



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Stela Dalva Will Macedo

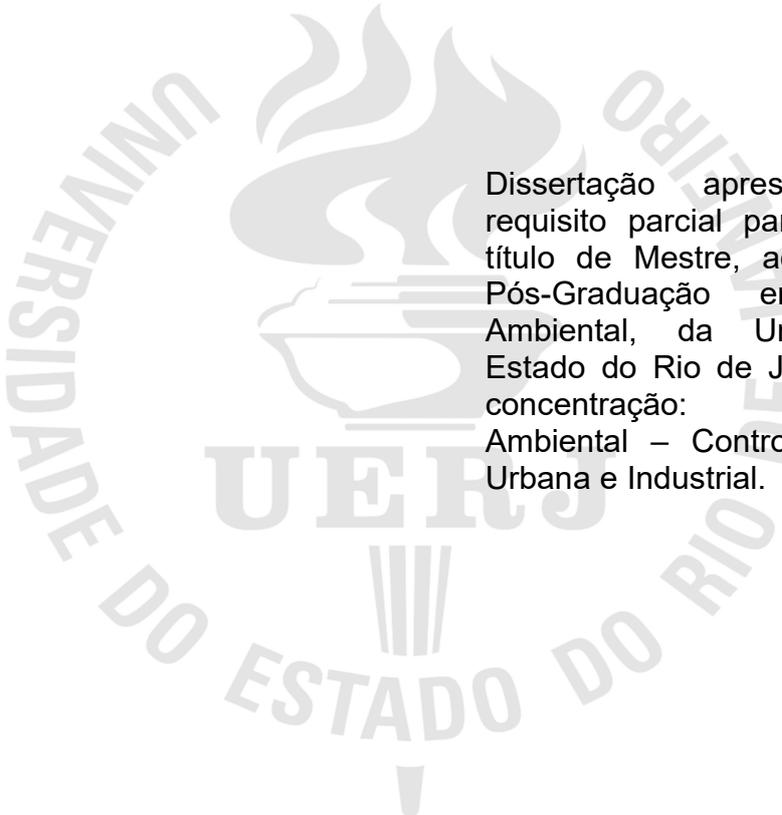
**Avaliação da Sedimentabilidade de Lodos Ativados de Estações
de Tratamento de Efluentes Industriais**

Rio de Janeiro

2016

Stela Dalva Will Macedo

**Avaliação da sedimentabilidade de lodos ativados de estações de
tratamento de efluentes industriais**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Olavo Barbosa Filho

Coorientador: Prof. Dr. Gandhi Giordano

Rio de Janeiro

2016

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

M141 Macedo, Stela Dalva Will.
Avaliação da sedimentabilidade de lodos ativados de estações de
tratamento de efluentes industriais / Stela Dalva Will
Macedo. – 2016.
162 f.

Orientador: Olavo Barbosa Filho.
Coorientador: Gandhi Giordano.
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do
Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental. 2. Análise de sedimentação -
Dissertações. 3. Lodos ativados - Dissertações. 4.
Tratamento de efluentes industriais - Dissertações. I.
Barbosa Filho, Olavo. II. Giordano, Gandhi. III.
Universidade do Estado do Rio de Janeiro. IV. Título.

CDU 628.356

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou
parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Stela Dalva Will Macedo

**Avaliação da sedimentabilidade de lodos ativados de estações de
tratamento de efluentes industriais**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Aprovada em 11 de abril de 2016.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Olavo Barbosa Filho (Orientador)
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Dr. Gandhi Giordano (Coorientador)
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Dr. Marcelo Obraczka
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Dr. Roberto de Barros Emery Trindade
Petrobras - RJ

Rio de Janeiro

2016

DEDICATÓRIA

Ao meu filho e ao meu namorado Eduardo Gaspar, pela compreensão, apoio e incentivo, e principalmente por suportarem minha ausência. Amo muito vocês.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao meu namorado por estar sempre ao meu lado, pelo carinho, incentivo, dedicação, compreensão e por ter perdido muitas horas de sono e trabalho para ajudar na elaboração dessa dissertação.

Ao meu filho por todo amor e compreensão, por ter suportado minha ausência durante a elaboração desta dissertação, mesmo perguntando diariamente o dia que ia acabar.

À minha mãe, por tudo que fez e faz por mim, pelo amor e ensinamentos.

Aos meus irmãos e cunhadas pelo amor, incentivo e paciência.

À minha sogra por todo carinho, incentivo, ensinamentos e orações.

Às amigas Carla Oliveira e Franciele Bilinoski, pela amizade, risadas, palavras de carinho e incentivo e por entenderem minha ausência.

Ao meu professor, amigo e Coorientador Gandhi Giordano, pela orientação, conselhos, paciência, por ter cedido sua empresa e funcionários para a realização dos ensaios e análises. Por compartilhar de seus ensinamentos. Muito obrigado por tudo, principalmente por acreditar e cobrar sempre.

