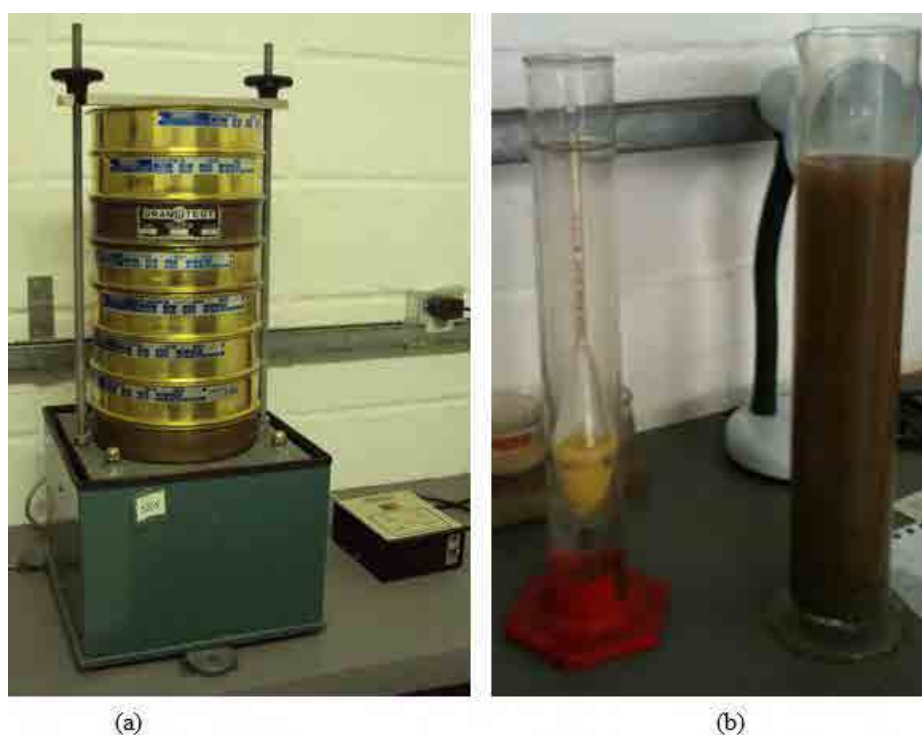


Figura 4.4 - Granulometria por peneiramento (a) e sedimentação (b) (AUTOR, 2011)



Figura 4.5 - Equipamentos para determinação dos limites de Atterberg (AUTOR, 2011)

4.3. Ensaios de caracterização química e física

Os procedimentos apresentados nesta seção foram realizados pela Prof.^a Dr.^a Marinalda Claudete Pereira no laboratório de saneamento do Departamento de Engenharia Civil da FEG-UNESP, com exceção da análise semiquantitativa dos elementos químicos que foi realizada no laboratório da Divisão de Materiais (AMR)- do Centro Técnico de Aeronáutica (CTA).

Para determinação da turbidez foi utilizado o método nefelométrico, baseado na comparação da intensidade de luz dispersada pela amostra em condições definidas com uma suspensão de referência padronizada. Quanto maior a intensidade da luz dispersa maior a turbidez da amostra. A leitura é feita em um turbidímetro, e sua unidade é definida como UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez). Tal método é aplicável à águas de abastecimento e águas naturais.

A determinação da cor foi realizada através da comparação visual com soluções conhecidas de platina-cobalto, procedimento executado para amostras de água bruta e tratada. A turbidez foi removida antes dos ensaios para não influenciar na cor aparente.

O Método Gravimétrico foi utilizado para determinação de resíduos total, fixo e volátil nas amostras de água tratada, água bruta, e lodo confinado na geofôrma, o ensaio foi realizado tão cedo as amostras chegaram ao laboratório de saneamento da FEG-UNESP, pois não é possível preservar as amostras.

Os procedimentos, equipamentos e cuidados para realização dos ensaios estão descritos no Standard methods for examination of water and wastewater, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 21^a ed.

4.4. Estudo de caso

4.4.1. Introdução

As informações apresentadas nesta seção, assim como as hipóteses de dimensionamento, foram obtidas através de entrevistas e visitas técnicas junto aos responsáveis pelo desenvolvimento e operação do sistema.

Com o início da operação da estação de tratamento de água de Piquete/SP pela CAB foi constatada a necessidade de remoção de uma grande quantidade de material que estava assoreando os decantadores e o floculador. A remoção deste material se apresenta como a solução para um passivo ambiental e uma possível melhoria na eficiência do sistema de tratamento.

Este material não pode ser simplesmente removido e descartado diretamente na natureza. Esta seção irá apresentar o dimensionamento da solução escolhida para executar a redução de volume do lodo acumulado, assim como os procedimentos adotados para preenchimento e instalação.

4.4.2. Apresentação do problema

Na estação de tratamento de água da CAB Piquete foram instaladas duas geofôrmas com capacidade total de armazenamento de torta gerada de 17,50 m³ cada, totalizando 35,00 m³, sendo o perímetro da seção transversal de 6,00 m e comprimento longitudinal de 7,00 m. Inicialmente as geofôrmas foram instaladas para que fosse executada a descarga de fundo do decantador, onde havia um passivo ambiental assumido pela contratada (CAB) quando do início do contrato. Ocorre naturalmente no decantador acúmulo de material sedimentado e/ou orgânico que é carreado pelos cursos d'água, o mesmo não deve estar presente na água destinada ao consumo humano, portanto se faz necessária sua remoção.

Na unidade estão sendo instaladas as peças acessórias para proceder à remoção do material sedimentado no floculador e posterior desidratação nas geofôrmas. O operador da ETA necessita da remoção destes materiais para melhorar o desempenho geral do sistema e a solução escolhida para desidratação deste lodo foi novamente a utilização de geofôrmas, devido ao fato de as mesmas já estarem presentes na unidade, e os funcionários que operam a estação estarem familiarizados com o sistema.

