

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

FRANCIELLE DA SILVA MARIA



ESTUDO DA SEDIMENTABILIDADE DO LODO COLETADO EM TANQUES
SÉPTICOS

CURITIBA

2013

FRANCIELLE DA SILVA MARIA

ESTUDO DA SEDIMENTABILIDADE DO LODO COLETADO EM TANQUES
SÉPTICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental – Área de Engenharia Ambiental, do Setor de Ciências Tecnológicas da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Mansur Aisse

CURITIBA

2013

M332e

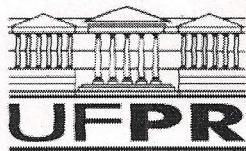
Maria, Francielle da Silva
Estudo da sedimentabilidade do lodo coletado em tanques sépticos/
Francielle da Silva Maria. – Curitiba, 2013.
109 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia,
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e
Ambiental, 2013.

Orientador: Miguel Mansur Aisse .
Bibliografia: p. 104-109.

1. Lodo de esgoto - Tratamento. 2. Análise de sedimentação. 3.
Decantadores (Química). I. Universidade Federal do Paraná. II. Aisse, Miguel
Mansur. III. Título.

CDD: 628.4



TERMO DE APROVAÇÃO

FRANCIELLE DA SILVA MARIA

**“Estudo da Sedimentação do Lodo Coletado em
Tanques Sépticos”**

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

PRESIDENTE:

Miguel Mansur Aisse

Universidade Federal do Paraná
Orientador

MEMBROS:

Marco Antonio Almeida de Souza
Universidade de Brasília

Tobias Bleninger
Universidade Federal do Paraná

Daniel Costa dos Santos
Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 28 de junho de 2013

*Aos meus pais: Francisco e
Marilene, sem os quais eu
não chegaria até aqui.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir viver momentos infinitamente maiores e melhores do que algum dia já passou em meu pensamento.

Aos meus pais, Francisco Maria e Marilene, por me ensinarem os verdadeiros valores da vida, acreditarem no meu potencial e investirem no meu ensino com muito amor, carinho e dedicação sem os quais seria impossível chegar até aqui.

Ao Prof. Miguel Mansur Aisse pela orientação, apoio, amizade, sempre aberto a passar seus conhecimentos, se preocupando acima de tudo com a formação acadêmica e profissional.

Aos professores do Departamento de Hidráulica e Saneamento: Maria Cristina Borba Braga, Sérgio Braga, pelo auxílio com a parte experimental.

Aos colegas: Guilherme Samways, Rafael E. Farah, Raquel Pompeo, Tamiris, Ana e Cintia pelo auxílio experimental e laboratorial.

A Michele Lopes Maciel e Patrícia Baur pelo apoio e amizade.

Ao Eng. Eduardo Pegorini, aos técnicos da ETE- Belém: Adalton, Thiago Farias; Angélica da ETE-Atuba Sul e ao Lunardon da ETA- Iraí, todos da SANEPAR.

Aos motoristas dos caminhões limpa-fossa que contribuíram gentilmente com a pesquisa.

A FINEP pelo apoio financeiro e fomento à pesquisa através da chamada pública MCT/ Ministério das Cidades (FINEP) ação transversal – SANEAMENTO AMBIENTAL E HABITAÇÃO – 7/2009.

A CAPES- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de Mestrado.

“Aquilo que o olho não viu, o ouvido não ouviu e não chegou ao coração do homem, é o que o Senhor tem preparado para aqueles que o amam.”

RESUMO

O panorama nacional referente ao saneamento aponta o uso de tanques sépticos como uma das principais alternativas para o tratamento de esgotos, em regiões desprovidas de rede coletora. No entanto, o resíduo gerado por este sistema de tratamento primário possui características potencialmente poluidoras. Em regiões com rede e sistema de tratamento sanitário, a disposição do lodo comumente se dá nas Estações de Tratamento de Esgotos - ETEs. CAMPOS *et al.* (2009) propõe Centrais de Recebimento e Tratamento de Lodo – CRTLS para minimizar o efeitos desta descarga nas ETEs e conferir ao lodo tratamento adequado. No entanto, existem poucos dados na bibliografia que permitam o dimensionamento de estruturas de decantação visando o tratamento especificamente do lodo. Estudou-se neste trabalho a sedimentabilidade do lodo séptico de origem exclusivamente doméstica, em escala piloto, visando a obtenção de parâmetros de dimensionamento de decantadores. Os experimentos foram realizados na Estação de Tratamento de Esgotos Belém (ETE- Belém- Curitiba) da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR na qual foi locada a instalação experimental. Determinou-se a velocidade de sedimentação do lodo séptico, admitindo Teoria da Sedimentação Zonal (Tipo 3) e Floculenta (Tipo 2). Para tanto, foram realizados ensaios em colunas de sedimentação piloto com volumes de 1L, 2L e 30L, considerando concentrações de ST no lodo que variaram entre 2.000 mg/L a 8.000 mg/L. Os resultados mostraram que em se tratando de lodo coletado em tanques sépticos, a Teoria de Sedimentação do Tipo 3- Zonal não descreve bem o processo. A difícil visualização do menisco inviabilizou seu uso como parâmetro de dimensionamento. No entanto, a Sedimentação Floculenta-Tipo 2, mediante a coleta de amostras ao longo do tempo produziram melhores resultados. Observou-se que após 15 minutos de sedimentação, não houve acréscimo significativo nas eficiências de remoção em termos de ST para as concentrações ensaiadas, conduzindo a uma taxa média de 30 m³/m².dia. A decantação quimicamente assistida foi obtida mediante a adição de coagulantes (cloreto férrico, sulfato de alumínio, hidróxido de cálcio) e como auxiliar polímero catiônico, em uma concentração padrão de sólidos totais no lodo previamente estabelecida de 8.000 mg/L. Os testes foram auxiliados pelo equipamento de Jar Test, que simula as etapas de mistura rápida, mistura lenta e decantação. Para os coagulantes analisados obteve-se como dosagem ótima 200 mg/L. Para o polímero utilizado como único agente de coagulação a dosagem obtida foi 50 mg/L. Quando associado (50 mg/L) de coagulante e polímero catiônico, a melhor eficiência de remoção em termos de turbidez, foi Sulfato de Alumínio. No entanto, o uso desse, inviabiliza seu uso na agricultura. A finalização dos experimentos se deu mediante a caracterização das fases do lodo séptico (escuma, sobrenadante e lodo), utilizado durante todas as fases

do experimento. O embasamento para o dimensionamento racional de estruturas de decantação é dado a partir das velocidades de sedimentação, que correspondem as taxas de aplicação superficial(TAS).

Palavras chaves: coluna piloto, lodo de fossa séptica, velocidades de sedimentação, sedimentação do lodo séptico.

ABSTRACT

The sanitation national stage shows the use of septic tanks as one principal alternative for wastewater treatment system in regions without sewage collection. However, the sludge produced in this system is polluting characteristics. The sludge disposal in regions without wastewater treatment system has been in Wastewater Treatment Plant (WWTP). CAMPOS *et al.* (2009) propose septic tanks sludge Treatment and Received to minimize disposal effects in WWTP and provide appropriate treatment of sludge. However, there are few results that allow the design the sludge settling structures. Was studied the settleability of septic sludge from domestic tanks in pilot scale, in order to obtain project parameters.

The experiments were performed at Wastewater Treatment Plant (WWTP) Belém, Curitiba-PR-Brazil, owned by Sanitation Company in Paraná (SANEPAR), where placed the pilot scale. Was determined the settling velocity of the septic sludge considering Hindered Settling (type 3) and Flocculent Particle Settling (type 2). Therefore, was accomplished tests in settling columns with 1L, 2L e 30L for several concentration of septic sludge. The Chemical Enhanced Primary Treatment (CEPT) was obtained by coagulants (Ferric Chloride, Aluminum Sulfate, and Calcium Hydroxide) and cationic polymers addition, for standard TS concentration of sludge, 8.000 mg/L. The tests were supported by the Jar Test equipment, that simulate the rapid mixing, low mixing and sedimentation steps. The optimum dosage established by this procedure tested the settling zones 2L columns, to verify the settling velocity with coagulant addiction. The completion of the experiments was through the characterization phases of septic sludge (scum, sludge and supernatant) utilized in all experiments.

Keywords: septic sludge, settling velocity, pilot column, sludge settling

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 -FUNCIONAMENTO GERAL DO TANQUE SÉPTICO DE CÂMARA ÚNICA.....	6
FIGURA 3.2 - SISTEMA DE FOSSA SÉPTICA- ESQUEMA GERAL	7
FIGURA 3.3 - COEFICIENTE DE ARRASTO EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE REYNOLDS	23
FIGURA 3.4 - VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO DE PARTÍCULAS DISCRETAS A 10°C	24
FIGURA 3.5 – DECANTADORES – (A) RETANGULAR, (B) CIRCULAR, (C) ASCENDENTE.....	25
FIGURA 3.6 - CURVA PARA OBTENÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO PARA PARTÍCULAS DISCRETAS EM UM DECANTADOR IDEAL.....	26
FIGURA 3.7 - SEDIMENTAÇÃO DE PARTÍCULA FLOCULENTA	28
FIGURA 3.8 - GRÁFICO PARA OBTENÇÃO DE PERCENTAGENS DE REMOÇÃO (R) DE SST.....	30
FIGURA 3.9 - SEDIMENTAÇÃO ZONAL	31
FIGURA 3.10 – DECANTADOR PRIMÁRIO: PERCENTAGEM DE REMOÇÃO EM RELAÇÃO AO TEMPO DE DETENÇÃO.....	35
FIGURA 3.11 - CORTE TRANSVERSAL DE UM DECANTADOR CIRCULAR	37
FIGURA 3.12 - CORTE TRANSVERSAL DE UM DECANTADOR RETANGULAR.....	37

FIGURA 3.13 - ANÁLISE GRÁFICA PARA SEDIMENTAÇÃO ZONAL	45
FIGURA 3.14 - DECANTADOR SECUNDÁRIO ETE- BELÉM (SANEPAR): (A) RASPADOR DE ESCUMA E LODO; (B) REMOÇÃO DE ESCUMA.....	46
FIGURA 3.15 - CICLO OPERACIONAL PARA FLUXO INTERMITENTE	48
FIGURA 3.16 - TANQUE DE RECEPÇÃO DE LODO DE TANQUE SÉPTICO – PROJETO E DESCARGA DE LODO.....	50
FIGURA 3.17 - FLUXOGRAMAS PROPOSTOS PARA CRLTS	51
FIGURA 3.18 - TANQUE DE RECEPÇÃO DE LODO DE TANQUE SÉPTICO	52
FIGURA 3.19 - TANQUE DE RECEPÇÃO DE LODO DE TANQUE SÉPTICO: (A) PLANTA; (B) PERFIL	53
FIGURA 3.20 – FLUXOGRAMA DE ETE DE LODOS ATIVADOS - CONVENCIONAL	56
FIGURA 3.21 – FLUXOGRAMA DE ETE UTILIZANDO REATORES TIPO UASB	57
FIGURA 4.1 - DIAGRAMA DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	58
FIGURA 4.2 - INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL LOCALIZADA NA ETE- BELÉM: (A) EDIFICAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE SEDIMENTAÇÃO; (B) COLETA DO LODO PARA OS ENSAIOS; (C) GRADE PARA REMOÇÃO DE SÓLIDOS GROSSEIROS .	59
FIGURA 4.3 - COLUNAS DE SEDIMENTAÇÃO: (A) 30L; (B) 2L; (C) 1L	60
FIGURA 4.4 - JAR TEST: (A) GRADIENTE DE VELOCIDADE EM RELAÇÃO A RPM; (B) EQUIPAMENTO DE BANCADA.....	62

FIGURA 4.5 - SEDIMENTAÇÃO DO TIPO 3: ALTURA DE SEDIMENTAÇÃO EM RELAÇÃO AO TEMPO.....	65
FIGURA 4.6 - COLUNA DE SEDIMENTAÇÃO 30L	67
FIGURA 5.1 - ALTURA DA INTERFACE EM RELAÇÃO AO TEMPO- COLUNA 1L	72
FIGURA 5.2 - ALTURA DA INERFACE EM RELAÇÃO AO TEMPO- COLUNA 2L	73
FIGURA 5.3 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE ST EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA C= 2.737 MG/L- ETAPA 1	78
FIGURA 5.4 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE ST EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA C= 4.869 MG/L- ETAPA 1	79
FIGURA 5.5 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE ST EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA C= 7.001 MG/L- ETAPA 1	79
FIGURA 5.6 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE ST EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA C= 9.132 MG/L- ETAPA 1	80
FIGURA 5.7 – PERCENTAGEM DE REMOÇÃO EM TERMOS DE ST EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE E TEMPO PARA ST= 2.737 MG/L- ETAPA 1	83
FIGURA 5.8 - PERCENTAGEM DE REMOÇÃO EM TERMOS DE ST EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE E TEMPO PARA ST= 4.869 MG/L- ETAPA 1	83
FIGURA 5.9 - PERCENTAGEM DE REMOÇÃO EM TERMOS DE ST EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE E TEMPO PARA ST= 7.001 MG/L- ETAPA 1	83

FIGURA 5.10 - PERCENTAGEM DE REMOÇÃO EM TERMOS DE ST EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE E TEMPO PARA ST= 9.132 MG/L- ETAPA 1	84
FIGURA 5.11 - CURVA DE REMOÇÃO DE ST X TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL PARA C= 2.737 MG/L- ETAPA 1.....	84
FIGURA 5.12 - CURVA DE REMOÇÃO DE ST X TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL PARA C= 4.869 MG/L- ETAPA 1.....	84
FIGURA 5.13 - CURVA DE REMOÇÃO DE ST X TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL PARA C= 7.001 MG/L- ETAPA 1.....	85
FIGURA 5.14 - CURVA DE REMOÇÃO DE ST X TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL PARA C= 9.132 MG/L- ETAPA 1.....	85
FIGURA 5.15 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE ST EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA C= 2.634 MG/L- ETAPA-2.....	87
FIGURA 5.16 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE ST EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA C= 4.707 MG/L- ETAPA-2.....	88
FIGURA 5.17 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE ST EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA C= 6.779 MG/L- ETAPA-2.....	88
FIGURA 5.18 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE ST EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA C= 8.437 MG/L- ETAPA-2.....	88
FIGURA 5.19 - PERCENTAGEM DE REMOÇÃO EM TERMOS DE ST EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE E TEMPO PARA ST = 2.634 MG/L- ETAPA-2	91
FIGURA 5.20 - PERCENTAGEM DE REMOÇÃO EM TERMOS DE ST EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE E TEMPO PARA ST= 4.707 MG/L- ETAPA-2	91

FIGURA 5.21 - PERCENTAGEM DE REMOÇÃO EM TERMOS DE ST EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE E TEMPO PARA ST= 6.779 MG/L- ETAPA-2	91
FIGURA 5.22 - PERCENTAGEM DE REMOÇÃO EM TERMOS DE ST EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE E TEMPO PARA ST= 8.437 MG/L- ETAPA-2	92
FIGURA 5.23 - CURVA DE REMOÇÃO DE ST X TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL PARA C= 2.634 MG/L- ETAPA-2	92
FIGURA 5.24 - CURVA DE REMOÇÃO DE ST X TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL PARA C= 4.707 MG/L- ETAPA-2	92
FIGURA 5.25 - CURVA DE REMOÇÃO DE ST X TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL PARA C= 6.779 MG/L- ETAPA-2	93
FIGURA 5.26 - CURVA DE REMOÇÃO DE ST X TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL PARA C= 8.437 MG/L- ETAPA-2	93
FIGURA 5.27 – EQUIPAMENTO DE JARTEST UTILIZADO NOS EXPERIMENTOS.....	95
FIGURA 5.28 - VARIAÇÃO DA TURBIDEZ E PH DO LODO SÉPTICO COM APLICAÇÃO DE CLORETO FÉRRICO	97
FIGURA 5.29 - VARIAÇÃO DA TURBIDEZ E PH DO LODO SÉPTICO COM APLICAÇÃO DE SULFATO DE ALUMÍNIO.....	98
FIGURA 5.30 - VARIAÇÃO DA TURBIDEZ E PH DO LODO SÉPTICO COM APLICAÇÃO DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO.....	98
FIGURA 5.31 - VARIAÇÃO DA TURBIDEZ E PH DO LODO SÉPTICO COM APLICAÇÃO DE POLÍMERO CATIÔNICO.....	99

FIGURA 5.32 - VARIAÇÃO DA TURBIDEZ E PH DO LODO SÉPTICO COM APLICAÇÃO DE CLORETO FÉRRICO (50 MG/L) + POLÍMERO CATIÔNICO	100
FIGURA 5.33 - VARIAÇÃO DA TURBIDEZ E PH DO LODO SÉPTICO COM APLICAÇÃO DE SULFATO DE ALUMÍNIO (50 MG/L) + POLÍMERO	100
FIGURA 5.34 - VARIAÇÃO DA TURBIDEZ E PH DO LODO SÉPTICO COM APLICAÇÃO DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO (50 MG/L) + POLÍMERO CATIÔNICO	101

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - TANQUES SÉPTICOS, EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE PARÂMETROS	7
TABELA 3.2 - FAIXAS PROVÁVEIS DE REMOÇÃO DE POLUENTES (%) CONFORME O TIPO DE TRATAMENTO CONSIDERADAS EM CONJUNTO COM O TANQUE SÉPTICO.....	7
TABELA 3.4 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO LODO SÉPTICO	10
TABELA 3.5 - CLASSIFICAÇÃO E COMPOSIÇÃO DO LODO SÉPTICO EM RELAÇÃO AO ESGOTO DOMÉSTICO	10
TABELA 3.6 - VALORES MÉDIOS DO TEOR DE SÓLIDOS EM RESÍDUOS SÉPTICOS (MG/L).....	11
TABELA 3.7 - VALORES MÉDIOS DE METAIS PESADOS ENCONTRADOS EM RESÍDUOS SÉPTICOS	12
TABELA 3.8 - PRESENÇA DE PATÓGENOS INDICADORES DA SANIDADE EM LODO DE DECANTO-DIGESTORES	13
TABELA 3.9 - VALORES DE DBO E DQO PARA LODO SÉPTICO.....	13
TABELA 3.10 - VALORES DE PH PARA LODOS DE DECANTO-DIGESTORES.....	14
TABELA 3.11 - VALORES MÉDIOS PARA ÓLEOS E GRAXAS EM RESÍDUOS SÉPTICOS	15
TABELA 3.12 - RELAÇÃO (SVT/ST) E (DQO/DBO).....	15

TABELA 3.13 - CLASSES DE LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO PELA PRESENÇA DE AGENTES PATOGÊNICOS.....	17
TABELA 3.14 - CONTRIBUIÇÃO DIÁRIA DE DESPEJOS E CARGA ORGÂNICA.....	18
TABELA 3.15 - CARACTERÍSTICAS DO LODO PRODUZIDO E DESCARTADO DA FASE LÍQUIDA (DIRIGIDA A ETAPA DE TRATAMENTO DO LODO).....	19
TABELA 3.16 - VALORES USUAIS DE DENSIDADE DO LODO.....	19
TABELA 3.17 - TIPOS DE SEDIMENTAÇÃO.....	21
TABELA 3.18 - SEDIMENTAÇÃO DE PARTÍCULA FLOCULENTA: TABELA PARA OBTENÇÃO DE PERCENTAGENS DE REMOÇÃO DE SST.....	30
TABELA 3.19 - DECANTADOR PRIMÁRIO: VALORES TÍPICOS PARA AS CONSTANTES EMPÍRICAS ¹	35
TABELA 3.20 - EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO EM DECANTADORES PRIMÁRIOS.....	36
TABELA 3.21 - DADOS TÍPICOS DE DIMENSIONAMENTO DE TANQUES CIRCULARES E RETANGULARES USADOS NO TRATAMENTO PRIMÁRIO DE ESGOTOS.....	36
TABELA 3.22 - CARACTERÍSTICAS DO LODO DE DECANTADORES PRIMÁRIOS) ⁽¹⁾	37
TABELA 3.23 - TAXAS DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E TEMPOS DE DETENÇÃO PARA DECANTADORES PRIMÁRIOS.....	39

TABELA 3.24 - CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES SECUNDÁRIOS SEGUNDO A NBR 12.209/2009	44
TABELA 3.25 - TAXAS DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL PARA DIMENSIONAMENTO DE ADENSADORES POR GRAVIDADE	47
TABELA 3.26 - DESCRIÇÃO DO CICLO OPERACIONAL PARA FLUXO INTERMITENTE.....	49
TABELA 3.27 - PRINCIPAIS ETAPAS DO GERENCIAMENTO DO LODO.....	54
TABELA 5.1 - DIMENSOES DE COLUNAS DE SEDIMENTAÇÃO NA LITERATURA TÉCNICA EM FUNÇÃO DO TIPO DE LODO	61
TABELA 5.2 - DIMENSÕES DAS COLUNAS DE SEDIMENTAÇÃO UTILIZADAS NOS EXPERIMENTOS	61
TABELA 5.3 - CONFIGURAÇÕES DOS ENSAIOS DE SEDIMENTAÇÃO ...	64
TABELA 5.4 - CONFIGURAÇÕES ENSAIADAS PARA TEORIA DA SEDIMENTAÇÃO DO TIPO 2- ETAPA 1 E 2.....	67
TABELA 5.5 – SÓLIDOS TOTAIS OBTIDOS NO LODO SÉPTICO PARA CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA	68
TABELA 5.6 - DOSAGENS DE COAGULANTES UTILIZADAS NOS ENSAIOS	68
TABELA 5.7 - DOSAGENS DA COMBINAÇÃO ENTRE COAGULANTE E POLÍMERO	69
TABELA 5.1 - RESULTADOS DA COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA UTILIZANDO AS VELOCIDADES DE SEDIMENTAÇÃO DE LODO SÉPTICO EM COLUNAS DE 1L E 2L	71

TABELA 5.2 – VELOCIDADES DE SEDIMENTAÇÃO DO LODO SÉPTICO EM COLUNAS SUPONDO TEORIA DE SEDIMENTAÇÃO DO TIPO 3.....	74
TABELA 5.3 - MÉDIA DAS VELOCIDADES DE SEDIMENTAÇÃO DO LODO SÉPTICO EM COLUNAS DE SEDIMENTAÇÃO DE 1L E 2L...	76
TABELA 5.4 - PERCENTAGEM DE LODO SÉPTICO E CONCENTRAÇÃO DA AMOSTRA NA ETAPA 1.....	77
TABELA 5.5 - PERCENTAGEM REMOVIDA DE ST AO LONGO DAS PROFUNDIDADES PARA AS CONCENTRAÇÕES ENSAIADAS- ETAPA 1.....	78
TABELA 5.6 - TEMPO DE REMOÇÃO DE ST AO LONGO DAS PROFUNDIDADES PARA AS CONCENTRAÇÕES ENSAIADAS.....	82
TABELA 5.7 - TEMPO, VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO E TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL EM RALAÇÃO A PERCENTAGEM DE SÓLIDOS TOTAIS REMOVIDA PARA AS CONCENTRAÇÕES ENSAIADAS.....	82
TABELA 5.8 - CONCENTRAÇÃO DO LODO DE FUNDO DA ETAPA 1	86
TABELA 5.9 - PERCENTAGEM DE LODO SÉPTICO E CONCENTRAÇÃO DA AMOSTRA NA ETAPA-2	86
TABELA 5.10 - PERCENTAGEM REMOVIDA DE ST AO LONGO DAS PROFUNDIDADES PARA AS CONCENTRAÇÕES ENSAIADAS- ETAPA- 2	87
TABELA 5.11 - TEMPO DE REMOÇÃO DE ST AO LONGO DAS PROFUNDIDADES PARA AS CONCENTRAÇÕES ENSAIADAS ETAPA 2	90

TABELA 5.12 - TEMPO, VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO E TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL EM RELAÇÃO A PERCENTAGEM DE SÓLIDOS TOTAIS REMOVIDA PARA AS CONCENTRAÇÕES ENSAIADAS.....	90
TABELA 5.13 - CONCENTRAÇÃO DO LODO DE FUNDO DA ETAPA 2	94
TABELA 5.14 - DOSAGEM DOS COAGULANTES EMPREGADOS NA SEDIMENTAÇÃO QUIMICAMENTE ASSISTIDA DO LODO SÉPTICO	96
TABELA 5.15 - DOSAGENS DE POLÍMERO CATIÔNICO EMPREGADOS NA SEDIMENTAÇÃO QUIMICAMENTE ASSISTIDA	97
TABELA 5.16 - VARIAÇÃO DA TURBIDEZ E PH DO LODO SÉPTICO PARA COMBINAÇÃO COAGULANTES+ POLÍMERO CATIÔNICO..	99

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

CEPT	- Chemical Enhanced Primary Treatment
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRTLS	- Centrais de Recebimento e Tratamento de Lodo Séptico
DBO	- Demanda Bioquímica de Oxig�nio
DQO	- Demanda Química de Oxig�nio
EPA	- Environmental Protection Agency
ETA	- Estac�o de Tratamento de �gua
ETE	- Estac�o de Tratamento de Esgotos
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IVL	- �ndice Volumétrico de Lodo
N	- Nitrogênio
P	- Fósforo
pH	- Potencial Hidrogeniônico
PPGERHA	- Programa de Pós Gradua�o em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental
PROSAB	- Programa de Pesquisa de Saneamento Básico
SANEPAR	- Companhia de Saneamento do Paraná
ST	- Sólidos Totais
SFT	- Sólidos Fixos Totais
STV	- Sólidos Totais Voláteis
SST	- Sólidos Suspensos Totais
SSF	- Sólidos Suspensos Fixos
SSV	- Sólidos Suspensos Voláteis
SDT	- Sólidos Dissolvidos Totais
SDF	- Sólidos Dissolvidos Fixos
SDV	- Sólidos Dissolvidos Voláteis
UASB	- Upflow Anaerobic Sludge Blanket
WWTP	- Wastewater Treatment Plant

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS	I
LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIACÕES.....	VI

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS.....	4
2.1	OBJETIVO GERAL	4
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1	TANQUES SÉPTICOS.....	5
3.1.1	Definições e Conceitos	5
3.1.2	Lodo de Tanques Sépticos	9
3.1.2.1	Características dos lodos de tanques sépticos	9
3.1.2.2	Produção de Lodo em tanques-sépticos.....	17
3.2	TEORIA DA SEDIMENTAÇÃO	19
3.2.1	Sedimentação de Partículas Discretas - Tipo 1	20
3.2.2	Sedimentação de Partículas Floculentas - Tipo 2.....	27
3.2.3	Sedimentação Zonal – Tipo 3	30
3.2.4	Sedimentação a Compressão – Tipo 4	33
3.3	DECANTADORES E ADENSADORES	33
3.3.1	Decantador Primário	33

3.3.2	Decantação Primária Quimicamente Assistida- CEPT.....	39
3.3.2.1	Coagulação.....	40
3.3.2.2	Floculação.....	43
3.3.2.3	Decantação.....	43
3.3.3	Decantador Secundário	43
3.3.4	Adensadores por gravidade	46
3.3.1	Classificação dos decantadores quanto ao fluxo	46
3.4	CENTRAIS DE RECEBIMENTO DE LODO DE TANQUES SÉPTICOS E FOSSAS SÉPTICAS.....	50
3.4.1	Concepção e tipos de CRLFS.....	50
3.4.2	Fluxograma de ETEs	53
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	58
4.1	MATERIAIS.....	58
4.1.1	Local do Estudo (ETE- Belém).....	58
4.1.2	Origem do Lodo Séptico	58
4.1.3	Coluna de Sedimentação.....	59
4.1.4	Jar Test.....	61
4.1.5	Coagulantes e Polímeros.....	62
4.2	MÉTODOS.....	62
4.2.1	Estudo da sedimentação do lodo de tanque séptico <i>in natura</i> admitindo a Teoria de Sedimentação do Tipo 3.....	62
4.2.2	Estudo da velocidade de sedimentação do lodo de tanques sépticos <i>in natura</i> admitindo a Teoria de Sedimentação do Tipo 2.....	66
4.2.3	Estudo da sedimentação do lodo de tanque séptico quimicamente assistida	67
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
5.1	DETERMINAÇÃO A VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO DO LODO DE TANQUE SÉPTICO <i>IN NATURA</i> ADMITINDO A TEORIA DE SEDIMENTAÇÃO DO TIPO 3.....	70

5.2	DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO DO LODO DE TANQUE SÉPTICO <i>IN NATURA</i> ADMITINDO A TEORIA DE SEDIMENTAÇÃO DO TIPO 2	76
5.2.1	Etapa 1.....	76
5.2.2	Etapa 2.....	85
5.2.3	Discussão dos Resultados.....	94
5.3	ESTUDO DA SEDIMENTAÇÃO DO LODO DE TANQUE SÉPTICO QUIMICAMENTE ASSISTIDA	95
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	102
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE, no Brasil 55,2% dos municípios possuem rede geral de esgotos. Entre os 44,8% dos municípios restantes, tem-se como solução alternativa para o esgotamento sanitário: 60,6% o uso de tanques sépticos e sumidouros, 37,9% fossas rudimentares, 2,3% fossas secas, 1,1% valas a céu aberto, 1,3% lançamento em corpos d' água e 1% outros (PNAD, 2008). Se a coleta do serviço de esgoto é ainda pouco disseminada na maior parte do território brasileiro, o tratamento é ainda mais incomum, originando graves consequências ao meio ambiente e a saúde pública.

A defasagem na implantação de serviços públicos em relação ao crescimento populacional, principalmente nos países em desenvolvimento, permite prever soluções individuais para o destino de esgotos, para estes casos, continuarão a ser ampla e permanentemente adotadas (JORDÃO e PESSOA, 2011).

Os tanques sépticos são unidades de tratamento primário, físico e biológico, que detêm os esgotos domésticos por um período que permita a decantação dos sólidos e retenção do material graxo, transformando-os em compostos mais estáveis (JORDÃO e PESSOA, 2009). Esta unidade é capaz de obter 60-70% de eficiência na remoção de sólidos sedimentáveis, 50-70% na redução de sólidos em suspensão e 30-60% na DBO (HESPANHOL, 1977). O resíduo resultante da fase sólida dos tanques sépticos é denominado lodo séptico, cujas características conferem alto potencial poluidor, sendo a remoção deste parâmetro considerado no projeto.

O destino final do lodo proveniente dos tanques sépticos representa uma grave problemática que ainda não foi adequadamente equacionada, sendo esse lodo frequentemente disposto sem tratamento (ANDREOLI *et al.* 2009). Isso se deve, principalmente, a falta de estratégias para o gerenciamento sustentável do lodo e opções de tratamento (HEINSS e STRAUSS, 1999). O lodo representa um passivo e há uma grande resistência de praticamente todos os envolvidos em assumir a responsabilidade de sua

gestão, embora haja uma tendência que este material seja recebido nas estações de tratamento de esgotos (ANDREOLI *et al.* 2009).

O tratamento do lodo séptico associado ao tratamento de esgotos em reatores anaeróbios até o presente momento se mostrou satisfatório, porém números mais precisos devem ser encontrados para identificarmos a real potencialidade de seu uso e do dimensionamento das estruturas que venham a receber e a tratar esse lodo. A confecção de um protocolo de aplicação do lodo séptico em reatores anaeróbios garantirá a qualidade do efluente e do lodo de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) que utilizem este sistema.

HEINSS e STRAUSS (1999) estudaram o co-tratamento de lodo de esgotos em lagoas de estabilização e sistemas de lodos ativados, porém, os problemas referentes à sobrecarga devida alta concentração dos lodos de esgotos não foram incluídos.

CAMPOS *et al.* (2009) propuseram o tratamento do lodo séptico nas Estações de Tratamento de Esgotos ETEs, após tratamento preliminar. No entanto, é proposta também a análise de diversos fatores intervenientes como: tamanho da estação, volume diário das descargas de lodo, localização da ETE, entre outros. A instalação de recepção para o armazenamento do lodo séptico é recomendada para prevenir cargas hidráulicas e choque de carga orgânica. Desta forma, o lodo seria utilizado na estação de tratamento, em períodos nos quais as vazões afluentes são baixas (HEINSS e STRAUSS, 1999).

A existência de um grande número de tanques sépticos em grandes centros populacionais torna viável a existência de Centrais de Recebimento de Lodo, com construções e instalações especificamente projetadas e construídas para o recebimento do material removido de tanques sépticos (JORDÃO e PESSOA, 2011). Essas instalações devem ter componentes que permitam a realização de operações que minimizem os problemas na rede de esgotamento, nos interceptores, nos emissários (se a Central for implantada distante da ETE) e nas Estações de Tratamento de Esgoto, decorrentes das características peculiares de cada tipo de lodo (CAMPOS *et al.* 2009).

Estudos anteriores do PROSAB (CAMPOS *et al.* 2009) verificaram a sedimentabilidade do lodo dosado conjuntamente com lodo primário proveniente de uma ETE. Este estudo possui poucos dados de caracterização

para o lodo séptico sedimentado por si só e/ou com produtos que auxiliem sua sedimentação (floculadores).

Este trabalho foi estimulado pela Chamada Pública MCT/ Ministério das Cidades/FINEP/ Ação Transversal – SANEAMENTO AMBIENTAL e HABITAÇÃO-7/2009 e tem como objetivo estudar a sedimentabilidade do lodo séptico em colunas piloto, com e sem adição de coagulantes. Dessa forma, será possível obter as velocidades de sedimentação ou taxas de aplicação superficial, parâmetro essencial no dimensionamento racional de sedimentadores.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a sedimentabilidade do lodo coletado em tanques sépticos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Estudar a sedimentação do lodo de tanque séptico *in natura* admitindo Teoria da Sedimentação do Tipo 2 e Tipo 3.
- b) Estudar a sedimentação quimicamente assistida do lodo de tanques sépticos;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 TANQUES SÉPTICOS

3.1.1 Definições e Conceitos

Define-se sistema de fossa séptica como o conjunto de unidades destinadas ao tratamento e disposição de esgoto, mediante utilização de tanque séptico e unidades complementares de tratamento e/ou disposição final de efluentes e lodo (ABNT, 1992). Os tanques sépticos são unidades de tratamento primário, físico e biológico, que detêm os esgotos domésticos por um período que permita a decantação dos sólidos e retenção do material graxo, transformando-os em compostos mais estáveis (JORDÃO e PESSOA, 2011).

A sedimentação e a digestão do lodo são os dois princípios básicos de funcionamento do tanque séptico. O tempo de detenção hidráulico propicia o tratamento anaeróbio da fase líquida em escoamento. O lodo sedimentado é digerido e acumulado por longos períodos, tendo seu volume bastante reduzido (ANDRADE NETO, 1997). No tanque ocorre a degradação da matéria orgânica formando nitritos, nitratos, carbonatos, sulfetos, sulfatos e fosfatos. Este material é depositado no fundo da câmara de digestão na forma de lodo. A parcela constituída de substâncias graxas leves flutua sobre o material líquido contido na fossa e a terceira parte é a formação de compostos gasosos como metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2), conforme a FIGURA 3.1 (MACINTYRE, 1985).

Os tanques sépticos são dispositivos locais de tratamento de esgoto, aplicados em comunidades com grandes áreas de terrenos e relativamente pequenas vazões ou em áreas mais adensadas desprovidas de sistemas públicos de esgotamento sanitário. Os tanques sépticos devem aplicar-se primordialmente a esgotos domésticos. Outros resíduos como de hospitais, clínicas, laboratórios e postos de saúde devem ser submetidos a apreciação das autoridades sanitárias competentes (NBR 7229/1993).

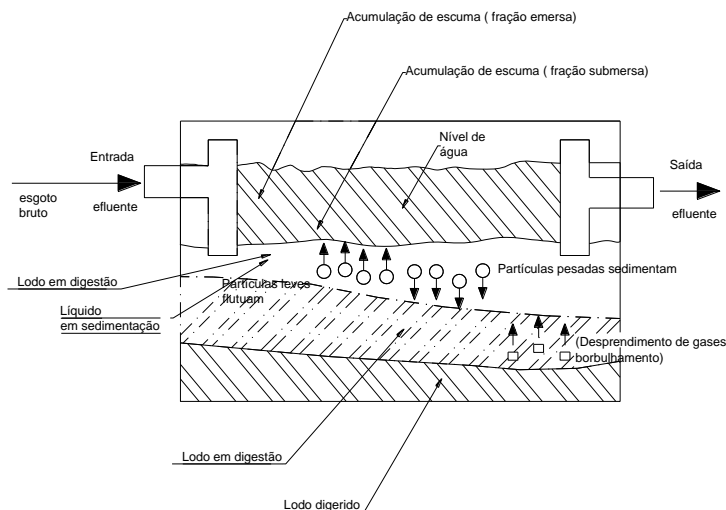


FIGURA 3.1-FUNIONAMENTO GERAL DO TANQUE SÉPTICO DE CÂMARA ÚNICA
 FONTE: NBR 7229 (1993)

O sistema de fossas sépticas deve preservar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, mediante estrita observância das prescrições da NBR 7229/1993: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Normalmente os usuários destes sistemas utilizam o serviço de empresas especializadas, denominadas limpa-fossa, para remoção do material excedente. Quando as empresas não possuem sistema individualizado para o tratamento deste resíduo, estas recorrem às empresas de saneamento para descarte em Estações de Tratamento de Esgotos – ETEs.