Ao professor Olavo Barbosa, pelo acompanhamento e orientações ao longo do desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu professor e amigo Rafael Santos, por todo carinho, atenção e dedicação. Por ter por diversas vezes parado seus afazeres para ajudar, pelas orientações via telefone e e-mail e pelas risadas durante o almoço. Por ter se prontificado a ajudar somente por amor a profissão.

A todos os amigos e funcionários da TECMA, em especial a Thaisy pela atenção e caronas até as ETEIs. Aos amigos Thales e João Miliante pela ajuda, paciência, dedicação e ensinamentos. Aos operadores, Sandro, Rubens e Leandro, pela realização dos ensaios, preocupação e dedicação. Muito obrigado, a ajuda de vocês foi fundamental para a conclusão desta dissertação.

À minha coordenadora Marina Rennó, por ter entendido e justificado minhas faltas para a conclusão desta dissertação.

RESUMO

MACEDO, Stela Dalva Will. **Avaliação da sedimentabilidade de lodos ativados de estações de tratamento de efluentes industriais**. 2016. 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

A sedimentação é uma das principais etapas do sistema de lodos ativados, pois muitas vezes ditam a qualidade do efluente final. Na sedimentação, as fases sólida e líquida são separadas por ação da gravidade. A composição e tamanho dos flocos biológicos são muitas vezes influenciados pela composição dos efluentes industriais, podendo interferir nas características de sedimentação e adensamento do lodo da estação. Os métodos mais utilizados para avaliar a sedimentação são os ensaios de IVL e VSZ. Devido às especificidades dos efluentes industriais, existem poucos trabalhos sobre a sedimentabilidade e composição dos flocos microbiológicos. O objetivo principal deste trabalho foi estudar as características de sedimentação de lodos biológicos de duas indústrias farmacêuticas e uma alimentícia, mediante ensaios de sedimentação em bancada e avaliar comparativamente as velocidades iniciais de sedimentação observadas com aquelas estimadas pelos modelos de SANTOS (2002), Von SPERLING & FRÓES (1998) e DAIGGER (1995). Para isso, tanto os parâmetros físico-químicos como a composição dos flocos foram monitorados. Foram realizados 47 testes de sedimentabilidade, sendo 19 com as amostras diluídas em 50%. Os ensaios foram realizados para obtenção da VSZ e IVL e tiveram duração de uma hora. Os resultados de IVL e VSZ caracterizam a sedimentabilidade dos lodos das três ETEIs como muito ruim ao longo de todos os meses de ensaio. Considerando os ensaios sem diluição, as velocidades calculadas utilizando os modelos propostos para esgotos domésticos foram cerca de 12 vezes maiores que as velocidades medidas nos ensaios. Portanto, os referido modelos não devem ser utilizados para dimensionamento de ETEIs destinadas a tratar efluentes com características semelhantes aos das estações estudadas. Os parâmetros físico-químicos estiveram dentro das faixas indicadas para lodos ativados e as três ETEIs operaram com redução de DBO maior que 96%, além de apresentarem correlação negativa entre RNFT e IVL. A composição e tamanho dos flocos biológicos foram os principais responsáveis pelos altos IVLs registrados nas estações.

Palavras-chave: Sedimentação; Lodos Ativados; Velocidade de Sedimentação; Índice Volumétrico de Lodo; Velocidade de Sedimentação Zonal.

ABSTRACT

MACEDO, Stela Dalva Will. **Sedimentation evaluation of activated sludge from industrial wastewater treatment plants**. 2016. 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

Sedimentation is one of the main stages of the activated sludge system, as it often dictates the quality of the final effluent. In sedimentation, the solid and liquid phases are separated by gravity. The composition and size of the biological flocs are often influenced by the composition of industrial effluents, which may interfere with the settling characteristics and density of the sludge of the treatment plant. The methods used to evaluate the sedimentation are the SVI and ZSV assays. Due to the specificities of industrial effluents, there are few studies on the sedimentation and composition of microbiological flocs. The main objective of this work was to study the biological sludge sedimentation characteristics of one food and two pharmaceutical industries, using bench scale sedimentation tests and a comparative assessment between the initial sedimentation rates observed experimentally and those estimated by the models proposed by SANTOS (2002), Von SPERLING & FROES (1998) and DAIGGER (1995). For that purpose, both the physicochemical parameters of the effluents and the composition of the flocs were monitored. A total of 47 sedimentation tests were performed, including 19 tests with the samples diluted by 50%. These tests produced values of ZSV and SVI and lasted one hour each. The resulting SVI and ZSV values indicated a very poor settleability of the sludges of the three effluent treatment plants over all months of the trial. Regarding the tests without dilution, the velocities calculated using the design models proposed for domestic sewage were about 12 times greater than those measured in the bench scale tests. Therefore, the mentioned models should not be used for designing plants for the treatment of effluents with characteristics similar to those herein studied. The physicochemical parameters remained within the range recommended for the activated sludge process and the three treatment plants operated efficiently with BOD reductions greater than 96%, besides showing a negative correlation between TSS and SVI. The composition and size of the biological flocs were responsible for the high SVI recorded in the treatment plants.