4.4.3. Dimensionamento

O dimensionamento do geotêxtil tecido que foi utilizado para a confecção das geofôrmas foi realizado utilizando-se o aplicativo de computadores GeoCOPS, da ADAMA Engineering Inc. Este software leva em consideração alguns dos inúmeros parâmetros envolvidos no processo de confinamento de lodo em geofôrmas. Os esforços atuantes nas extremidades longitudinais do tubo geotêxtil não são levados em consideração durante o dimensionamento da seção transversal.

Nas situações usuais de projetos de geofôrmas para desidratação de lamas e lodos, são considerados parâmetros de peso específico e teor de sólidos em peso baseados na experiência dos projetistas. Isto ocorre devido à combinação de um ou mais fatores como: falta de recursos para pesquisas e investigação das características do material a ser confinado, falta de tempo para projeto e planejamento das soluções, o condicionamento químico ser capaz de contornar alguns dos problemas que podem ocorrer no sistema e principalmente ao fato de existirem testes que podem dar respostas com certo grau de confiabilidade quanto ao futuro desempenho do sistema.

O GeoCOPS possui três modos de análise para sistemas de confinamento em geossintéticos de lodo pressurizado, explicados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Modos de análise do aplicativo GeoCOPS

Modo de Análise	Dado de Entrada	Dados Obtidos
A	Resistência última do geotêxtil	Geometria da seção transversal da geofôrma
B	Altura máxima desejada a ser atingida pela geofôrma durante o preenchimento	Resistência última requerida do geotêxtil
C	Pressão de bombeamento	Geometria da seção transversal da geofôrma e resistência última requerida do geotêxtil

Para todos os modos de análise devem ser fornecidos os seguintes dados de entrada referentes ao geossintético e ao material a ser confinado:

- Perímetro da seção transversal da geofôrma.
- Peso específico das camadas de lodo antes e após consolidação, podendo ser consideradas uma ou duas camadas.
- Altura máxima da primeira camada de lodo antes da consolidação.
- Densidade dos sólidos na mistura.
- Peso específico das camadas dos fluidos externos, ex.: água, ou ar.
- Altura da primeira camada de fluido externo.
- Fatores de redução parcial quanto à fluência, durabilidade, danos de instalação e costura.

Para a escolha do geossintético foram adotados pelo projetista os seguintes dados no dimensionamento:

- Modo de análise – B
- Altura máxima desejada – 1,40 m
- Perímetro da seção transversal – 6,00 m
- Peso específico do lodo não consolidado 10,90 kN/m³
- Fluido externo – Ar
- Altura da primeira camada de lodo - 4,00 m *
- Peso específico do lodo consolidado 11,00 kN/m³
- Densidade dos sólidos secos – 1,70

A densidade dos sólidos estimada em 1,70 se deve às características esperadas para o material de preenchimento, explicadas mais adiante. O peso específico do lodo não consolidado estimado em 10,90, ou 99% do peso específico do material consolidado é um artifício utilizado para que o GeoCOPS forneça a área consolidada com um valor próximo à máxima capacidade de armazenamento da geofôrma.

A densidade do material de preenchimento da geofôrma (ρ_n) em g/l é dada por:

$$\rho_n = \frac{100000 \cdot G_s}{[100 \cdot G_s - TSP_n \cdot (G_s - 1000)]} \quad (4.1)$$

Onde:

G_s - é a densidade dos sólidos secos,

$T P_n$ - é o teor de sólidos em massa do material de preenchimento e

N- é o estado do material, sendo "i" o início do preenchimento e "F" após consolidação.

Foram estimados os teores de sólido em peso de 2,0% e 22,0%, para o material de preenchimento e após consolidação, respectivamente, resultando em densidade inicial e consolidada de 1008 g/l e 1100 g/l, respectivamente.

O volume de lodo que deveria ser removido dos decantadores e do floculador foi estimado, através de uma vareta para medir a profundidade, em 544 m³, o que resultaria em um volume de torta de 45m³, calculado através da equação a seguir:

$$V_{final} = V_{inicial} \cdot \left(\frac{TSP_i \cdot \rho_i}{TSP_F \cdot \rho_F} \right) \quad (4.2)$$

Onde:

V_{final} - é o volume de lodo após consolidação,

$V_{inicial}$ - é o volume de lodo que será removido dos decantadores e floculador.

A Figura 4.6 representa a seção dimensionada pelo GeoCOPS.