No entanto, apesar destas unidades serem de baixo custo e compactas, não possuem alta eficiência na remoção de patógenos e sólidos dissolvidos (TABELA 3.1) sendo necessária a utilização de sistemas de pós- tratamento. O sistema de fossas sépticas deve ser projetado de forma completa, incluindo disposição final para o efluente e o lodo (sempre que necessário tratamento complementar destes).

A TABELA 3.2 reproduz a existente na NBR 13.969/1997, e dispõe sobre as alternativas possíveis e suas respectivas eficiências quando em conjunto com o tanque séptico.

TABELA 3.1- TANQUES SÉPTICOS, EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE PARÂMETROS

PARÂMETRO	
	(%)
SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS	60-70
ÓLEOS E GRAXAS	70-90
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	50-70
COLIFORMES	40-60
DBO	30-60

FONTE: HESPANHOL (1977); JORDÃO e PESSOA (2011)

TABELA 3.2- FAIXAS PROVÁVEIS DE REMOÇÃO DE POLUENTES (%) CONFORME O TIPO DE TRATAMENTO CONSIDERADAS EM CONJUNTO COM O TANQUE SÉPTICO

PARÂMETRO	PROCESSO					
	Filtro anaeróbio submerso	Filtro aeróbio	Filtro de areia	Vala de filtração	LAB ^a	Lagoa com plantas
DBO	40-75	60-95	50-85	50-80	70-95	70-90
DQO	40-70	50-80	40-75	40-75	60-90	70-85
Sólidos Sedimentáveis	70 ou mais	90 ou mais	100	100	90-100	100

(a)LAB: Lodos Ativados por batelada

NOTA: Valores em (%)

FONTE; ADAPTADO DA NBR 13.969 (1997)

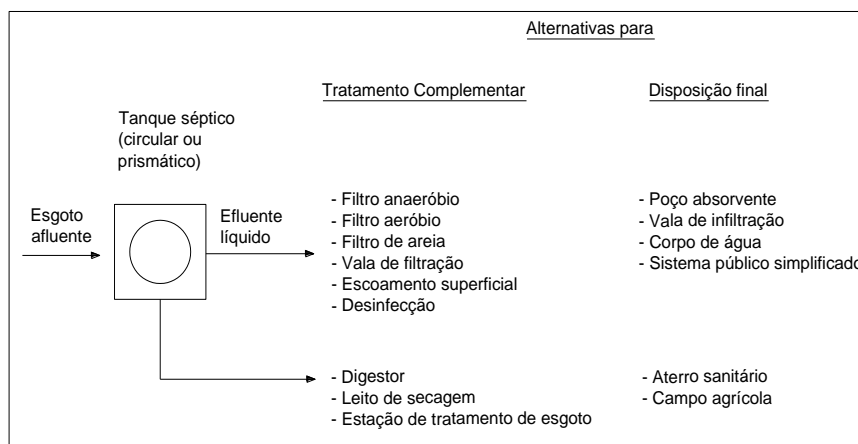


FIGURA 3.2- SISTEMA DE FOSSA SÉPTICA- ESQUEMA GERAL

FONTE: NBR 7229 (1993)

Os tanques sépticos podem ser de câmara única, de câmaras em série ou câmaras sobrepostas, e podem ter forma cilíndrica, prismática ou retangular (AISSE, 2000). Os cilíndricos são empregados em situações que se deseja

minimizar a área útil em relação à profundidade, enquanto os prismáticos quando se tem disponibilidade de área e pouca profundidade. O volume útil do tanque séptico é calculado pela seguinte fórmula (ABNT, 7229):

$$V = 1000 + N.(C.T + K.Lf) \quad (1)$$

Onde:

V = volume útil, L^3

N = número de pessoas ou unidades de contribuição, *hab*

C = contribuição de despejos, $\frac{L}{hab.dia}$

T = período de detenção, *dias*

K = taxa de acumulação de lodo digerido, *dia*

Lf = contribuição de lodo fresco, $\frac{L}{hab.dia}$

A TABELA 3.3 exibe o volume de tanques sépticos em litros, considerando intervalos de limpeza entre 1 e 5 anos, e população de 5 a 100 habitantes.

TABELA 3.3- VOLUME ÚTIL (LITROS) DE TANQUE SÉPTICO PARA DIFERENTES INTERVALOS DE LIMPEZA ^{(1) (2)}

Limpeza (anos)	Habitantes								
	5	10	15	20	30	50	60	75	100
1	1.975	2.950	3.769	4.692	6.191	8.605	9.424	10.750	14.000
2	2.175	3.350	4.369	5.492	7.391	10.605	11.824	13.750	18.000
3	2.375	3.750	4.969	6.292	8.591	12.605	14.224	16.750	22.000
4	2.575	4.150	5.569	7.092	9.791	14.605	16.624	19.750	26.000
5	2.775	4.550	6.169	7.892	10.991	16.605	19.024	22.750	30.000

FONTE: MISTURINI e LUCCA (2011)

NOTA: (1) Para consumo *per capita* de 130 L/hab.dia. (2) Temperatura entre 10 e 20 °C

A norma também estabelece medidas internas mínimas da geometria dos tanques, sendo para o diâmetro 1,10 m, largura interna 0,80 m e a relação comprimento/ largura (para tanques prismáticos e retangulares): mínimo 2:1; máximo 4:1. Outros valores como profundidade máxima e mínima em relação ao volume útil, números de câmaras, intercomunicação entre câmaras, dispositivos de entrada e saída, aberturas de inspeção, procedimentos construtivos e manutenção também são especificados.

3.1.2 Lodo de Tanques Sépticos

3.1.2.1 Características dos lodos de tanques sépticos

O lodo séptico é uma mistura parcialmente digerida de material sólido e líquido presente no interior de tanques sépticos, banheiro químico ou sistema similar que receba somente esgotos domésticos. Este lodo é acumulado por um período conforme o especificado em projeto (USEPA, 1995) e é composto de diferentes substâncias, dependendo do tipo de resíduo tratado no sistema.

Sua composição inclui água, em maior parte, esgoto, material inorgânico, como areia, e matéria fecal. Podem existir menores quantidades de surfactantes, provenientes da limpeza caseira. As características são dependentes de diversos fatores, tais como: caixa separadora de gordura antes da fossa, existência de trituradores de cozinha, hábitos e atividades dos usuários. A frequência de limpeza, o clima do local, dimensões e detalhes do projeto também podem ser intervenientes (USEPA, 1999 *apud* BARBOSA, 1988).

O lodo séptico possui uma má sedimentabilidade, ou seja, para sistemas de tratamento que dependem da capacidade de sedimentação, como por exemplo, tanques de sedimentação, é de extrema importância que sejam feitos ensaios que verifiquem tal característica (EPA, 1984 *apud* SAMWAYS, 2010). No entanto, a combinação deste com esgoto sanitário tem se mostrado aceitável na remoção de sólidos suspensos e DBO em decantadores primários (HEINSS e STRAUSS, 1999).

Geralmente, os lodos sépticos possuem baixa quantidade de metais e demais poluentes (EPA, 1993), possuindo coloração escura e odor característico resultante da presença de gás sulfídrico e outros gases (MACINTYRE, 1985). As características físico-químicas do lodo encontrado em tanques sépticos encontram-se na TABELA 3.4 e TABELA 3.5. Predicado

TABELA 3.4- CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO LODO SÉPTICO

VARIÁVEL	Jordão e Pessoa (2005)		USEPA (2002)	
	Média (mg/L)	Típica (mg/L)	Média (mg/L)	Típica (mg/L)
Sólidos Totais- ST	-	-	34.100	1.100 a 130.400
Sólidos Totais Voláteis-STV	-	-	23.100	353 a 71.400
Sólidos Suspensos Voláteis- SSV	15.000	2.000 a 100.000	12.800	310 a 93.300
DBO	6.000	2.000 a 30.000	6.400	440 a 78.600
DQO	-	-	31.900	1.500 a 703.000
NTK	700	100 a 1.600	580	66 a 1.000
N-amon	400	100 a 800	87	3 a 116
Fósforo	250	50 a 800	210	20 a 760
Óleos e Graxas	8.000	5.000 a 10.000	5.600	200 a 23.300

FONTE: SAMWAYS (2010)

TABELA 3.5- CLASSIFICAÇÃO E COMPOSIÇÃO DO LODO SÉPTICO EM RELAÇÃO AO ESGOTO DOMÉSTICO

ITEM	Tipo "A" (baixa estabilidade)	Tipo "B" (alta estabilidade)	Esgoto Doméstico
Amostra	Banheiro público ou químico	Tanque Séptico	Esgoto tropical
Caracterização	Alta concentração, lodo séptico fresco (estocado por dias ou semanas apenas)	Lodo séptico de baixa concentração, geralmente estocado por anos, mais estabilizado que do Tipo "A"	
DQO (mg/L)	20.000 a 50.000	<15.000	500 a 2.500
DQO/DBO	5:1 a 10:1	-	2:1
N-amon (mg/L)	2.000 a 5.000	<1.000	30 a 70
ST (mg/L)	<3,5%	<3%	<1%
SST (mg/L)	<30.000	7.000	200 a 700
Ovos de Helmitos/L	20.000 a 60.000	4.000	3000 a 2.000

FONTE: SAMWAYS (2010)

a) Teor de Sólidos

A relação entre os sólidos totais voláteis (STV) e os sólidos totais (ST) é um bom indicativo da fração orgânica dos sólidos no lodo, bem como o nível de digestão. Em lodos não digeridos a relação (STV/ST) situa-se entre 0,75-0,80, ao passo que lodos digeridos estes valores estão entre 0,60-0,65 (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). Como se trata de resíduo orgânico, a concentração de sólidos voláteis é superior a de sólidos fixos, conforme apresentado na TABELA 3.6.

TABELA 3.6- VALORES MÉDIOS DO TEOR DE SÓLIDOS EM RESÍDUOS SÉPTICOS (mg/L)

Parâmetros (mg/L)	MENESES <i>et al</i> (2001)	CASSINI (2003)	FIÚZA (2003)	ROCHA E SANT'ANNA (2005)	LEITE <i>et al</i> (2006)	TACHINI, BELI FILHO E PINHEIRO (2006)	BELI FILHO <i>et al</i> (2007)	ANDREOLI <i>et al</i> (2009)
ST	12880	9550	3000	1631	9267	49593	7186	12116
STV	3518	6172	2250	492	4868	29685	3413	7891
STF	9362	3378	750	1139	4399	19908	3773	4225
STV/ST	0,27	0,65	0,75	0,30	0,53	0,60	0,47	0,65

FONTE: Adaptado de LEITE *et al* (2009)

b) Composição Química

Os principais elementos enquadrados como metais pesados são: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Zn. Estes são encontrados naturalmente nos solos em concentrações variáveis, porém, são inferiores aquelas consideradas tóxicas para diferentes organismos vivos (ANDREOLI; VON SPERLING, FERNANDES, 2001). No entanto, essa composição é particular de cada sistema de tratamento e tem correlação com o tipo de atividade e hábitos dos usuários EPA (2002).

Leite *et al.* (2006) determinaram a concentração de 33 metais pesados para resíduos sépticos coletados em Curitiba e Região Metropolitana. Os resultados encontram-se na TABELA 3.7, a qual reproduz alguns destes valores, comparando-os com a legislação existente.

TABELA 3.7- VALORES MÉDIOS DE METAIS PESADOS ENCONTRADOS EM RESÍDUOS SÉPTICOS

Parâmetro	Concentração encontrada (a)				Concentração Limite (a)		
	Lodo séptico	Lodo de Esgoto	EPA (b)	Lodo séptico	IAP (d)	CONAMA (e)	86/278/EEC (f)
Cádmio	3	7	39	7,9	20	26	20-40
Cromo	14	120	1200	5,6-70	1	1	-
Cobre	140	740	1500	31-9.193	1	1.5	1.000-1.750
Chumbo	35	130	300	9-190	750	500	750-1.200
Mercúrio	0,15	5	17	1,1-9,3	16	15	16-25
Molibdênio	-	4	18	3,6-6,4	-	50	-
Níquel	15	43	420	3--19	300	420	300-400
Selênio	2	5	100	<1	-	-	-
Zinco	290	1200	2800	148-514	2.5	3	2.500-4.000

FONTE: LEITE *et al* (2006)

NOTA: (a) Valores dados em mg/kg de MS de lodo, onde MS= matéria seca.

(b) EPA Domestic Septage Regulatory Guidance A guide to the EPA 503 rule. United States: Environmental Protection Agency:1993;

(c) Resíduos sépticos, levantamento feito em Curitiba, 2005.

(d) Valores da Instrução Normativa do IAP que se encontra em fase de aprovação;

(e) Valores da Resolução CONAMA que se encontra em fase de elaboração

(f) Valores aplicados pela Comunidade Econômica Européia. Directive 86/278/EEC, In Workshop on Harmonization of Sampling and Analysis Methods for Heavy Metals, Organic Pollutants and Pathogens in soil and sludge. European Commission, Joint Research Centre:2001. Stresa, Largo Maggiore, Italy. EUR19809EM.

c) Agentes patogênicos

A concentração de patógenos do lodo depende principalmente do nível de contaminação da população, podendo variar conforme as condições socioeconômicas e sanitárias da mesma, endemias regionais e ao tipo de tratamento ao qual o lodo é submetido (LEITE *et al*, 2006). Várias são as vias que o homem ou os animais podem se infectar. No entanto, a via oral é a mais importante epidemiologicamente, não podendo ser descartadas outras vias como inalação (ANDREOLI, VON SPERLING e FERNANDES,2001).

Dentre os grupos de organismos patogênicos presentes nos esgotos sanitários estão: helmintos, protozoários, vírus, bactérias e fungos. As concentrações de ovos de helmintos podem chegar a dez vezes mais que em águas residuárias (MONTANGERO *et al.* 2000 *apud* LEITE, INGUNZA e ANDREOLI, 2006). No entanto, os helmintos são os que apresentam maior capacidade de resistência às condições ambientais, assim sendo, quando realizado o controle destes, os demais também estarão em níveis admissíveis (LEITE *et al.*, 2006; POMPEO, 2011). A TABELA 3.8 apresenta alguns valores obtidos na avaliação de patógenos em lodos sépticos coletados em Curitiba e Região Metropolitana.

TABELA 3.8- PRESENÇA DE PATÓGENOS INDICADORES DA SANIDADE EM LODO DE DECANTO-DIGESTORES

VALORES	Coliformes Fecais (NMP/100ml)	Helmintos Totais (ovos/g MS)	Helmintos viáveis (ovos/g MS)
Média	7.588,49	18,12	1,23
Desvio	14.051,21	39,38	2,26
Mínimo	<0,3	0	0
Máximo	46.000,00	357,42	56,4

FONTE: LEITE *et al.* (2006)

d) DBO e DQO

A relação DQO/DBO indica o grau de biodegradabilidade de um resíduo. Em se tratando de esgoto sanitário a relação situa-se próximo a 2. No entanto, para resíduos sépticos pode chegar a 5, conforme observado na TABELA 3.9 (LEITE *et al.*, 2006).

TABELA 3.9- VALORES DE DBO E DQO PARA LODO SÉPTICO

PARÂMETRO	MENESES <i>et al.</i> (2001)	CASSINI (2003)	ROCHA E SANT'ANNA (2005)	LEITE <i>et al.</i> (2006)	TACHINII, BELI FILHO E PINHEIRO (2006)	BELLI FILHO <i>et al.</i> (2007)	ANDREOLI <i>et al.</i> (2009)
DBO	2.434	2.808	2.829	1.863	11.424	1.890	2.734
DQO	6.895	10.383	7.912	9.419	23.824	6.199	11.219
DQO/DBO	2,83	3,70	2,80	5,06	2,09	3,28	4,10

FONTE: LEITE *et al.* (2006)

e) pH

Os valores de pH limitam-se à faixa de 6 a 9, podendo ser usado como indicador de contaminação por efluentes industriais. A TABELA 3.10 mostra valores encontrados na literatura técnica referente a este parâmetro.

TABELA 3.10- VALORES DE pH PARA LODOS DE DECANTO-DIGESTORES

PARÂMETRO	BRANDES (1978)	USEPA (1977)	SEBASTIER (1983)	DÉRANGÈR E (1988)	CASSINI (2003)	FIÚZA (2003)	ROCHA SANT'ANNA	CURITIBA (2005)	ANDREOLI <i>et al.</i> (2009)
pH	6,5	6--9	8,8	6,9	6,69	6--8	7,1	7,8	7,2

FONTE: ROCHA E SANT'ANNA (2005) *apud* LEITE *et al.* (2006)

f) Óleos e Graxas

O termo óleo e graxa (O&G), como é comumente utilizado, inclui gorduras, óleos, graxas e outros componentes encontrados no esgoto. Estes são provenientes da preparação e do uso de alimentos ou sob a forma de óleos minerais e derivados de petróleo (JORDÃO e PESSOA, 2011). Tipicamente os esgotos domésticos apresentam concentração entre 50 e 150 mg/L. Quimicamente os O&G são similares, geralmente compostos por hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, entre outros. Sua determinação é feita através da fração de matéria orgânica solúvel em hexanos, sendo este parâmetro também identificado como MSH – material solúvel em hexano (METCALF e EDDY, 2003). Outros problemas são: alteração das propriedades de sedimentação e baixa solubilidade, que reduz as taxas de degradação microbiana, ou seja, reduzem o oxigênio dissolvido devido à elevação da DBO_{5,20} e da DQO (HEINSS e STRAUSS, 1999).

A concentração elevada de óleos e graxas (acima de 300 mg L⁻¹) é fator de extrema importância que pode afetar negativamente a capacidade de sedimentação (SAMWAYS, 2010). Os valores encontrados na bibliografia para resíduos sépticos, referentes a este parâmetro, encontram-se na TABELA 3.11.

TABELA 3.11- VALORES MÉDIOS PARA ÓLEOS E GRAXAS EM RESÍDUOS SÉPTICOS

PARÂMETRO	MENESES <i>et al.</i> (2001)	CASSINI (2003)	ROCHA E SANT'ANNA (2005)	LEITE <i>et al.</i> (2006)	TACHINII, BELLI FILHO E PINHEIRO (2006)	BELI FILHO <i>et al.</i> (2007)	ANDREOLI <i>et al.</i> (2009)
Óleos e Graxas (mg/L)	531	1.588	971	588	-	327	1.908

FONTE: Adaptado de LEITE *et al.* (2006)

g) Estabilidade do lodo

Existe uma grande variação da estabilidade do material, em função principalmente do tempo de detenção. Este parâmetro é usualmente mensurado, considerando-se as relações sólidos totais voláteis e sólidos totais (SV/ST) e DQO/DBO que fornece uma boa indicação da fração orgânica dos sólidos no lodo, bem como o nível de digestão do lodo. Em lodos não digeridos, a relação entre sólidos totais voláteis e os sólidos totais (STV/ ST) é entre 0,75 e 0,80 ao passo que de lodos digeridos estes valores situam-se entre 0,60 e 0,65 (ANDREOLI *et al.*, 2001). Ou seja, quanto mais estabilizado o resíduo séptico menor é a relação, pois, menor é a quantidade de sólidos voláteis. A TABELA 3.12 mostra a variação desta relação encontrada na literatura técnica.

TABELA 3.12- RELAÇÃO (SVT/ST) E (DQO/DBO)

PARÂMETRO	MENESES <i>et al.</i> (2001)	CASSINI (2003)	FIÚZA (2003)	ROCHA E SANT'ANNA	LEITE <i>et al.</i> (2006)	TACHINII, BELLI FILHO E	BELI FILHO <i>et al.</i> (2007)	ANDREOLI <i>et al.</i> (2009)
SV/ST	0,27	0,65	0,75	0,3	0,53	0,6	0,47	0,65
DQO/DBO	2,83	3,7	-	2,8	5,06	2,09	3,28	4,1

FONTE: Adaptado de LEITE *et al.* (2006)

h) Discussão da variabilidade dos valores

Os resultados apresentados anteriormente mostram grande variabilidade dos parâmetros referentes ao lodo séptico. Estas oscilações podem ser devido a: parâmetros de projeto dos tanques sépticos (taxa de acumulação de lodo, período de detenção, tipo de contribuição em função do tipo de prédio e ocupantes), tipo de material removido (escuma, clarificado e lodo) e do próprio clima do local de realização dos estudos.

i) Tratamento do lodo de tanques sépticos

Segundo a EPA (1999), as alternativas de tratamento de lodo provenientes de tanques sépticos podem ser divididas em dois grandes grupos: tratamento isolado ou independente e combinado (para tecnologias de tratamento em conjunto com o esgoto sanitário).

O tratamento preliminar é empregado visando à remoção de sólidos grosseiros e materiais inadequados ao tratamento biológico ou que possam prejudicar a aplicação do lodo no solo (LUPATINI, 2009). Segundo o mesmo autor, dentre os sistemas de tratamento com ênfase na fase líquida, pode-se citar lagoas para acumulação e tratamento, digestão anaeróbia e *wetlands* construídos. Em se tratando de fase sólida, recomenda-se estabilização alcalina mediante adição de cal e compostagem. A reciclagem agrícola do lodo séptico em sistemas de aplicação no solo objetiva melhorar as características do solo em relação à textura, capacidade de retenção de água e disponibilidade de nutrientes como nitrogênio e fósforo, o que viabiliza condições mais favoráveis para o crescimento da vegetação (EPA, 1995). As opções de disposição no solo dividem-se em aplicação superficial e incorporação superficial. O *landfarming* ou tratamento no solo não utiliza os nutrientes oriundos do lodo para fins produtivos. O objetivo é biodegradação do lodo pelos micro-organismos presentes no perfil arável e a retenção de metais na camada superficial do solo (ANDREOLI *et al.* 2009).

j) Potencial Agronômico

O uso agrícola de lodo de esgoto no Paraná é normatizado em nível Federal, pela Resolução CONAMA 375/2006 (BRASIL, 2006) e pelo Decreto nº 4954 de 14 de Janeiro de 2004 (BRASIL, 2004). Em nível Estadual a Resolução SEMA 021/09 (PARANÁ, 2009) dispõe sobre licenciamento ambiental e estabelece condições, padrões ambientais e classificação. A TABELA 3.13 reproduz a existente no CONAMA 375/2006, a qual classifica os lodos de acordo com suas características microbiológicas. No entanto, não existe legislação específica para o uso agrícola do lodo séptico.

TABELA 3.13- CLASSES DE LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO PELA PRESENÇA DE AGENTES PATOGENICOS.

TIPO DE LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO	CONCENTRAÇÃO DE PATÓGENOS
A	Coliformes Termotolerantes 10^3NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST Salmonella ausência em 10 g de ST Vírus < 0,25 UFP ou UFF / g de ST
B	Coliformes Termotolerantes 10^6 NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST

FONTE: CONAMA (2006)

Segundo Leite *et al.* (2006), o Nitrogênio e o Fósforo são os principais nutrientes presentes no lodo séptico. Quando o lodo apresenta baixos teores de sólidos, os teores de Potássio também apresentam potencial agrônômico, pois a maior parte deste elemento se apresenta solubilizada na água que compõe o lodo. Estes nutrientes, além dos macronutrientes associados à alta quantidade de matéria orgânica, são os principais componentes que podem trazer benefícios potenciais para possível aplicação de lodo séptico em áreas agrícolas, florestais e degradadas (EPA, 1993).

3.1.2.2 Produção de Lodo em tanques-sépticos

A NBR 7229/1993, estima a taxa de produção de lodo nos tanques sépticos dependendo do tipo de efluente e da fonte geradora. A taxa de acumulação do lodo é uma função do volume de lodo digerido e dos intervalos

entre as limpezas. A TABELA 3.14 reproduz a contida na referida norma, fornece valores a serem utilizados no dimensionamento das unidades de tratamento.

TABELA 3.14- CONTRIBUIÇÃO DIÁRIA DE DESPEJOS E CARGA ORGÂNICA.

PRÉDIO	Unidade	Contribuição		
		Despejo (litros)/dia	Lodo fresco (litros)/dia	Carga Orgânica DBO g/d
Ocupantes Permanentes				
Residência	Pessoa	160	1,00	50
Padrão alto	Pessoa	130	1,00	45
Padrão médio	Pessoa	100	1,00	40
Padrão baixo	Pessoa	100	1,00	30
Hotéis(sem cozinha e lavanderia)	Pessoa	80	1,00	30
Alojamentos provisórios	Pessoa			
Ocupantes Temporários				
Fábricas em geral	Pessoa	70	0,30	25
Escritórios	Pessoa	50	0,20	25
Edifícios públicos ou comerciais	Pessoa	50	0,20	25
Escolas - Externatos e locais de longa permanência	Refeição	50	0,20	20
Restaurantes e similares	Pessoa	25	0,10	25
Cinemas, teatros e locais de curta permanência	Bacia sanitária	2	0,02	1
Sanitários Públicos		480	4,00	120
*Apenas de acesso aberto ao público (estação rodoviária, ferroviária, logradouro público, estádio de esportes, locais para eventos, etc.).				

FONTE: NBR 7729 (1993)

Andreoli *et al.* (2001) dispõem sobre as características e quantidades de lodo produzidos em vários sistemas de tratamento de esgotos. Estes valores encontram-se na TABELA 3.15. Segundo o mesmo autor, a produção de lodo no tratamento primário, depende da eficiência da remoção de SST nos decantadores primários. Esta eficiência pode ser também entendida como captura de sólidos.

A vazão de lodo pode ser estimada pela equação:

$$Vazão\ de\ lodo\ \left(\frac{m^3}{dia}\right) = \frac{Carga\ SS\ \left(\frac{kgSST}{dia}\right)}{\frac{Sólidos\ secos(\%)}{100} * Massa\ específica\ lodo\ \left(\frac{kg\ lodo}{m^3\ lodo}\right)} \quad (2)$$

A massa específica dos lodos resultantes dos tipos de tratamento encontram-se na TABELA 3.16.

TABELA 3.15- CARACTERÍSTICAS DO LODO PRODUZIDO E DESCARTADO DA FASE LÍQUIDA (DIRIGIDA A ETAPA DE TRATAMENTO DO LODO)

SISTEMA	kg SST/kg DQO aplicada	Teor de sólidos secos (%)	Massa de lodo (gSST/hab.dia) (a)	Volume de lodo (L/hab.dia) (b)
Tratamento primário (tanques sépticos)	0,35-0,45	3.6	20-30	0,3 - 1,0
Tanque séptico + filtro anaeróbio				
Tanque Séptico	0,35-0,45	3.6	20-30	0,3 - 1,0
Filtro Anaeróbio	0,07-0,09	0,5-4,0	7-9	0,2-1,8
Total	0,27-0,39	1,4-5,4	27-39	0,5-2,8

FONTE: ANDREOLI *et al.*(2001)

NOTA: (a) Assumindo 0,1 kgDQO/hab.dia e 0,06 kgSST/hab.dia

(b) Litros de lodo/hab.dia = ((gSST/hab.d.)/(sólidos secos (%))*(100/1000))(assumindo densidade do lodo de 1000 kg/m³)

TABELA 3.16- VALORES USUAIS DE DENSIDADE DO LODO

TIPO DE LODO	DENSIDADE (g/cm ³)	MASSA ESPECÍFICA (kg/m ³)
Lodo primário	1,02-1,03	1020-1030
Lodo secundário anaeróbio	1,02-1,03	1020-1030
Lodo secundário aeróbio	1,005-1,025	1005-1025
Lodo adensado	1,02-1,03	1020-1030
Lodo digerido	1,03	1030
Lodo desidratado	1,05-1,08	1050-1080

FONTE: ANDREOLI *et al.* (2001)

3.2 TEORIA DA SEDIMENTAÇÃO

A sedimentação é o termo aplicado à sedimentação física de partículas em suspensão mais densas que o líquido circundante, através de decantação por gravidade (CAMPOS *et al*,2009).

Segundo Von Sperling (1996) as principais aplicações da sedimentação no tratamento de esgotos estão no: tratamento preliminar (remoção de areia-partículas inorgânicas de maiores dimensões), tratamento primário (remoção de sólidos em suspensão), tratamento secundário (remoção de sólidos biológicos), tratamento do lodo (sedimentação e adensamento do lodo primário e/ou do lodo biológico excedente), tratamento físico químico (sedimentação após precipitação química)(VON SPERLING, 1996). Na maioria dos casos, a sedimentação tem como principal objetivo a produção de um efluente clarificado, sendo também desejável a formação de um lodo com uma concentração de sólidos que seja mais facilmente tratável (METCALF e EDDY, 2003). Entre as principais vantagens da sedimentação estão o baixo custo e a facilidade de operação do sistema.

Existem basicamente quatro tipos de sedimentação, descritas conforme a TABELA 3.17.

3.2.1 Sedimentação de Partículas Discretas - Tipo 1

A sedimentação de partícula discreta pode ser analisada através das leis clássicas de sedimentação formuladas por Newton e Stokes. A lei de Newton fornece a velocidade uniforme de uma partícula, através da igualdade das forças que atuam na mesma quando em um meio líquido (AISSE, 1985). A força gravitacional é dada por:

$$F_G = (\rho_p - \rho_w)gV_p \quad (3)$$

Onde:

F_g = Força gravitacional, MLT^{-2}

ρ_p = Massa específica da partícula, ML^{-3}

ρ_w = Massa específica, ML^{-3}

g =Aceleração da gravidade, LT^{-2}

V_p =Volume da partícula, L^{-3}

TABELA 3.17- TIPOS DE SEDIMENTAÇÃO

TIPO	DESCRIÇÃO	EXEMPLO
<i>Discreta</i>	As partículas sedimentam-se, mantendo sua identidade, ou seja, não se aglutinam. Dessa forma, são conservadas as suas propriedades físicas, tais como forma, tamanho e densidade	Caixa de areia
<i>Floculenta</i>	As partículas aglomeram-se a medida em que sedimentam. As características são alteradas, com o aumento do tamanho (formação de flocos) e em decorrência, da velocidade de sedimentação	Decantadores primários. Parte superior dos decantadores secundários. Flocos químicos no tratamento físico-químico.
<i>Zonal</i>	Quando se tem uma elevada concentração de sólidos, forma-se um manto que sedimenta como uma massa única de partículas. Observa-se uma nítida interface de separação entre a fase sólida e a fase líquida, e o nível da interface se move para baixo como resultado da sedimentação da manta de lodo. Neste caso, a velocidade de sedimentação da interface que é utilizada no dimensionamento dos decantadores.	Decantadores secundários
<i>Compressão</i>	Caso a concentração dos sólidos seja ainda mais elevada, a sedimentação pode ocorrer apenas por compressão da estrutura das partículas. A compressão ocorre devido ao peso das partículas, constantemente adicionadas como resultado da sedimentação das partículas situadas no líquido sobrenadante. Com a compressão, parte da água é removida da matriz do floco, reduzindo o seu volume.	Fundo de decantadores secundários. Adensadores por gravidade.

FONTE: VON SPERLING(1996)

A força de atrito depende da velocidade da partícula, densidade e viscosidade do fluido, diâmetro da partícula e coeficiente de arrasto C_d (adimensional) e é dado por:

$$F_d = \frac{C_d A_p \rho_w v_p^2}{2} \quad (4)$$

Onde:

F_d = Força de arrasto, MLT^{-2}

C_d = Coeficiente de arrasto (adimensional)

A_p = Seção transversal ou área projetada das partículas na direção do fluxo, L^2

v_p = Velocidade de sedimentação da partícula, LT^{-1}

Igualando as equações (3) e (4) considerando partículas esféricas obtemos a Lei de Newton:

$$v_{p(t)} = \sqrt{\frac{4g}{3C_d} \left(\frac{\rho_p - \rho_w}{\rho_w} \right) d_p} \approx \sqrt{\frac{4g}{3C_d} (sg_p - 1) d_p} \quad (5)$$

Onde:

$v_{p(t)}$ = Velocidade uniforme da partícula LT^{-1} ,

d_p = diâmetro da partícula, L

sg_p = gravidade específica da partícula.

O coeficiente de arrasto C_d resulta em diferentes valores dependendo em qual regime está a partícula, laminar ou turbulento, sendo mostrado como função do número de Reynolds. Existem mais ou menos três regiões distintas, as quais dependem do Número de Reynolds: laminar ($Re < 1$), transição ($Re = 1 - 2000$) e turbulento ($Re > 2000$). Adotando partículas esféricas, o coeficiente de arrasto pode ser representado pela curva da FIGURA 3.3, que se aproxima da equação (METCALF e EDDY, 2003):

$$C_d = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34 \quad (6)$$

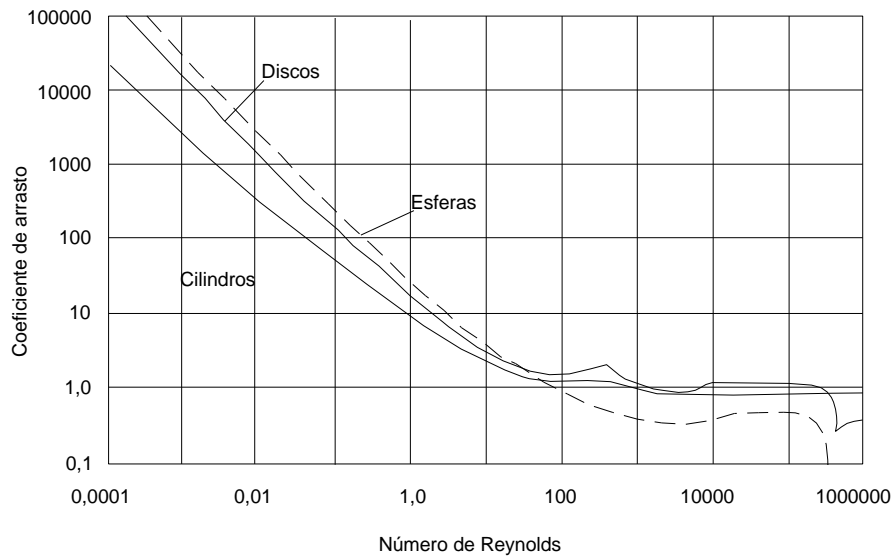


FIGURA 3.3- COEFICIENTE DE ARRASTO EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE REYNOLDS
 FONTE: METCALF e EDDY (2003)

Para número de Reynolds em região laminar a equação resultará na Lei de Stokes:

$$v_p = \frac{g(\rho_p - \rho_w)d_p^2}{18\mu} \approx \frac{g(sg_p - 1)d_p^2}{18\nu} \quad (7)$$

E a força de atrito é dada por:

$$F_d = 3\pi\mu v_p d_p \quad (8)$$

Para Re na região laminar é válida a teoria de Hazen-Allen(AISSE,1985):

$$v_s = 0,25 \left(\frac{\rho_p - \rho_w}{\rho_w} \right)^{\frac{2}{3}} * \frac{d - 0,034}{\nu^{\frac{1}{3}}} \quad (9)$$

Para Re na região turbulenta

$$v_p = \sqrt{3,33g \left(\frac{\rho_p - \rho_w}{\rho_w} \right) d_p} \approx \sqrt{3,33g(sg_p - 1)d_p} \quad (10)$$

A FIGURA 3.4 pode ser utilizada para determinar a velocidade de sedimentação de partículas discretas, em água em repouso a 10°C, em função do diâmetro e peso específico das partículas (METCALF e EDDY, 2003).

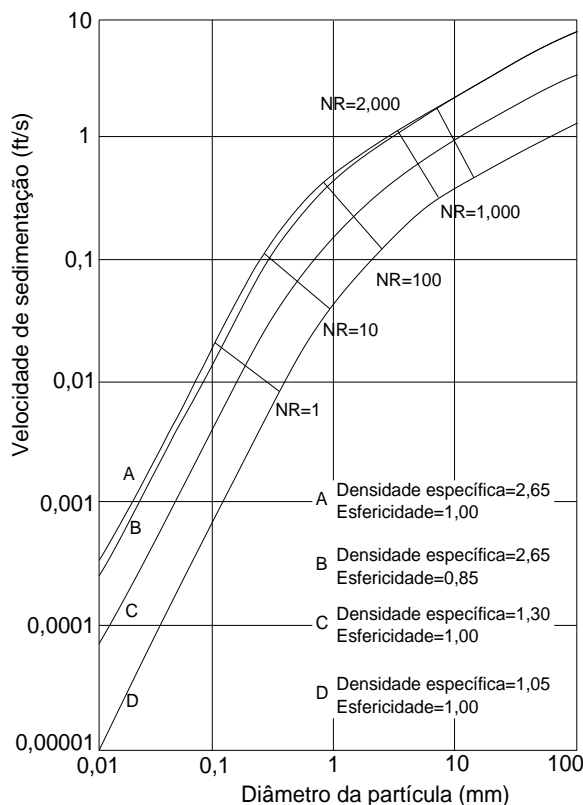


FIGURA 3.4- VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO DE PARTÍCULAS DISCRETAS A 10°C
 FONTE: METCALF e EDDY (2003)

No dimensionamento de sedimentadores, o procedimento usual é selecionar a partícula com velocidade crítica e projetar considerando que todas as partículas com velocidade igual ou maior a v_c serão removidas. A taxa a qual a clarificação da água é obtida é igual a

$$Q = A * v_c \quad (11)$$

Onde:

$$Q = \text{vazão}, L^3T^{-1}$$

$$A = \text{área superficial do tanque de sedimentação}, L^2$$

$$v_c = \text{velocidade de sedimentação da partícula}, LT^{-1}$$

Rearranjando tem-se,

$$v_c = \frac{Q}{A} \quad (12)$$

Portanto, a velocidade crítica é equivalente à taxa de aplicação superficial. A sedimentação de partícula discreta ideal, em três diferentes tipos de tanques, está ilustrada na FIGURA 3.5.