Keywords: Sedimentation; Activated sludge; Settling velocity; Sludge volume index; Zone settling velocity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- A unidade operacional básica de um Sistema de lodos Ativados convencional.....	25
Figura 1.2- Representação esquemática de um ciclo de operação de reatores em bateladas sequenciais (RBS).....	26
Figura 1.3- Bactéria filamentosa comum em sistemas de lodos ativado.....	33
Figura 1.4- Fungos filamentosos em lodo ativado decorrente de baixo pH do meio ou deficiência de nutrientes.....	34
Figura 1.5- Exemplo de um protozoário livre.....	35
Figura 1.6- Esquema de um tanque de sedimentação de partículas discretas.....	37
Figura 1.7- Esquema de um tanque de sedimentação de partículas floculentas...	37
Figura 1.8- Esquema de um tanque de sedimentação em zona.....	38
Figura 1.9- Esquema de um tanque de sedimentação por compressão.....	38
Figura 1.10- Fatores que podem interferir na eficiência do sistema e sedimentação	44
Figura 1.11- Ensaio de sedimentação zonal em proveta.....	46
Figura 1.12- Principais regiões da sedimentação em batelada.....	53
Figura 2.1- Fluxograma da estação farmacêutica 01.....	56
Figura 2.2- Fluxograma da estação farmacêutica 02.....	57
Figura 2.3- Fluxograma da estação alimentícia.....	58
Figura 2.4- Microscópico óptico estereoscópico binocular usado para a caracterização dos flocos biológicos.....	60
Figura 2.5- Números de ensaios realizados em cada estação.....	61
Figura 2.6- Tabela de análise usada nos ensaios de sedimentabilidade.....	62
Figura 2.7- Recipiente utilizado para coleta de lodos ativados.....	63
Figura 2.8- Materiais utilizados para coleta, transporte e análises de lodos ativados	63
Figura 2.9- Ensaio do teste de sedimentação realizado na ETEI da indústria farmacêutica 01- Ensaio com diluição e em triplicata.....	64
Figura 3.1- Eficiência da ETEI da indústria farmacêutica 01.....	69
Figura 3.2- Variação das concentrações de RNFBV, RNFT e IVL ao longo dos ensaios, ETEI da indústria farmacêutica 01- (sem diluição).....	70

Figura 3.3- Variação da concentração de RNFT e Vs ao longo dos ensaios- ETEI da Indústria farmacêutica 01- sem diluição.....	71
Figura 3.4- Curvas de sedimentabilidade da ETEI da indústria farmacêutica 01- sem diluição.....	72
Figura 3.5- Variação das VS em cada tempo de ensaio- ETEI da indústria farmacêutica 01- sem diluição.....	72
Figura 3.6- Variação das concentrações de lodo durante o tempo de ensaio. ETEI da indústria farmacêutica 01- sem diluição.....	73
Figura 3.7- Variação das concentrações de RNFV, RNFT e IVL ao longo dos ensaios, ETEI da indústria farmacêutica 01- com diluição de 50%	75
Figura 3.8- Variação das concentrações de RNFV e Vs ao longo dos ensaios, indústria farmacêutica 01(com diluição).....	76
Figura 3.9- Curvas de sedimentabilidade da ETEI da indústria farmacêutica 01- com diluição de 50%.....	77
Figura 3.10- Variação da Vs durante o tempo de ensaio- ETEI da indústria farmacêutica 01- com diluição de 50%	77
Figura 3.11- Variação da concentração de lodo durante o período de ensaio- ETEI da indústria farmacêutica 01- com diluição de 50%.....	78
Figura 3.12- Comparação entre as Vs medidas e calculadas por Daigger (1995), Von Sperling (1998) e Santos (2002)- ETEI da Indústria farmacêutica 01- ensaios sem diluição.....	80
Figura 3.13- Comparação entre as Vs medidas e calculadas por Daigger (1995), Von Sperling (1998) e Santos (2002)- ETEI da Indústria farmacêutica 01- Com diluição de 50%.....	81
Figura 3.14- Caracterização dos flocos biológicos da ETEI da indústria farmacêutica 01.....	83
Figura 3.15- Eficiência da ETEI na redução de DQO e DBO- indústria farmacêutica 02.....	84
Figura 3.16- Variação das concentrações de RNFV, RNFT e IVL ao longo dos ensaios, indústria farmacêutica 02.....	86
Figura 3.17- Variação da concentração de RNFT e Vs ao longo dos ensaios- ETEI da Indústria farmacêutica 02.....	86
Figura 3.18- Curvas de sedimentabilidade da ETEI da indústria farmacêutica 02	87