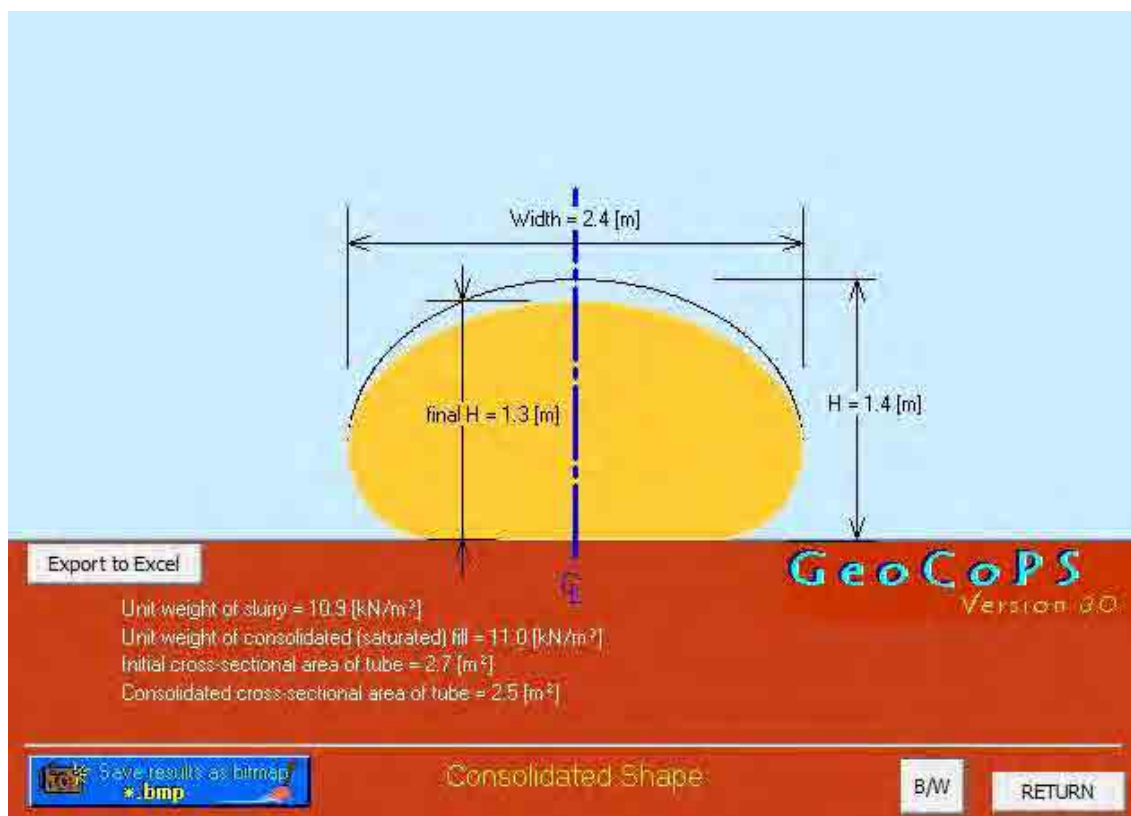


Figura 4.6 – Seção transversal dimensionada pelo GeoCOPS (AUTOR, 2011)

A seção em amarelo representa a área consolidada após N ciclos de preenchimento, a área imediatamente acima representa a altura máxima que a geofôrma pode atingir sem que ocorra ruptura do geotêxtil ou da costura.

Foram considerados os seguintes fatores de redução parcial para o geossintético:

Tabela 4.2 – Fatores de redução parcial considerados no dimensionamento

Modo de falha	Abreviação	Valor
Dano de instalação	RFid	1,30
Durabilidade	RFd	1,20
Fluência	RFc	2,00
Perda de resistência devido à costura (axial/circunferencial)	RFss	2,50/2,50

Foi adotada altura de 1,40 m para manter o fator de forma (relação altura por largura) próximo a 0,500. Esta relação largura sendo o dobro da altura é uma condição capaz de reduzir o risco de tombamento, rotação, ao qual a geofôrma está submetida.

A Figura 4.7 apresenta a relação entre fator de forma e área consolidada que esta mesma geofôrma poderia ter, variando-se apenas a altura máxima, vale ressaltar que a partir da altura

máxima igual 1,50 m (fator de forma igual a 0,611) a resistência à tração última do geossintético seria superior a 80 kN/m, ou seja seria necessário adotar um geotêxtil de resistência nominal superior ao previamente especificado.

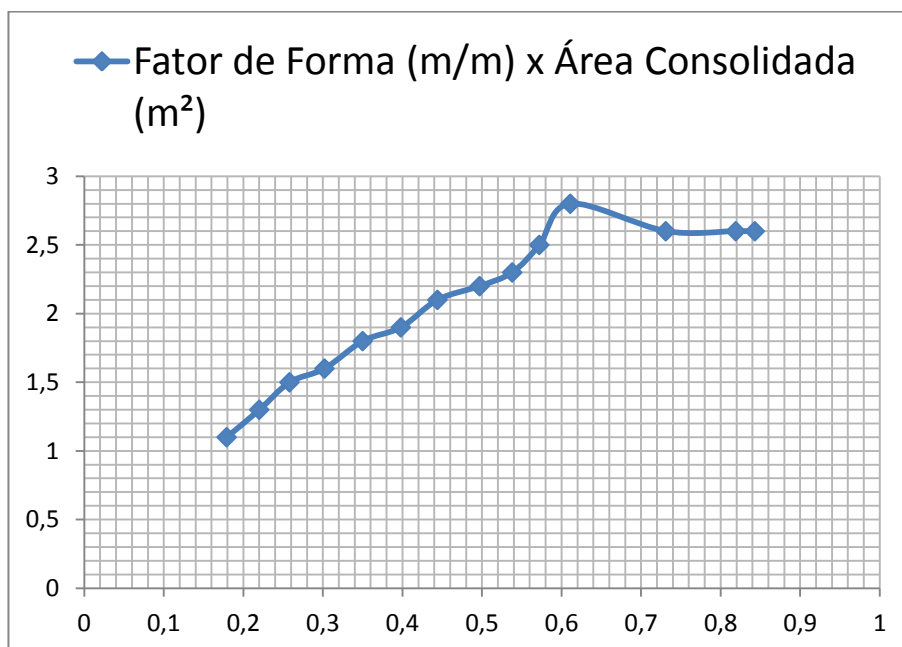


Figura 4.7 – Relação entre fator de forma e área consolidada para a geofôrma (AUTOR, 2011)

É possível verificar que nas alturas máximas avaliadas, a máxima área consolidada ocorre quando o fator de forma é igual a 0,611 referente a altura de 1,50 m, o que analisando somente este gráfico indicaria ao leitor que a opção de altura máxima mais adequada seria esta. Entretanto esta análise resultou em resistência última requerida pelo geossintético igual 92 kN/m, o que implicaria na adoção de um geotêxtil mais resistente e portanto com custo mais elevado.

Portanto o geossintético escolhido para a confecção das geofôrmas necessitaria de resistência última a tração no sentido circunferencial de 72kN/m e no sentido axial de 47kN/m. A Tabela 4.3 apresenta as especificações do geotêxtil tecido utilizado na confecção das geofôrmas.