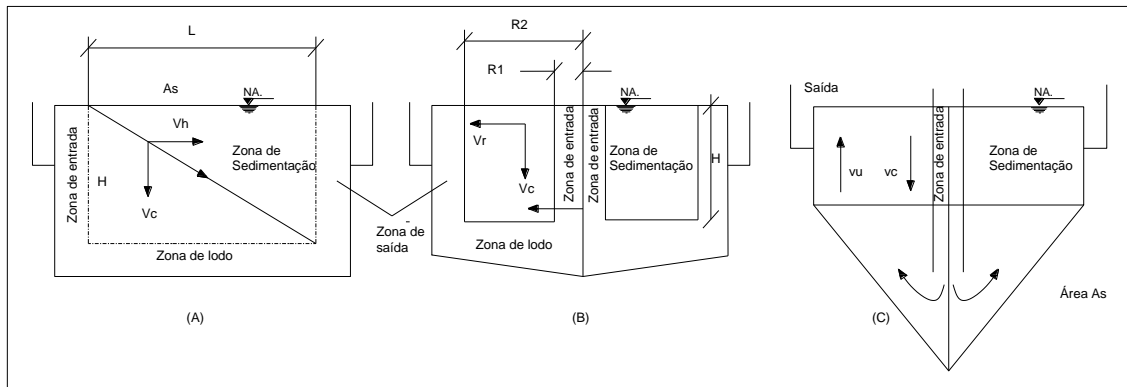


FIGURA 3.5 – DECANTADORES – (a) RETANGULAR, (b) CIRCULAR, (c) ASCENDENTE
 FONTE: METCALF e EDDY(2003)

Partículas que têm velocidade inferior a v_c não serão removidas completamente durante o tempo previsto para a sedimentação. Assumindo que partículas de diversos tamanhos estão uniformemente distribuídas ao longo de toda a profundidade, na entrada do tanque, as partículas com velocidade de sedimentação inferior a v_c serão removidas na razão $\frac{v_p}{v_c}$. Isto pode ser visto pela análise da trajetória de partículas, conforme a FIGURA 3.6.

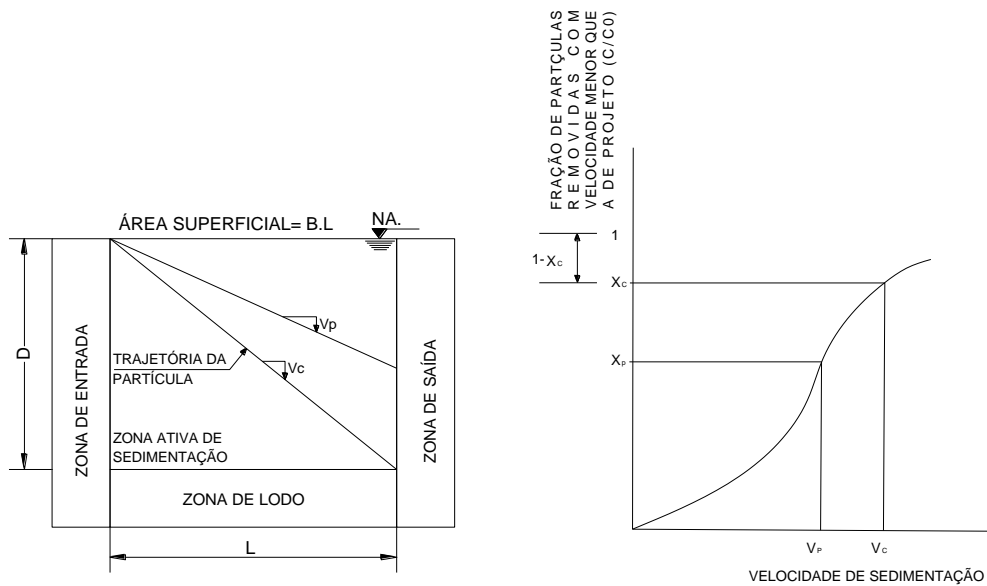


FIGURA 3.6- CURVA PARA OBTENÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO PARA PARTÍCULAS DISCRETAS EM UM DECANTADOR IDEAL
 FONTE: AISSE(1985)

Na maioria das suspensões no tratamento de águas residuárias, uma ampla variação no tamanho das partículas será encontrada. Para determinar a eficiência de remoção para um determinado tempo de detenção, é necessário considerar toda a faixa de velocidades de sedimentação presentes no sistema. Estas velocidades podem ser obtidas mediante o uso de colunas de sedimentação, onde os dados obtidos são utilizados para construir as curvas de velocidades. Para uma determinada vazão, somente partículas com velocidade superior a velocidade limite de projeto são removidas. As partículas remanescentes são removidas na razão v_p/v_c . A fração total de partículas removidas é dada pela equação (METCALF e EDDY, 2009; AISSE, 1985):

$$\text{Fração removida} = (1 - X_c) + \int_0^{x_c} \frac{v_p}{v_c} dx \quad (13)$$

Onde:

$1 - X_c$ = fração de partículas com velocidade v_p maiores que v_c

$\int_0^{x_c} \frac{v_p}{v_c} dx$ = fração de partículas removidas com v_p menor que v_c

Para partículas discretas dentro da faixa de velocidades de sedimentação, a seguinte expressão deve ser usada:

$$\text{Fração total removida} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{v_{ni}}{v_c} (n_i)}{\sum_{i=1}^n n_i} \quad (14)$$

Onde:

v_n = velocidade média das partículas na faixa de velocidades;

n_i = número de partículas na faixa de velocidades.

Visando o dimensionamento de decantadores de partículas discretas utiliza-se a seguinte relação:

$$TAS = v_c = \frac{h}{t} = \frac{Q \cdot h}{V} = \frac{Q \cdot h}{A \cdot h} \quad (15)$$

3.2.2 Sedimentação de Partículas Floculentas - Tipo 2

Na sedimentação floculenta, as partículas se aglomeram, formando flocos que tendem a crescer de tamanho a medida que sedimentam. Ao contrário do que ocorre na sedimentação discreta, a trajetória das partículas é curva e não reta, pois as partículas passam a ganhar maior velocidade a medida que aumentam de peso e tamanho (JORDÃO e PESSOA, 2011). Dessa forma, todo o processo depende das características de floculação e sedimentação das partículas (MACHADO *et al.* 2011). Essa sedimentação é verificada na remoção de flocos químicos nos decantadores, na remoção da parcela dos sólidos suspensos no decantador primário e aplica-se também a parte superior do decantador secundário (VON SPERLING, 1996). A FIGURA 3.7 mostra o processo de formação de flocos e o aumento da velocidade de sedimentação em uma coluna de sedimentação.

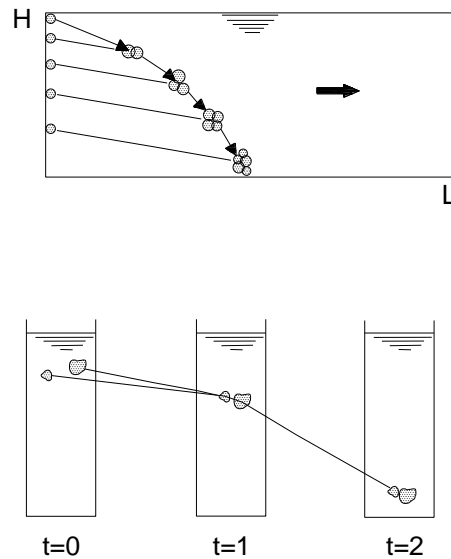


FIGURA 3.7- SEDIMENTAÇÃO DE PARTÍCULA FLOCULENTA
 FONTE: VON SPERLING (1996)

Não existem modelos matemáticos ou teóricos capazes de representar a floculação na suspensão, sendo necessário recorrer à determinação experimental para se estabelecer os parâmetros de projeto (JORDÃO e PESSOA, 2011). A floculação e a sedimentação são influenciadas por muitos fatores, tais como: campo de velocidades de escoamento, concentração de sólidos em suspensão (SST), dimensão e densidade das partículas, densidade e viscosidade do fluido (VON SPERLING, 2006 *apud* MACHADO *et al.* 2011; JORDÃO e PESSOA, 2009).

As características de sedimentação das partículas floculentas podem ser obtidas através do uso de colunas de sedimentação. Tal coluna deve ter diâmetro qualquer, porém, profundidade semelhante a que se propõe para o tanque de sedimentação (METCALF e EDDY, 2003). O método mais tradicional de se determinar as características de sedimentação da suspensão é a partir da coluna de sedimentação, onde, em intervalos regulares de tempo e várias profundidades, é feita a análise dos sólidos suspensos, conforme a TABELA 3.18 (AISSE, 1985). A percentagem removida é calculada para cada amostra e representada ao longo do tempo e profundidade em forma de curvas ou de

malha, conforme a FIGURA 3.8. (VON SPERLING, 1996 e METCALF e EDDY, 2003). A velocidade de sedimentação é, portanto:

$$v_c = \frac{H}{t_c} \quad (16)$$

Onde:

H = altura da coluna de sedimentação, (m)

t_c = tempo requerido para uma dada proporção removida

A fração de partículas removidas é dada por:

$$R, \% = \sum_{h=1}^n \left(\frac{\Delta h_n}{H} \right) \left(\frac{R_n + R_{n+1}}{2} \right) \quad (17)$$

Onde:

R = Remoção de Sólidos suspensos, %

n = número da curva de iguais percentagens de remoção;

Δh_n = distância entre curvas de igual percentagem de remoção, L

H = altura total da coluna de sedimentação, L

R_n = percentagem de remoção igual para curva de número n ;

R_{n+1} = percentagem de remoção igual para curva de número $n + 1$

Para fins de projeto, alguns autores recomendam a dividir a taxa de escoamento superficial obtida por fatores que variam de 1,25 a 1,75 e multiplicar o tempo de detenção obtido por um fator que varia entre 1,5 e 2,0 (GRIECO e LORENTI, 1977 *apud* AISSE, 1985).

TABELA 3.18- SEDIMENTAÇÃO DE PARTÍCULA FLOCULENTA: TABELA PARA OBTENÇÃO DE PERCENTAGENS DE REMOÇÃO DE SST

Tempo (min)	h1		h2		h3	
	SST	% Remoção	SST	% Remoção	SST	% Remoção
0		0		0		0
5		.		.		.
15		.		.		.
30		.		.		.
45		.		.		.
60		.		.		.
90		.		.		.
.		.		.		.
.		.		.		.
.		.		.		.

FONTE: Adaptado de AISSE (1985)

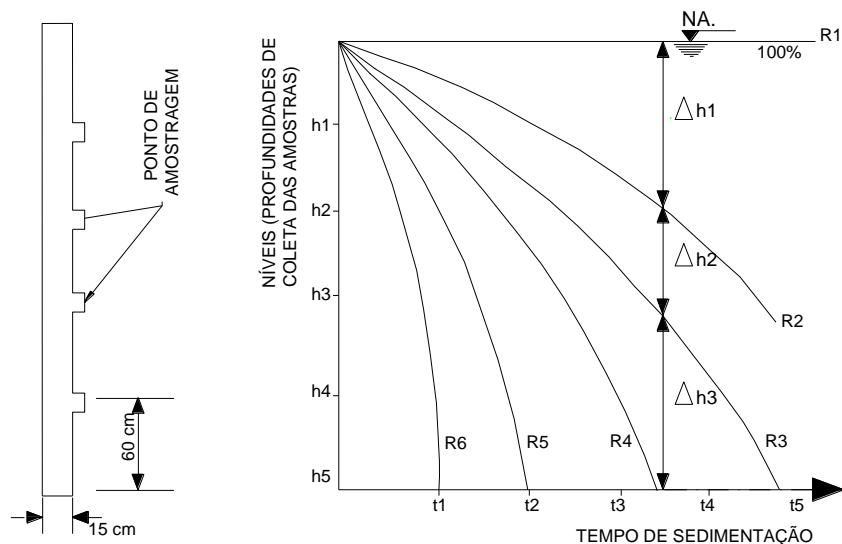


FIGURA 3.8- GRÁFICO PARA OBTENÇÃO DE PERCENTAGENS DE REMOÇÃO (R) DE SST
FONTE: AISSE (1985)

3.2.3 Sedimentação Zonal – Tipo 3

Em sistemas que possuem alta concentração de sólidos, os quatro tipos de sedimentação podem ocorrer (AISSE, 1985).

Quando se tem um elevado teor de sólidos, estes tendem a formar um manto que sedimenta como uma massa única de partículas. Observa-se uma nítida interface de separação entre a fase sólida e a fase líquida (clarificada), e o nível da interface se move para baixo como resultado da sedimentação da manta de lodo como mostrado na FIGURA 3.9 (VON SPERLING, 1996). A

velocidade de sedimentação desta interface é usualmente utilizada para o dimensionamento de decantadores secundários.

As partículas remanescentes na região de águas clarificadas geralmente sedimentam como partículas discretas ou floculentas. Em muitos casos uma interface não tão bem definida desenvolve-se entre a região da sedimentação retardada e a região superior (AISSE, 1985).

Devido a variabilidade encontrada, testes de sedimentação são necessários para determinar as características de sedimentação da suspensão. Os dados obtidos a partir do ensaio em colunas de sedimentação podem fornecer dois diferentes métodos para dimensionamento, para se obter a área superficial das unidades de decantação. A primeira abordagem refere-se ao teste de sedimentação descontínuo em colunas, desenvolvido por Talmage e Fitch, e o segundo pela Teoria do Fluxo de sólidos (METCALF e EDDY, 2003).

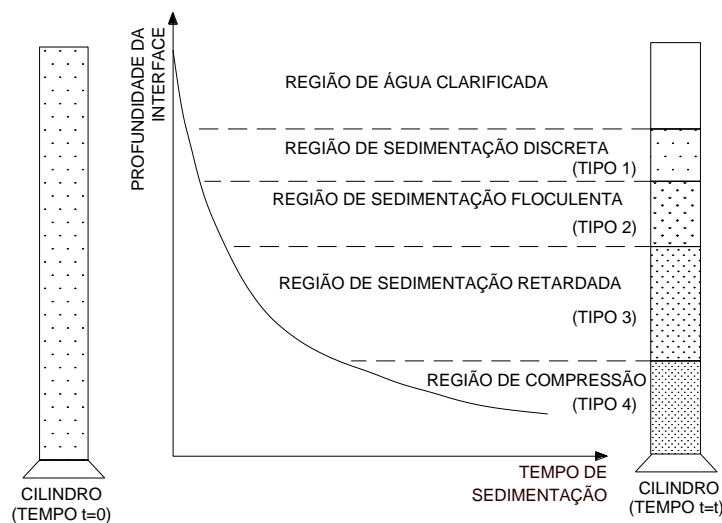


FIGURA 3.9- SEDIMENTAÇÃO ZONAL

FONTE: AISSE(1985)

A teoria do fluxo de sólidos é uma importante ferramenta para o dimensionamento e controle de decantadores secundários. Entende-se por fluxo a carga de sólidos por unidade de área. No entanto, sua utilização é muitas vezes dificultada devido ao desconhecimento dos parâmetros

caracterizados da sedimentabilidade do lodo (VON SPERLING e FROES, 1998). Segundo os mesmos autores, os coeficientes importantes na teoria do fluxo de sólidos são aqueles que representam a velocidade de sedimentação da interface. Dentre as relações empíricas utilizadas para expressar este parâmetro, considerando lodos ativados, tem-se (AISSE, 1985):

$$v = v_0 * e^{-kc} \quad (18)$$

Onde:

v - velocidade de sedimentação na interface, LT^{-1} ;

C =concentração de sólidos em suspensão, ML^{-1} ;

v_0 e k - coeficientes da equação.

A sedimentabilidade do lodo pode ser inferida através de curvas de sedimentação. No entanto, muitas vezes na estação de tratamento de esgotos se deseja apenas uma avaliação mais simplificada da decantabilidade com vistas principalmente ao levantamento de dados para o controle operacional da estação (VON SPERLING, 1996). Esta metodologia foi proposta por diversos autores visando expressar a velocidade de sedimentação do lodo em função de variáveis facilmente determináveis (FROES e VON SPERLING, 1998).

O Índice Volumétrico de Lodo (IVL) propicia uma avaliação simplificada da decantabilidade do lodo com vistas especialmente ao levantamento de dados para o controle operacional de uma Estação de Tratamento de Esgotos. É definido como o volume ocupado por 1g de lodo após uma decantação de 30 minutos e é dado pela seguinte fórmula (VON SPERLING,1996):

$$IVL = \frac{H_{30} * 10^6}{H_0 * SS} \quad (19)$$

Sendo que:

IVL – Índice Volumétrico de Lodo, $L.M^{-1}$

H_{30} - Altura da interface após 30 minutos, L

H_0 - altura da interface no instante 0, L

SS- Concentração dos sólidos em suspensão da amostra, $M. L^{-1}$

As principais variantes do teste IVL são:

- Teste sem agitação durante o período de sedimentação **(IVL)**
- Teste sem agitação em com diluição da amostra **(IVLD)**
- Teste com agitação durante o período de sedimentação **(IVLA)**
- Teste com agitação e expressão dos resultados na concentração padronizada **(IVLA3,5)**

A interpretação do Índice Volumétrico do Lodo (IVL) se faz no sentido de que, quanto maior o seu valor, pior é a decantabilidade do lodo, ou seja, o lodo ocupa um maior valor no decantador secundário(VON SPERLING, 1996).

3.2.4 Sedimentação a Compressão – Tipo 4

Refere-se às partículas que, estando em elevada concentração, uma estrutura é formada e a sedimentação somente pode ocorrer por compressão. A compressão é lenta, pois o líquido é deslocado para dar lugar a partículas que se movem com velocidades cada vez menores, motivadas pela redução de espaços existentes. Esse tipo usualmente no fundo dos decantadores secundários e nas estruturas de espessamento de lodo (AISSE,1985).

De acordo com METCALF e EDDY (2003) o volume requerido na região de compressão pode ser determinado por testes de sedimentação. A taxa de consolidação na região de compressão é proporcional à diferença da profundidade no tempo e a profundidade na qual o lodo irá sedimentar após um longo período de tempo.

3.3 DECANTADORES E ADENSADORES

3.3.1 Decantador Primário

Decantadores primários são estruturas que recebem os esgotos provenientes das unidades do tratamento preliminar, os quais contêm sólidos suspensos, sendo que uma parte significativa destes sólidos é compreendida

pela matéria orgânica em suspensão (JORDÃO e PESSOA, 1995). Ou seja, os decantadores primários tem como finalidade remover uma substancial porção dos sólidos orgânicos que, caso contrário, serão transferidos ao tratamento secundário (METCALF e EDDY, 2003).

Os tanques de decantação podem ser circulares ou retangulares. Os esgotos fluem vagarosamente através dos decantadores, permitindo que os sólidos em suspensão com maior densidade em relação ao líquido, sedimentem gradualmente no fundo. Essa massa de sólidos sedimentada é denominada lodo primário bruto (VON SPERLING, 2005).

A eficiência dos decantadores está relacionada com a capacidade do tanque em permitir a conveniente sedimentação dos sólidos, sem que haja perturbação ou arraste destes sólidos antes de sua remoção ou transferência (JORDÃO e PESSOA, 1995). Essa eficiência pode ser aumentada através de agentes coagulantes. Assim a remoção de DBO pode atingir valores próximos a 70%, possibilitando a redução do volume das unidades de jusante (VON SPERLING, 2005).

As condições de sedimentação estão vinculadas especialmente à velocidade de sedimentação dos esgotos dentro do tanque, isto é, a taxa de escoamento superficial. Além desse parâmetro, pode-se relacionar a sedimentação ao tempo de detenção no decantador (JORDÃO e PESSOA, 2011).

Greeley (1938) *apud* Metcalf e Eddy (2003) fornece dados de remoção de DBO e ST nos decantadores primários, como função do tempo de detenção e concentração, conforme apresentado na FIGURA 3.10. As curvas mostradas são derivadas de observações quanto à operação de decantadores atuais. As relações curvilíneas da figura podem ser modeladas como hipérboles retangulares usando a relação:

$$R = \frac{t}{a + b * t} \quad (20)$$

Onde:

R – eficiência de remoção esperada

t – tempo de detenção, T

a, b – Constantes empíricas

Valores típicos das constantes empíricas para 20°C são mostrados na TABELA 3.19.

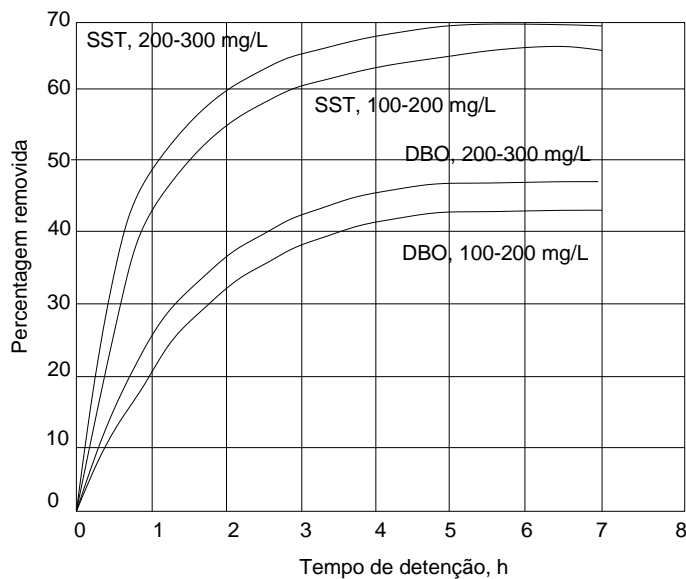


FIGURA 3.10– DECANTADOR PRIMÁRIO: PERCENTAGEM DE REMOÇÃO EM RELAÇÃO AO TEMPO DE DETENÇÃO

FONTE: METCALF e EDDY (2003)

NOTA: SST- Concentração de Sólidos Suspensos Totais no esgoto sanitário; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio no esgoto sanitário

TABELA 3.19- DECANTADOR PRIMÁRIO: VALORES TÍPICOS PARA AS CONSTANTES EMPÍRICAS ¹

Item	a	B
DBO	0,018	0,020
ST	0,0075	0,014

FONTE: METCALF e EDDY(2003)

NOTA: ¹ $R = \frac{t}{(a+b.t)}$

Em termos de qualidade a TABELA 3.20 identifica os valores de eficiência de remoção em decantadores primários. As dimensões típicas de

projeto para decantadores primários retangulares e circulares encontram-se na TABELA 3.21.

TABELA 3.20- EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO EM DECANTADORES PRIMÁRIOS

PARÂMETRO	VON SPERLING (1996)	JORDÃO e PESSOA (1995)	METCALF e EDDY (2003)
Sólidos Suspensos (%)	60 -70	40 – 60	50-70
DBO (%)	25 – 35	25 – 35	25-40

Os decantadores podem ser classificados de acordo com as suas características de projeto e construção (forma, fundo e sistema de remoção de lodo, sentido do fluxo, acionamento). O sistema de remoção do lodo no fundo do decantador pode ser manual (pressão hidrostática) ou mecanizada, sendo o resíduo encaminhado diretamente para os digestores ou adensadores.

A qualidade do lodo sedimentado e removido varia amplamente em função da composição do esgoto afluente, características do decantador, operação relativa à remoção do lodo. A TABELA 3.22 define algumas características do lodo removido de decantadores.

TABELA 3.21- DADOS TÍPICOS DE DIMENSIONAMENTO DE TANQUES CIRCULARES E RETANGULARES USADOS NO TRATAMENTO PRIMÁRIO DE ESGOTOS

ITEM	UNIDADE	FAIXA	VALOR TÍPICO
RETANGULAR			
Profundidade	(m)	3-4.9	4.3
Comprimento	(m)	15-90	24-40
Largura	(m)	3-24	4.9-9.8
Velocidade ascensional	(m/min)	0,6-1.2	0.9
CIRCULAR			
Profundidade	(m)	3-4.9	4.3
Diâmetro	(m)	3-60	12-45
Inclinação do fundo	(mm/mm)	1/16-1/6	1/12
Velocidade ascensional	(r/min)	0.02-0.05	0.03

FONTE: METCALF e EDDY (2003)

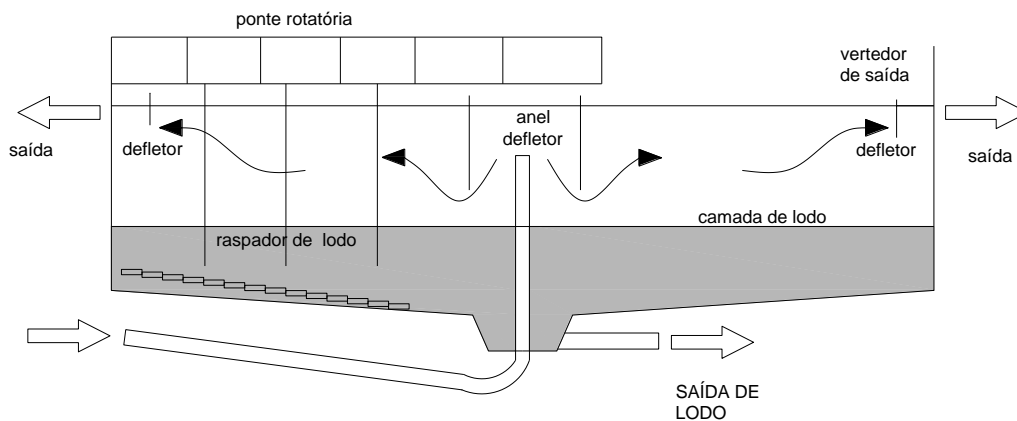


FIGURA 3.11- CORTE TRANSVERSAL DE UM DECANTADOR CIRCULAR
 FONTE: VON SPERLING (2005)

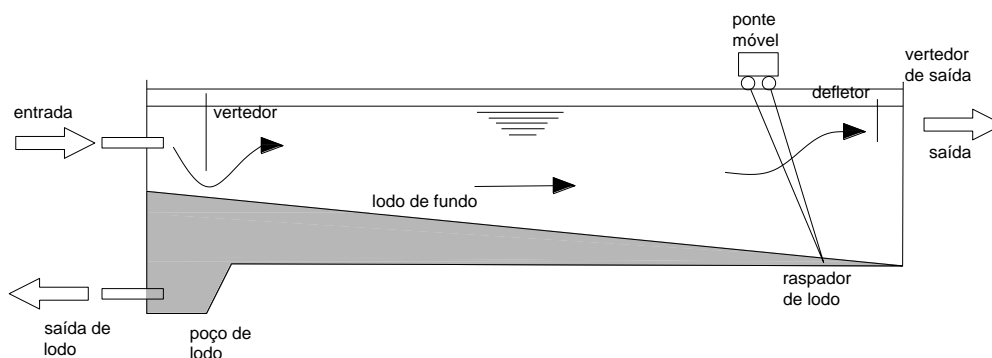


FIGURA 3.12- CORTE TRANSVERSAL DE UM DECANTADOR RETANGULAR
 FONTE: VON SPERLING (2005)

TABELA 3.22- CARACTERÍSTICAS DO LODO DE DECANTADORES PRIMÁRIOS⁽¹⁾

QUALIDADE	DESCRIÇÃO	OBSERVAÇÃO
Textura física	Não uniforme – granular	
Cor	Castanha	Corantes industriais podem modificar a cor do lodo. Será cinza escuro ou preto, de acordo com a septicidade do esgoto.
Densidade	Contém em média 3 a 8% de sólidos	A remoção de boa qualidade deverá ser realizada para o lodo cujo teor de sólidos varie de 5 a 7%.
Odor	Usualmente ofensivo	Pode ter pouco ou nenhum

		odor proveniente de despejos industriais como os que contem sais minerais.
Sólidos Voláteis	Varição média de 70 a 80% do total de sólidos secos	Eventualmente atingem valores de 85 e de 60%.
pH	Varição normal de 5,5 a 6,5. Valor médio 6,0.	Afetado por despejos industriais e pela septicidade do lodo
Alcalinidade total	Varia de 300-1.000 mg/L. valor médio 500-800 mg/L	-
Minerais ou sólidos não voláteis	Em torno de 30% dos sólidos secos	Se atingir mais que 30% poderá ser devido a presen
Septicidade	Não deverá haver	A septicidade é comum devido a: esgoto cru séptico, retenção demasiada, má qualidade do extravasamento do digestor.
Volume de lodo	0,3-1,0 L/hab.dia(²)	Grandes quantidades indicam remoção de lodo fino ou grande volume de despejos industriais. Pequena quantidade indica esgoto fraco, baixa eficiência do tanque ou grande quantidade de lodo flutuando.
Digestibilidade	Normalmente de fácil digestão	A má digestão do sólido cru indica despejos industriais indesejáveis, tais como metálicos ou material fibroso.
Teor de gordura	Normalmente variando entre 15 a 20 mg/L	Quantidades demasiadas provem de despejos industriais, tais como óleos ou despejos industriais de polimento de lã.
Drenabilidade no leito de secagem	Fraca	-

FONTE: (1) JORDÃO e PESSOA (1995) (2) ANDREOLI *et al* (2001)

Para efeito de dimensionamento, é utilizado o conceito de taxa de aplicação superficial - TAS. A NBR 12.209 (2009) estabelece estes valores conforme mostra na TABELA 3.23.

TABELA 3.23- TAXAS DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E TEMPOS DE DETENÇÃO PARA DECANTADORES PRIMÁRIOS

Tratamento Predecessor	Taxa (m ³ /m ² *dia)	Tempo de detenção hidráulico (h)
Filtração Biológica	60	3 (vazão média)
Lodos Ativados	90	1(vazão máxima)

FONTE: NBR 12.209 (2009)

3.3.2 Decantação Primária Quimicamente Assistida- CEPT

A combinação de floculador e decantador tem sido frequentemente usada no tratamento de água e em alguns casos no tratamento de esgotos, especialmente para acelerar o processo de sedimentação (METCALF e EDDY, 2003). A adição de reagentes químicos ao esgoto com o objetivo de promover a coagulação química e a floculação, acelerando a sedimentação vem recebendo a designação de Tratamento Primário Quimicamente Assistido-CEPT (JORDÃO e PESSOA, 2011). Na coagulação são empregadas baixas concentrações de sais de ferro, combinados ou não com polímeros catiônicos. Este processo permite a obtenção de elevadas eficiências de remoção de sólidos, matéria orgânica e fósforo, mesmo sob altas taxas de aplicação superficial (FIGUEIREDO *et al.* 2009). Por outro lado, o CEPT apresenta um custo operacional elevado em função da utilização de produtos químicos e a geração de elevadas quantidades de lodo (FIGUEIREDO *et al.* 2003). Segundo os mesmos autores, quando empregado antecedendo o tratamento secundário, face as elevadas remoções que promove, permite a redução das unidades subsequentes. A NBR 12.209 (2009) define que, para decantação quimicamente assistida, a taxa de escoamento superficial deve ser compatível com a eficiência de remoção desejada e ainda igual ou inferior a 90 m³/m²*dia.

Para obtenção de elevadas taxas de remoção, associadas a produção de lodo e a elevação da TAS, HARLEMAN e MURCOTT (2001) destacam a necessidade de direcionar estudos para o conhecimento mais aprofundado da relação entre coagulantes e os dispositivos de mistura. SHAO (1993) *apud* JIMÉNEZ descreve o tratamento primário avançado, cujas configurações são semelhantes a decantação convencional, diferindo apenas na adição de reagentes, geralmente cloreto férrico com dosagens entre 10 a 40 mg/L, combinadas a pequenas quantidades de polímero catiônico. A remoção de sólidos em suspensão atinge 80-85% e 50-55% para DBO.

3.3.2.1 Coagulação

A coagulação corresponde à desestabilização das partículas coloidais, obtida por redução das forças de repulsão entre as partículas com cargas negativas por meio da adição de produtos químicos apropriados (PAVANELLI, 2001). Essa depende de inúmeros parâmetros, tais como a alcalinidade, cor, pH, temperatura, turbidez, força iônica, presença de metais entre outros (AMIRTHARAJAH, 1989; DI BERNARDO, 1990 *apud* FRANCO, 2009). Existem quatro mecanismos diferentes de coagulação: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização de cargas, varredura, adsorção e formação de pontes (AISSE *et al.* 2001).

Compressão da camada difusa

Mecanismo caracterizado pela eliminação da estabilidade estática devido à predominância das forças de Van der Waals, maximizadas pela adição de íons de carga contrária a das partículas coloidais em suspensão (FRANCO, 2009). A adição destes íons resulta no adensamento da camada difusa, dessa forma, a influência do potencial Zeta é minimizada, resultando na desestabilização do meio (DI BERNARDO, 1993 *apud* PAVANELLI, 2002).

Adsorção e neutralização de cargas

Algumas espécies químicas são capazes de serem adsorvidas na superfície das partículas coloidais. Como tais espécies são de carga contrária a da superfície dos colóides, ocorrerá a desestabilização. Essa desestabilização é causada pelo coagulante em dosagens bem inferiores às do mecanismo de dupla camada (MENDES, 1989 *apud* PAVANELLI, 2002).

Varredura

Quando um sal de metal ou óxido é empregado em concentrações suficientemente altas para causar a rápida precipitação, as partículas coloidais são envolvidas pelos precipitados, e como este mecanismo independe da neutralização da carga dos colóides, a dosagem ótima do coagulante pode não corresponder à concentração de colóides a ser removida (AISSE, 2001).

Adsorção e formação de pontes

Alguns compostos orgânicos, sintéticos ou naturais, possuem longas cadeias moleculares capazes de atuar como coagulantes, uma vez que suas cadeias apresentam muitos sítios ionizáveis. Tais compostos podem ser classificados segundo os seus sítios ionizáveis, resultando em polímero: catiônico, aniônico, não iônico e anfótero (ODEGAARD, 1989 *apud* FRANCO, 2009).

Os sais de ferro, especialmente o cloreto férrico, são bastante eficientes na remoção de sólidos suspensos e fósforo e produzem bons flocos em amplo intervalo de pH (MANCUSO, 2000 *apud* MEYER, 2012). Os produtos mais comumente utilizados são:

Sulfato de Alumínio

O Sulfato de Alumínio é identificado pela fórmula molecular $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, disponibilizado em pedra, pó e soluções concentradas, sendo capaz de promover coagulação efetiva para faixas de pH entre 5,5 a 8,0 (FRANCO, 2009).

Cloreto Férrico

O cloreto férrico é amplamente utilizado para o tratamento de esgotos domésticos e industriais, sendo representado pela fórmula molecular $FeCl_3 \cdot 6H_2O$. Pode ser encontrado na forma líquida e sólida (FRANCO, 2009).

Agentes Alcalinos

Dentre os agentes precipitantes passíveis de utilização, os agentes alcalinos tais como óxido de cálcio (cal) e hidróxido de sódio (soda) são os mais comumente utilizados na indústria para o tratamento de efluentes e também para remoção de fósforo (PEREIRA NETO *et al.*, 2008; NAVAL *et al.*, 2005) A alcalinidade ao bicarbonato dos efluentes reage com a cal, justificando os altos valores requeridos de cal para a precipitação do fosfato de cálcio (GUALBERTO, 2009).

Auxiliares de Coagulação

Visando proporcionar maior decantabilidade dos flocos, beneficiando o tratamento como um todo, alguns produtos têm sido utilizados tais como: polímeros sintéticos, argilas bentônicas e sílica aditivada (FRANCO, 2009).

Os polímeros catiônicos tendem a atuar na neutralização das cargas negativas dos coloides das águas residuárias, e geralmente, têm peso molecular da ordem de 10^6 . Os polímeros não iônicos e aniônicos atuam na formação de pontes partícula-polímero-partícula e requerem peso molecular maior para serem efetivos (ODEGAARD, 1989 *apud* AISSE, 2001).

Em se tratando de condicionamento de lodo de ETEs, os polímeros catiônicos na maioria dos casos tem bom desempenho e melhoram a capacidade de drenagem material. Devido à presença natural de biopolímeros aniônicos do lodo, os polímeros catiônicos possuem maior eficiência, pois neutralizam a carga dessas moléculas e criam pontes de ligação que diminuem a capacidade de retenção da água livre e adsorvida (WPCF, 1983 *apud* MORTARA, 2011). Wu *et al.* (2000) também utilizaram polímero catiônico para

condicionamento de lodo de esgoto. Vanderhasselt e Verstraete (1998) estudaram os efeitos dos aditivos nas características de sedimentação do lodo.

3.3.2.2 Floculação

A floculação corresponde à etapa em que são fornecidas condições para o contato e agregação das partículas previamente desestabilizadas por coagulação química, visando à formação de flocos com tamanho e massa específica que favoreçam sua remoção por sedimentação (DI BERNARDO *et al.* 2002). Segundo o mesmo autor, a eficiência na unidade de floculação depende de diversos fatores como tipo de coagulante, pH, temperatura da água, concentração e idade do coagulante, tempo e gradiente de velocidade, entre outros.