Figura 3.19- Variação da Vs durante o tempo de ensaio- ETEI da indústria farmacêutica 02.....	88
Figura 3.20- Variação da concentração do lodo durante o tempo de ensaio- ETEI da indústria farmacêutica 02.....	88
Figura 3.21- Comparação entre as Vs medidas e calculadas por Daigger (1995), Von Sperling (1998) e Santos (2002)- ETEI da Indústria farmacêutica 02.....	90
Figura 3.22- Caracterização dos flocos biológicos do efluente da indústria farmacêutica 02.....	92
Figura 3.23- Eficiência da ETEI da indústria alimentícia.....	94
Figura 3.24- Variação das concentrações de RNfV, RNfT e IVL ao longo dos ensaios, ETEI da indústria alimentícia- sem diluição.....	95
Figura 3.25- Variação da concentração de RNfT e Vs ao longo dos ensaios- ETEI da Indústria alimentícia- sem diluição.....	96
Figura 3.26- Curvas de sedimentabilidade da ETEI da indústria alimentícia- sem diluição.....	97
Figura 3.27- Variação da Vs durante o tempo de ensaio. ETEI da Indústria alimentícia- sem diluição.....	97
Figura 3.28- Variação da concentração de sólidos durante o tempo de ensaio. ETEI da Indústria alimentícia-sem diluição.....	98
Figura 3.29- Variação das concentrações de RNfV, RNfT e IVL ao longo dos ensaios, ETEI da indústria alimentícia- com diluição de 50%	99
Figura 3.30- Variação da concentração de RNfT e Vs ao longo dos ensaios- ETEI da Indústria alimentícia- com diluição de 50%.....	100
Figura 3.31- Curvas de sedimentabilidade da ETEI da indústria alimentícia- com diluição de 50%.....	101
Figura 3.32- Variação da Vs durante o tempo de ensaio. ETEI da indústria alimentícia- com diluição de 50%	101
Figura 3.33- Variação da Vs durante o tempo de ensaio. ETEI da Indústria alimentícia- com diluição de 50%.....	102
Figura 3.34- Comparação entre as Vs medidas e calculadas por Daigger (1995), Von Sperling (1998) e Santos (2002)- ETEI da Indústria alimentícia- Sem diluição.....	104
Figura 3.35- Comparação entre as Vs medidas e calculadas por Daigger (1995),	

Von Sperling (1998) e Santos (2002)- ETEI da indústrias alimentícia- com diluição de 50%.....	104
Figura 3.36 -Caracterização dos flocos biológicos da ETEI da indústria alimentícia.....	106
Figura 3.37 -Comparação entre os resultados médios de RNFT, RNFV, e IVL das três ETEIs estudadas.....	108
Figura 3.38 -Comparação entre as médias de atura X tempo das três ETEIs Estudadas. Sem diluição.....	109
Figura 3.39 -Comparação entre os resultados médios de RNFT, RNFV e IVL, das ETEIs das indústrias farmacêutica 01 e alimentícia- com diluição	110
Figura 3.40 - Comparação entre os as curvas de sedimentabilidade das ETEIs das indústrias farmacêutica 01 e alimentícia. Com diluição de 50%.....	110

LISTA DE TABELA

Tabela 1.1- Características médias de alguns afluentes industriais	22
Tabela 1.2- Condições necessárias para o desempenho do processo.....	27
Tabela 1.3- Microrganismos indicadores das condições de depuração.....	32
Tabela 1.4- Causas e efeitos relacionados à formação dos flocos.....	40
Tabela 1.5- Interpretação do IVL e caracterização da sedimentabilidade	45
Tabela 1.6- Equações propostas para velocidade de Sedimentação do lodo em função do IVL, valores típicos de p, q e V_0	47
Tabela 2.1- Metodologias utilizadas para as análises físico-químicas de acordo com	59
Tabela 3.1- Dados físico-químicos analisados em laboratório – ETEI da Indústria farmacêutica 01.....	68
Tabela 3.2- Dados de RNFT, IVL e V_s presentes no reator de.....	69
Tabela 3.3- Matriz de correlação entre os dados analisados na ETEI da Indústria farmacêutica 01	74
Tabela 3.4- Interpretação dos dados da matriz de correlação.....	74
Tabela 3.5- Dados de RNFT, RNFV e V_s no reator de lodos ativados-.....	74
Tabela 3.6- Matriz de correlação entre os dados analisados na ETEI da indústria farmacêutica 01.....	78
Tabela 3.7- Comparação entre as V_s medidas e calculadas utilizando os modelos de DAIGGER (1995), Von Sperling & Fróes (1998) e Santos (2002)- ETEI da Indústria farmacêutica 01- sem diluição.....	79
Tabela 3.8- Comparação entre as V_s medidas e calculadas utilizando os modelos de	79
Tabela 3.9- Tempo total de sedimentação medido e calculado- ETEI da Indústria farmacêutica 01. Com diluição de 50%.....	82
Tabela 3.10- Dados físico-químicos analisados em laboratório –ETEI da Indústria farmacêutica 02.....	84
Tabela 3.11- Dados de RNFT, RNFV e V_s presentes no reator de	85
Tabela 3.12- Matriz de correlação entre os dados analisados na ETEI da Indústria farmacêutica 02.....	89