Tabela 4.3 – Características do geotêxtil

Propriedades	Geotêxtil Tecido 80/80
Matéria Prima	Polipropileno
Resistência à Tração Nominal (NBR 12624)	≥ 80 kN/m
Deformação na Resistência Nominal (NBR 12624)	≤ 15 %
Permeabilidade Normal a 0,05 mca (EN ISO 11058)	15 l/s.m ² (tol. ± 5)
Abertura Aparente de Poros O ₉₀ (EN ISO 12956)	0,20 mm (tol. $\pm 0,05$)
Largura da Bobina	3,80 m
Comprimento da Bobina	200,00 m
Obs.: Dados fornecidos pelo fabricante.	

Após a determinação do perímetro e área da seção transversal foi determinado o comprimento longitudinal de cada módulo de geofôrma baseando-se na estimativa do volume de lodo sedimentado no decantador realizada pela CAB Piquete. O comprimento total das geofôrmas (L_t) será o volume de torta (V_{final}) dividido pela seção transversal da geofôrma (A_T).

$$L_t = \frac{V_{final}}{A_T} = \frac{45,0}{2,5} = 18,0m \quad (4.3)$$

No primeiro momento se optou pela utilização de apenas dois tubos geotêxteis para desidratação do material sedimentado, caso haja necessidade será instalada uma terceira geofôrma para acondicionar o restante do material e efetuar a limpeza.

De acordo com o responsável pela estação a água tratada na unidade é de alta qualidade, o que pode ser verificado no procedimento de adição de produtos químicos para remoção de sólidos suspensos durante o tratamento. A utilização de floculantes para acelerar a precipitação de sólidos suspensos se faz necessária somente durante a época das chuvas, pois ocorre aumento de materiais carregados para os cursos d'água que compõem a captação do sistema.

Dadas as condições de operação do sistema foi previsto que o material sedimentado no decantador seria, em sua maioria, de compostos inorgânicos, ou seja, solo carregado para os cursos d'água devido a ação das chuvas. A desnecessidade de utilização de flocculantes para o correto funcionamento do decantador indica que as partículas carregadas para a estação de tratamento de água possuem facilidade de sedimentação, ou seja, sua curva granulométrica indicaria a presença significativa de grãos com diâmetro maior que o usual.

Para prever o desempenho do sistema de desidratação de lodo foram realizados testes de cone, para verificar se o material teria grande tendência a colmatar o tecido. Foi verificado que o material não aderiria à superfície do tecido, e seria possível realizar seu desaguentamento sem a adição de condicionantes químicos.

4.4.4. Instalação e operação

As geofôrmas devem ser instaladas sobre um berço drenante, para que a água que percola através das mesmas seja captada e tenha uma destinação adequada, seja o retorno para o meio ambiente ou para o início do processo de tratamento, visando o reaproveitamento. Este berço drenante pode ser construído de diversas formas, as mais usuais são a regularização do solo de apoio e impermeabilização através de geomembrana, ou construção de uma laje de concreto para apoio da geofôrma, em ambos os casos se recomenda a colocação de um lastro de brita entre a camada impermeável e a geofôrma a fim de se maximizar a drenagem do percolado. No caso da utilização de geomembranas se recomenda a colocação de uma camada de geotêxtil não tecido para evitar que a brita perfure a geomembrana.

O berço deve ser dotado de inclinação suficiente para permitir o fluxo de água que percola através das geofôrmas, entretanto para evitar o tombamento da geofôrma se faz necessária a regularização de sua base com brita.

Para manter as geofôrmas posicionadas durante o início do preenchimento são colocadas alças de amarração durante a confecção das mesmas. Estas alças devem ser amarradas através de cordas ou cordões a piquetes ou pontaletes que sejam suficientemente resistentes para atender aos esforços que serão solicitados. A Figura 4.8 apresenta um croqui de como deve ser feito um berço drenante com a utilização de geomembrana.

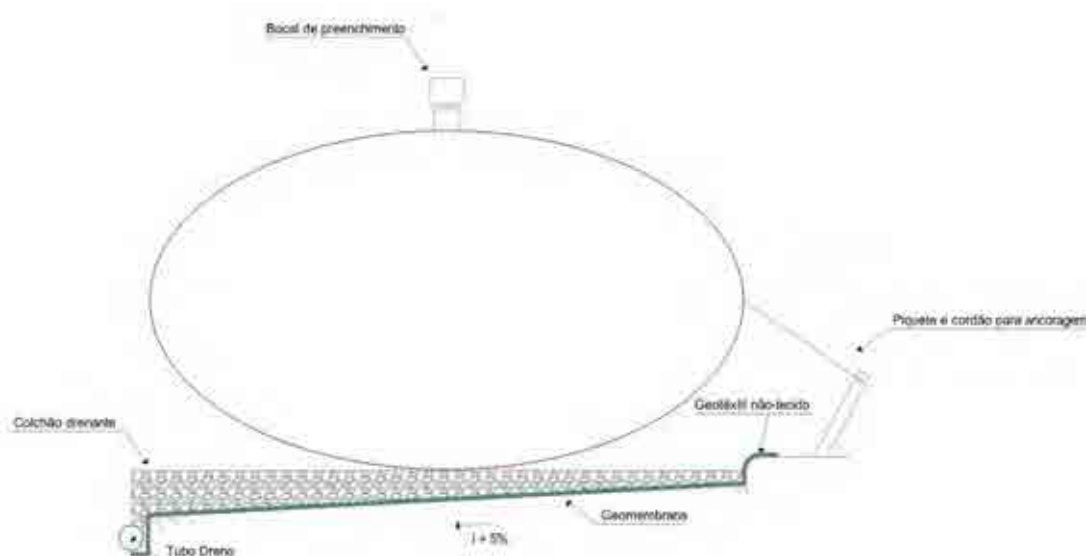


Figura 4.8 - Croqui da instalação (AUTOR, 2011)

O local escolhido para instalação das geofôrmas já possuía um canal capaz de fazer a drenagem do percolado, portanto não foi necessária a instalação de tubo dreno. Este canal é o canal de retorno da água da ETA ao córrego onde é feita a captação. A Figura 4.9 apresenta o berço que foi construído para drenagem da água percolada assim como o canal de drenagem.