3.3.2.3 Decantação

A sedimentação pode ser entendida como remoção das partículas formadas na etapa de floculação mediante ação da força gravitacional, responsável pela precipitação dos flocos (DI BERNARDO, 1993 *apud* FRANCO, 2009).

3.3.3 Decantador Secundário

Os decantadores secundários são utilizados no processo de lodos ativados, filtro biológico ou biodisco. Apresentam as mesmas características geométricas dos decantadores primários, bem como as mesmas condições operacionais. A grande diferença desta modalidade de decantadores está na maior quantidade dos sólidos suspensos, de tal forma, que cuidados devem ser tomados para não ultrapassar a taxa de sólidos recomendada.

Os decantadores secundários possuem importante papel no conjunto de tratamento, visto que, nestas unidades não ocorrem apenas sedimentação, mas também recirculação para o tanque de aeração e do excesso de lodo para adensadores (JORDÃO e PESSOA, 1995 *apud* BARBOSA, 1998).

Metcalf e Eddy (2011) afirmam que o decantador secundário deve desempenhar as funções de produzir um efluente clarificado com baixo valor de turbidez e concentração de sólidos e adensar o lodo sedimentado.

A NBR 12.209 (2009) também estabelece critérios de dimensionamento para decantadores secundários. A TABELA 3.24 fornece os valores propostos.

TABELA 3.24- CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES SECUNDÁRIOS SEGUNDO A NBR 12.209/2009

DECANTADOR SECUNDÁRIO – PROCESSO DE LODOS ATIVADOS		
Taxa de escoamento superficial(m ³ /m ² *d)	Idade do lodo (dias)	Relação A/M (kgDBO/kgSSVTA*d)
28	< 18	<0,15
20	<18	>0,15
16	>18	<0,15
DECANTADOR SECUNDÁRIOS – PROCESSO BIOLÓGICOS COM BIOFILME		
Taxa de escoamento superficial (m ³ /m ² .dia)		24

FONTE: NBR 12.209 (2009)

O método de Talmage e Fitch apresentado por Metcalf e Eddy (2003), determina a área requerida para o espessamento, utilizando a seguinte fórmula:

$$A = \frac{Q * t_u}{H_0} \quad (21)$$

Onde:

A= área requerida para o espessamento do lodo, L²

Q= vazão afluente ao tanque de aeração, L³.T⁻¹

t_u= tempo para atingir a concentração C

H= altura inicial da interface da coluna, L

✓ Construção de uma linha horizontal na profundidade H_u, que corresponde a profundidade na qual os sólidos estão em uma concentração desejada C_u. O valor de H_u é determinado usando a seguinte expressão:

$$H_u = \frac{C_o * H_0}{C_u} \quad (22)$$

Onde:

C_u = concentração inicial de sólidos desejada para a recirculação do lodo, mg/L

C_0 = concentração inicial de sólidos, mg/L

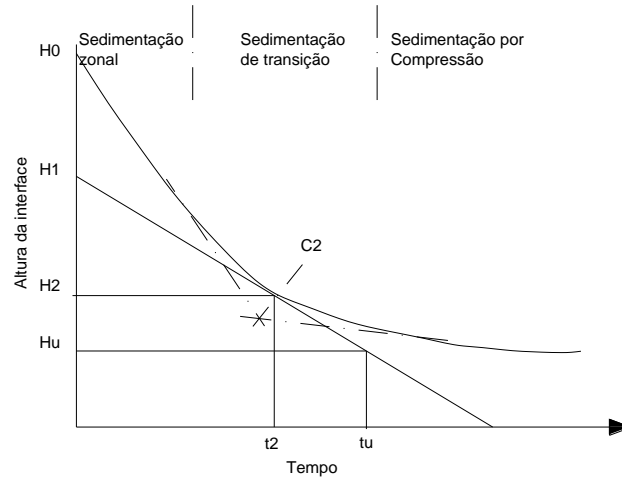


FIGURA 3.13- ANÁLISE GRÁFICA PARA SEDIMENTAÇÃO ZONAL

FONTE: METCALF E EDDY (2003)

✓ Construção de uma tangente a curva por C_2 , onde o ponto C_2 é determinado pela bissetriz do ângulo formado pelo prolongamento das tangentes à curva, na região de sedimentação retardada.

✓ Construção de uma linha vertical do ponto de interseção obtida das duas linhas desenhadas nas etapas precedentes.

A área requerida para clarificação da água residuária é obtida pela equação sendo a taxa de escoamento superficial v_c .

A concentração crítica que controla a capacidade de retirada do lodo do decantador ocorre na profundidade H_2 , na concentração C_2 e no tempo t_u pode ser determinado da seguinte maneira, conforme a FIGURA 3.13.

A FIGURA 3.14 mostra o raspador de lodo de fundo e espuma, do decantador secundário existente na ETE- Belém. Trata-se de um sistema de sucção, interligado a ponte de raspagem do lodo de fundo, que também remove a espuma da superfície.



(a)

(b)

FIGURA 3.14- DECANTADOR SECUNDÁRIO ETE- BELÉM (SANEPAR): (a) RASPADOR DE ESCUMA E LODO; (b) REMOÇÃO DE ESCUMA

3.3.4 Adensadores por gravidade

Adensadores por gravidade ou espessadores de lodo possuem uma estrutura similar ao de decantadores. O comportamento do lodo segue os princípios da sedimentação zonal e da Teoria do Fluxo de Sólidos (ANDREOLI *et al*, 2001). A TABELA 3.25 apresenta taxas de aplicação de sólidos típicas em função do tipo de lodo a ser adensado. Usualmente o formato é circular, a alimentação central, a saída de lodo pelo fundo e a saída do sobrenadante pela periferia (VON SPERLING, 2005). O espessador de lodo é o passo inicial nos processos de tratamento do lodo cuja finalidade seja concentrar a massa de sólidos introduzida, sendo também indicado para lodos digeridos em que se deseja reduzir o volume para ser disposto (MASSUCHIN *et al*, 1977). Segundo o mesmo autor, o projeto do espessador, deve ser específico para o tipo de lodo a ser concentrado.

3.3.1 Classificação dos decantadores quanto ao fluxo

Em termos de fluxo, tem-se duas condições: fluxo intermitente (em batelada): entrada e saída descontínuas e fluxo contínuo: entrada e saída contínuas (VON SPERLING, 1996).

TABELA 3.25- TAXAS DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL PARA DIMENSIONAMENTO DE ADENSADORES POR GRAVIDADE

Origem do Lodo	Tipo do Lodo	Taxa de aplicação de Sólidos (kgST/m ² .dia)	
		Faixas de valores (1) (2) (3)	Valores máximos permitidos (4)
Primário		90-150	150
Lodo Ativado	Convencional	20-30	30
	Aeração prolongada	25-40	-
Filtro Biológico		35-50	50
Lodo Misto	Primário+ lodo biológico	25-80	60
	Primário+ filtro biológico	-	60

(1) WEF/ASCE(1992) ;(2) JORDÃO e PESSOA (1995); QASIM (1985); (4) NB 570(ABNT,1989)

FONTE: ANDREOLI *et al* (2001)

Os sistemas por batelada são operados com etapas cíclicas. Cada ciclo é composto por uma sequência de etapas de enchimento, reação, sedimentação, esvaziamento e, eventualmente, repouso. Dependendo do perfil de geração de carga ao longo do dia, pode-se ter um tanque apenas, ou mais em paralelo, cada um em uma etapa distinta do ciclo. Maiores detalhes sobre os reatores por batelada estão apresentados na FIGURA 3.15. A descrição de cada uma das etapas, encontram-se na TABELA 3.26.

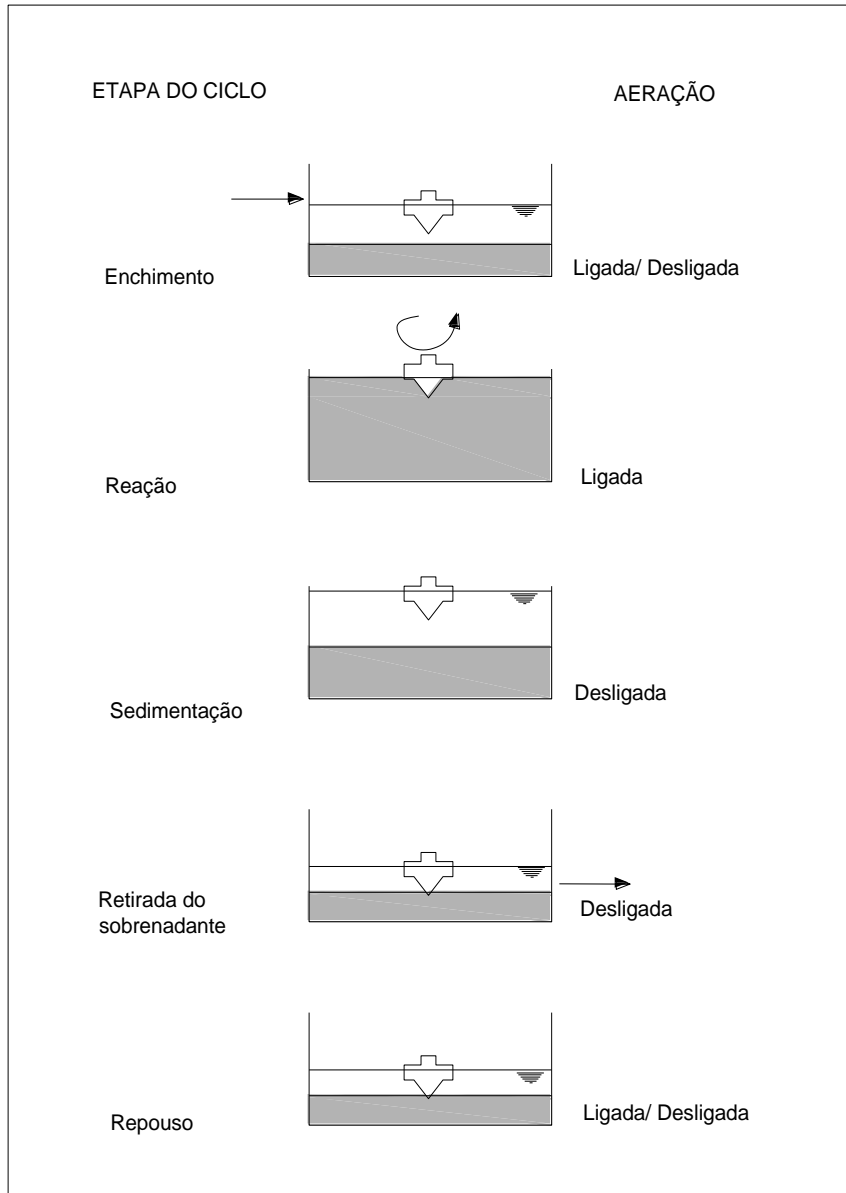


FIGURA 3.15- CICLO OPERACIONAL PARA FLUXO INTERMITENTE
 FONTE: VON SPERLING (2001)

TABELA 3.26- DESCRIÇÃO DO CICLO OPERACIONAL PARA FLUXO INTERMITENTE

ETAPA	DESCRIÇÃO
Enchimento	<ul style="list-style-type: none"> • A operação de enchimento consiste na adição do esgoto e do substrato para a atividade microbiana. • O ciclo de enchimento pode ser controlado por válvulas de bóia, até um volume pré-estabelecido, ou por temporizadores, para sistemas com mais de um reator. Um método simples e comumente aplicado para controlar o ciclo de enchimento é baseado no volume do reator, resultando em tempos de enchimento inversamente relacionados à vazão afluente. • A fase de enchimento pode incluir várias fases de operação e está sujeita a vários modos de controle, denominados enchimento estático, enchimento com mistura e enchimento com reação. • O enchimento estático envolve a introdução do esgoto sem mistura ou aeração. Este tipo de enchimento é mais comum em estações que objetivam a remoção de nutrientes. Nestas aplicações, o enchimento estático é acompanhado de um enchimento com mistura, de forma a que os microrganismos estejam expostos a uma quantidade suficiente de substrato, ao passo que se mantêm condições anóxicas ou anaeróbias. Tanto a mistura quanto a aeração são efetuadas no estágio de enchimento com reação. • O sistema pode alternar entre enchimento estático, enchimento com mistura e enchimento com reação, ao longo do ciclo operacional.
Reação	<ul style="list-style-type: none"> • O objetivo do estágio de reação é completar as reações iniciadas durante o enchimento. • A etapa de reação pode compreender mistura, aeração, ou ambos. Como no caso do ciclo de enchimento, os processos desejados podem requerer ciclos alternados de aeração. • A duração da fase de reação pode ser controlada por temporizadores, pelo nível do líquido ou pelo grau de tratamento, através de monitoramento do reator. • Dependendo da quantidade e duração da aeração durante a fase de enchimento, pode ou não haver uma fase de reação específica
Sedimentação	<ul style="list-style-type: none"> • A separação sólido-líquido ocorre durante a fase de sedimentação, análoga à operação de um decantador secundário em uma ETE convencional. • A sedimentação em um sistema intermitente pode ter uma eficiência superior à de um decantador de fluxo contínuo devido ao maior repouso do líquido em um tanque de batelada, sem interferência de entrada e saída de líquidos.
Esvaziamento	<ul style="list-style-type: none"> • O efluente clarificado é retirado durante a fase de esvaziamento. • O esvaziamento pode ser efetuado através de vários mecanismos, os mais comuns sendo vertedores flutuantes ou ajustáveis.
Repouso	<ul style="list-style-type: none"> • A fase final é denominada de repouso, sendo utilizada apenas em aplicações com vários tanques. • O tempo alocado à fase de repouso depende do tempo requerido para o tanque precedente completar o seu ciclo completo. • O descarte de lodo ocorre tipicamente nesta fase.

FONTE: EPA(1993) *apud* VON SPERLING (2001)

3.4 CENTRAIS DE RECEBIMENTO DE LODO DE TANQUES SÉPTICOS E FOSSAS SÉPTICAS

3.4.1 Concepção e tipos de CRLFS

Entende-se por Central de Recebimento de Lodo de Tanques Sépticos o conjunto de instalações especialmente concebidas e operadas para receber descarga de lodos de tanques sépticos e fossas, provenientes de caminhões limpa-fossa ou afins. A estrutura física dessas unidades depende da sua localização, do seu porte, número de caminhões que terão acesso diariamente, facilidades de conexão da sua linha efluente a rede coletora, entre outros (CAMPOS *et al.* 2009).

Crippen *et al.*(2009) apresentaram a utilização de CRLTS, ao lado do digestor anaeróbio, inserido em ETE que emprega Filtro Percolador. Caracteriza-se pelo formato trapezoidal e por ter pequeno volume da câmara de acumulação.

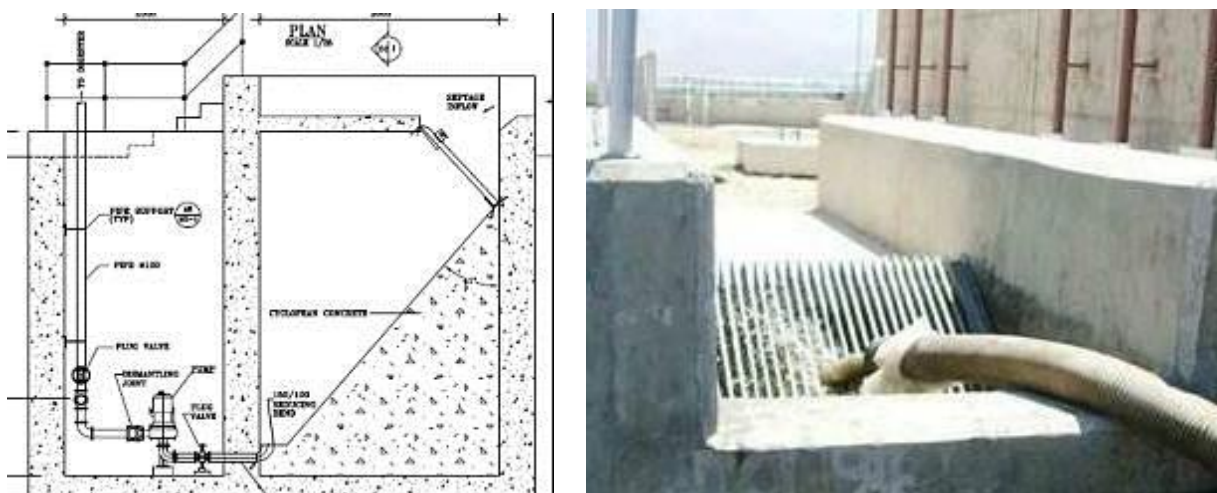


FIGURA 3.16- TANQUE DE RECEPÇÃO DE LODO DE TANQUE SÉPTICO – PROJETO E DESCARGA DE LODO

FONTE: CRIPPEN *et al.* (2009)

Segundo Souza (2012), o lodo de tanques sépticos possui peculiaridades distintas do esgoto bruto, pois contém teor mais elevado de sólidos suspensos

grosseiros e/ou detritos abrasivos que podem danificar os componentes eletromecânicos das ETEs. Campos *et al.* (2009) propõe fluxogramas simplificados e alternativas de componentes das CRLTS e de tratamento preliminar do lodo.

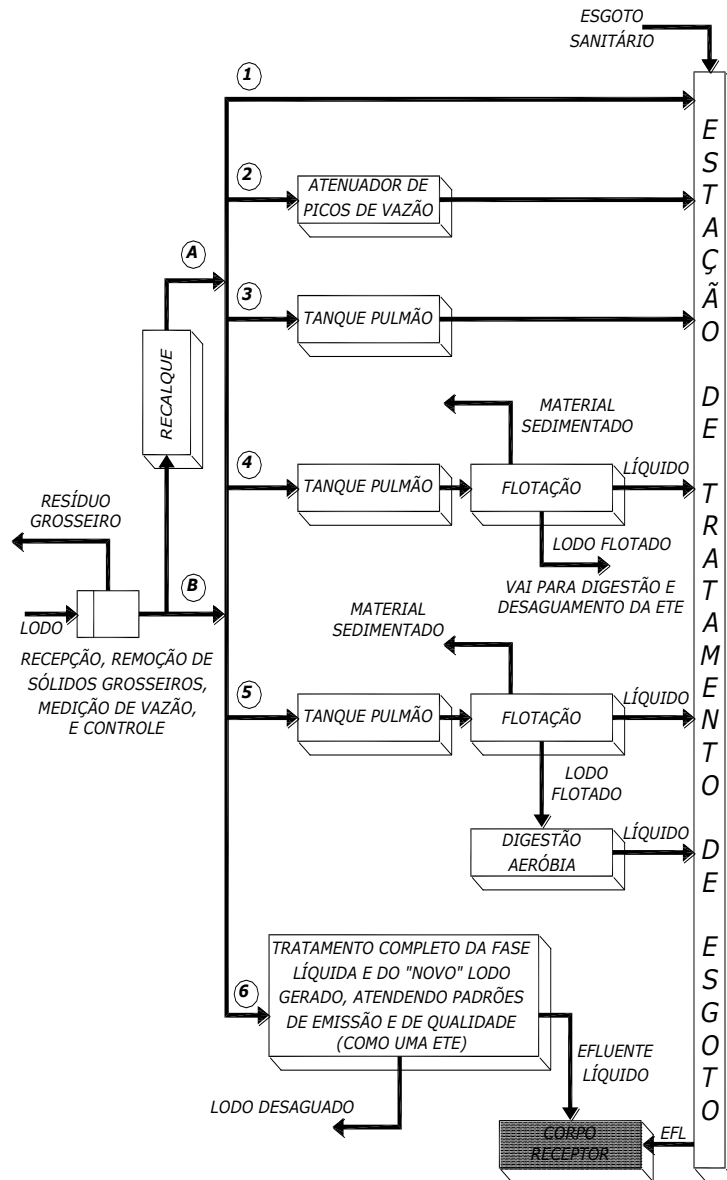


FIGURA 3.17- FLUXOGRAMAS PROPOSTOS PARA CRLTS

FONTE: CAMPOS *et al* (2009)

Segundo os mesmos autores, é recomendado: recepção e medição da vazão de lodo, recalque, sistema atenuador de vazões de pico, tanque pulmão para regularização da vazão e pré-tratamento (espessamento).

A unidade de recepção permite a retenção de sólidos grosseiros por meio de grades manuais ou mecanizadas, e medição de vazão. A medição de vazão pode ser realizada mediante calha parshall ou medidor eletromagnético instalado em tubulação. O ponto de recepção do lodo deve ser compatível com as particularidades dos dispositivos de descarga dos caminhões. Existem três tipos de dispositivos de descargas: (a) por gravidade (b) sistema de bombeamento ou pressurizado (c) descarga por basculamento, Nestes casos o ponto de recepção deve seguir as peculiaridades destes dispositivos.

A remoção de óleos e graxas também deve ser considerada, uma vez que, sua presença é responsável pela obstrução, aderência e acúmulo nas unidades de tratamento (JORDÃO E PESSOA, 2011).

O sistema atenuador de vazões de pico visa minimizar os efeitos das descargas nos primeiros momentos da operação, onde as vazões podem chegar a 100 L/s. Normalmente estes sistemas utilizam o princípio da foronomia para sua concepção. O tanque pulmão tem como princípio regularizar vazões e homogeneizar as características do efluente, permitindo o abatimento das variações de pico das concentrações dos contaminantes.

A ETE- Esperança da SANEPAR (Londrina-PR) é composta por sistema de reatores tipo UASB, sendo que a sua CRLTS proposta pode operar com tanque de equalização composta por quatro câmaras, precedidas por grade e calha parshall, e a descarga do lodo por gravidade.

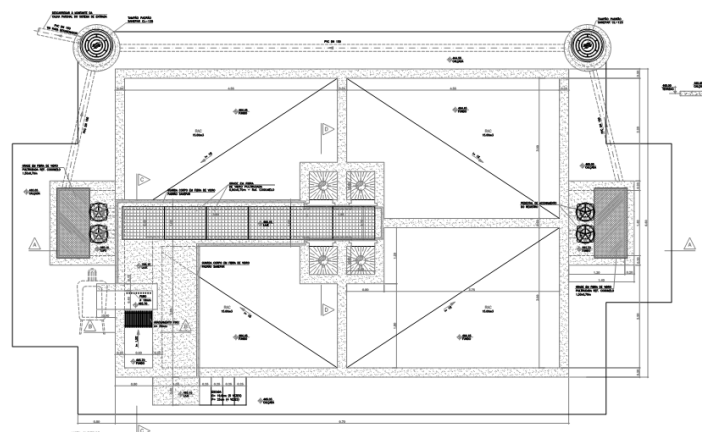


FIGURA 3.18- TANQUE DE RECEPÇÃO DE LODO DE TANQUE SÉPTICO
FONTE: SERENCO (2007)

Para a ETE- Cambuí da SANEPAR (Campo Largo-PR) foi proposto tanque de equalização circular de câmara única, e descarga por bombeamento.

Para o dimensionamento destas unidades, o tempo de detenção utilizado foi de aproximadamente 12 horas, considerando que diariamente a unidade receberia uma vazão de 100 m³.

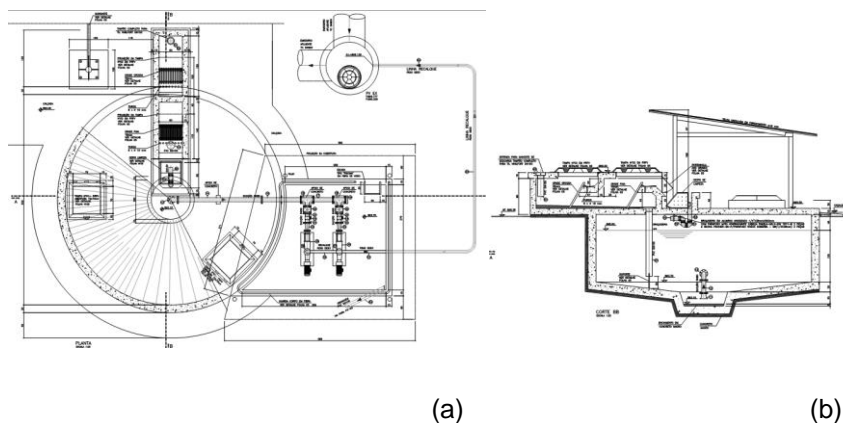


FIGURA 3.19- TANQUE DE RECEPÇÃO DE LODO DE TANQUE SÉPTICO: (a) PLANTA; (b) PERFIL

FONTE: ECOSOL (2006)

3.4.2 Fluxograma de ETEs

O tratamento de esgotos é usualmente classificado através dos seguintes níveis: preliminar, primário, secundário e terciário (apenas eventualmente). O tratamento preliminar objetiva a remoção de sólidos grosseiros, enquanto o tratamento primário visa a remoção de sólidos sedimentáveis e, em decorrência, parte da matéria orgânica. Em ambos predominam fenômenos físicos (AISSE, 2000; VON SPERLING, 2005). No tratamento secundário a matéria orgânica é removida, e em alguns casos, Nitrogênio e Fósforo (JORDÃO e PESSOA, 2011). Já o tratamento terciário remove poluentes específicos ou poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário. As etapas de gerenciamento e tratamento do lodo gerados nos processos de tratamento de esgotos encontram-se na TABELA 3.27.

TABELA 3.27- PRINCIPAIS ETAPAS DO GERENCIAMENTO DO LODO

ETAPA	DESCRIÇÃO	PROCESSO
Adensamento	Processo físico de concentração de sólidos no lodo, visando reduzir a umidade e o volume, facilitando as etapas subsequentes.	<ul style="list-style-type: none"> • Adensadores • Flotadores • Centrífugas • Prensas Desaguadoras
Estabilização	Visa atenuar maus odores no processamento e disposição do lodo	<ul style="list-style-type: none"> • Biológica: (Digestão aeróbia e anaeróbia) • Química: Adição de produtos químicos (alcalinização) • Térmica: Adição de calor
Condicionamento	Preparação do lodo, através da adição de produtos químicos (coagulantes e polieletrólitos) para aumentar a sua aptidão ao desaguamento e melhorar a captura de sólidos nos sistemas de desidratação.	<ul style="list-style-type: none"> • Condicionamento químico • Condicionamento térmico
Desaguamento	Pode ser feito a métodos naturais ou mecânicos, produzindo lodo com comportamento mecânico próximo ao do sólido.	<ul style="list-style-type: none"> • Natural: Leito de secagem • Mecanizados; Prensas desaguadoras, centrífugas e filtros prensa, filtro a vácuo
Higienização	Remoção de organismos patogênicos. Operação necessária quando seu destino foi reciclagem agrícola.	<ul style="list-style-type: none"> • Adição de cal • Tratamento térmico • Compostagem • Oxidação úmida • Outros (radiação, etc)
Disposição Final	Destinação final dos subprodutos	<ul style="list-style-type: none"> • Reciclagem agrícola • Recuperação de áreas degradadas • Landfarming • Indústria cerâmica • Incineração • Oxidação Úmida • Aterro Sanitário

FONTE: VON SPERLING (2005)

Atualmente, as estações de tratamento de esgotos são as responsáveis pela recepção do resíduo séptico, e encaminhamento para o tratamento de

esgotos. No entanto, as características do resíduo no quesito carga, podem comprometer o desempenho das unidades de tratamento, bem como, reduzir a qualidade do efluente final (SAMWAYS, 2010). A recepção do lodo se dá tradicionalmente a montante do tratamento preliminar, em bateladas.

A FIGURA 3.20 mostra o fluxograma de uma Estação de Tratamento de Esgotos, com processo de lodos ativados convencional. O adensamento do lodo primário e secundário é feito por adensadores e flotadores respectivamente. A estabilização é feita mediante processo de digestão e o desaguamento por filtros prensas, precedido pelo condicionamento químico. A secagem térmica além de promover a inativação de organismos patogênicos, reduz consideravelmente o volume de lodo para disposição final.

A FIGURA 3.21 exhibe o fluxograma de uma ETE com reatores tipo UASB, onde o lodo estabilizado é conduzido a leitos de secagem.

Samways *et al.*(2010) avaliaram o desempenho de Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo (tipo UASB), em escala piloto, para o tratamento combinado de esgoto sanitário e lodo proveniente de tanques sépticos, pré-tratado. Os resultados mostraram que, apesar da diminuição na eficiência de remoção de DQO, alcalinidade e pH, assumiu-se que não houve perda na qualidade do tratamento.

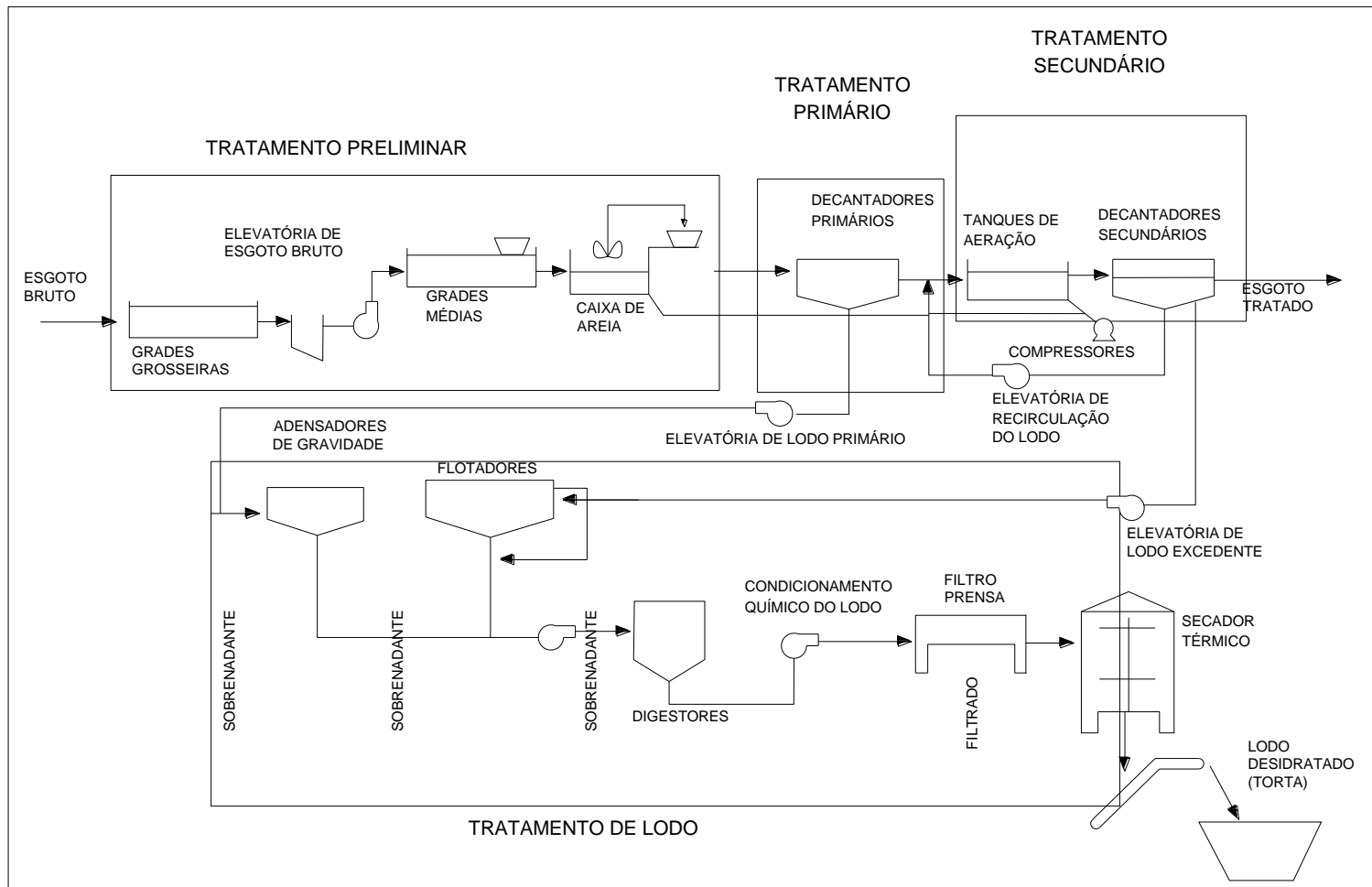


FIGURA 3.20– FLUXOGRAMA DE ETE DE LODOS ATIVADOS - CONVENCIONAL

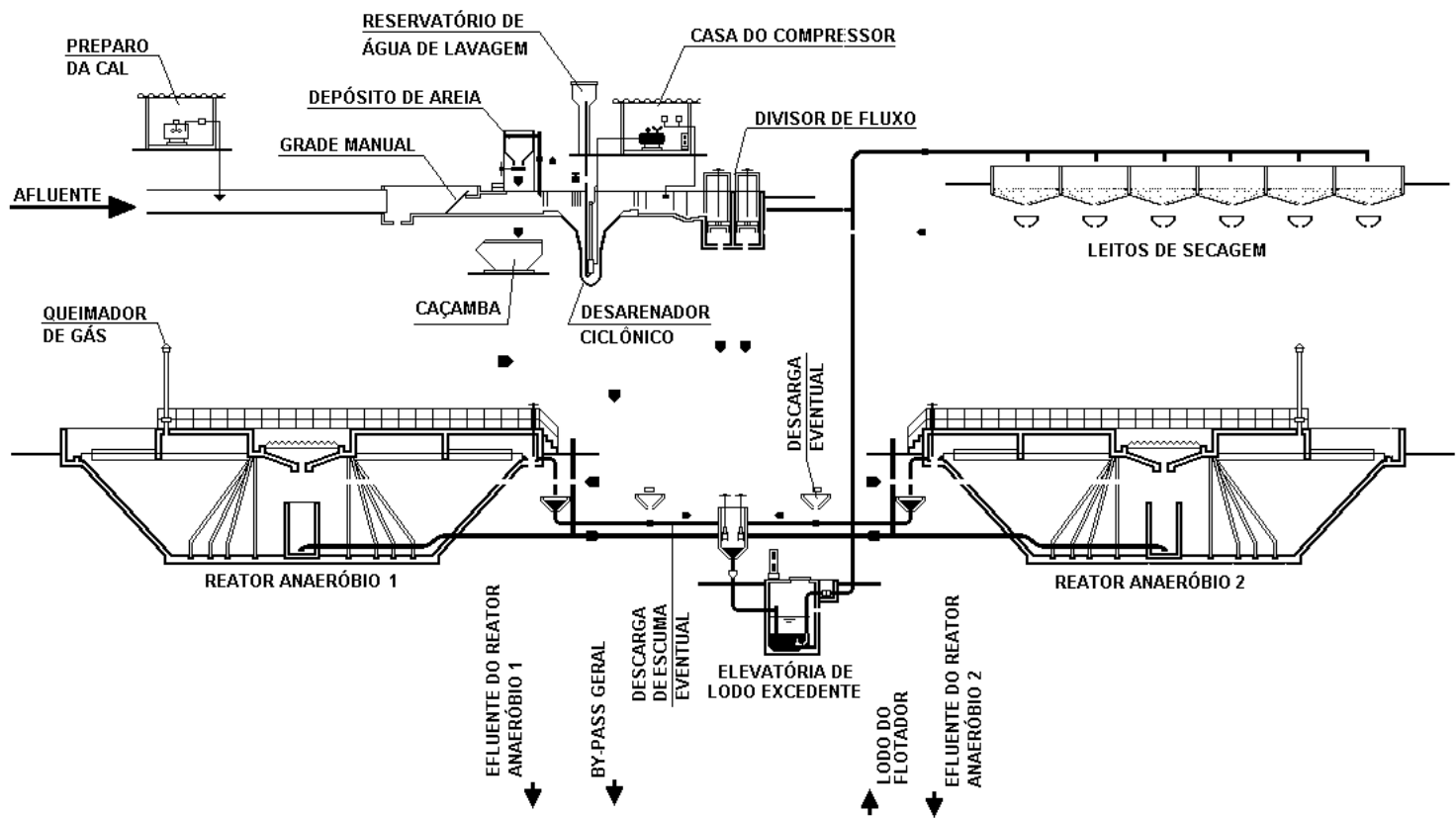


FIGURA 3.21– FLUXOGRAMA DE ETE UTILIZANDO REATORES TIPO UASB
 FONTE: JURGENSEN (1999)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Local do Estudo (ETE- Belém)

A pesquisa foi realizada na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE)-Belém (Curitiba-PR), da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). A ETE- Belém é composta por sistema de lodos ativados por aeração prolongada, em valo de oxidação tipo *Carrossel*, destinada a atender a Bacia do Belém. O resíduo séptico coletado em Curitiba e Região Metropolitana (RMC) é destinado a ETE-Belém atingindo o montante de 3.300 m³ por mês (ANDREOLI *et al.* 2006).

A instalação experimental foi localizada próxima à rampa de descarga dos caminhões limpa- fossa, e fluxograma do procedimento experimental está representado pela FIGURA 4.1.