Tabela 3.13- Resultado das Vs medidas e calculadas utilizando os modelos de DAIGGER (1995), Von Sperling & Fróes (1998) e Santos (2002)- ETEI da Indústria farmacêutica 02.....	89
Tabela 3.14- Comparação entre os tempos de.....	91
Tabela 3.15- Dados físico-químicos analisados em laboratório – Indústria alimentícia- sem diluição	93
Tabela 3.16- Dados de RNFT, IVL e Vs presentes no reator de.....	95
Tabela 3.17- Matriz de correlação da ETEI da Indústria alimentícia.....	98
Tabela 3.18- Análise de dados dos sólidos presentes nos reatores de lodos	99
Tabela 3.19- Matriz de correlação da Indústria alimentícia- Com diluição de 50%. 102	
Tabela 3.20- Análise dos dados das Vs medidas e calculadas utilizando os modelos de DAIGGER (1995), Von Sperling & Fróes (1998) e Santos (2002)- ETEI da Indústria alimentícia- sem diluição	103
Tabela 3.21- Análise dos dados das Vs medidas e calculadas utilizando os modelos de DAIGGER (1995), Von Sperling & Fróes (1998) e Santos (2002)- ETEI da Indústria alimentícia- com diluição	103
Tabela 3.22- Tempo total de sedimentação medido e calculado-.....	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	área de superfície
A/M	Relação Alimento/Microrganismo
°C	Graus Celsius
CF	Ciliados fixos
Cm	Centímetros
CO ₂	Gás carbônico
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO:N:P	Demanda Bioquímica de Oxigênio: Nitrogênio: Fósforo
D.P	Desvio Padrão
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ETEI	Estação de Tratamento de Efluentes Industriais
g	Grama
H _T	Altura Total
IVL	Índice Volumétrico do Lodo
K	Constante de Compressividade
Kg DBO ₅ /Kg SSV.d	Quilograma de Demanda Bioquímica de Oxigênio ₅ / Quilograma de Sólidos Suspensos Voláteis.dia
mg/L	Miligrama/litro
mg O ₂ /L	Miligrama de Oxigênio/Litro
mL	Mililitro
mL/g	Mililitro/grama
mm	Milímetros
M.O	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
O ₂	Oxigênio
OD	Oxigênio Dissolvido
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
Q	Vazão m ³
RBS	Reator em Batelada Sequencial

RNFT	Resíduo Não Filtrável Total
RNFV	Resíduo Não Filtrável Volátil
S	Substrato
SPE	Substância Polimérica Extracelular
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
TAMB	Tecameba
TECMA	Tecnologia em Meio Ambiente
Ts	Tempo de Sedimentação
RNFV/RNFT	Razão Resíduos Não Filtrável Volátil/ Resíduo Não Filtrável Total
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
$V_{\text{médio}}$	Volume médio
V_s	Velocidade de sedimentação
VSZ	Velocidade de Sedimentação em Zona
V_0	Velocidade de sedimentação no instante zero
X	Concentração de Sólidos
X_i	Concentração de Sólidos Iniciais
μm	Micrômetro
%	Porcentagem

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	18
Objetivo geral	19
Objetivos específicos:	19
1- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:	21
1.1- Características dos efluentes industriais e sua comparação com esgotos domésticos convencionais	21
1.2- O Processo de Lodos Ativados	24
1.2.1- Descrição geral	24
1.2.2- Fatores que influenciam no processo de lodos ativados.....	27
1.3 - Microbiologia de lodos ativados	31
1.3.1- <i>Bactérias</i> :	33
1.3.2 - <i>Fungos</i> :.....	34
1.3.3 - <i>Protozoários</i> :	34
1.3.4 - <i>Invertebrados</i> :	35
1.4- Sedimentação	35
1.4.1- Sedimentação de partículas discretas	36
1.4.2- Sedimentação de partículas floculentas.....	37
1.4.3- Sedimentação em Zona	37
1.4.4- Sedimentação Compressiva	38
1.5- Ensaio técnico de sedimentação	42
1.5.1 – O método proposto por Von Sperling & Fróes (1998)	46
1.5.2 – O método proposto por Santos (2002)	51
2- METODOLOGIA:	55
2.1- Escolha das ETEIs (Estações de Tratamento de Efluentes Industriais)	55
2.2 – Coleta e preservação das amostras.....	59
2.3- Métodos de análise laboratoriais	59
2.3.1- Análises de sólidos, DBO ₅ , DQO, pH, temperatura e IVL	59
2.3.2- Caracterização dos flocos de lodos ativados	60
2.4 - Procedimentos adotados nos ensaios de sedimentação	61
2.5- Metodologia de cálculo aplicada aos dados dos ensaios de sedimentação.....	64
2.5.1- Metodologia de análise da velocidade de sedimentação	64
2.5.1.a – Velocidade de sedimentação determinada nos ensaios práticos	64