Figura 4.9 - Berço e canal de drenagem (Arquivo particular Huesker, 2011)

Devido à diferença de nível entre o fundo do decantador e a geratriz superior da geofôrma, bocal de preenchimento, não foi necessária a utilização de equipamentos para realizar o bombeamento do lodo a ser contido na geofôrma.

A limpeza do floculador será realizada através de descarga de fundo e dragagem, portanto o preenchimento das geofôrmas ocorrerá através de ambos os métodos, recalque e gravidade.

Quando da escrita deste capítulo ainda não havia sido inserido na geofôrma nenhum material proveniente do floculador e o operador da ETA não possuía previsão para realizar este procedimento.

Em 04 de janeiro de 2011 foi realizada a limpeza dos decantadores, a Figura 4.10 apresenta a geofôrma a meia altura e a água percolando através do tecido, a altura máxima prevista durante o dimensionamento não foi atingida, pois a pressão não foi suficiente para elevar a geofôrma.



Figura 4.10 – Preenchimento da geofôrma (Arquivo particular Huesker, 2011)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 5.1 apresenta a composição química e concentração dos elementos que compões o resíduo acumulado no decantador da ETA Piquete/SP. É possível perceber as elevadas concentrações de ferro e alumínio, oriundos dos produtos utilizados na etapa de floculação durante o tratamento de água.

Tabela 5.1 – Composição química dos resíduos da ETA Piquete

Elemento	Concentração (%)
Fe	35,52
Si	25,24
Al	20,65
K	7,63
Ca	4,11
Ti	2,65
Mg	1,57
Mn	0,71
Ba	0,66
P	0,3
Zr	0,23
S	0,13
Rb	0,13
Zn	0,13
Na	0,12
Cr	0,09
Sr	0,06
Cu	0,04
Nb	0,04

A presença de grande concentração de alumínio poderia causar grandes impactos ambientais caso estes resíduos tivessem sido lançados in natura em um curso d'água, o que justifica a adoção de um sistema capaz de reduzir o volume dos mesmos.

A Tabela 5.2 apresenta os resultados das análises realizadas nas amostras de água tratada e bruta coletadas da ETA Piquete/SP.

Tabela 5.2 – Amostras de água tratada e bruta

Parâmetro	Amostra de água bruta	Amostra de água tratada
Resíduos totais	32,0 mg/L	31,0 mg/L
Resíduos totais fixos	2,8 mg/L	2,0 mg/L
Resíduos totais voláteis	29,2 mg/L	29,0 mg/L
pH	7,4	7,3
Condutividade elétrica	39,6 μ /cm	38,9 μ /cm
Cor	2,0 mg/L	1,25 mg/L (Pt-Co)
Turbidez	0,58 UT	0,29 UT

A Análise química semi-quantitativa por fluorescência de raios-x não foi realizada nas amostras de água bruta e tratada, pois a quantidade de resíduo obtida após calcinação foi muito pequena, considerada desprezível, o que confirma a boa qualidade da água a ser tratada na ETA em estudo. Os padrões de cor, turbidez e pH estão de acordo com o estabelecido na portaria nº518 de 25 de Março de 2004 do Ministério da Saúde nas amostras de água bruta e tratada.

A Figura 5.1 apresenta a curva granulométrica dos materiais acumulados no decantador (em azul), no floculador (em verde) e a abertura de filtração característica do geotêxtil utilizado para confecção das geofôrmas (O90, em vermelho). A abertura característica representa o diâmetro onde 90% das partículas de areia bem graduada com dimensões maiores que este diâmetro fica retidas no peneiramento úmido (ISO 12956, 2010).