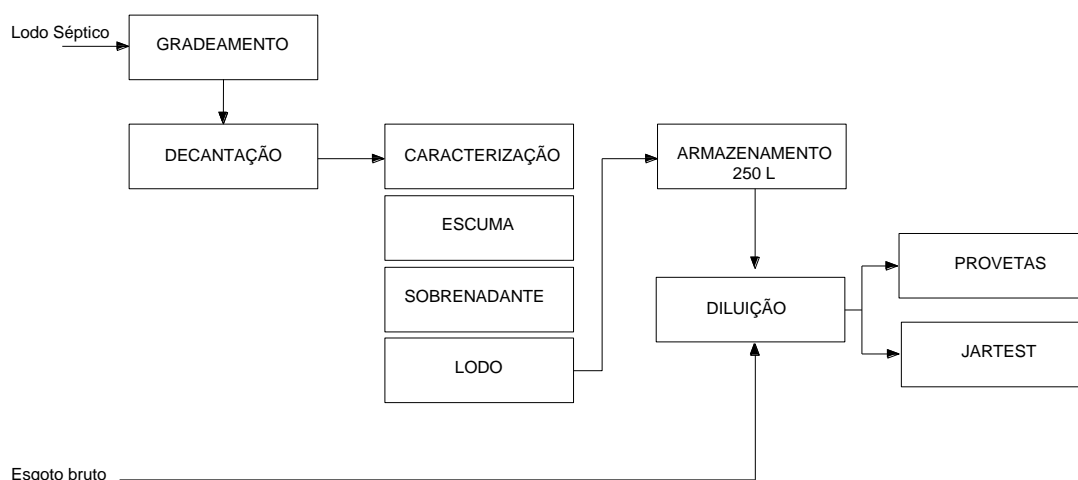


FIGURA 4.1- DIAGRAMA DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1.2 Origem do Lodo Séptico

O lodo séptico utilizado na primeira etapa dos experimentos foi coletado na rampa de descarga de caminhões limpa fossa na ETE Belém em Curitiba no dia 06/08/2012. A remoção dos sólidos grosseiros, foi realizada mediante a

utilização de uma caixa acoplada a parede do tanque de armazenamento com abertura aproximada de 2,7 cm. O lodo utilizado na segunda etapa foi coletado no dia 11/04/2013. Ambos tiveram origem exclusivamente doméstica, sendo essa observância verificada junto aos motoristas dos caminhões. A amostra de lodo coletada foi utilizada para as diluições no experimento. Para as diluições optou-se por esgoto afluyente à ETE, uma vez que, usualmente o tratamento do lodo se dá conjuntamente ao esgoto sanitário.



FIGURA 4.2- INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL LOCALIZADA NA ETE- BELÉM: (a) EDIFICAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE SEDIMENTAÇÃO; (b) COLETA DO LODO PARA OS ENSAIOS; (c) GRADE PARA REMOÇÃO DE SÓLIDOS GROSSEIROS

4.1.3 Coluna de Sedimentação

A coluna de sedimentação tem sido utilizada para determinação experimental da velocidade de sedimentação que é fisicamente igual a vazão que aflui sobre uma área superficial. Este ensaio permite avaliar as características de sedimentação de um efluente, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de projeto de decantadores, além de permitir boa representação de condições operacionais em processos de separação sólido-líquido (MACHADO *et al.* 2011).

Usualmente trata-se de uma coluna de acrílico, cilíndrica, de altura igual ou superior a que se deseja para o decantador (AISSE, 1985 e JORDAO E PESSOA, 2011). Para coletas geralmente são previstos registros a cada 0,60m, de forma que, em intervalos regulares de tempo, seja possível coletar e

determinar os sólidos em suspensão, e posteriormente a eficiência de remoção da matéria particulada.

Larsen e Vesilind (1968) estudaram a sedimentabilidade de lodos ativados e concluíram que o diâmetro efetivo das colunas de sedimentação pode alterar os resultados obtidos em laboratório. Essa alteração é denominada efeito parede. Observou-se que as curvas de velocidade de sedimentação exibiram erros quanto ao comportamento para tubos de pequenos diâmetros devido a regiões altamente floculadas. A probabilidade de se obterem estas zonas altamente floculadas, aumentam com o acréscimo da concentração. Dick e Ewing (1968) estudando sedimentação floculenta em diversas concentrações obtiveram velocidades diferentes para diâmetros diferentes de colunas. Para tanto, recomenda-se utiliza-las com diâmetro superior a 150 mm (JORDÃO e PESSOA, 2011).

Aisse (1985) afirma que podem ser inseridos agitadores lentos de forma a manter uniforme a concentração para o início do experimento. As dimensões de colunas utilizadas em ensaios de sedimentação, bem como o tipo de lodo utilizado encontram-se na TABELA 5.1. A FIGURA 4.3 mostra as colunas de sedimentação utilizadas nos ensaios, sendo suas dimensões mencionadas na TABELA 5.2.

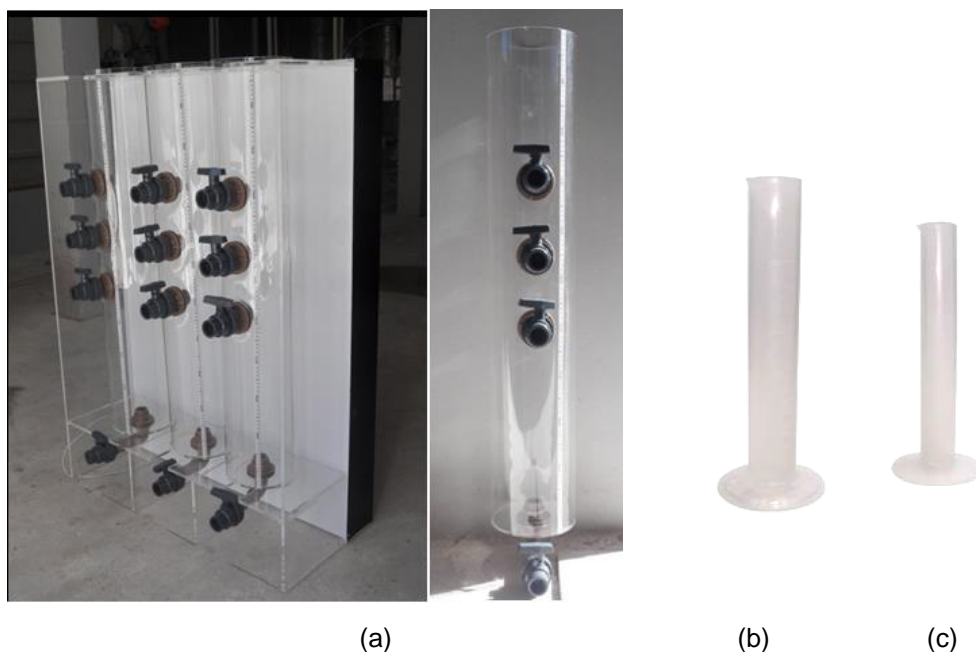


FIGURA 4.3- COLUNAS DE SEDIMENTAÇÃO: (a) 30L; (b) 2L; (c) 1L

TABELA 5.1 - DIMENSÕES DE COLUNAS DE SEDIMENTAÇÃO NA LITERATURA TÉCNICA EM FUNÇÃO DO TIPO DE LODO

AUTORES	TIPO DE LODO	ALTURA (m)	DIÂMETRO (cm)
LARSEN E VESILIND*	AERÓBIO	0,9	5,10,15 e 20
DICK E EWING*	AERÓBIO	0,15 – 1,50	8,75
DICK E EWING*	AERÓBIO	1,05	1,55 – 18,75
DUNCAN E KAWATA*	AERÓBIO	0,65 – 1,30	16,9 – 16,3
DICK E YOUNG*	AERÓBIO	2,55	15,1
ECKENFELDER E FORD*	AERÓBIO	2,4	15
BARBOSA e SOUZA (1998)	AERÓBIO	0,41	6,3
AISSE (1985)	AERÓBIO	2	15,6
CARVALHO E DI BERNARDO(1998)	ETA	2,2	30
CAMPOS <i>et al.</i> (2009)	SÉPTICO	0,44	5,5

FONTE: *Citado por AISSE, (1985)

TABELA 5.2 - DIMENSÕES DAS COLUNAS DE SEDIMENTAÇÃO UTILIZADAS NOS EXPERIMENTOS

	Volume (mL)	Altura útil (cm)	Altura efetiva (cm)	Diâmetro (cm)	Material
Provetas	1.000	44	33,5	7,3	PLÁSTICO
	2.000	54,5	40	8,6	PLÁSTICO
	30.000	105	100	20	ACRÍLICO

4.1.4 Jar Test

Para os ensaios de coagulação-floculação-decantação, foi utilizado o equipamento de bancada denominado jartest, modelo 218 LDBF (TABELA 5.7 FIGURA 4.4b). Esse é constituído por 6 jarros, com coletores frontais a meia altura. Os jarros são de acrílico transparente e possuem dimensão de 115x115mm. Os agitadores são de aço inox do tipo paleta de eixo vertical que medem 25x75mm². As rotações são programadas no visor do equipamento, de acordo com o tempo desejado. A relação entre o gradiente de velocidade e a rotação do equipamento é obtida graficamente, conforme a FIGURA 4.4 a.

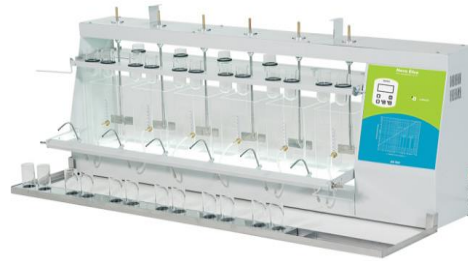
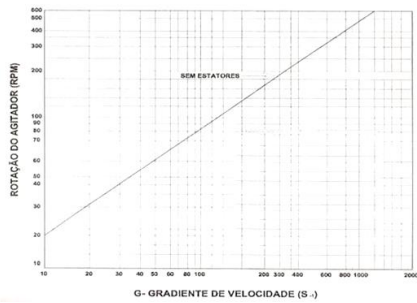


FIGURA 4.4- JAR TEST: (a) GRADIENTE DE VELOCIDADE EM RELAÇÃO A RPM; (b) EQUIPAMENTO DE BANCADA
 FONTE: NOVA ÉTICA (2012)

4.1.5 Coagulantes e Polímeros

A seleção de produtos químicos em conjunto com a otimização em laboratório dos parâmetros físicos de mistura rápida, floculação e decantação podem propiciar a melhor qualidade do efluente (COSTA, 2010). Para os experimentos, foram selecionados o Sulfato de Alumínio, Cloreto Férrico, Hidróxido de Cálcio e polímero catiônico. O polímero catiônico utilizado nos experimentos foi SUPERFLOC 8394 da marca KEMIRA com alto peso molecular. Este produto acondiciona com eficácia os sólidos para as operações de desidratação e clarificação da água, mostrando também bom desempenho na separação sólido-líquido. A escolha do produto se deu pela facilidade de obtenção na ETE- Belém, Estação de Tratamento onde inicialmente encontrava-se a estação experimental. A solução de polímero deve ser armazenada no máximo por 24 horas com agitação lenta constante.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Estudo da sedimentação do lodo de tanque séptico *in natura* admitindo a Teoria de Sedimentação do Tipo 3

O lodo utilizado nos experimentos foi coletado na rampa de descarga dos caminhões limpa-fossa na ETE- Belém da SANEPAR. Procurou-se assegurar junto aos motoristas a origem residencial do lodo séptico. Samways

(2010) afirma que existe variação no teor de sólidos totais-ST ao longo do descarte do caminhão limpa-fossa. Neste sentido, visando obter uma amostra representativa, foram coletadas três alíquotas de 500 L, no começo, meio e fim do tempo de descarga e armazenada em um tanque com capacidade de 1.500 L. Para remoção de sólidos grosseiros, uma caixa de arame foi acoplada a lateral do tanque, a qual possui abertura de aproximadamente 2,7cm, Ao término da descarga, a amostra retida foi sedimentada durante 48 horas, sendo 250 L de lodo de fundo transferidos para um outro tanque, de forma a facilitar a realização dos experimentos.

Duas baterias de ensaios foram realizadas empregando-se várias concentrações de ST. Para efeito de diluição foi utilizado esgoto bruto afluente à ETE, que era retido em um tanque de 100 L e cujas proporções foram estabelecidas conforme a equação:

$$ST_{mistura} = \frac{ST_{lodo} * V_{lodo} + ST_{esgoto} * V_{esgoto}}{V_{lodo} + V_{esgoto}} \quad (23)$$

Foi escolhido utilizar o parâmetro de Sólidos Totais-ST à Sólidos Suspensos Totais-SST, uma vez que, em concentrações elevadas de sólidos, o volume filtrado é pequeno e.g 5 mL, induzindo a erros analíticos. Assim nos estudos preliminares, alguns valores de SST resultaram erroneamente superiores aos de ST.

Para avaliar a sedimentabilidade do lodo séptico, foram realizados testes de sedimentação em colunas piloto de plástico transparente, com volume de 1L e 2L, com diâmetros 7,3 cm e 8,6 cm respectivamente, e graduadas milimetricamente. Supondo sedimentação do Tipo 3, ou Zonal, as curvas altura de sedimentação em relação ao tempo, foram obtidas pela análise da propagação da interface de separação entre a fase sólida e líquida ao longo do tempo.

Nas colunas, procedeu-se da seguinte maneira:

- ✓ Preenchimento das provetas com esgoto sanitário bruto;
- ✓ Preenchimento das provetas com lodo séptico;
- ✓ Homogeneização manual das provetas;

- ✓ Repouso durante cinco minutos, com objetivo de evitar possíveis efeitos de aeração;
- ✓ Início da contagem do tempo e leitura das respectivas alturas de sedimentação utilizando os intervalos de tempo de: 0;1;2;5;10;15;20;25;30;35;40;45;60.

A manipulação dos dados obtidos permitiu a elaboração do gráfico (altura de sedimentação x tempo), conforme a FIGURA 4.5. Para obtenção das velocidades de sedimentação, foram selecionadas as alturas referentes ao primeiro trecho reto das curvas. As proporções de lodo séptico utilizadas, bem como, a concentração final de ST na amostra encontram-se na TABELA 5.3.

TABELA 5.3 - CONFIGURAÇÕES DOS ENSAIOS DE SEDIMENTAÇÃO

Configurações ensaiadas	COLUNA 1	COLUNA 2	COLUNA 3	COLUNA 4
Lodo de Fossa (%)	48	35,5	18	11
Concentração de Sólidos Totais (mg/L)	8.055	6.091	4.029	2.000
Volume das Colunas	1.000 mL e 2.000 mL			

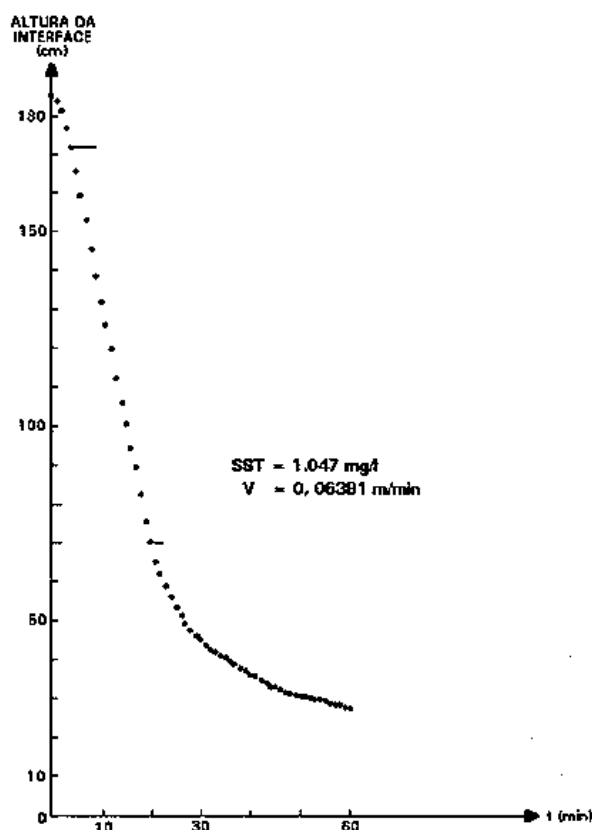


FIGURA 4.5- SEDIMENTAÇÃO DO TIPO 3: ALTURA DE SEDIMENTAÇÃO EM RELAÇÃO AO TEMPO

FONTE: AISSE (1985)

Aisse (1985), estudando a sedimentação de lodos ativados, verificou que para concentrações de Sólidos Totais superiores a 8.000 mg/L, as velocidades de sedimentação eram baixas. Para concentrações inferiores a 2000 mg/L, não é possível visualizar a interface lodo/clarificado, conforme requerido para a Teoria de Sedimentação do Tipo 3, aproximando-se da Sedimentação de Partículas Discretas ou Floculenta.

A análise estatística para verificação da existência do efeito parede foi feita utilizando a distribuição t de Student para amostras pareadas. Assume-se que as amostras são dependentes, e comparam-se as médias populacionais. De modo, geral, estas observações correspondem a medidas tomadas antes e depois de uma dada intervenção. Sendo assim, tem-se uma situação típica em que o Teste t pareado deve ser utilizado. As medidas de velocidades de sedimentação nas colunas de 1L e 2L foram representadas pelas variáveis aleatórias X_i e Y_i , respectivamente. Desta forma, o efeito produzido pode ser

representado pelo i – ésimo indivíduo, pela variável $D_i = Y_i - X_i$. Supondo para $i = 1, \dots, n$,

$$D_i \sim N(\mu_D, \sigma_D^2)$$

Buscando testar as hipóteses:

$$H_0: \mu_D = 0 \text{ (as velocidades de sedimentação são iguais)}$$

$$H_a: \mu_D \neq 0 \text{ (as velocidades de sedimentação são diferentes),}$$

O parâmetro μ_D é estimado pela média amostral \bar{D} . O estimador S_D^2 é dado por:

$$S_D^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2 \quad (24)$$

O teste de hipóteses é realizado utilizando-se a quantidade:

$$T = \frac{\bar{D} - \mu_D}{S_D / \sqrt{n}} \quad (25)$$

Que sob H_0 , segue uma distribuição t-Student com $n-1$ graus de liberdade (MAGALHÃES e LIMA, 2013).

4.2.2 Estudo da velocidade de sedimentação do lodo de tanques sépticos *in natura* admitindo a Teoria de Sedimentação do Tipo 2

Nesta fase dos experimentos, foram utilizadas colunas de sedimentação em acrílico, milimetricamente graduadas, com volume de 30L e diâmetro 20 cm (FIGURA 4.6). No caso da sedimentação do Tipo 2 ou Floculenta, os resultados são apresentados na forma de curvas ou de malhas, mostrando as percentagens de remoção de partículas em determinadas profundidades e tempos.

Diante disso, além das leituras ao longo do tempo, conforme mencionados no item 4.2.1, foram extraídas amostras de diversas profundidades e tempos. Neste caso, foram utilizados três pontos de amostragem localizados a 0,30 cm, 0,45 cm e 0,60 cm de profundidade da coluna de sedimentação.

Os procedimentos nas colunas foram os mesmos mencionados no item 4.2.1, diferindo apenas nos pontos já mencionados. As configurações utilizadas nesta fase dos experimentos encontram-se na TABELA 5.4.

TABELA 5.4 - CONFIGURAÇÕES ENSAIADAS PARA TEORIA DA SEDIMENTAÇÃO DO TIPO 2- ETAPA 1 e 2

ETAPA	Configurações ensaiadas	COLUNA 1	COLUNA 2	COLUNA 3	COLUNA 4
1	Lodo de Fossa (%)	12,7	25,5	38,2	51,0
	ST (mg/L)	2737	4869	7001	9132
2	Lodo de Fossa (%)	8,3	16,7	25,0	31,7
	ST (mg/L)	2635	4707	6780	8438

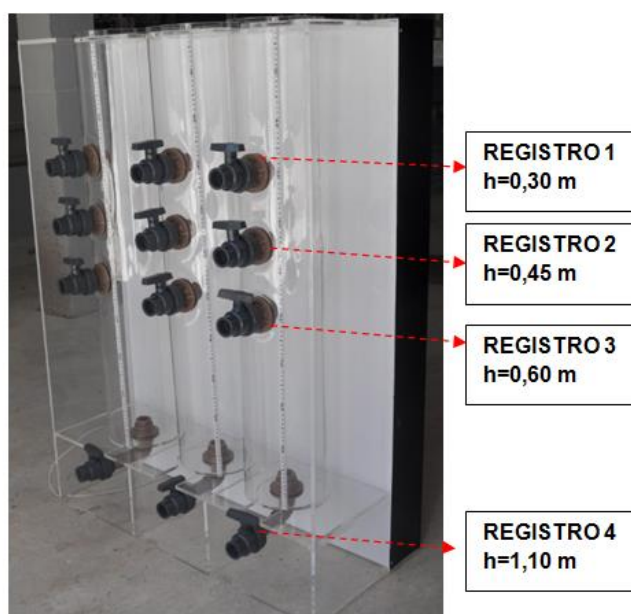


FIGURA 4.6- COLUNA DE SEDIMENTAÇÃO 30L

4.2.3 Estudo da sedimentação do lodo de tanque séptico quimicamente assistida

Para realização deste ensaio, foi arbitrada a concentração de sólidos totais (ST) padrão de aproximadamente 8.000 mg/L, a partir da qual, as velocidades de sedimentação aproximam-se de zero, sendo justificável a aplicação de produtos que auxiliem ou acelerem o processo. Este valor também corresponde a mediana de ST, encontrado em estudos anteriores no

âmbito PROSAB para resíduos sépticos de Curitiba e Região Metropolitana conforme apresentado na TABELA 5.5.

TABELA 5.5 – SÓLIDOS TOTAIS OBTIDOS NO LODO SÉPTICO PARA CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA

ST (mg/L)	n	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	DP	CV
	22	1051	38.000	12.116	8.208	9.064	75

FONTE: ANDREOLI *et al.* (2009)

NOTA: n= número de amostras utilizadas; DP= desvio padrão das amostras; CV= coeficiente de variância das amostras.

No equipamento de jartest foram aplicados aos 6 frascos existentes, dosagens variáveis de Cloreto Férrico, Hidróxido de Cálcio, Sulfato de Alumínio e Polímero catiônico; e a associação dos coagulantes ao polímero.

Procedeu-se da seguinte maneira:

- ✓ Medição do pH e turbidez da amostra;
- ✓ Preenchimento dos frascos (2.000 mL) com a concentração padrão;
- ✓ Início da Mistura Rápida com rotação de 120 rpm durante 1 minuto;
- ✓ Aplicação do coagulante e/ou polímero;
- ✓ Início da Mistura Lenta com rotação de 40 rpm durante 12 minutos;
- ✓ Início da Decantação (sem agitação) durante 20 minutos;
- ✓ Medição de turbidez e pH do clarificado para cada dosagem.

As dosagens de coagulantes e polímero catiônico nos ensaios encontram-se na TABELA 5.6. A TABELA 5.7 mostra a combinação dos coagulantes ao polímero catiônico , onde fixou-se a concentração do coagulante em 50 mg/L variando apenas a dosagem do polímero.

TABELA 5.6 - DOSAGENS DE COAGULANTES UTILIZADAS NOS ENSAIOS

Produto Químico	Dosagens					
	1	2	3	4	5	6
Coagulante	0 mg/L	50 mg/L	100 mg/L	125 mg/L	150 mg/L	200 mg/L
Polímero	0 mg/L	5 mg/L	10 mg/L	15 mg/L	20 mg/L	25 mg/L

TABELA 5.7 - DOSAGENS DA COMBINAÇÃO ENTRE COAGULANTE E POLÍMERO

Produto Químico	Dosagens					
	1	2	3	4	5	6
Coagulante	0 mg/L	50 mg/L	50 mg/L	50 mg/L	50 mg/L	50 mg/L
+	+	+	+	+	+	+
Polímero	0 mg/L	5 mg/L	10 mg/L	15 mg/L	20 mg/L	25 mg/L

Desta forma, foram obtidas as dosagens ótimas para a concentração padrão de aproximadamente 8.000 mg/L. Chernicharo *et al.* (2006) propôs dosagens de coagulantes para a decantação quimicamente assistida para esgoto sanitário, como mostra a TABELA 5.8.

TABELA 5.8 - FAIXAS DE DOSAGENS DE COAGULANTES PARA ESGOTO SANITÁRIO

Aplicação	Taxa de aplicação (m ³ /m ² .d)	Coagulantes (faixas de concentração)
Decantação primária quimicamente assistida	80 a 120 m ³ /m ² .d	FeCl ₃ : 70 a 75 mg/L
		Al ₂ O ₃ : 50 a 70 mg/L
		Polímero orgânico catiônico: 14 a 16 mg/L
Polímero de efluente	Decantação acelerada: 60 a 80 m ³ /m ² .d	FeCl ₃ : 30 a 180 mg/L
	Flotação por ar dissolvido: 40 a 60 m ³ /m ² .d	
		Al ₂ (SO ₄) ₃ : 10 a 180 mg/L
Polímero de efluente	Flotação em dois estágios: 580 m ³ /m ² .d	Polímero catiônico: 0 a 15 mg/L

FONTE: CHERNICHARO *et.al* (2006)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DETERMINAÇÃO A VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO DO LODO DE TANQUE SÉPTICO *IN NATURA* ADMITINDO A TEORIA DE SEDIMENTAÇÃO DO TIPO 3

A posição da interface lodo-clarificado anotada em relação ao tempo permitiu a obtenção de gráficos, altura de sedimentação em relação ao tempo, conforme apresentado na e FIGURA 5.1e FIGURA 5.2. A partir dos maiores trechos retos das curvas obtidos graficamente foram determinadas as velocidades de sedimentação. Conforme especificado anteriormente, os ensaios foram realizados em colunas de 1.000 e 2.000 mL. Durante os procedimentos observou-se a existência de dois meniscos, um superior de difícil visualização, que se movimenta lentamente, e um inferior, cuja evolução não foi possível de ser mensurada, apenas visualizado o volume de lodo de fundo, ao final dos experimentos. Os resultados mostram que admitindo a sedimentação do lodo séptico como Sedimentação do Tipo 3, as velocidades obtidas para o menisco superior aproximaram-se de zero. A FIGURA 5.1 e FIGURA 5.2 mostram que a concentração de sólidos totais- ST é inversamente proporcional à velocidade de sedimentação da amostra. A TABELA 5.2 mostra os resultados das séries de ensaios e a TABELA 5.3 a média das velocidades obtidas para cada concentração.

Como as velocidades resultaram baixas, na maioria dos casos, não foi possível obter a partir do método dos mínimos quadrados, uma curva exponencial velocidades em relação a concentração, como é proposta para lodos ativados (EQUAÇÃO 18).

Correia, Maria e Aisse (2013) estudaram a sedimentação de lodos ativados, diluído com efluente secundário, em colunas piloto com diâmetros de 7,3cm, 8,6cm e 20cm. Os resultados apontaram a existência de efeito parede, mediante a comparação das médias das velocidades obtidas nas colunas de diferentes diâmetros.

Para verificação da existência do efeito parede foi feita comparação estatística utilizando o Teste t de *Student* para amostras pareadas, entre as velocidades obtidas nas duas colunas (1L e 2L). Em se tratando de lodo séptico, os estudos mostraram que existe semelhança estatística entre as concentrações de Sólidos Totais-ST 2000 mg/L, 6091 mg/L e 8055 mg/L utilizando colunas de 1L e 2L. Apenas para 4127 mg/L as velocidades podem ser consideradas diferentes utilizando os dois métodos. Assim, conclui-se que, não há evidências da existência do efeito parede do lodo séptico para colunas de 1L e 2L (TABELA 5.1).

Um maior número de ensaios de sedimentação e a utilização de outros diâmetros nas colunas permitiria avaliação estatística, por outros métodos. Estes novos procedimentos conduziriam a melhores resultados e a afirmação conclusiva, a partir de qual diâmetro não haveria o efeito parede.

TABELA 5.1- RESULTADOS DA COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA UTILIZANDO AS VELOCIDADES DE SEDIMENTAÇÃO DE LODO SÉPTICO EM COLUNAS DE 1L E 2L.

Concentração (mg/L)	Média das Diferenças	Desvio da diferença	t_{obs}	t_c 95%	Hipótese Verdadeira
2000	-0,016	0,020	-1,63	3,18	H0
4127	0,020	0,008	5,20	3,18	Ha
6091	0,013	0,018	1,40	3,18	H0
8055	-0,021	0,023	-1,76	3,18	H0

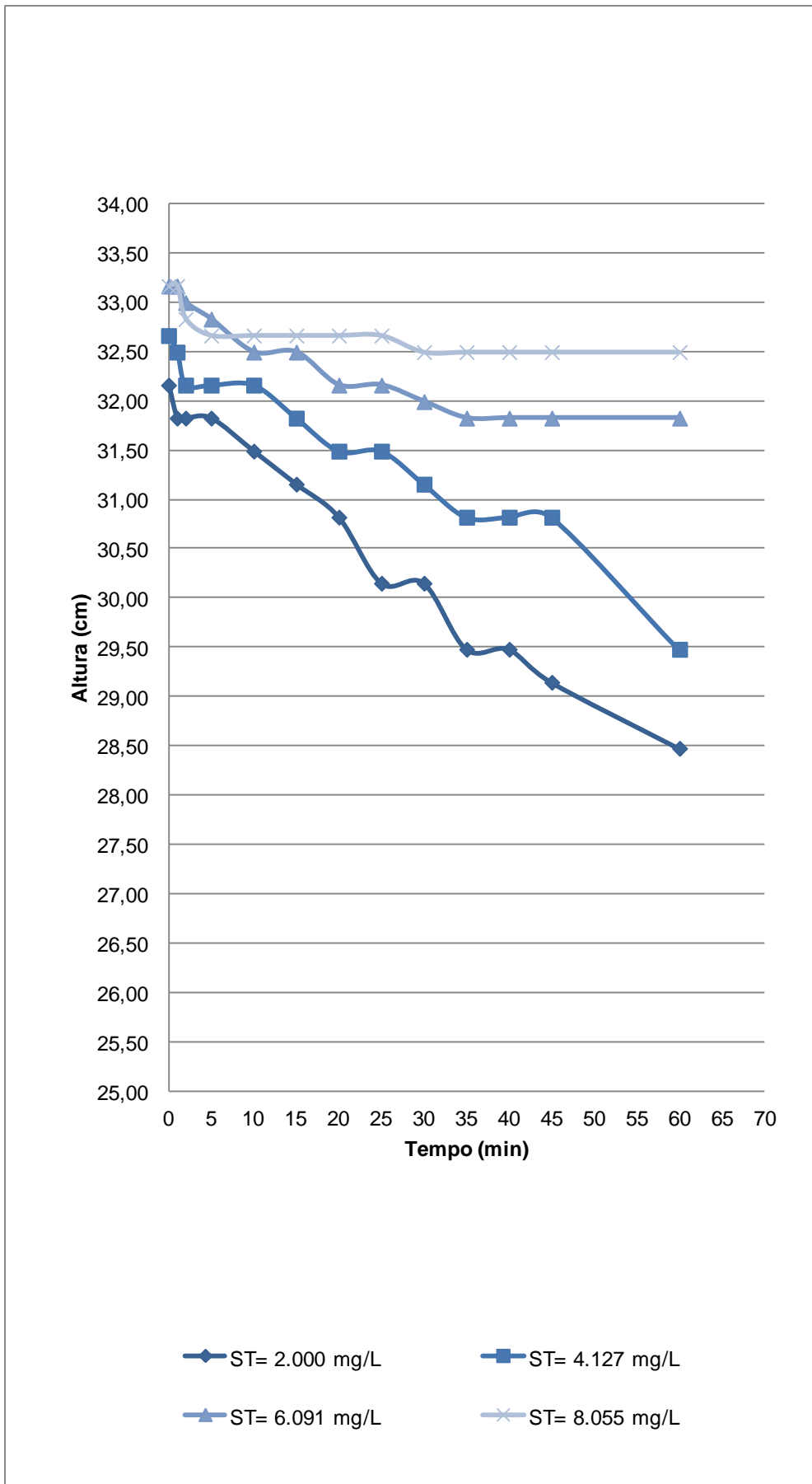


FIGURA 5.1 - ALTURA DA INTERFACE EM RELAÇÃO AO TEMPO- COLUNA 1L

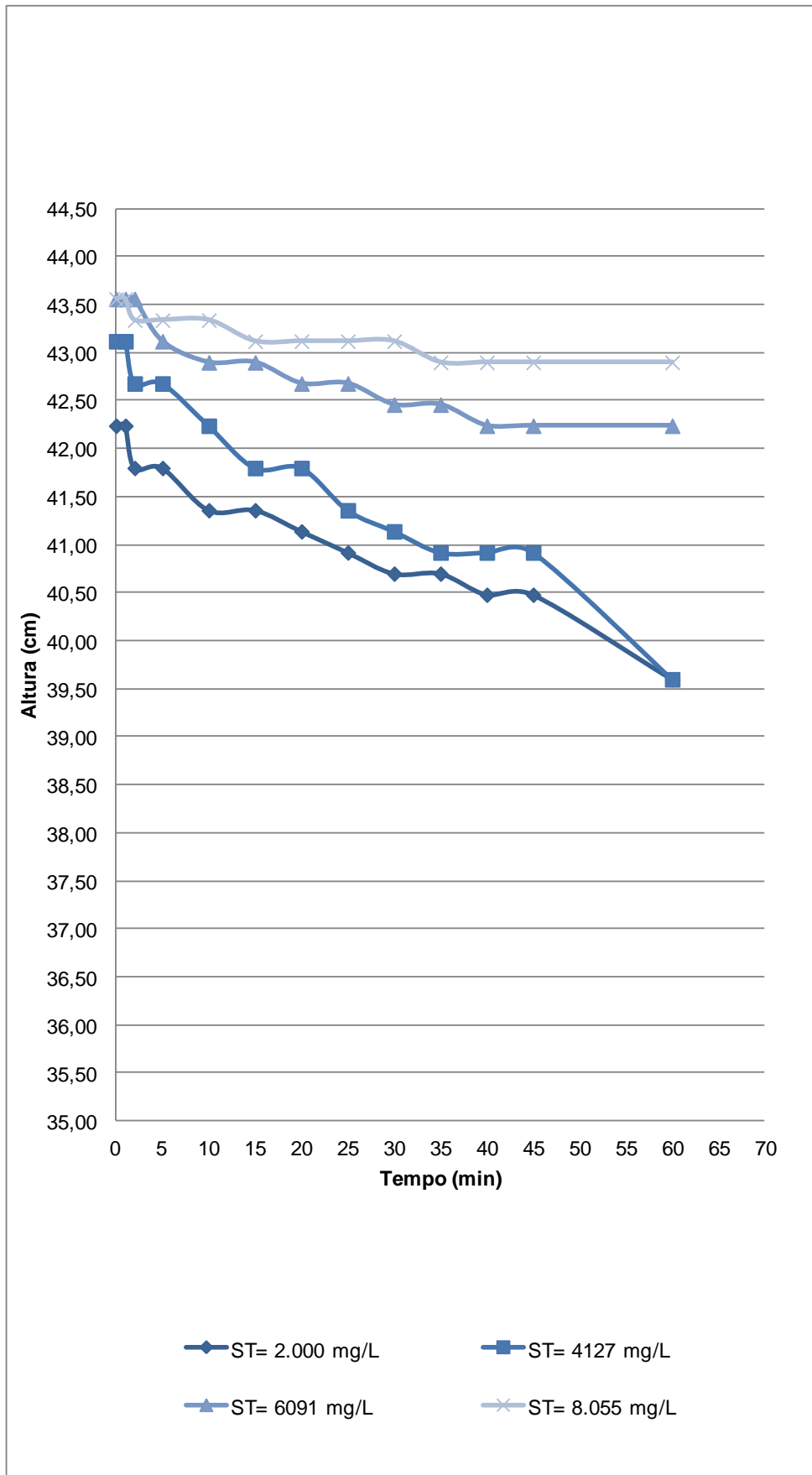


FIGURA 5.2 - ALTURA DA INERFACE EM RELAÇÃO AO TEMPO- COLUNA 2L

TABELA 5.2– VELOCIDADES DE SEDIMENTAÇÃO DO LODO SÉPTICO EM COLUNAS SUPONDO TEORIA DE SEDIMENTAÇÃO DO TIPO 3

Data	Ensaio	Concentração ST (mg/L)	Altura (cm)				Tempo (min)				Velocidade de sedimentação		Diluição	Volume da Coluna (mL)
			H0	Hi	Hf	AH	tf	ti	Δt	tobs	(m/min)	(m/h)		
10/08/2012	5	2000	32.16	31.83	30.15	1.68	25	5	20	90	0.00084	0.050	ESGOTO	1000
10/08/2012	5	2000	32.495	31.49	30.15	1.34	30	20	10	90	0.00134	0.080	ESGOTO	1000
10/08/2012	5	2000	323.275	31.825	30.15	1.68	30	5	25	90	0.00067	0.040	ESGOTO	1000
10/08/2012	5	2000	32.16	31.49	30.15	1.34	30	5	25	90	0.00054	0.032	ESGOTO	1000
10/08/2012	6	2000	42.24	41.36	40.70	0.66	30	15	15	90	0.00044	0.026	ESGOTO	2000
10/08/2012	6	2000	42.24	41.80	40.48	1.32	30	10	20	90	0.00066	0.040	ESGOTO	2000
10/08/2012	6	2000	42.24	41.80	40.48	1.32	30	10	20	90	0.00066	0.040	ESGOTO	2000
10/08/2012	6	2000	42.24	41.80	40.48	1.32	30	5	25	90	0.00053	0.032	ESGOTO	2000
13/08/2012	7	4127	32.66	32.16	31.49	0.67	20	5	15	60	0.00045	0.027	ESGOTO	1000
13/08/2012	7	4127	32.50	32.16	31.49	0.67	20	5	15	60	0.00045	0.027	ESGOTO	1000
13/08/2012	7	4127	32.50	32.16	31.49	0.67	20	10	10	60	0.00067	0.040	ESGOTO	1000
13/08/2012	7	4127	32.66	32.16	31.49	0.67	20	10	10	60	0.00067	0.040	ESGOTO	1000
13/08/2012	8	4127	43.12	42.68	41.80	0.88	15	5	10	60	0.00088	0.053	ESGOTO	2000
13/08/2012	8	4127	43.12	42.68	41.80	0.88	15	5	10	60	0.00088	0.053	ESGOTO	2000
13/08/2012	8	4127	43.12	42.68	41.80	0.88	15	5	10	60	0.00088	0.053	ESGOTO	2000
13/08/2012	8	4127	43.12	42.68	41.80	0.88	15	5	10	60	0.00088	0.053	ESGOTO	2000
09/08/2012	3	6091	33.17	33.00	32.50	0.50	10	2	8	60	0.00063	0.038	ESGOTO	1000
09/08/2012	3	6091	33.17	33.17	32.50	0.67	10	2	8	60	0.00084	0.050	ESGOTO	1000

Data	Ensaio	Concentração ST (mg/L)	Altura (cm)				Tempo (min)				Velocidade de sedimentação		Diluição	Volume da Coluna (mL)
			H0	Hi	Hf	AH	tf	ti	Δt	tobs	(m/min)	(m/h)		
09/08/2012	3	6091	33.17	33.17	32.50	0.67	10	2	8	60	0.00084	0.050	ESGOTO	1000
09/08/2012	3	6091	33.17	33.17	32.50	0.67	10	2	8	60	0.00084	0.050	ESGOTO	1000
09/08/2012	4	6091	43.56	43.56	42.90	0.66	10	2	8	60	0.00083	0.050	ESGOTO	2000
09/08/2012	4	6091	43.56	43.56	42.90	0.66	10	2	8	60	0.00083	0.050	ESGOTO	2000
09/08/2012	4	6091	43.56	43.56	42.90	0.66	10	2	8	60	0.00083	0.050	ESGOTO	2000
09/08/2012	4	6091	43.56	43.56	43.12	0.44	5	2	3	60	0.00147	0.088	ESGOTO	2000
09/08/2012	1	8055	33.17	33.17	32.66	0.50	5	1	4	60	0.00126	0.075	ESGOTO	1000
09/08/2012	1	8055	33.17	33.17	32.83	0.34	5	1	4	60	0.00084	0.050	ESGOTO	1000
09/08/2012	1	8055	33.17	33.00	32.66	0.34	15	5	10	60	0.00034	0.020	ESGOTO	1000
09/08/2012	1	8055	33.17	33.17	32.66	0.50	15	2	13	60	0.00039	0.023	ESGOTO	1000
09/08/2012	2	8055	43.56	43.34	43.12	0.22	15	10	5	60	0.00044	0.026	ESGOTO	2000
09/08/2012	2	8055	43.56	43.45	43.12	0.33	15	5	10	60	0.00033	0.020	ESGOTO	2000
09/08/2012	2	8055	43.56	43.45	43.12	0.33	15	5	10	60	0.00033	0.020	ESGOTO	2000
09/08/2012	2	8055	43.56	43.56	43.12	0.44	15	2	13	60	0.00034	0.020	ESGOTO	2000

TABELA 5.3- MÉDIA DAS VELOCIDADES DE SEDIMENTAÇÃO DO LODO SÉPTICO EM COLUNAS DE SEDIMENTAÇÃO DE 1L E 2L

Concentração ST (mg/L)	Velocidade de Sedimentação (m/h)	
	Coluna 1L	Coluna 2L
2000	0,033	0,034
4127	0,033	0,053
6091	0,047	0,059
8055	0,042	0,022

NOTA: Velocidade média de quatro experimentos

Campos *et. al* (2009) , citando trabalhos de pesquisa da UnB- Universidade de Brasília, descrevem a nítida interface para a sedimentação lodo séptico quando associado ao lodo primário em colunas de sedimentação de 1L. No entanto, os trabalhos visavam o dimensionamento de espessadores e utilizavam o lodo primário já adensado. Os trabalhos ora conduzidos pela UFPR, no entanto, para o lodo coletado e estudado, concluiu que a metodologia empregada para estudar a Sedimentação do Tipo 3 não permitiu avaliar adequadamente o processo.