2.5.1.b – Velocidade de sedimentação estimada pelo método de DAIGGER (1995).....	65
2.5.1.c – Velocidade de sedimentação estimada pelo método de Von Sperling & Fróes (1998).....	65
2.5.1.d – Velocidade de sedimentação estimada pelo método de Santos (2002)	65
2.5.2 - Cálculo de Tempo de Sedimentação	65
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
3.1- Resultados dos ensaios realizados na ETEI da indústria farmacêutica 01	67
3.1.1- Parâmetros físico-químicos medidos em campo.....	67
3.1.2- Parâmetros físico-químicos medidos em laboratório	68
3.1.3- Resultados de IVL e Velocidade de sedimentação	69
3.1.3.1- Resultados dos ensaios sem diluição	69
3.1.3.2- Resultados dos ensaios com o lodo diluído em 50%	74
3.1.4- Comparação das Vs medidas nos ensaios com os modelos de DAIGGER (1995), Von Sperling & Fróes (1998) e Santos (2002).....	79
3.1.5- Resultados dos tempos de sedimentação medidos e calculados utilizando as equações de Santos (2002)	81
3.1.6- Caracterização do floco biológico e da microfauna do efluente da indústria farmacêutica 01.....	82
3.2- Resultados dos ensaios realizados na indústria farmacêutica 02.....	83
3.2.1- Parâmetros físico-químicos medidos em campo.....	83
3.2.2- Parâmetros físico-químicos medidos em laboratório	83
3.2.3- Resultados de IVL e Velocidade de sedimentação	85
3.2.4- Comparação das Vs medidas nos ensaios com os modelos de DAIGGER (1995), Von Sperling & Fróes (1998) e Santos (2002).....	89
3.2.5- Resultados dos tempos de sedimentação medidos e calculados utilizando as equações de Santos (2002)	90
3.2.6: Caracterização do floco biológico e da microfauna da indústria farmacêutica 02.....	91
3.3- Resultados dos ensaios realizados na indústria alimentícia	93
3.3.1- Parâmetros físico-químicos medidos em campo.....	93
3.3.2- Parâmetros físico-químicos medidos em laboratório	93
3.3.3- Resultados de IVL e Velocidade de sedimentação	94
3.3.3.1- Resultados dos ensaios sem diluição	94
3.3.3.2- Resultados dos ensaios com diluição	99
3.3.4- Comparação das Vs medidas nos ensaios com os modelos de DAIGGER (1995), Von Sperling & Fróes (1998) e Santos (2002).....	103
3.3.5- Resultados dos tempos de sedimentação medidos e calculados utilizando as equações de Santos (2002)	105

3.3.6: Caracterização do floco biológico e da microfauna da indústria alimentícia.	105
3.4- Comparação entre as três ETEI estudadas.	106
3.4.1- Parâmetros físico-químicos.	106
3.4.2- Resultados de IVL e Velocidade de sedimentação	108
3.4.2.1- Ensaio sem diluição	108
3.4.2.2- Ensaio com diluição	109
4- CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	111
4.1- Conclusão:	111
4.2- Recomendações:	113
REFERÊNCIAS:	114
APÊNDICE A: Volume (ml) de lodo em cada intervalo de Tempo (min)= médias das triplicatas	119
APÊNDICE B: Altura (cm) do lodo medida em cada ensaio e análise estatística da altura do lodo	122
APÊNDICE C: Metodologia para determinação da Velocidade de Sedimentação medida dos ensaios	127
APÊNDICE D: Dados laboratoriais das estações estudadas	148
APÊNDICE E: Análise de sólidos presentes no reator de lodos ativados	151
APÊNDICE F: Velocidade de sedimentação calculada em cada espaço de tempo (cm/min).	153
APÊNDICE G - Concentração de lodo em cada intervalo de Tempo ($\times 10^3$ mg/L)	156
APÊNDICE H: Comparação entre as Vs iniciais medidas e calculadas pelas metodologias propostas por Daigger (1995), Von Sperling & Froes (1998) e Santos (2002)	159
APÊNDICE I: Comparação entre os tempos de sedimentação medidos e calculados	161

INTRODUÇÃO

Efluentes industriais provêm de qualquer utilização da água para fins industriais, sendo extremamente variáveis (composição e vazão gerada) e dependem da diversidade dos produtos fabricados, natureza e porte da indústria, do grau de modernidade de seus processos produtivos, tipos de matérias-primas empregadas e do nível de automação de seus processos, bem como as práticas de reciclagem e reuso de cada fonte geradora (GIORDANO; SURERUS, 2015).