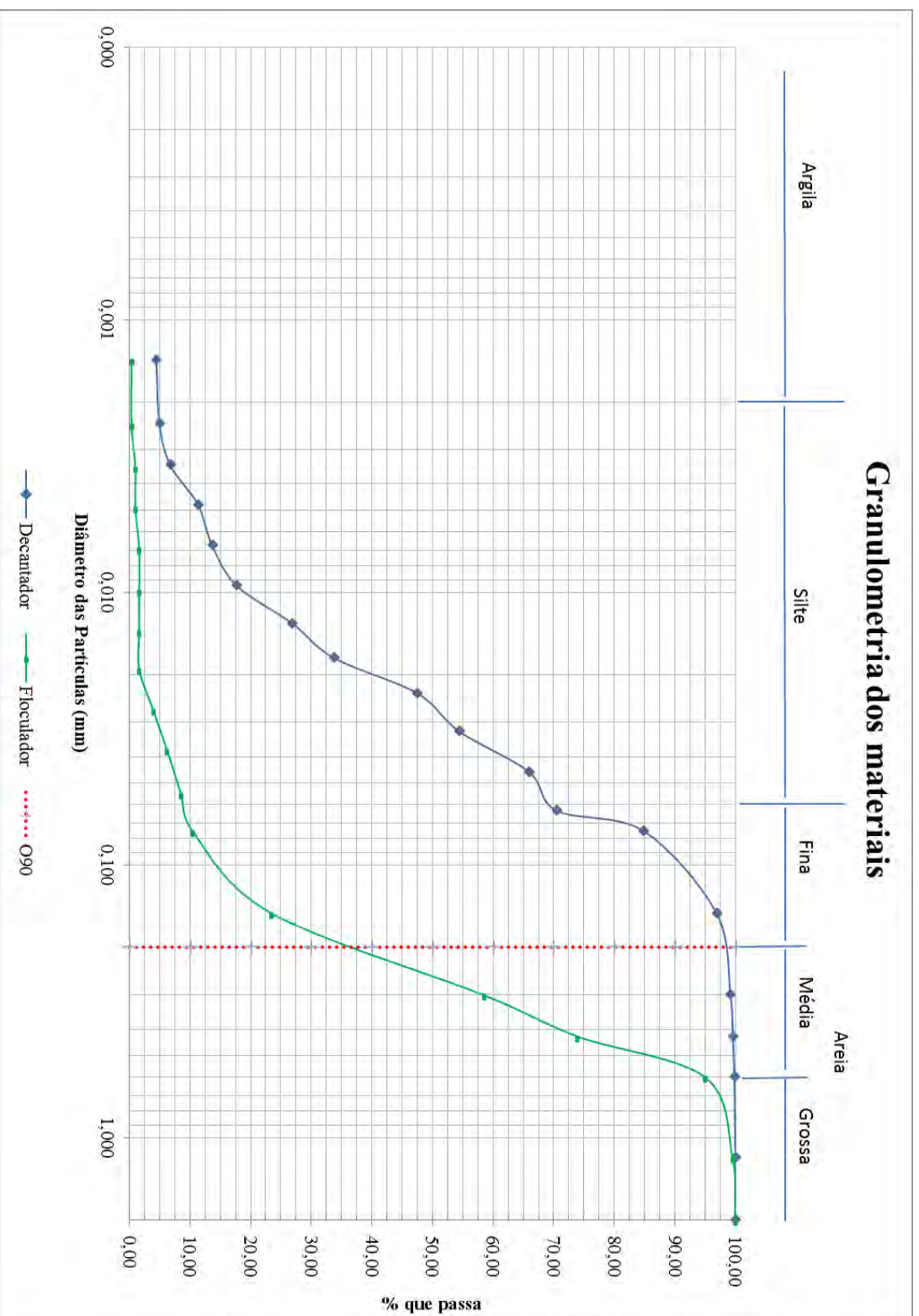


Figura 5.1 – Granulometria dos materiais (AUTOR, 2011)

O material acumulado no decantador pode ser classificado como silte bem graduado com areia fina, pois cerca de 65% de suas partículas estão na faixa corresponde a granulometria de materiais siltosos e os aproximadamente 32% restantes na faixa das areias finas. O material apresenta limite de liquidez de 112% (NBR 6459, 1984), equivalente a um teor de sólidos de 47%. Não foi possível a determinação do limite de plasticidade (NBR 7180, 1984), o material é não plástico devido à presença de minerais micáceos, identificados visualmente como partículas laminares brilhantes. O limite de liquidez representa a umidade (relação entre massa de água e massa de sólidos neste) acima da qual o material se comporta como um fluido.

Os pontos de coleta, próximos ao bocal do tubo geotêxtil, podem ter influenciado na determinação da granulometria do material, pois os grãos de maior diâmetro podem estar concentrados numa porção mais inferior da torta em contato com a superfície do geotêxtil. Para confirmar esta hipótese seria necessário coletar o material desta região, o que somente seria possível realizando um corte no tecido o que inutilizaria o tubo geotêxtil.

Já o material acumulado no floculador é visivelmente uma areia média bem graduada, com fração de silte de aproximadamente 10% e areia fina de 30%. Este material não deverá apresentar grandes dificuldades para ser desidratado nos tubos geotêxteis, devido à facilidade com que a água percola através de areias. Para classificação do material foi utilizado o sistema de classificação unificada da mecânica dos solos proposto por Casagrande, descrito na norma ASTM D 2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) e Pinto (2000).

Os dois materiais atendem à condição de auto-estável para formação de pré-filtro de Chen et Al. 1981 apresentada na revisão bibliográfica, o que justifica a facilidade para o material ser desaguado em tubos geotêxteis.

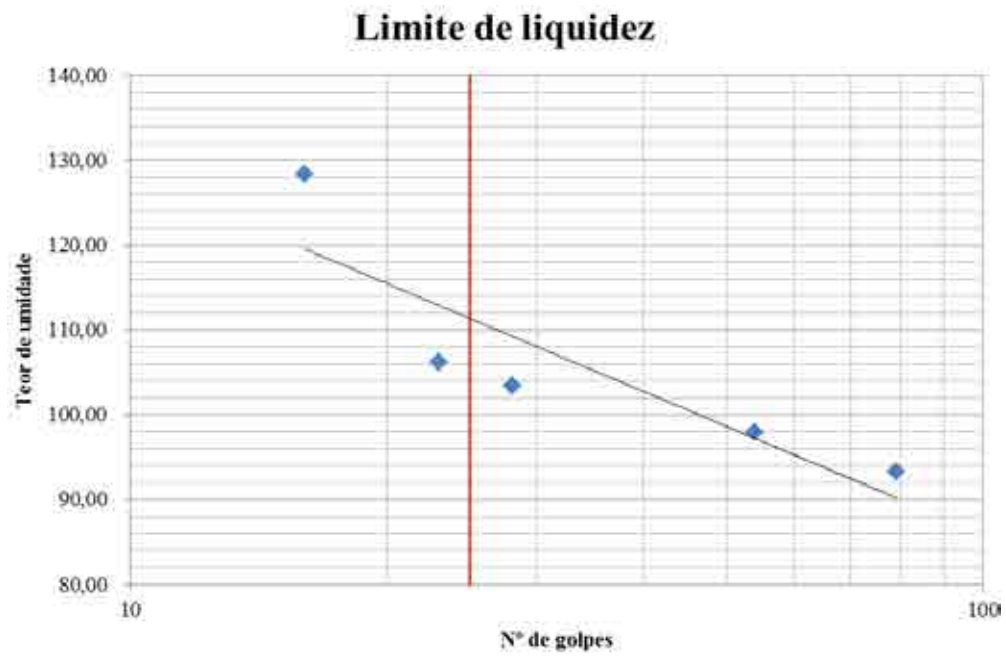


Figura 5.2 – Limite de Liquidez (material acumulado no decantador) (AUTOR, 2011)

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Apesar de a aplicação ter atingido o sucesso esperado pelo operador da ETA Piquete/SP, a decisão da não utilização de solução de polieletrólito, ou outro floculante, para realizar o condicionamento químico do lodo a ser confinado nos tubos geotêxteis poderia colocar em risco a utilização das geofôrmas para o proposto. Tal decisão foi baseada na experiência do projetista e do operador da ETA, na bibliografia existente, análise tátil visual do material e durante o ensaio de cone foi constatado que o tecido não iria colmatar mesmo sem condicionamento químico do lodo. É recomendada a realização de ensaios mais elaborados, como bolsa suspensa ou bolsa de pequena dimensão, para prever o desempenho futuro do sistema com maior confiança.