5.2 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO DO LODO DE TANQUE SÉPTICO *IN NATURA* ADMITINDO A TEORIA DE SEDIMENTAÇÃO DO TIPO 2

Admitindo Teoria de Sedimentação do Tipo 2, foram realizadas duas baterias de ensaios visando à determinação das velocidades de sedimentação que são fisicamente iguais às taxas de aplicação superficial, parâmetro essencial ao dimensionamento de decantadores e adensadores.

5.2.1 Etapa 1

A ETAPA 1 foi realizada no dia 06/09/2012 na Estação de Tratamento de Esgotos Belém, ETE-BELÉM, utilizando-se colunas de 30L. As concentrações

das amostras ensaiadas nesta fase dos experimentos encontram-se na TABELA 5.4.

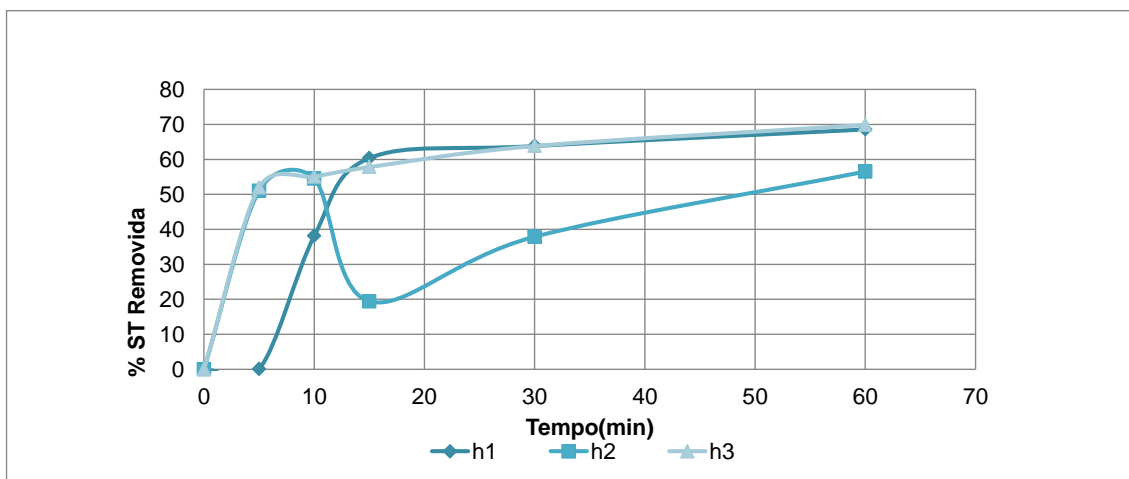
TABELA 5.4- PERCENTAGEM DE LODO SÉPTICO E CONCENTRAÇÃO DA AMOSTRA NA ETAPA 1

CONFIGURAÇÕES ENSAIADAS	COLUNA 1	COLUNA 2	COLUNA 3	COLUNA 4
% Lodo de Fossa	12,7	25,5	38,2	51,0
Concentração de Sólidos Totais –ST (mg/L)	2737	4869	7001	9132

Conforme mencionado no item 4.2.2 para cada concentração ensaiada, obteve-se a percentagem de Sólidos Totais-ST removidas da amostra nos tempos 5, 10, 15, 30 e 60 min, para as profundidades 0,30m, 0,45m e 0,60m. Observa-se pela FIGURA 5.3 e TABELA 5.5 que para as concentrações ensaiadas a tendência é aumento na percentagem removida de sólidos totais (ST) ao longo do tempo. Apenas em ST= 2.737 mg/L, h2= 0,45 e t= 15 min e t= 30 min; ST= 4868 mg/L, h1=0,30m e t= 60 min e ST= 9132 mg/L, h3=0,60m e t=60 min houveram inflexões nas curvas de percentagens de remoção. Esses resultados podem ser indicativo de falhas no aspecto construtivo das colunas ou erros analíticos.

Os gráficos mostram, que para todas as concentrações de ST ensaiadas, após 15 minutos de sedimentação, não ocorrem acréscimos significativos nas percentagens de remoção. Sendo assim, a taxa aproximada a ser considerada para projeto é de aproximadamente 30 m³/m².dia

A FIGURA 5.3, FIGURA 5.4, FIGURA 5.5 e FIGURA 5.6 exibem graficamente o comportamento das curvas de sedimentação para o lodo séptico nesta etapa.



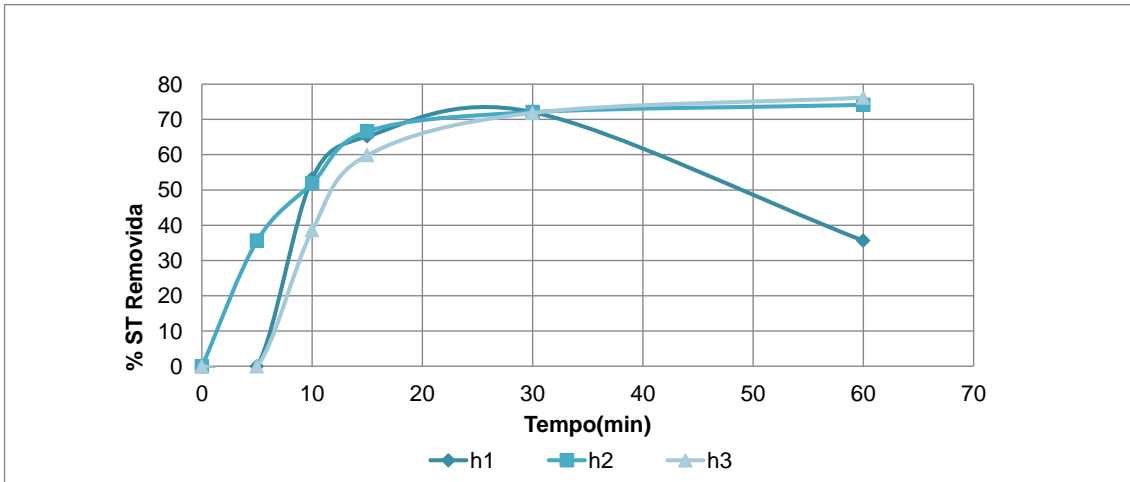
NOTA: h1= 0,30m; h2= 0,45m e h3= 0,60m.

FIGURA 5.3 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE ST EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA C= 2.737 mg/L- ETAPA 1

TABELA 5.5- PERCENTAGEM REMOVIDA DE ST AO LONGO DAS PROFUNDIDADES PARA AS CONCENTRAÇÕES ENSAIADAS- ETAPA 1

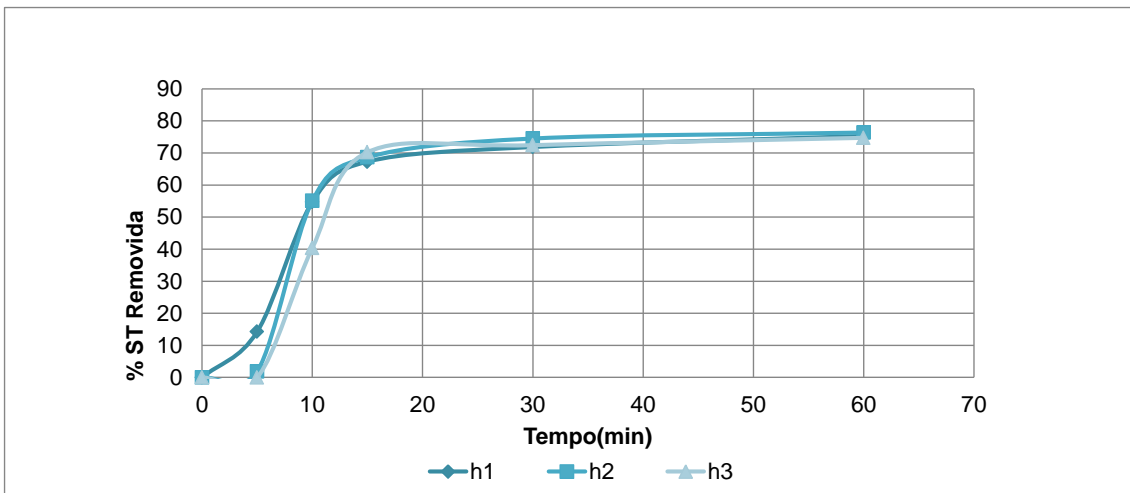
Sólidos Totais-ST	Tempo (min)	h1 = 0,30m		h2 =0,45m		h3 = 0,60m	
		ST	% REMOVIDA	ST	% REMOVIDA	ST	% REMOVIDA
2737 mg/L	0	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	5	3705	0	1340	51	1315	52
	10	1695	38	1245	55	1230	55
	15	1085	60	2205	19	1155	58
	30	990	64	1700	38	990	64
	60	860	69	1190	57	825	70
4868 mg/L	0	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	5	4960	0	3135	36	5350	0
	10	2275	53	2340	52	2990	39
	15	1695	65	1625	67	1955	60
	30	1360	72	1360	72	1370	72
	60	3135	36	1260	74	1160	76
7001 mg/L	0	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	5	6000	14	6870	2	8170	0
	10	3170	55	3145	55	4175	40
	15	2290	67	2195	69	2085	70
	30	1970	72	1785	75	1930	72
	60	1730	75	1655	76	1770	75
9132 mg/L	0	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	5	9450	0	11320	0	8525	7
	10	4085	55	4665	49	6710	27
	15	2610	71	2745	70	3260	64
	30	2325	75	2895	68	2640	71
	60	1915	79	2160	76	2880	68

NOTA: h1, h2 e h3: alturas dos registros de amostragem



NOTA: h1= 0,30m; h2= 0,45m e h3= 0,60m.

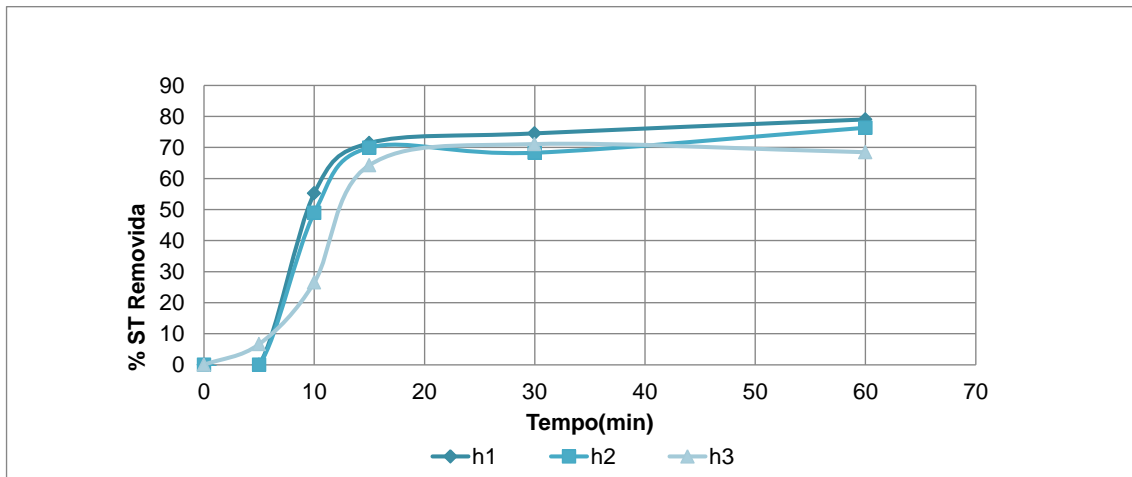
FIGURA 5.4 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE ST EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA C= 4.869 mg/L- ETAPA 1



NOTA: h1= 0,30m; h2= 0,45m e h3= 0,60m.

FIGURA 5.5 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE ST EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA C= 7.001 mg/L- ETAPA 1

A partir dos valores obtidos e apresentados na TABELA 5.5, foram interpolados os dados de remoção de sólidos totais-ST em função da profundidade conforme a TABELA 5.6. Estes resultados permitiram a elaboração do gráfico, profundidade x tempo, onde foram traçadas as curvas de isoefficiência, em função da percentagem de remoção de ST. Observa-se pela TABELA 5.6 que para obtenção de maiores percentagens de remoção de sólidos totais (ST) são necessários maiores tempos, para todas as profundidades.



NOTA: h1= 0,30m; h2= 0,45m e h3= 0,60m.

FIGURA 5.6 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE ST EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA C= 9.132 mg/L- ETAPA 1

Para ST= 2.737 mg/L, os tempos para as profundidades 0,30m e 0,60m diferem consideravelmente para uma dada remoção. No entanto, o h=0,45m é uma inflexão nas curvas de isoefficiência. Para ST 7.001 mg/L e uma dada remoção, os tempos tem valores próximos, mesmo ao longo das profundidades. Para o tempo 15 minutos, a partir do qual não ocorrem acréscimos significativos na remoção de ST, para todas as concentrações pode-se obter remoções em termos de Sólidos Totais-ST acima de 50%.

A FIGURA 5.7, FIGURA 5.8, FIGURA 5.9, FIGURA 5.10 representam graficamente os valores apresentados. A TABELA 5.7 permite selecionar a taxa de aplicação superficial para uma dada remoção desejada em termos de ST. Estes valores foram obtidos considerando-se a profundidade h1= 0,30m, que corresponde a fração de partículas que sedimentam rapidamente. A taxa de aplicação superficial é inversamente proporcional à área, sendo assim, para todas as percentagens de remoção, a amostra que obteve taxas maiores foi ST= 7.001 mg/L. Normalmente, quanto menor a concentração de sólidos de uma amostra, maior a velocidade de sedimentação e a taxa de aplicação superficial- TAS. No entanto, dentre as concentrações ensaiadas, a amostra ST= 2.737 mg/L foi a que obteve os menores valores de TAS para uma dada concentração quando comparadas às demais. Essa peculiaridade pode ser resultante da diluição, uma vez que a quantidade de esgoto sanitário na amostra foi maior, aumentando a fração de sólidos suspensos totais-SST.

Como citado anteriormente, as análises foram feitas em termos de sólidos totais, podendo embutir um erro analítico. A FIGURA 5.11, FIGURA 5.12, FIGURA 5.13 e FIGURA 5.14 permitem a seleção das taxas de aplicação superficial e dos tempos para uma determinada remoção.

TABELA 5.6- TEMPO DE REMOÇÃO DE ST AO LONGO DAS PROFUNDIDADES PARA AS CONCENTRAÇÕES ENSAIADAS

REMOÇÃO ST (%)	2.737 mg/L			4868 mg/L			7001 mg/L			9132 mg/L		
	Tempo (min)			Tempo (min)			Tempo (min)			Tempo (min)		
	0,30m	0,45m	0,6m	0,30m	0,45m	0,6m	0,30m	0,45m	0,6m	0,30m	0,45m	0,6m
10	7,0	1,0	1,0	6,1	2,0	7,0	4,0	6,0	6,5	6,0	6,0	6,0
20	8,0	2,0	2,0	7,0	3,0	8,0	6,0	7,0	8,0	7,0	7,5	9,0
30	9,0	3,0	3,0	8,0	4,0	9,0	7,0	8,0	9,0	8,0	8,2	11,0
40	10,5	3,8	3,8	8,8	6,0	10,0	8,0	8,5	10,0	8,2	9,0	11,8
50	11,8	5,8	5,8	9,8	9,8	12,0	9,2	9,2	11,2	9,5	10,0	12,0
60	-----	-----	-----	12,0	12,0	15,5	11,0	11,0	12,0	10,8	11,2	13,8
70	-----	-----	-----	18,0	18,0	26,0	16,0	16,0	14,0	14,0	14,0	20,0

TABELA 5.7- TEMPO, VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO E TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL EM RALAÇÃO A PERCENTAGEM DE SÓLIDOS TOTAIS REMOVIDA PARA AS CONCENTRAÇÕES ENSAIADAS.

% Removida v<v	2.737 mg/L			4.868 mg/L			7.001 mg/L			9.132 mg/L		
	Tempo (min)	Velocidade (m/h)	Taxa (m ³ /m ² .dia)	Tempo (min)	Velocidade (m/h)	Taxa (m ³ /m ² .dia)	Tempo (min)	Velocidade (m/h)	Taxa (m ³ /m ² .dia)	Tempo (min)	Velocidade (m/h)	Taxa (m ³ /m ² .dia)
10	7,0	2,6	62	6,1	3,0	71	4,0	4,5	108	6,0	3,0	72
20	8,0	2,3	54	7,0	2,6	62	6,0	3,0	72	7,0	2,6	62
30	9,0	2,0	48	8,0	2,3	54	7,0	2,6	62	8,0	2,3	54
40	10,5	1,7	41	8,8	2,0	49	8,0	2,3	54	8,2	2,2	53
50	11,8	1,5	37	9,8	1,8	44	9,2	2,0	47	9,5	1,9	45
60	-----	-----	-----	12,0	1,5	36	11,0	1,6	39	10,8	1,7	40
70	-----	-----	-----	18,0	1,0	24	16,0	1,1	27	14,0	1,3	31

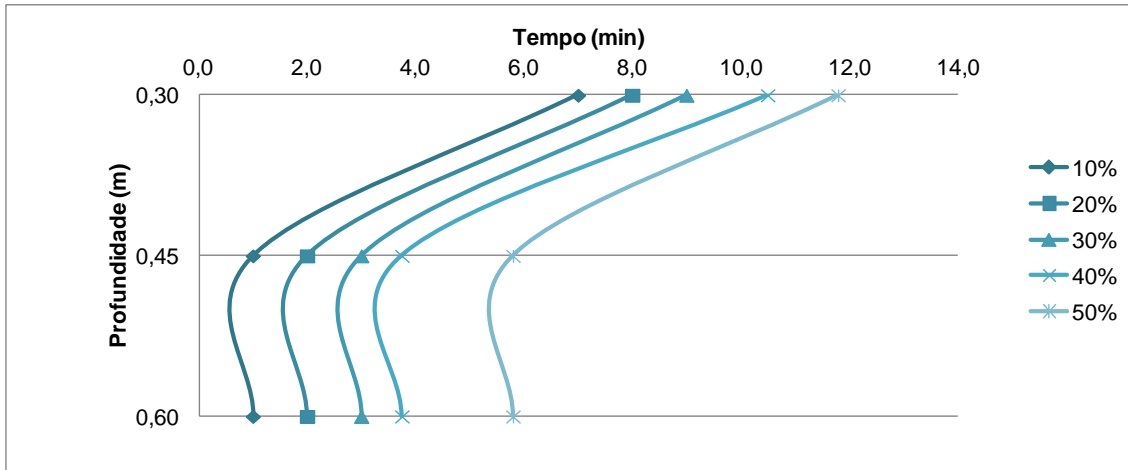


FIGURA 5.7 - PORCENTAGEM DE REMOÇÃO EM TERMOS DE ST EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE E TEMPO PARA ST= 2.737 mg/L- ETAPA 1

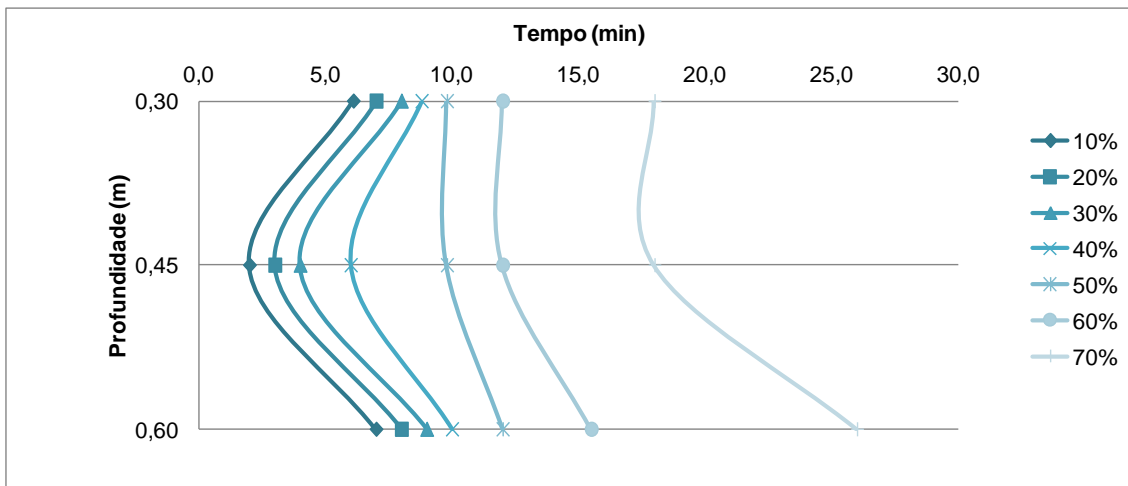


FIGURA 5.8 - PORCENTAGEM DE REMOÇÃO EM TERMOS DE ST EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE E TEMPO PARA ST= 4.869 mg/L- ETAPA 1

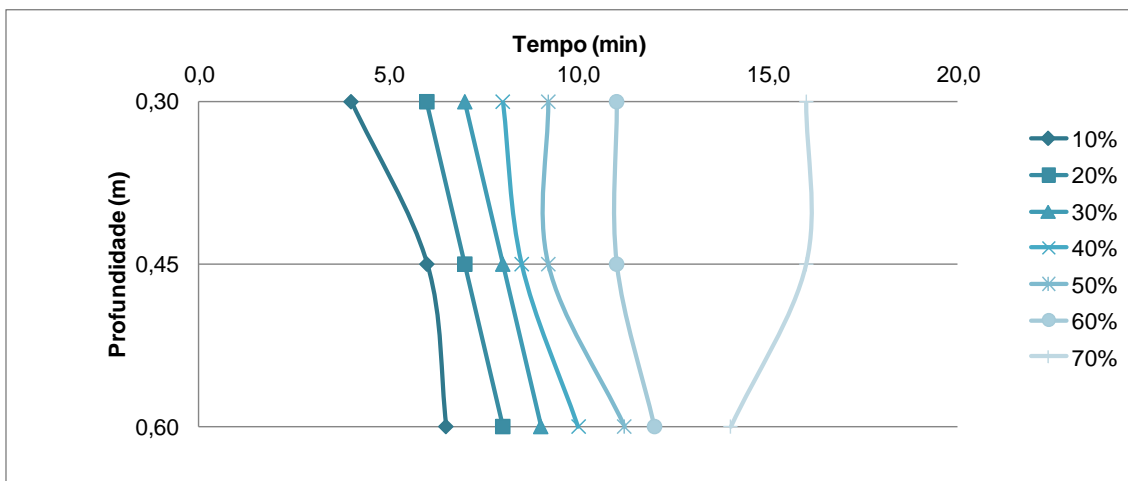


FIGURA 5.9 - PORCENTAGEM DE REMOÇÃO EM TERMOS DE ST EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE E TEMPO PARA ST= 7.001 mg/L- ETAPA 1

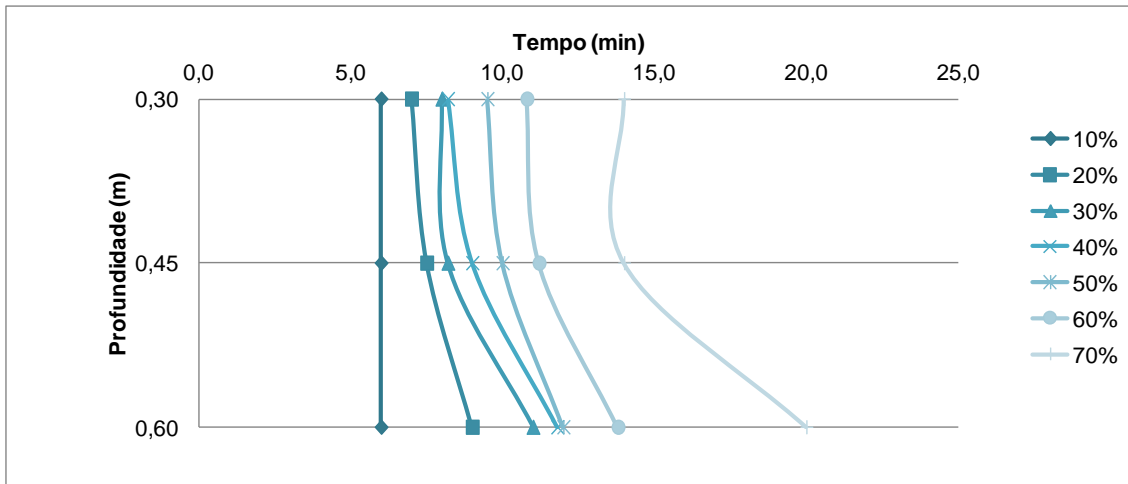


FIGURA 5.10 - PERCENTAGEM DE REMOÇÃO EM TERMOS DE ST EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE E TEMPO PARA ST= 9.132 mg/L- ETAPA 1

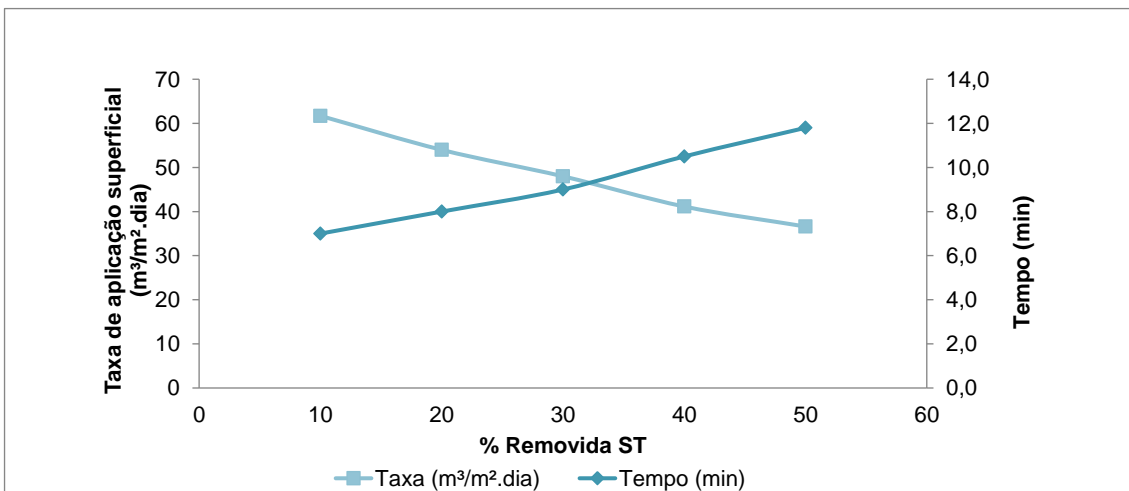


FIGURA 5.11 - CURVA DE REMOÇÃO DE ST X TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL PARA C= 2.737 mg/L- ETAPA 1

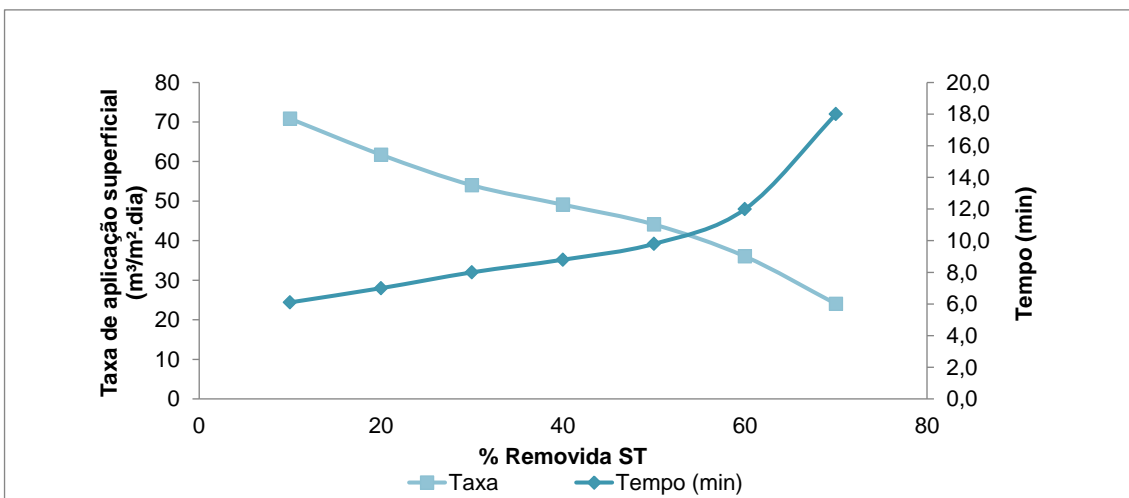


FIGURA 5.12 - CURVA DE REMOÇÃO DE ST X TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL PARA C= 4.869 mg/L- ETAPA 1

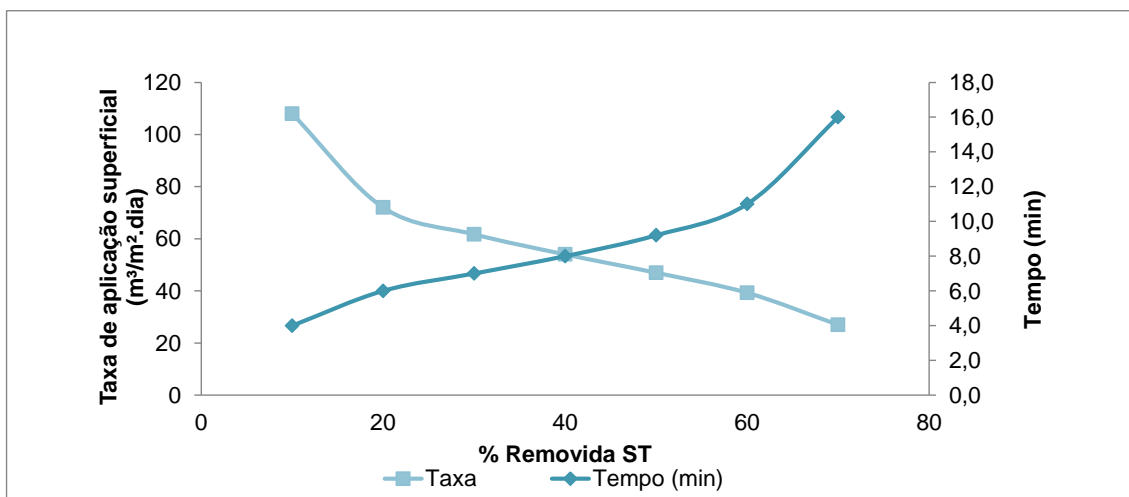


FIGURA 5.13 - CURVA DE REMOÇÃO DE ST X TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL PARA C= 7.001 mg/L- ETAPA 1

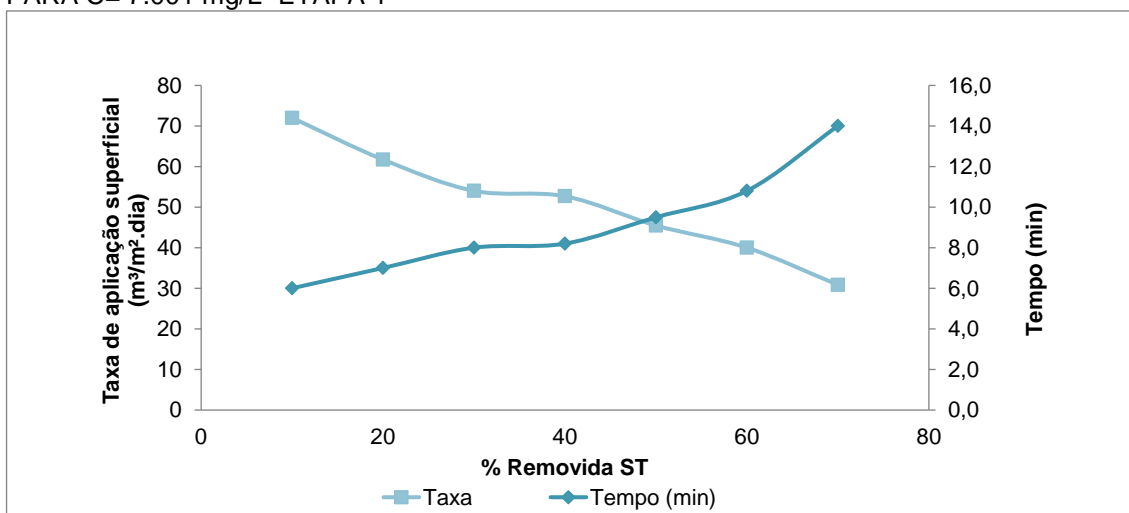


FIGURA 5.14 - CURVA DE REMOÇÃO DE ST X TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL PARA C= 9.132 mg/L- ETAPA 1

Ao final dos experimentos, a altura de lodo no fundo das colunas de sedimentação permitiu a quantificação do volume de lodo produzido em 60 min, para cada concentração ensaiada. Estes valores encontram-se na TABELA 5.8. Observa-se que, quanto maior a concentração inicial de sólidos totais na amostra, maior a altura de lodo e a concentração final do lodo de fundo.

5.2.2 Etapa 2

Os experimentos referentes a ETAPA 2 foram realizados na Estação de Tratamento de Esgotos-Belém no dia 15/04/2013. Para tanto, foram utilizadas colunas de sedimentação de 30L, com registros frontais para coleta de amostras nos tempos 5, 10, 15, 30 e 60 min, nas profundidades 0,30m, 0,45m e 0,60m. Para esta etapa, uma nova coleta de lodo séptico foi realizada, dando

continuidade aos experimentos. As concentrações ensaiadas nesta fase encontram-se na TABELA 5.9.

TABELA 5.8- CONCENTRAÇÃO DO LODO DE FUNDO DA ETAPA 1

Concentração da amostra (mg/L)	ST Lodo de Fundo (mg/L)	Volume do Lodo de Fundo (L)	Altura de Lodo (cm)
2737	20435	1,3	4
4869	34105	2,7	8,5
7001	35095	4,7	15
9132	42965	6,3	20

TABELA 5.9- PERCENTAGEM DE LODO SÉPTICO E CONCENTRAÇÃO DA AMOSTRA NA ETAPA-2

Configurações ensaiadas	COLUNA 1	COLUNA 2	COLUNA 3	COLUNA 4
% Lodo de Fossa	8,3	16,7	25,0	31,7
Concentração de Sólidos Totais (mg/L)	2635	4707	6780	8438

A análise de ST foi realizada em duplicata, e para valores avaliados como questionáveis fez-se a terceira análise. A TABELA 5.9 mostra que, a percentagem de remoção aumenta ao longo do tempo em termos de Sólidos Totais-ST. Algumas oscilações na eficiência de remoção do longo do tempo são observadas, podendo ser atribuídas a falhas na amostragem, ou aspectos construtivos da coluna.

Observa-se que a partir do tempo de 15 minutos existe uma estabilização da remoção dos sólidos totais para quase todas as concentrações. A FIGURA 5.15, FIGURA 5.16, FIGURA 5.17 e FIGURA 5.18 representam graficamente as percentagens de remoção ao longo do tempo em h1, h2 e h3, para as concentrações ensaiadas.

TABELA 5.10- PERCENTAGEM REMOVIDA DE ST AO LONGO DAS PROFUNDIDADES PARA AS CONCENTRAÇÕES ENSAIADAS- ETAPA- 2

Sólidos Totais-ST	Tempo (min)	h1 = 0,30m		h2 =0,45m		h3= 0,60m	
		ST	% REMOVIDA	ST	% REMOVIDA	ST	% REMOVIDA
2634 mg/L	0	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	5	1365	48	1725	35	2067	22
	10	1160	56	1000	62	935	65
	15	880	67	770	71	792	70
	30	795	70	742	72	792	70
	60	825	69	712	73	715	73
4707 mg/L	0	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	5	1697	64	2170	54	4160	12
	10	1262	73	1127	76	1740	63
	15	1140	76	1137	76	1140	76
	30	1027	78	1050	78	1045	78
	60	987	79	1012	79	967	79
6779 mg/L	0	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	5	3962	42	5755	15	7282	0
	10	1925	72	1857	73	7475	0
	15	1460	78	1442	79	6012	11
	30	1457	79	1490	78	2032	70
	60	1380	80	1335	80	1380	80
8437 mg/L	0	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	5	7055	16	7752	8	8780	0
	10	2285	73	8862	0	9300	0
	15	1465	83	1967	77	9907	0
	30	1355	84	5097	40	8175	3
	60	1160	86	1375	84	2530	70

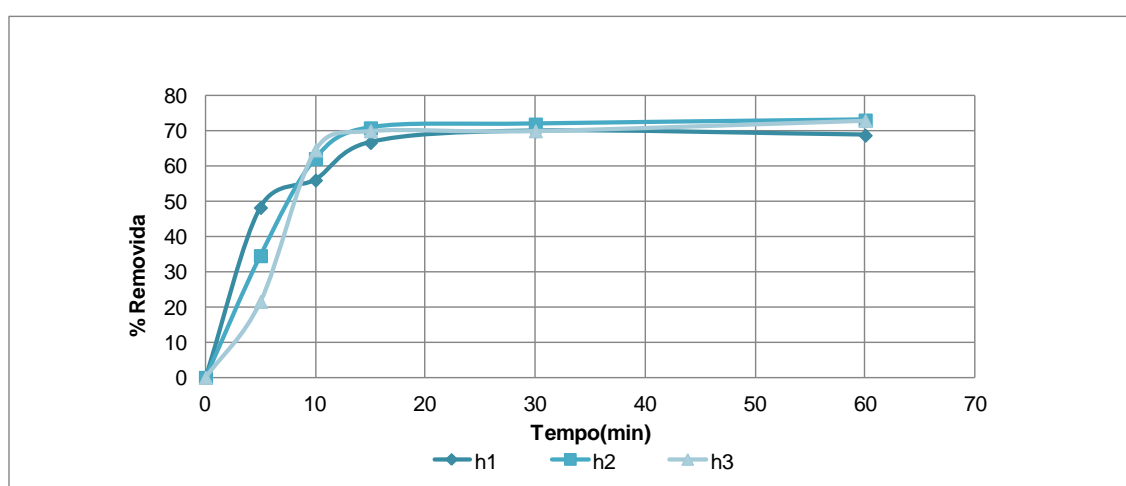


FIGURA 5.15 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE ST EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA C= 2.634 mg/L- ETAPA-2
 NOTA: h1= 0,30m; h2= 0,45m e h3= 0,60m.

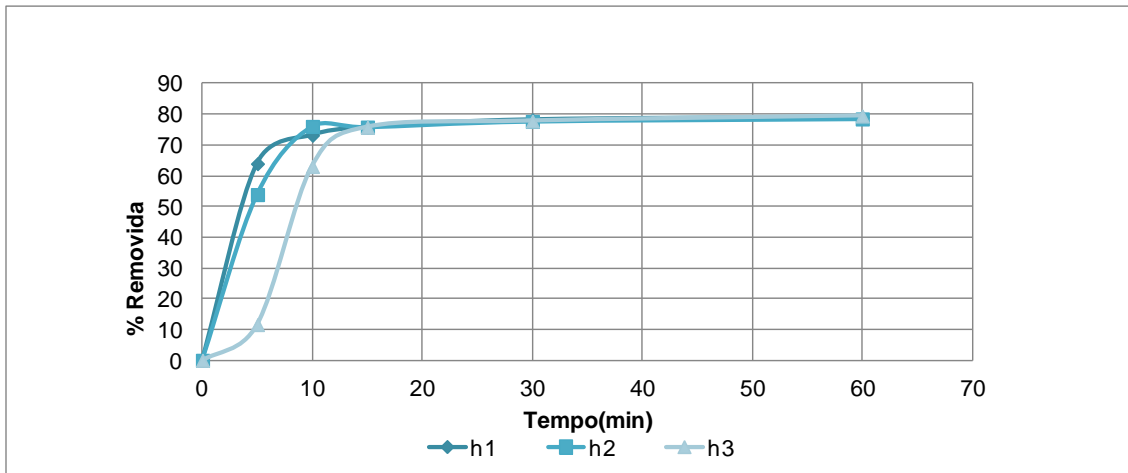


FIGURA 5.16 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE ST EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA C= 4.707 mg/L- ETAPA-2
 NOTA: h1= 0,30m; h2= 0,45m e h3= 0,60m.

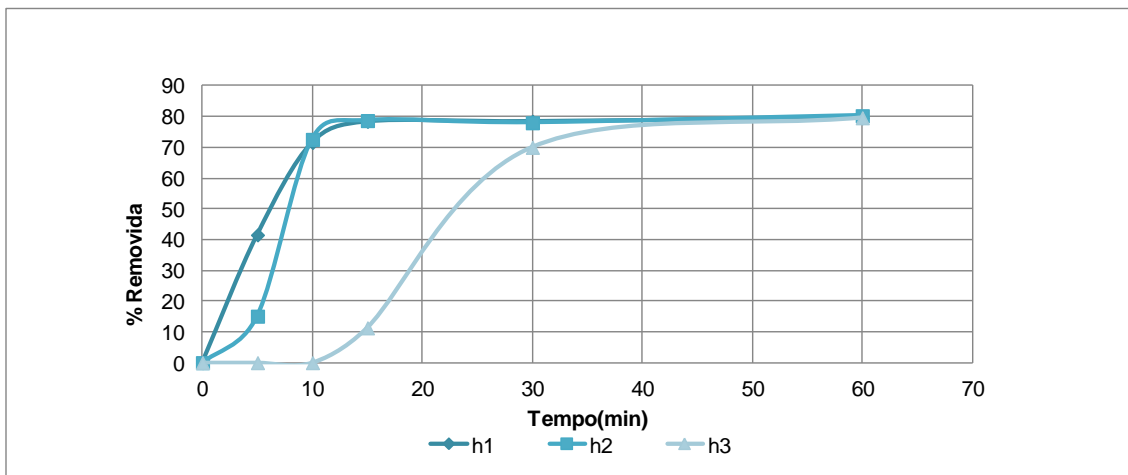


FIGURA 5.17 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE ST EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA C= 6.779 mg/L- ETAPA-2
 NOTA: h1= 0,30m; h2= 0,45m e h3= 0,60m.

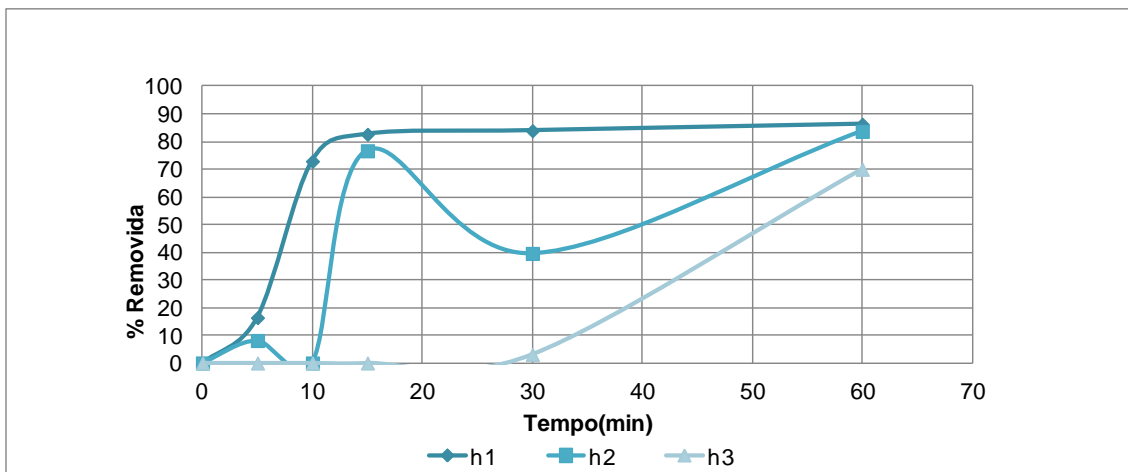


FIGURA 5.18 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE ST EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA C= 8.437 mg/L- ETAPA-2
 NOTA: h1= 0,30m; h2= 0,45m e h3= 0,60m.

A interpolação dos dados de remoção dos sólidos totais em função da profundidade para cada tempo, conforme apresentado na TABELA 5.10, resultou na TABELA 5.11. Estes dados permitiram a elaboração de curvas de isoeffiência, expressas em termos de sólidos totais para as concentrações estudadas. Conforme mencionado no item 5.2.1, para maiores percentagens de remoção, independente da concentração da amostra ensaiada, maiores tempos são requeridos. Observa-se que para $t=15$ min, é possível obter eficiências de remoção de ST superiores a 60%. A representação gráfica destes valores, podem ser verificados na FIGURA 5.19, FIGURA 5.20, FIGURA 5.21 e FIGURA 5.22.

A TABELA 5.12 mostra os tempos, velocidades de sedimentação e taxas de aplicação superficial considerando várias remoções para amostras ensaiadas para $h_1=0,30$ m. Quanto maior a remoção requerida, menores são as taxas de aplicação superficial, que conduzirão a unidades de sedimentação maiores. Para 70% de remoção de sólidos totais, a melhor taxa encontrada foi para $ST= 4.707$ mg/L, com valor de 72 m³/m².dia. As taxas e tempos também podem ser obtidos graficamente através da FIGURA 5.23, FIGURA 5.24, FIGURA 5.25 e FIGURA 5.26.

TABELA 5.11- TEMPO DE REMOÇÃO DE ST AO LONGO DAS PROFUNDIDADES PARA AS CONCENTRAÇÕES ENSAIADAS ETAPA 2

REMOÇÃO ST (%)	2634 mg/L			4707 mg/L			6779 mg/L			8437 mg/L		
	Tempo (min)			Tempo (min)			Tempo (min)			Tempo (min)		
	0,30m	0,45m	0,6m	0,30m	0,45m	0,6m	0,30m	0,45m	0,6m	0,30m	0,45m	0,6m
10	1,0	1,5	2,7	1,0	1,0	5,0	1,0	4,3	15,0	4,0	11,0	34,0
20	1,9	2,9	4,3	1,7	1,9	6,0	2,2	5,8	17,0	5,7	11,0	38,5
30	2,5	4,2	6,0	2,0	2,3	7,0	3,8	6,2	19,0	6,5	11,5	43,0
40	4,0	6,0	7,0	3,0	3,7	7,8	5,0	7,2	21,0	7,0	12,5	47,0
50	5,0	7,7	8,0	3,8	4,2	8,2	6,1	8,0	23,0	8,0	12,2	51,0
60	11,5	9,7	9,6	4,3	6,0	9,7	7,8	8,8	25,8	8,8	13,0	55,0
70	24,0	13,0	12,0	6,0	8,0	11,2	9,8	9,8	30,0	9,8	13,8	60,0

TABELA 5.12- TEMPO, VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO E TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL EM RELAÇÃO A PERCENTAGEM DE SÓLIDOS TOTAIS REMOVIDA PARA AS CONCENTRAÇÕES ENSAIADAS

% Removida v<v	2634 mg/L			4707 mg/L			6779 mg/L			8437 mg/L		
	Tempo (min)	Velocidade (m/h)	Taxa (m³/m².dia)	Tempo (min)	Velocidade (m/h)	Taxa (m³/m².dia)	Tempo (min)	Velocidade (m/h)	Taxa (m³/m².dia)	Tempo (min)	Velocidade (m/h)	Taxa (m³/m².dia)
10	1,0	18,0	432	1,0	18,0	432	1,5	12,0	288	4,0	4,5	108
20	1,9	9,5	227	1,7	10,6	254	2,2	8,2	196	5,7	3,2	76
30	2,5	7,2	173	2,0	9,0	216	3,8	4,7	114	6,5	2,8	66
40	4,0	4,5	108	3,0	6,0	144	5,0	3,6	86	7,0	2,6	62
50	5,0	3,6	86	3,8	4,7	114	6,1	3,0	71	8,0	2,3	54
60	11,5	1,6	37,6	4,3	4,2	100	7,8	2,3	55	8,8	2,0	49
70	24,0	0,8	18,0	6,0	3,0	72	9,8	1,8	44	9,8	1,8	44

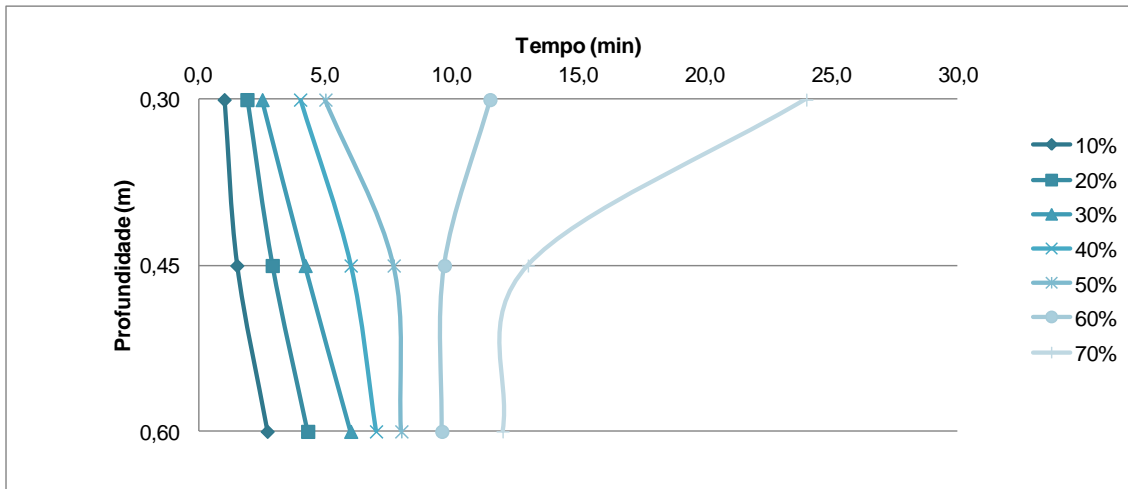


FIGURA 5.19 - PORCENTAGEM DE REMOÇÃO EM TERMOS DE ST EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE E TEMPO PARA ST = 2.634 mg/L- ETAPA-2

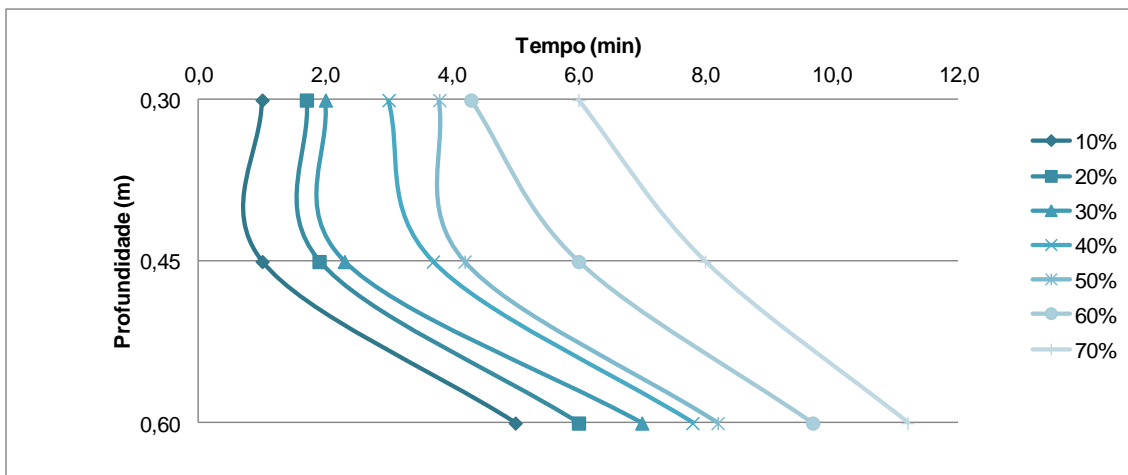


FIGURA 5.20 - PORCENTAGEM DE REMOÇÃO EM TERMOS DE ST EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE E TEMPO PARA ST= 4.707 mg/L- ETAPA-2

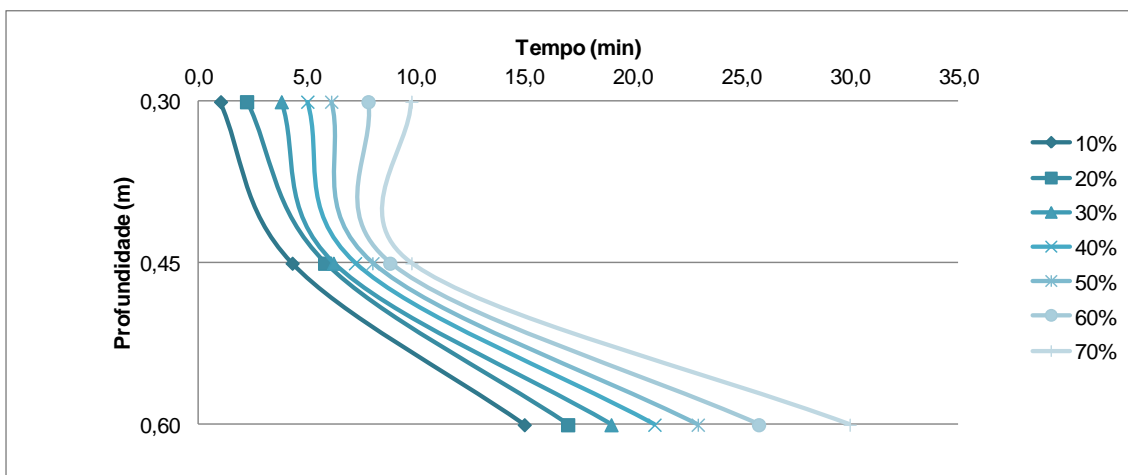


FIGURA 5.21 - PORCENTAGEM DE REMOÇÃO EM TERMOS DE ST EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE E TEMPO PARA ST= 6.779 mg/L- ETAPA-2

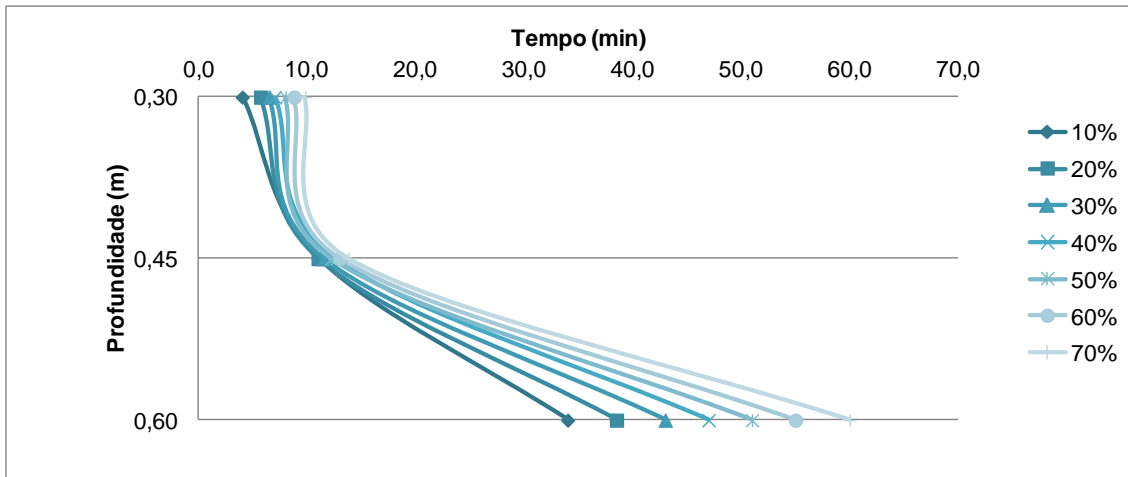


FIGURA 5.22 - PERCENTAGEM DE REMOÇÃO EM TERMOS DE ST EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE E TEMPO PARA ST= 8.437 mg/L- ETAPA-2

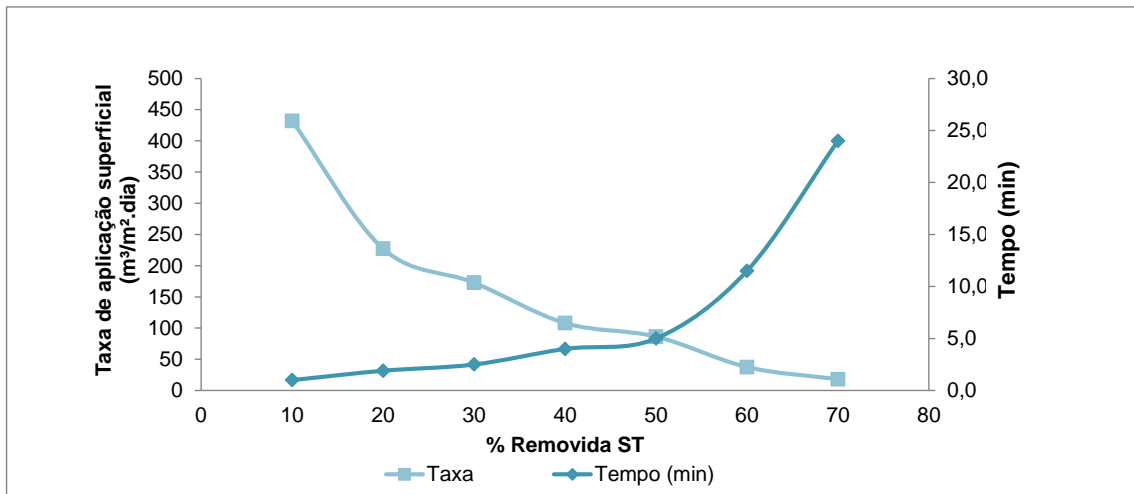


FIGURA 5.23 - CURVA DE REMOÇÃO DE ST X TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL PARA C= 2.634 mg/L- ETAPA-2

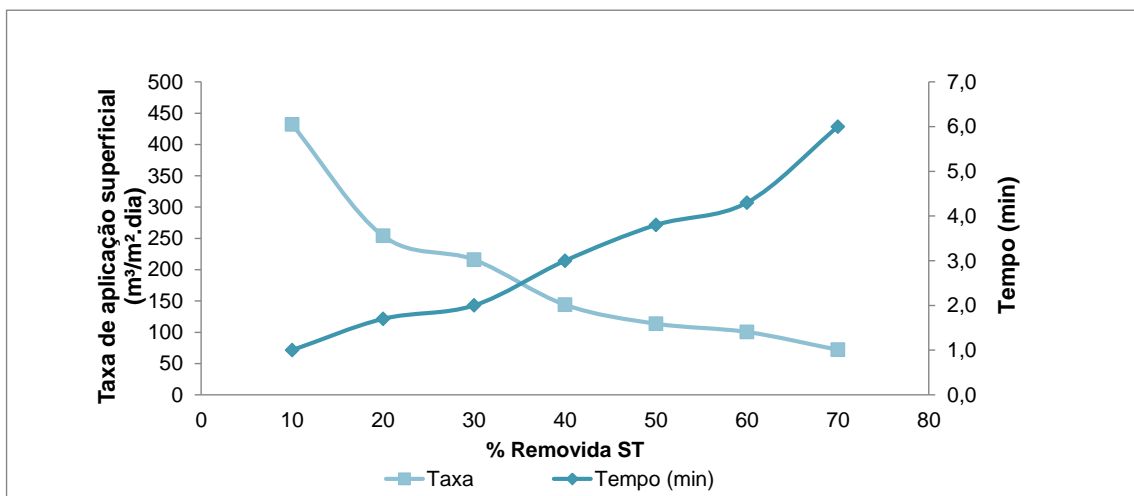


FIGURA 5.24 - CURVA DE REMOÇÃO DE ST X TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL PARA C= 4.707 mg/L- ETAPA-2

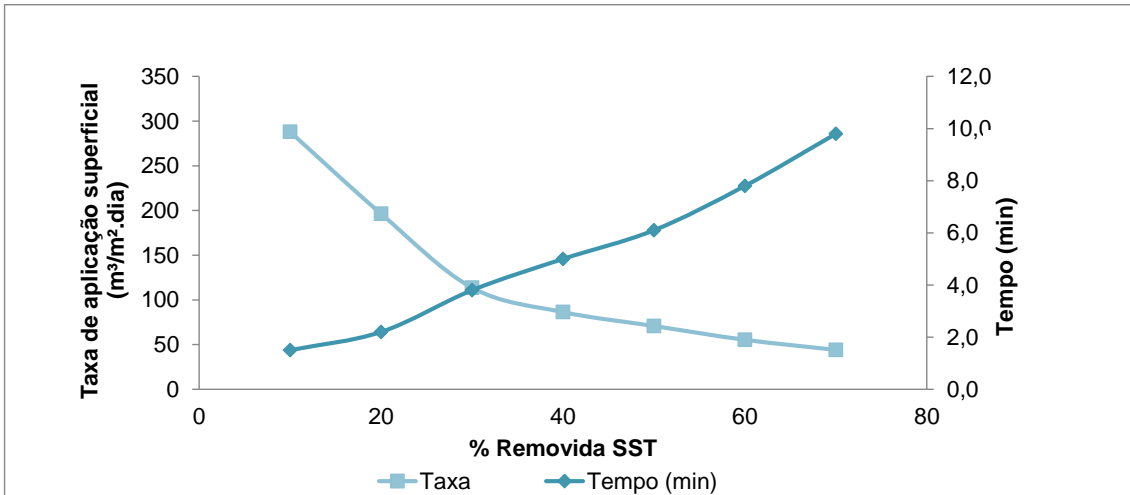


FIGURA 5.25 - CURVA DE REMOÇÃO DE ST X TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL PARA C= 6.779 mg/L- ETAPA-2

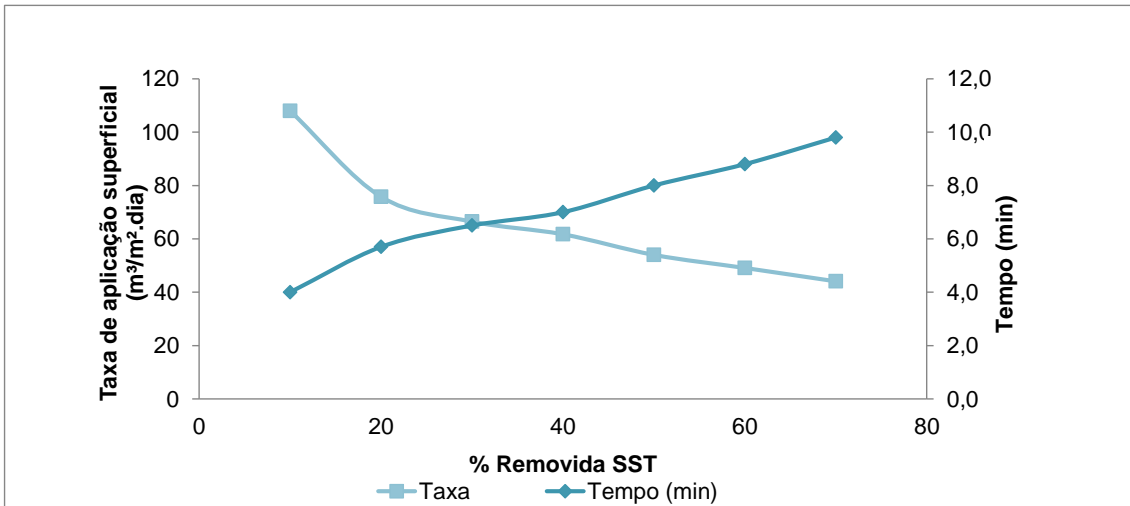


FIGURA 5.26 - CURVA DE REMOÇÃO DE ST X TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL PARA C= 8.437 mg/L- ETAPA-2

A concentração e o volume do lodo de fundo, após 60 minutos de sedimentação em colunas, encontram-se na TABELA 5.13. Nota-se que, a concentração de sólidos totais (ST) na amostra inicial é diretamente proporcional à concentração de sólidos totais (ST) no lodo de fundo. No entanto, houve uma alternância entre as amostras iniciais de ST= 4.707 mg/L e 6.779 mg/L. Observou-se nos experimentos, a necessidade da coluna de sedimentação ter profundidade semelhante à escala real, pois, ao final dos 60 minutos de sedimentação, o lodo de fundo atingiu o registro a 0,60m, indicando mudança do tipo de sedimentação, até então do Tipo 2 (Floculenta) para o Tipo 4 (Compressão).

TABELA 5.13- CONCENTRAÇÃO DO LODO DE FUNDO DA ETAPA 2

Concentração da amostra (mg/L)	Concentração do Lodo de Fundo	Volume do Lodo de Fundo (L)	Altura de Lodo (cm)
2634,5	143000	2,5	8
4707	23022	6,0	19
6779	21725	9,7	31
8437	25025	11,3	36

5.2.3 Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos na ETAPA-1 apontam que, após 15 min de sedimentação, não existe acréscimo significativo nas percentagens de remoção de sólidos totais-ST para as amostras ao longo das profundidades. As eficiências ficaram limitadas a 79%, sendo que as oscilações podem ser explicadas por erros amostrais ou defeitos na concepção das colunas.

Os valores de Sólidos Totais foram utilizados em detrimento aos Sólidos Suspensos Totais, devido a erros analíticos na filtragem. Para baixas concentrações, poderá ser impresso um erro maior que em altas, uma vez que, espera-se uma quantidade de sólidos dissolvidos maior.

As oscilações no teor de sólidos totais da amostra podem ser atribuídas à concepção das colunas que se utilizou de registros grandes, capazes de reter material de uma amostra para a outra. Quanto à altura da coluna, recomenda-se trabalhar com dimensões maiores, conforme Carvalho e Di Bernardo (1998), uma vez que, o lodo sedimentado, quando em altas concentrações, atingiu o último registro. A inserção de agitadores mecanizados nas provetas, para melhor homogeneização da amostra inicial, também pode conduzir a melhores resultados.

Para a ETAPA-2, quanto maior a concentração de ST na amostra, maior a percentagem de remoção ao longo do tempo. Semelhante a ETAPA-1, após 15 de minutos de sedimentação, a percentagem de remoção não aumenta significativamente. No entanto, o limite superior da eficiência de remoção de ST

chegou a 86%. Para 70% de remoção de sólidos, a taxa máxima obtida foi com a amostra com concentração inicial de 4.707 mg/L.

5.3 ESTUDO DA SEDIMENTAÇÃO DO LODO DE TANQUE SÉPTICO QUIMICAMENTE ASSISTIDA

A sedimentação quimicamente assistida foi realizada no equipamento de jarrest (FIGURA 5.27), que simula as etapas de mistura rápida, mistura lenta e decantação. A inexistência de estudos anteriores neste sentido levou a testes iniciais visando obter uma faixa de dosagens passível de ser utilizada para os coagulantes escolhidos.

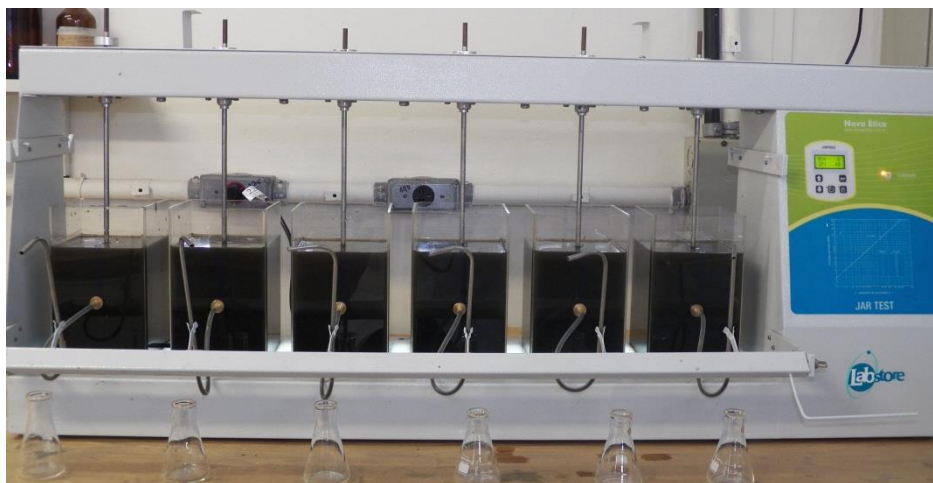


FIGURA 5.27 – EQUIPAMENTO DE JARREST UTILIZADO NOS EXPERIMENTOS

Arbitrou-se inicialmente dosagens entre 50 mg/L a 1000 mg/L, no entanto, os testes iniciais mostraram que a partir de 200 mg/L a formação de flocos ficava prejudicada, pois eram formados aglomerados de lodo que aumentavam a turbidez e produziam uma quantidade excessiva de lodo no fundo. Desta forma, definiu-se a faixa de dosagens de 50 mg/L a 200 mg/L, mantendo sempre um frasco sem adição de coagulantes para efeito comparativo. Para avaliação do desempenho e escolha das dosagens ótimas, foram medidas na amostra inicial os parâmetros de pH e turbidez, sendo estes comparados aos obtidos no final do experimento. As amostras foram retiradas através de coletores localizados a 7 cm da superfície do líquido após 20 minutos de decantação, correspondendo a uma TAS de 5,52 m³/m².dia, conforme especificado no item 4.2.2. A TABELA 5.14 mostra os valores de pH

e turbidez para cada dosagem de Cloreto Férrico, Sulfato de Alumínio, Hidróxido de Cálcio antes e após os experimentos.

TABELA 5.14- DOSAGEM DOS COAGULANTES EMPREGADOS NA SEDIMENTAÇÃO QUIMICAMENTE ASSISTIDA DO LODO SÉPTICO

COAGULANTE	PARÂMETROS	Concentração (mg/L)						
		Inicial	0	50	100	125	150	200
Cloreto Férrico	Turbidez (NTU)	10.000	7680	12540	8080	8620	13020	885
	pH	7,09	6,95	6,9	6,79	6,72	6,65	6,52
Sulfato de Alumínio	Turbidez (NTU)	10.625	3060	9520	7000	9360	8580	1720
	pH	7,03	6,93	6,76	6,58	6,57	6,5	6,34
Hidróxido de Cálcio	Turbidez (NTU)	10.000	3031	1905	1296	850	1157	809
	pH	6,93	7	7,01	7,01	7,02	7,03	7,03

Considerando os valores obtidos para o Cloreto Férrico, observa-se que os valores de pH, são menores quanto maiores são as dosagens utilizadas. Em se tratando de turbidez, houve oscilação entre as dosagens 50 mg/L e 150 mg/L, sendo a melhor dosagem obtida, 200 mg/L (FIGURA 5.28).