A utilização de tubos geotêxteis para desidratação de lodo de ETAs se apresenta como uma solução viável para minimizar os impactos ambientais inerentes da geração de resíduos durante o processo de tratamento de água. O sistema aparenta ser promissor, podendo ser aplicado a diversas situações, deste os resíduos provenientes de estações de tratamento de efluentes ao confinamento de material contaminado, desde que corretamente dimensionado e seguindo os devidos cuidados e procedimentos de operação.

O estudo de caso avaliado demonstra que, em situações muito específicas, pode ser realizada a desidratação de lodo de ETA em tubos geotêxteis sem a necessidade de condicionamento químico.

Como alternativa de destinação final do resíduo da ETA Piquete/SP pode ser avaliado o emprego do material como substituto de parte de agregado miúdo em concreto não estrutural, desde que se efetuem estudos relacionados à perda de resistência, aumento da absorção de água, e contaminação do concreto e meio ambiente.

Caso seja escolhida, para destinação final do resíduo desidratado, a co-disposição em aterro sanitário se faz necessário o estudo de lixiviação deste material, a fim de evitar a contaminação por metais pesados.

O estudo da distribuição granulométrica do material a ser desidratado em tubos geotêxteis não é suficiente para determinar a necessidade do condicionamento químico, outro material com distribuição granulométrica semelhante pode não apresentar o mesmo comportamento do material avaliado neste estudo. Portanto, se faz necessária a realização dos procedimentos recomendados como ensaio de cone, hanging bag test, ou bolsa de pequena dimensão para prever o desempenho e viabilidade do sistema.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adama Eng., 1996. GeoCoPS—Geotextile Tubes Contained Pressurized Slurry. Computer Program. ADAMA Engineering, Newark, Delaware.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering. 2011.

ANDREOLI, C.V. Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final. ABES/PROSAB. Curitiba-PR. 2001. 273p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM ISO 2395. Peneira de ensaio e ensaio de peneiramento – Vocabulário, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM ISO 3310-1. Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023. Referências Bibliográficas, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459. Determinação do Limite de Liquidez, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508. Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180. Determinação do Limite de Plasticidade, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181. Solo – Análise granulométrica, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. Resíduos Sólidos - Classificação, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12553. Geossintéticos - Terminologia, 2002.

BOGOSSIAN et al. 1982 Continuous Retaining Dikes by Means of Geotextiles, Second International Conference on Geotextiles, Proceedings, August 1-6, 1982, Las Vegas, Nevada. 6p.

CANTRÉ, S. Geotextile tubes—analytical design aspects. Geotextiles and Geomembranes 20. 2002. p.305–319

CHEN, Y. H.; Simons, D. B.; Demery, P. M.; “Hydraulic Testing of Plastic Filter Fabrics”. ASCE, vol 107, nº IR3 Setembro. Virginia, EUA, 1981.

COMPANHIA DE ÁGUAS DO BRASIL, Operações CAB ambiental, CAB piquete.

Disponível em:

<<http://www.cabambiental.com.br/Operacoes/S%C3%A3o+Paulo+Munic%C3%ADpios/CAB+Piquete>>. Acesso em 09 de Novembro de 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasil. 2005. 23p.

DE DEUS, A.B.S. (1996). Codisposição de resíduos domésticos e industriais perigosos. Porto Alegre, IPH/UFRGS. 26f.

DI BERNARDO, L. Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas. ABES/PROSAB. 1999. 121p.

DIAS, L. M. Alternativa de destinação final do lodo de estação de tratamento de água, fabricação de blocos cerâmicos. AIDIS. Ago. 2004, p.1-23.

GUANAES, E. A. - Análise laboratorial do desaguamento do lodo residual de estação de tratamento de água por meio de geossintéticos. Dissertação de mestrado Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET MG – Belo Horizonte. 2009. 115p.

HOPPEN, C. - ESTUDO DE DOSAGEM PARA INCORPORAÇÃO DO LODO DE ETA EM MATRIZ DE CONCRETO, COMO FORMA DE DISPOSIÇÃO FINAL. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005. 9p.

HSIEH, H.N.; RAGHU, D. (1997). Criteria dewatering for water treatment plant residual monofill. Denver, AWWARF. 199p.

Huesker. Huesker LTDA - Huesker Report Revestimento de Canal de irrigação Jaíba/MG - São José dos Campos, Brasil, 2010. 4p.

Huesker. Huesker Synthetic GmbH - SoilTain Tubes for Coastal Protection. Alemanha, 2011. 2p.

KOERNER, R. M. Design with geosynthetics. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1998. 761p.

LAWSON, C.R. Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering. Proceedings of INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSYNTHETICS, 8th, Yokohama, 2006. p. 9-48.

LESHCHINSKY, D., et al. Geosynthetic tubes for confining pressurized slurry: some design aspects. Journal of Geotechnical Engineering. 1996. 682–690.

MARTINS, P. M. Utilização de tubos geotêxteis para desaguamento de rejeitos de mineração. Dissertação (mestrado) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2006. 161p.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, PORTARIA N.º 518 de 25 de Março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água

para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasil. 2004. 15p.

PINTO, CARLOS DE SOUSA. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas - São Paulo: Oficina de Textos. 2000. 250p.

PLAUT, R.H., SUHERMAN, S. Two-dimensional analysis of geosynthetic tubes. *Acta Mechanica*. 1998. 207–218.

Presidência da República - Casa Civil. Lei Nº 6938 de 31 de Agosto de 1981 - "Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências". Brasil. 35p.