Para o Sulfato de Alumínio, os valores de pH sofreram decréscimo a medida que, as dosagens do coagulante foram aumentadas. Para turbidez, também houve oscilações nos resultados encontrados, no entanto, a dosagem ótima encontrada foi de 200 mg/L. Nota-se que a não utilização de produtos químicos produziu melhores resultados do que os obtidos para as dosagens 50, 100, 125 e 150 mg/L (FIGURA 5.29).

O Hidróxido de Cálcio proporcionou aumento no pH a medida que a dosagem utilizada foi acrescida. Quanto aos valores de turbidez, houve decréscimo a medida que a concentração do produto químico aumentou (FIGURA 5.30), sendo a dosagem ótima 200 mg/L.

A faixa de dosagens escolhida para Cloreto férrico, Hidróxido de Cálcio e Sulfato de Alumínio não pode ser utilizada com o polímero catiônico como único agente de coagulação. A formação de flocos para dosagens acima de 50 mg/L produziu uma grande quantidade de lodo, incrustação das palhetas do jarrest, e aumento dos valores de turbidez após as etapas de mistura rápida, mistura lenta e decantação. A faixa de dosagens utilizada para coagulação mediante a utilização de polímero e os valores de pH e turbidez encontram-se na TABELA 5.15.

TABELA 5.15- DOSAGENS DE POLÍMERO CATIÔNICO EMPREGADOS NA SEDIMENTAÇÃO QUIMICAMENTE ASSISTIDA

COAGULANTE	PARÂMETROS	Dosagem (mg/L)						
		Inicial	0	5	10	15	20	25
Polímero Catiônico	Turbidez (NTU)	10.500	2565	1860	8125	4575	4005	301
	pH	7,06	6,96	6,91	6,99	6,97	7,01	6,98

Os resultados mostram que existe uma variação do pH, no entanto, sem correlação evidente com a dosagem de polímero utilizada. Para as concentrações 0 mg/L e 5 mg/L houve decréscimo nos valores de turbidez, quando comparados aos iniciais, no entanto, para 10 mg/L e 15 mg/L houve acréscimo destes valores, sendo a dosagem ótima encontrada de 25 mg/L (FIGURA 5.31).

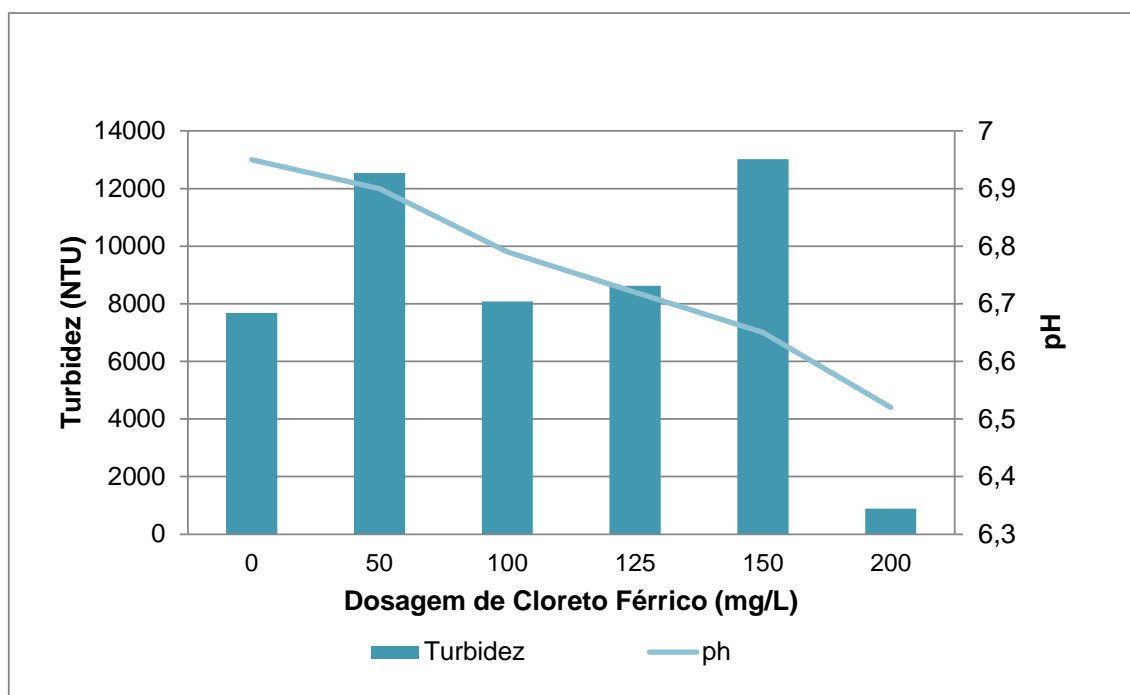


FIGURA 5.28 - VARIAÇÃO DA TURBIDEZ E pH DO LODO SÉPTICO COM APLICAÇÃO DE CLORETO FÉRRICO

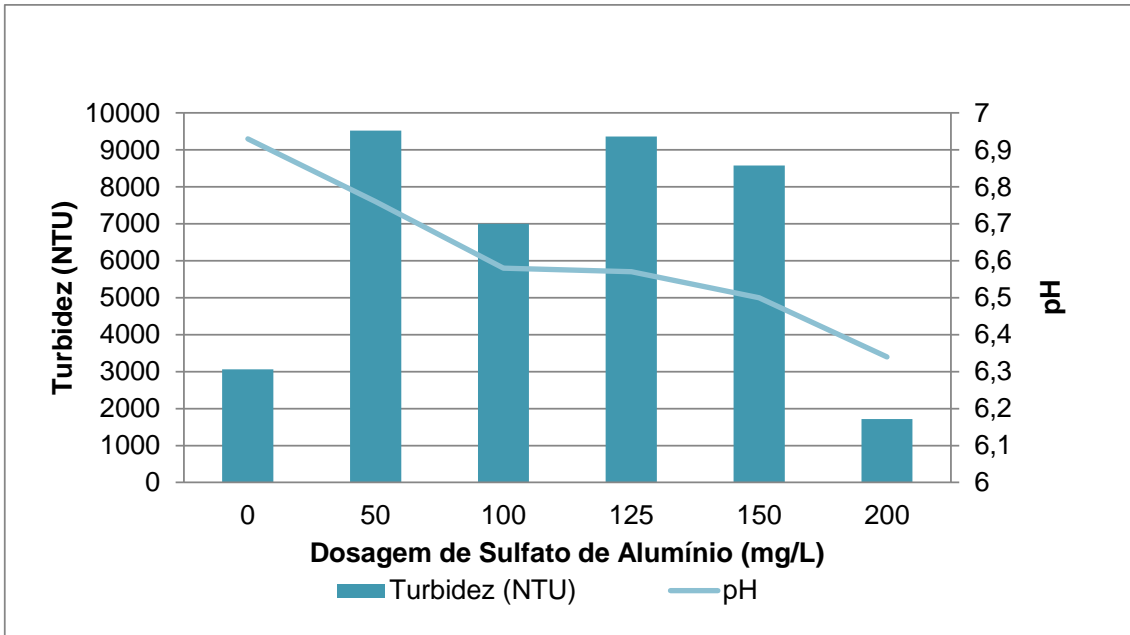


FIGURA 5.29 - VARIAÇÃO DA TURBIDEZ E pH DO LODO SÉPTICO COM APLICAÇÃO DE SULFATO DE ALUMÍNIO

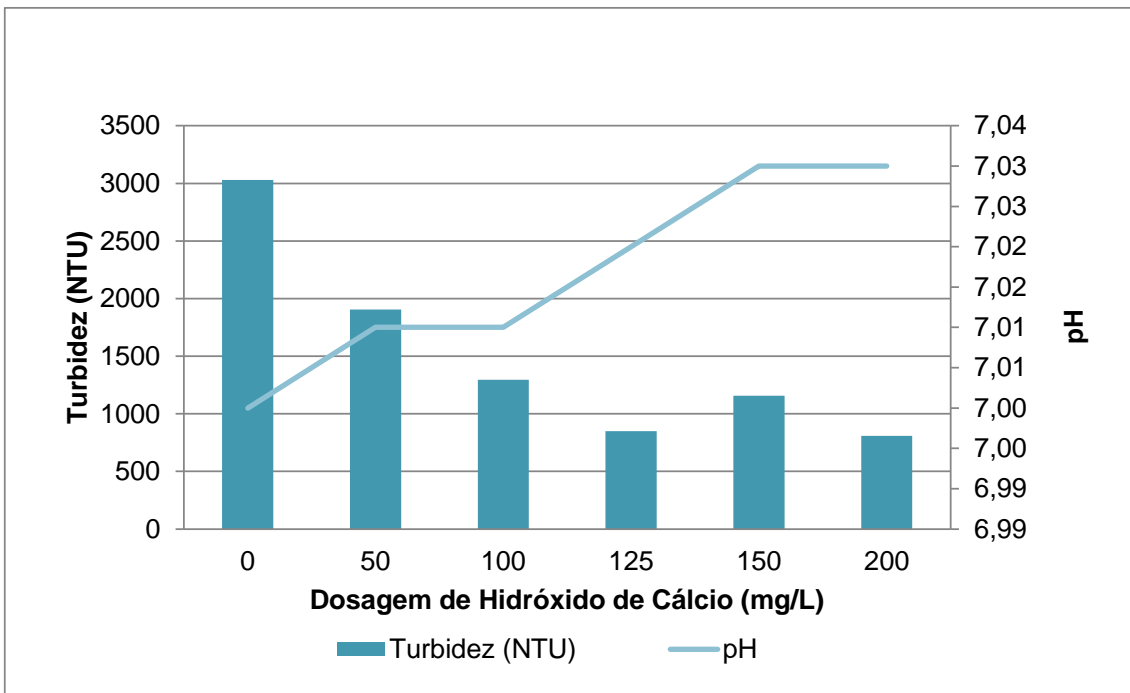


FIGURA 5.30 - VARIAÇÃO DA TURBIDEZ E pH DO LODO SÉPTICO COM APLICAÇÃO DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO

A otimização das dosagens, foi obtida mediante a associação dos coagulantes (Cloreto Férrico, Sulfato de Alumínio e Hidróxido de Cálcio) ao Polímero Catiônico. Após ensaios preliminares, optou-se fixar a dosagem de 50 mg/L para os coagulantes e variar as dosagens de polímero utilizadas

anteriormente. A TABELA 5.16 mostra os valores iniciais e finais de pH e turbidez.

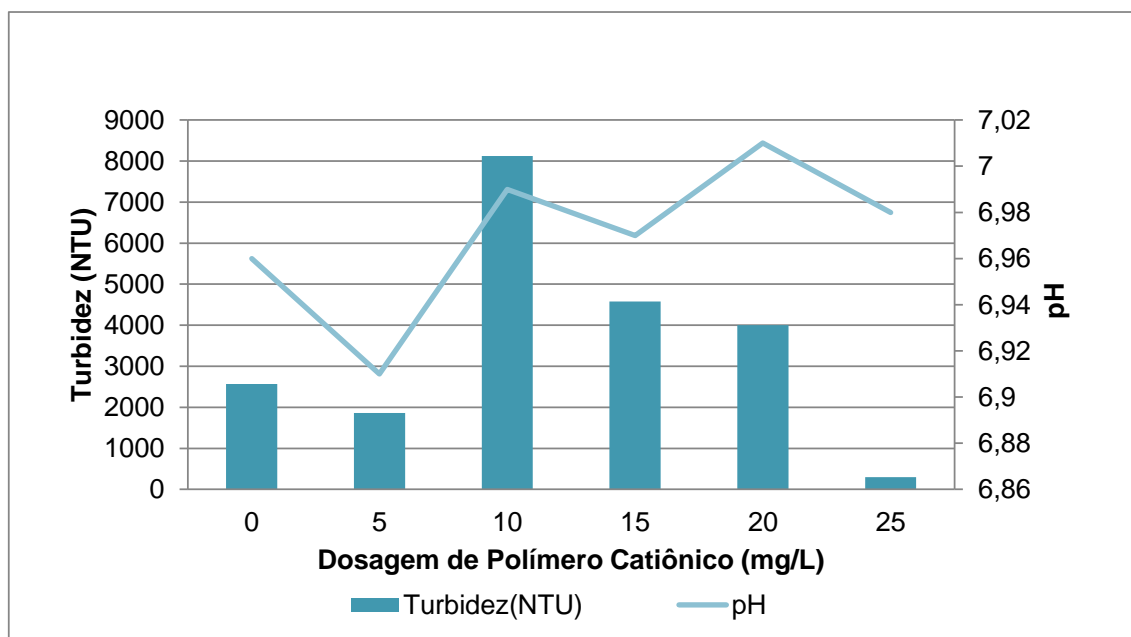


FIGURA 5.31 - VARIAÇÃO DA TURBIDEZ E pH DO LODO SÉPTICO COM APLICAÇÃO DE POLÍMERO CATIÔNICO

TABELA 5.16- VARIAÇÃO DA TURBIDEZ E pH DO LODO SÉPTICO PARA COMBINAÇÃO COAGULANTES+ POLÍMERO CATIÔNICO

Coagulante	Parâmetros	Concentração (mg/L)						
		Inicial	0	5	10	15	20	25
Cloreto Férrico	Turbidez (NTU)	9960	2828	8959	1084	616	360	251
	pH	7,09	7,13	7,28	7,77	7,6	7,81	7,73
Sulfato de Alumínio	Turbidez (NTU)	10095	1547	1535	360	224	247	240
	pH	7,48	7,42	7,1	7,08	7,06	7,04	7,07
Hidróxido de Cálcio	Turbidez (NTU)	10575	2375	1575	1169	906	640	681
	pH	7,48	7,42	8,43	8,49	8,51	8,55	8,51

NOTA: Dosagem fixa de coagulante de 50 mg/L.

Os resultados de turbidez obtidos para o Cloreto Férrico sofreram decréscimo à medida que a dosagem de polímero aumentou. Os valores de pH variaram, no entanto não permitiram correlacionar tais alterações às dosagens utilizadas (FIGURA 5.32).

Para o Sulfato de Alumínio, quando associado ao polímero catiônico, proporcionou queda nos valores de turbidez e pH com o aumento da dosagem de polímero (FIGURA 5.33).

O Hidróxido de Cálcio combinado ao polímero permitiu a redução na turbidez e aumento do pH, com o aumento da concentração de polímero catiônico (FIGURA 5.34).

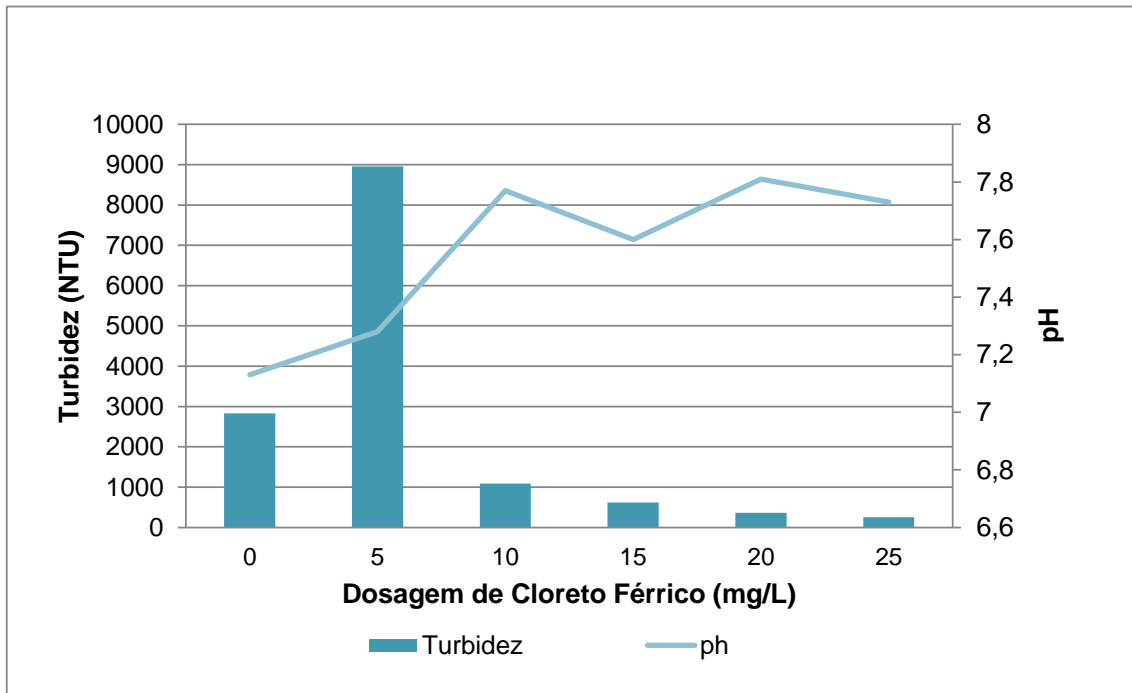


FIGURA 5.32 - VARIAÇÃO DA TURBIDEZ E pH DO LODO SÉPTICO COM APLICAÇÃO DE CLORETO FÉRRICO (50 mg/L) + POLÍMERO CATIÔNICO

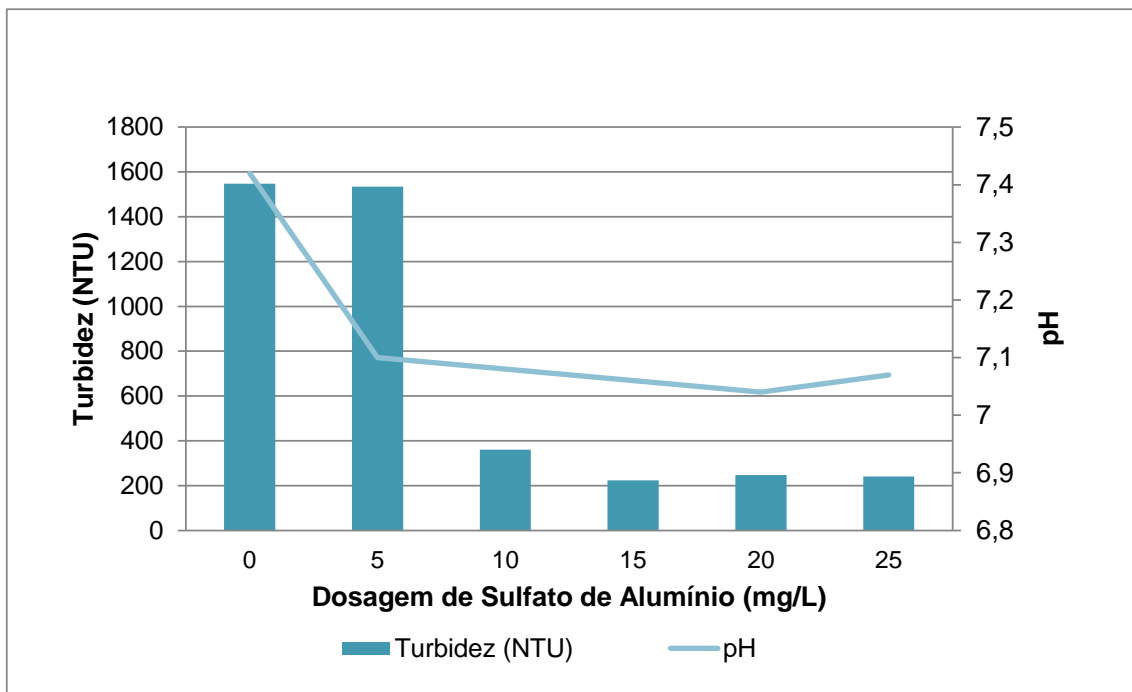


FIGURA 5.33 - VARIAÇÃO DA TURBIDEZ E pH DO LODO SÉPTICO COM APLICAÇÃO DE SULFATO DE ALUMÍNIO (50 mg/L) + POLÍMERO

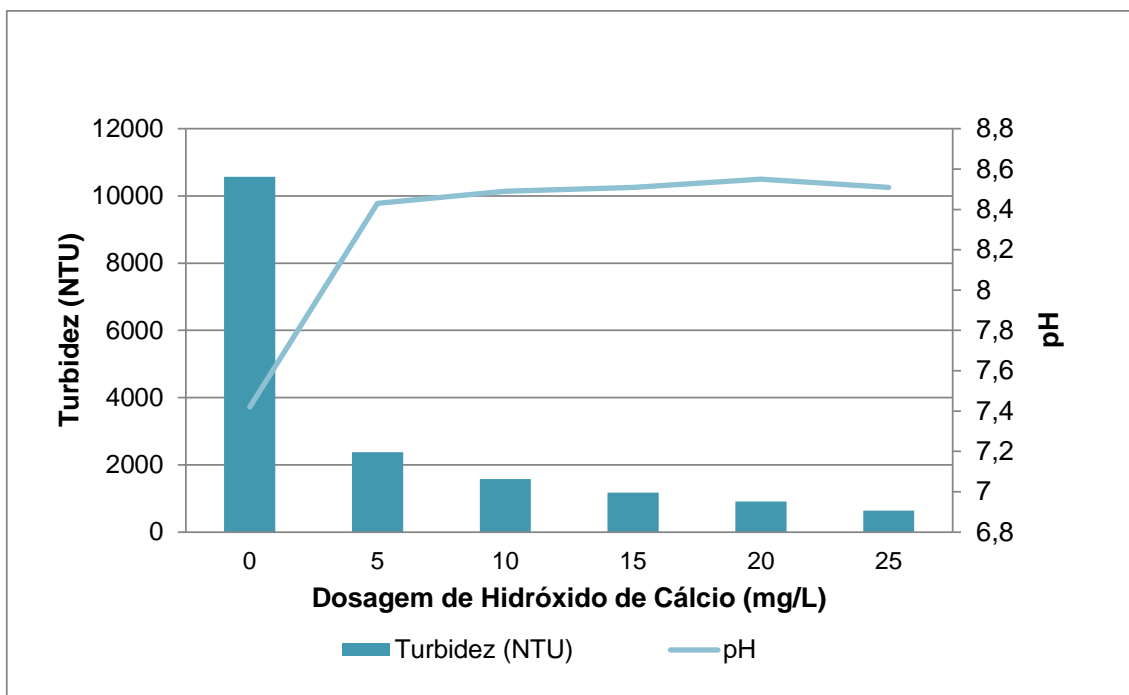


FIGURA 5.34 - VARIAÇÃO DA TURBIDEZ E pH DO LODO SÉPTICO COM APLICAÇÃO DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO (50 mg/L) + POLÍMERO CATIÔNICO

Os experimentos de decantação quimicamente assistida mostraram que o volume de lodo produzido ao final da decantação em alguns casos era aproximadamente 50% do volume total do frasco. A mensuração da geração do lodo pela adição de dosagens variáveis de produto químico deve ser estudada associando-se esta a dosagem ótima para obtenção de remoções de turbidez e ST.

Para obtenção da eficiência da decantação quimicamente assistida do lodo séptico, recomenda-se utilizar também as colunas de 30L e metodologia considerando Teoria de Sedimentação do Tipo 2, com coleta de amostras ao longo das profundidades em vários tempos. A relação entre a concentração de sólidos da amostra, dosagem de produto químico e quantidade de lodo gerado pela adição dos coagulantes também deve ser avaliada.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo geral do trabalho foi estudar a sedimentabilidade do lodo coletado em tanques sépticos.

Os experimentos em coluna mostraram que a Sedimentação do Tipo 3 ou Zonal não descreve bem o processo de sedimentação de lodos coletados em tanques sépticos. A difícil visualização do menisco (interface lodo/clarificado) conduziu a velocidades que se aproximam de zero, inviabilizando sua utilização como parâmetro de dimensionamento de sedimentadores.

A comparação da sedimentação do lodo séptico utilizando o Teste t de Student em colunas de 1L e 2L, evidenciaram a inexistência de efeito parede

A Teoria de Sedimentação do Tipo 2 ou Floculenta, conduziu a melhores resultados, mediante a coleta e análise de amostras ao longo da altura, na coluna e tempo.

Observou-se tanto para Etapa 1 quanto para a Etapa 2 que, após 15 minutos de sedimentação, não ocorrem acréscimos significativos na eficiência de remoção em termos de sólidos totais, o que corresponde a uma taxa de aproximadamente $30 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. e eficiência igual ou superior 50%.

Alguns gráficos de sedimentação apresentam pontos de comportamento atípico. Tais resultados podem ser devido a erros analíticos, falhas na homogeneização ou pela concepção da coluna de sedimentação. Os registros acoplados a parede do cilindro eram grandes, podendo acumular material de uma coleta para a outra. A forma de encaixe dos registros também ocasionou uma alteração pontual na seção transversal do tubo. Após 60 minutos de sedimentação, o lodo de fundo atingiu o registro $h_3 = 0,60\text{m}$, para concentrações próximas a 8000 mg/L

A utilização de produtos químicos visando acelerar o processo de sedimentação pode ser utilizada. Os experimentos realizados em jar-test apontaram que, quando utilizado como único agente de coagulação, o Cloreto Férrico conduziu a maiores eficiências de remoção em termos de Turbidez.

Para Cloreto Férrico, Sulfato de Alumínio e Hidróxido de Cálcio a dosagem ótima foi de 200 mg/L. Para o polímero catiônico, utilizado como único agente de coagulação, obteve-se 25mg/L como dosagem ótima.

Quando fixada em 50 mg/L a dosagem de coagulante e variando a dosagem de polímero catiônico, obteve-se: Cloreto Férrico+ 25 mg/L de polímero, Sulfato de Alumínio+ 15 mg/L de polímero, Hidróxido de Cálcio+ 20 mg/L de polímero.

Observou-se que em alguns casos que a formação do lodo de fundo era de aproximadamente 50% do volume do frasco.

Tanto sedimentadores de fluxo contínuo quanto de fluxo intermitente são possíveis. No entanto, o fluxo intermitente possui maior verossimilhança com a realidade dos despejos de caminhões limpa-fossa nas ETEs e permitem controle no caso de despejo de contaminantes.

Decorrente dos experimentos conduzidos recomenda-se:

- Implantar a homogeneização mecanizada para o início dos experimentos;
- Adotar registros de coleta com menor diâmetro reduzindo a possibilidade de reter material de uma coleta para a outra
- Utilizar profundidade da coluna acima de 2,00m.
- Incluir a análise de ST durante a avaliação do desempenho na sedimentação quimicamente assistida;
- Quantificação do lodo de fundo em relação à dosagem de produto químico utilizada.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AISSE, M. M. **Sedimentação do Lodo Secundário obtido no Processo dos Lodos Ativados**. 205p. Dissertação de Mestrado- Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 1985.

AISSE, M. M. Sedimentação do lodo secundário da ETE- Belém (SANEPAR): Análise do Fluxo de Sólidos. **SANARE**, Curitiba, p. 13-18, jan/jul. 1996.

AISSE, M. M. **Sistemas Econômicos de Tratamento de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2000.

AISSE, M. M. *et. al.* Pós- Tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistema de flotação. In: CHERNICHARO *et al.* **Pós-Tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte, Editora, 2001.p.333-376.

ANDRADE NETO, C. O. **Sistemas Simples para Tratamento de Esgotos Sanitários Experiência Brasileira**. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

ANDREOLI, C.V. **Alternativa de Uso de Resíduos do Saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

ANDREOLI, C. V. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA). Universidade de Minas Gerais; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001.484p.

ANDREOLI, C. V. *et al.* **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

APHA, AWWA & WPCF. **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 21^a ed. New York, 1998.

ARMFIELD. **Sedimentation studies apparatus**. Disponível em: <<http://www.discoverarmfield.co.uk/data/w2/>> Acesso em 13/02/2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: Construção e Instalação de Fossas Sépticas e Disposição dos Efluentes Finais. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209**: Elaboração de Projetos Hidráulico-Sanitários de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários, Texto revisado. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.969:** Tanques Sépticos- Unidades de Tratamento Complementar e disposição final dos efluentes líquidos- Projeto, Construção e Operação. Rio de Janeiro, 1997.

BARBOSA, C. A. C; SOUZA, M. A. A. **Estudo da Sedimentabilidade do lodo secundário obtido do processo de lodo ativado com remoção biológica de nutrientes.** 171 p. Dissertação de Mestrado- Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

BORGES, B. N. **Caracterização e pré-tratamento do lodo de fossas e tanques sépticos.** Dissertação de Mestrado- Programa de Pós Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CAMPOS, J. R. *et al.* Tratamento Combinado de Lodo de Tanque Séptico e de Fossas Sépticas com Esgoto Sanitário. In: ANDREOLI *et al.* **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final.** Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 181-282.

CARVALHO, E. R; DI BERNARDO, C. A. L. Interferência de despejos das estações de tratamento de água na digestão de lodo de esgotos. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXVI, 1998, Lima. **Anais.**

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios-** 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA)- Universidade de Minas Gerais, 1997.

CORDEIRO, B. S. **A gestão de lodos de fossas sépticas : uma abordagem por meio da análise multiobjetivo e multicritério.** 143p. Dissertação de mestrado- Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

CRIPPEN, J. N.; GHANTOUS, R.; ANTILL, M. WWTP for Small Communities Design for Lower Cost Operations Construction & Startup. In: PNCWA ANNUAL CONFERENCE, 2009, Boise.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** São Paulo: RIMA, 2002.

ECOSOL. **Implantação dos Tanques de Equalização. Estação de Tratamento de Esgoto Cambuí.** Curitiba, Sanepar. 2006.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPA:** Domestic Septage Regulatory Guidance. USA, 1993.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPA:** Process Design Manual – Land Application of Sewage Sludge and Domestic Septage. USA, 1995.

FIGUEIREDO, I. C.; JORDÃO, E. P.; VOLSCHAN JUNIOR, I.; DEZOTTI, M.; AZEVEDO, J. S. Desempenho de Produtos Químicos no Processo CEPT: Teste de Jarro e escala piloto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. **Anais**. Campo Grande: ABES, 2005. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/ii-030.pdf>>. Acesso em: 20/01/2012.

FIGUEIREDO, I. C. Tratamento Primário Quimicamente Assistido (CEPT) e Decantação Primária Convencional: Quando aplicar? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. **Anais**. Campo Grande: ABES, 2005. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-139.pdf>>. Acesso em: 20/01/2012.

FRANCO, E.S. **Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com os sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água**. 187 p. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009. Disponível em: <http://www.tede.ufop.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=430>. Acesso em: 03/05/2013.

FROES, C. V.; VON SPERLING, M. Dimensionamento e controle de decantadores secundários com base em uma abordagem integrada e simplificada da teoria de fluxo sólidos. **REVISTA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL-RESA**, Rio de Janeiro, 1998.

GRAF, W. H. *Hydraulics of Sediment Transport*. **Water Resources Publications**. Colorado, 1984.

GRIECO, M.; LORENTI, V. A. Coluna de sedimentação: Técnicas de obtenção de parâmetros para o projeto de decantadores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 9, 1977, Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizonte: ABES, 1977.

HARTMANN, C. M. *et al*. Caracterização qualitativa de lodo de fossa séptica em domicílios pré-selecionados na cidade de Curitiba e região metropolitana (PR). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25, 2009, Recife. **Anais**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

HEINSS, U.; STRAUSS, M. **Co-treatment of faecal sludge and wastewater in tropical climates**. Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG) and Department for water and sanitation in developing countries (SANDEC). January, 1999.

HESPANHOL, I Decantação, decantadores primários e secundários, tanques sépticos, tanque Imhoff- In: AZEVEDO NETTO, J.M. **Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários**. São Paulo, CETESB,1977'.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Diretoria de Geociências. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD, 2008.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2008/>>. Acesso em: 11 de novembro de 2012.

JIMÉNEZ, B.; RAMOS, J. High-rate sedimentation for wastewater treatment processes. In: **ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY**, Vol 18, 1997, México, UNAM, 1997. p. 1099-1120.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgoto Doméstico**. 6ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

LARSEN, I.; VESILIND, P. A. Evaluation of activated sludge thickening theories. February, In: **JOURNAL OF SANITARY ENGINEERING DIVISION. PROCEEDINGS OF ASCE**, EUA,1968.

LEITE,B.Z ; INGUNZA,M.P ; ANDREOLI,C.V. Lodo de decanto-digestores. In : ANDREOLI, *et al.* **Alternativas de uso de resíduos do saneamento** .Rio de Janeiro: ABES, 2006. p.416.

LIBANIO, M. **Fundamentos da Qualidade e Tratamento da Água**. Campinas, SP. Editora Átomo, 2005.

LUCCA,P.V. e MISTURINI,M. **.Estudo dos custos de implantação e operação de sistemas de coleta e tratamento de esgotos a pequenas comunidades**. Trabalho de Conclusão de Curso. UFPR. 2011.

LUPATINI, G *et al.* Tratamento de lodo de fossa/tanque séptico. In ANDREOLI *et al.* **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p.388.

MAGALHÃES, M. N. ; LIMA, A. C.P. **Noções de Probabilidade e Estatística**. São Paulo, EDUSP. 2013. 408p.

MACHADO, L. M. O.; XAVIER, L. D.; DRUMOND, A. A.; FIGUEIREDO, I. C.; VOLSCHAN JÚNIOR, I. Avaliação da eficiência de remoção de sólidos do ensaio de coluna de sedimentação para efluentes sanitários. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26, 2011. **Anais**. Porto Alegre, 2011.

MACINTYRE, A. J. **Instalações Hidráulicas**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois,1985,cap 2(228-253).

MASSUCHIN, C *et al.* Determinação de parâmetros de projeto de espessador de lodos. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 9, 1977. **Anais**. Belo Horizonte, 1977.

METCALF E EDDY. **Wastewater Engineering, treatment and reuse**. 4ª Edição. New York: McGraw-Hill, 2003.

MEYERS, S.A.S. **Aproveitamento de água residuária tratada e lodo físico-químico da produção de painéis de mdf para fins de reuso** - Dissertação de Mestrado- Programa de Pós- graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná,. Curitiba, 2012.

MORTARA, F.C. **Utilização de leitos de drenagem no desaguamento de lodos anaeróbios**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

NAVAL, L.P.; COUTO, T.C. Estudo da remoção de fósforo em efluentes provenientes de sistemas anaeróbios para sistemas de águas residuárias utilizando cal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 23, 2005, Campo Grande, **Anais**. Campo Grande, ABES, 2005. Disponível em: 2005. <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-086.pdf>>. Acesso em 20 de Maio de 2013.

NOVA ÉTICA. **Manual do Usuário**, 2012. Disponível em: <<http://www.google.com.br/url?sa=f&rct=j&url=http://www.ethik.com.br/download.php%3Fid%3D218.pdf&q=jar+teste+nova+%C3%A9tica&ei=CHuxUebGDPIr4AOH9IDwAQ&usg=AFQjCNGYGO fUcr68j4IPliiAhIJQJkRQeg>>. Acesso em: 10 de Fevereiro de 2012.

OLIVEIRA, N.S. **Estudo da secagem de lodo de estação de tratamento de água**. Dissertação de Mestrado- Programa de Pós- graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná,. Curitiba, 2010.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação, sedimentação na água com cor ou turbidez elevada**. Dissertação de Mestrado- Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

RICHTER, C.A; AZEVEDO NETTO, J.M. **Tratamento de Água**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, LTD, 1991.

SAMWAYS, G. **Tratamento do lodo de tanques sépticos combinado com esgoto sanitário bruto em reatores anaeróbios de manta de lodo em escala piloto**. Dissertação de Mestrado- Programa de Pós- graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SAMWAYS, G., AISSE, M. M., ANDREOLI, C. V., **Tratamento do lodo de tanques sépticos combinado com esgoto sanitário bruto em reatores anaeróbios de manta de lodo em escala piloto**. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENHARIA SANITARIA Y AMBIENTA, 32, 2010, Punta Cana, Rep. Dominicana.

SERENCO. **Projeto de Engenharia da ETE Esperança. Reservatório de Equalização**. Curitiba, Sanepar. 2007.

SOUZA, M. A. A.; Relatório Parcial da Segunda Reunião da Rede de Pesquisa sobre Lodo Séptico, Edital FINEP 07/2009. Vitória, 2012.

SILVA, M. F.; SILVA, K. M. Avaliação de Coagulantes para o Tratamento Primário Quimicamente Assistido- ETE- Goiânia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005. Campo Grande. **Anais**. Rio de Janeiro, 2005.

SOUZA, M. A. A.; Relatório Parcial da Segunda Reunião da Rede de Pesquisa sobre Lodo Séptico, Edital FINEP 07/2009. Vitória, 2012.

VANDERHASSELT,A; VERSTRAETE,W.Short-term effects of additives on sludge sedimentation characteristics. Wat.Res.Vol.33,nº2,pp 381-390,1999.

VON SPERLING, M. **Lagoas de Estabilização**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA). Universidade de Minas Gerais,1986. 134p.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA). Universidade de Minas Gerais,1996. 211p.

VON SPERLING, M. **Lodos Ativados**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA). Universidade de Minas Gerais,1997. 134p

VON SPERLING, M. *et. al.* Pós- Tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por lodos ativados. In: CHERNICHARO *et al.* **Pós-Tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte, Editora, 2001.p.333-376.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**.2ª edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA). Universidade de Minas Gerais,2005. 243p.

WU,C.C; LEE,W.J; HUANG,C. **Determination of the optimal dose of polyelectrolyte sludge conditioner considering particle sedimentation effects**. In ADVANCED ENVIRONMENTAL RESEARCH. China, May,2000.