REALI, M. A. P. et al. Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água. ABES/PROSAB. Rio de Janeiro. 1999.240p.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (21st Ed.2005), 1368p. Washington-USA.

Stefan, C. & Cantré, S. Estimating the dewatering time in geosynthetic tube dewatering projects, 2006, In *Geosynthetics: Proceedings of the 8th ICG*, Yokohama. Japão. 4p.

Stephens, T. et al. Canal Do Fundão Contaminated Sediments GDT Analysis Versus Actual Full Scale Project Results. *Proceedings of the Geo-Frontiers 2011 Conference*, Dallas-EUA. 2011. p.2131-2140.

URASHIMA, D. C., Dimensionamento de Filtros Têxteis por teoria Probabilística. Dissertação (Mestrado) - Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, Brasil, 1996. 103f.

URASHIMA, D. C., Simulação do Processo de Retenção de Partículas por Filtros Têxteis. 2002. 100f. Tese (Doutorado) - Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, Brasil, 2002.

VERTEMATTI, J. C., Manual Brasileiro de Geossintéticos, 1ª ed., São Paulo: Edgard Blüch. 2004. 406p.

VIANNA, M. R. Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água. 3ª edição, Editora Imprimatura, Belo Horizonte, MG. 1997. 576p.

VIDAL, D. M., FABRIN, T., MONTEZ, F. T. O conceito de fatores de redução aplicados às Propriedades dos geossintéticos, In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO DE GEOSSINTÉTICOS, Rio de Janeiro, out. 1999. v.1, PP189-198.

VISSMAN Jr., W.; HAMMER, M.J. (1998). Water supply and pollution control. 6.ed. Menlo Park, Addison Wesley Longman. 827p.

ANEXO I

Lista de normas relevantes ao tema.

Característica	Norma	Título	Ano
Abertura de Filtração	NBR 15229	Geotêxteis e produtos correlatos - Determinação da abertura de filtração característica	2005
	ISO 12956	Geotextiles and geotextile-related products -- Determination of the characteristic opening size	2010
	ASTM D 4751	Standard Test Method for Determining Apparent Opening Size of a Geotextile	2004
Espessura	NBR 12569	Geotêxteis - Determinação da espessura - Método de ensaio	1992
	ISO 9863	Determination of thickness Part 1: Single layers	2005
	ISO 9864	Determination of thickness Part 2: Procedure for determination of thickness of single layers of multilayer products	1996
	ASTM D 5199	Standard Test Method for Measuring the Nominal Thickness of Geosynthetics	2006
Fluência	NBR 15226	Geossintéticos - Determinação do comportamento em deformação e na ruptura, por fluência sob tração não confinada	2005
	ISO 13431	Geotextiles and geotextile-related products -- Determination of tensile creep and creep rupture behaviour	1999
	ASTM D 5262	Standard Test Method for Evaluating the Unconfined Tension Creep and Creep Rupture Behavior of Geosynthetic	2007
Massa Unitária	NBR 12568	Geossintéticos - Determinação da massa por unidade de área	2003
	ISO 9864	Test method for the determination of mass per unit area of geotextiles and geotextile-related products	2005
	ASTM D 5261	Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Geotextiles	
Permeabilidade	ASTM D 4491	Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity	2009
Permissividade	ASTM D 4491	Water Permeability of Geotextiles by Permittivity	2009
Puncionamento Dinâmico	NBR 14971	Geotêxteis e produtos correlatos - Determinação da resistência à perfuração dinâmica (queda de cone) - Método de ensaio	2003
	ISO 13433	Geosynthetics - Dynamic perforation test (cone drop test)	2006

Puncionamento Estático	NBR 13359 ISO 12236 ASTM D6241	Geotêxteis - Determinação da resistência ao puncionamento estático - Ensaio com pistão tipo CBR - Método de ensaio Geosynthetics - Static puncture test (CBR test) Standard Test Method for the Static Puncture Strength of Geotextiles and Geotextile-Related Products Using a 50-mm Probe	1995 2006 2009
Resistência a Raios UV	ASTM D 4355	Standard Test Method for Deterioration of Geotextiles by Exposure to Light, Moisture and Heat in a Xenon Arc Type Apparatus	2007
Resistência a Tração Longitudinal	NBR 12824 ISO 10319 ASTM D 4595	Geotêxteis - Determinação da resistência à tração não-confinada - Ensaio de tração de faixa larga - Método de ensaio Geosynthetics - Wide-width tensile test Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method	1993 2008 2009
Resistência a Tração Transversal	NBR 12824 ISO 10319 ASTM D 4595	Geotêxteis - Determinação da resistência à tração não-confinada - Ensaio de tração de faixa larga - Método de ensaio Geosynthetics - Wide-width tensile test Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method	1993 2008 2009
Resistência a abrasão	NBR 15228 ISO 13427 ASTM D 4886	Geotêxteis e produtos correlatos - Simulação do dano por abrasão - Ensaio de bloco deslizante Geotextiles and geotextile-related products -- Abrasion damage simulation (sliding block test) Standard Test Method for Abrasion Resistance of Geotextiles (Sand Paper/Sliding Block Method)	2005 1998 2010
Resistência a Costura	NBR 13134 ISO 10321 ASTM D 4884	Geotêxteis - Determinação da resistência à tração não-confinada de emendas - Ensaio de tração de faixa larga- Método de ensaio Geosynthetics - Tensile test for joints/seams by wide-width strip method Standard Test Method for Strength of Sewn or Thermally Bonded Seams of Geotextiles	1994 2008 2009
Velocidade de Fluxo Índice	NBR 15223 ISO 11058 ASTM D 4491	Geotêxteis e produtos correlatos - Determinação das características de permeabilidade hidráulica normal ao plano e sem confinamento Geotextiles and geotextile-related products - Determination of water permeability characteristics normal to the plane, without load Water Permeability of Geotextiles by Permittivity	2005 2010 2009