Dentre as diversas técnicas existentes para o tratamento de efluentes industriais, o processo de lodos ativados é um dos mais aplicados e também de maior eficiência. O princípio do processo baseia-se na oxidação bioquímica dos compostos orgânicos e inorgânicos nos efluentes, mediada por uma população microbiana diversificada e mantida em suspensão num meio aeróbio seguida de uma fase de repouso, para que haja a separação entre a fase líquida e a fase sólida. Com isso, a eficácia do tratamento depende tanto da ação da comunidade microbiana no reator, a qual é responsável pela degradação dos diversos poluentes, quanto da eficiência de separação sólido-líquido no sedimentador. Esta é uma etapa fundamental para o sucesso da estação como um todo, pois na maioria das vezes os decantadores secundários constituem a última unidade do sistema, ditando a qualidade do efluente final (VON SPERLING, 1998). A população microbiana do floco é constituída de um conjunto de microrganismos, tais como bactérias, fungos e protozoários. A presença de compostos inibidores ou recalcitrantes pode afetar negativamente o sistema.

O tamanho e a composição dos flocos biológicos estão diretamente relacionados com as características de sedimentabilidade e adensamento do lodo. A sedimentação e o adensamento são processos físicos para separar os sólidos indesejáveis da água ou efluente tratado, utilizando o próprio efeito gravitacional. Para esgoto doméstico, a literatura é relativamente abundante, permite indicar faixas operacionais, que asseguram boa sedimentabilidade do lodo, viabilizando o processo. Para efluentes industriais, devido a sua especificidade, a literatura é mais escassa, sendo necessário fazer uso de trabalhos experimentais para assegurar um projeto criterioso de lodos ativados e evitar a perda de sólidos no efluente final (DEZOTTI, 2003).

Atualmente, os testes mais utilizados para verificação da sedimentabilidade de lodos ativados, são os testes de índice volumétrico de lodo (IVL) e da velocidade de sedimentação em zona (VSZ) realizados em provetas (ou cilindros verticais graduados). Por ser mais simples de ser calculado, o IVL é um dos parâmetros mais utilizados para caracterizar a sedimentabilidade do lodo biológico.

Com o intuito de verificar o tempo necessário de sedimentação em função do IVL, alguns autores propuseram modelos matemáticos capazes de estimar a concentração e o volume de lodo sedimentado para esgotos domésticos. Daigger (1995) foi um dos pioneiros a fazer uso do IVL para determinar a V_s inicial. Baseado no princípio da teoria do fluxo limite de sólidos, Von Sperling & Froes (1998) estabeleceram por faixa de sedimentabilidade os valores médios, representativos para esgoto doméstico, dos parâmetros V_0 , K , p e q para cada faixa de IVL. Santos (2002) ajustou todas as cinco equações proposta por Von Sperling & Froes (1998) em uma única equação, para o dimensionamento de reatores biológicos operados em bateladas. Santos (2002) também propôs uma equação capaz de estimar o tempo de sedimentação em função da V_s inicial.

Com o objetivo de estudar a sedimentabilidade de lodos ativados de três diferentes ETEIs e verificar se os modelos propostos para esgotos domésticos se aplicam a efluentes industriais, a autora apresenta os seguintes objetivos:

Objetivo geral

- Estudar as características de sedimentação de lodos biológicos de ETEIs mediante ensaios de sedimentação em bancada e avaliar as velocidades iniciais de sedimentação observadas comparando com modelos propostos por Santos (2002), Von Sperling & Fróes (1998) e Daigger (1995).

Objetivos específicos:

- Comparar as velocidades de sedimentação medidas nos ensaios de proveta com a velocidade calculada através das equações propostas por Santos (2002), Von Sperling & Fróes (1998) e Daigger (1995) para ETE;

- Realizar uma caracterização dos flocos biológicos quanto a sua estrutura física, procurando relacioná-la com a sedimentabilidade e IVL;
- Verificar a validade da equação de tempo de sedimentação proposta para esgotos domésticos por Santos (2002) em efluentes industriais;
- Verificar se as concentrações de RNFT e RNFV podem interferir na velocidade de sedimentação através de análises com o lodo diluído;
- Avaliar se os sistemas RBSs e fluxo contínuo apresentam as mesmas características de sedimentabilidade de lodos ativados;

Este trabalho apresenta-se dividido em 4 capítulos. Após a introdução, o capítulo 1 trata de uma revisão de literatura na qual são apresentados conceitos de efluentes industriais e esgotos domésticos, formas de tratamento, descrição do processo de lodos ativados e fatores nele interferentes. Também compõe esse capítulo uma descrição da teoria da sedimentabilidade e dos métodos de determinação dos testes estático e dinâmico, bem como os métodos de Daigger (2005), Von Sperling & Fróes (1998) e Santos (2002). No capítulo 2, metodologia, descrevem-se as ETEIs escolhidas para o desenvolvimento da pesquisa, os testes laboratoriais, os ensaios de sedimentabilidade e os métodos de cálculos para os ensaios. No capítulo 3, se apresentam os resultados experimentais, bem como a análise e a discussão destes. Os resultados foram organizados por indústria e no final foi realizada uma comparação entre essas. No capítulo 4 estão descritas as conclusões dos resultados obtidos nesse estudo, e recomendações.

1- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

1.1- Características dos efluentes industriais e sua comparação com esgotos domésticos convencionais

Efluentes são correntes líquidas ou suspensões originárias de processos, operações e/ou utilidades, provenientes de diversos usos das águas, tais como as de uso doméstico, comercial, industrial, e as de utilidades públicas, de áreas agrícolas, de superfície, de infiltração, pluviais e outros efluentes sanitários (BRAGA *et al.*, 2005; VON SPERLING, 1997; JORDÃO; PESSÔA, 2014). Suas características originais impedem o aproveitamento em termos técnicos e/ou econômicos na própria fonte geradora, destinando-se, portanto direta ou indiretamente, a um corpo receptor/ e ou reuso.

Esgoto (ou efluente) doméstico é o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas (NBR 9648- ABNT, 1986). Para Jordão & Pessoa (2014), os esgotos domésticos provêm principalmente de residências, edifícios comerciais, instituições ou quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas, ou qualquer dispositivo de utilização da água para fins domésticos. Compõem-se essencialmente de água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes e água de lavagem. Segundo Santos (2012), são formados preponderantemente de material orgânico como: de proteínas (40-60%), carboidratos (25-50%), gorduras e óleos (10%), ureia, surfactantes e microrganismos. A variação mais significativa na composição dos esgotos domésticos está relacionada com a vazão, uma vez que esta pode variar de uma cidade para outra dependendo do número de habitantes e o poder aquisitivo da população. Para realização do tratamento é necessário o conhecimento da vazão ou descarga de esgotos, sendo esta grandeza conforme Jordão & Pessoa (2014) a mais importante característica dos esgotos. Quando comparados com os efluentes industriais, os esgotos domésticos tendem a ser mais fáceis de tratar, devido às suas características.

Os efluentes industriais são originados principalmente pelas perdas nos processos (matérias-primas vencidas ou contaminadas, vazamentos, não conformidades etc.), limpeza da fábrica e linhas de produção, caldeiras, refeitórios,

sanitários etc. sendo extremamente variáveis (composição e vazão gerada) e dependem da diversidade dos produtos fabricados, natureza e porte da indústria, do grau de modernidade de seus processos produtivos, tipos de matérias-primas empregadas e do nível de automação de seus processos, bem como as práticas de reciclagem e reuso de cada fonte geradora. Segundo Eckenfelder (1989), o volume e a concentração dos efluentes industriais são usualmente definidos pelas unidades de produção e a variação nas características de produção. Adquirem características próprias em função do seu processo industrial, sendo necessários estudos de tratabilidade para cada efluente gerado, uma vez que seus efluentes diferem até mesmo em processos industriais similares. Na **tabela 1.1**, estão indicadas as características médias dos afluentes de algumas indústrias.

Tabela 1.1- Características médias de alguns afluentes industriais

Parâmetros	Indústrias de Refrigerantes	Indústrias de Pescado	Abatedouro de Aves	Abatedouro de Bovinos/Suínos
DQO (mg/L O ₂)	2600	4800 - 9500	1300	12000
DBO (mg/L O ₂)	1300	2600 - 6900	600	3300
Óleos e graxas (mg/L)	10 - 30	300 - 800	400	285
pH	5,0 - 9,0	6,0 - 7,0	6,0 - 7,0	6,5
SS (mg/L)	2	1800 - 3200	600	4000
Detergentes (mg/L)	2 - 10	10	10	—

Fonte: GIORDANO; SURERUS (2015)

Cont. Tabela 1.1

Parâmetros	Laticínios	Indústrias de Tintas	Indústrias Têxteis	Indústrias de Papel
DQO (mg/L O ₂)	2208	7000	400- 1300	1400
DBO (mg/L O ₂)	1366	2500	200 - 700	630
Óleos e graxas (mg/L)	120	—	<20	—
pH	4,0 - 11,0	12	5,0 - 11,0	6,6 - 7,0
SS (mg/L)	316	500	—	1975
Detergentes (mg/L)	5	—	10 - 50	—

Legenda: SS= Sólidos em suspensão

Fonte: GIORDANO; SURERUS (2015)

Segundo Giordano e Surerus (2015), os processos de tratamento adotado, as formas construtivas e os materiais empregados são considerados a partir dos seguintes fatores: a legislação ambiental regional; o clima; a cultura local; os custos de investimento; os custos operacionais; consumo de energia; a quantidade e a qualidade do lodo gerado nas estações de tratamento de efluentes industriais; a

qualidade do efluente tratado; a segurança operacional relativa aos vazamentos de produtos químicos utilizados ou dos efluentes; riscos de explosões; geração de odor; a interação com a vizinhança; confiabilidade para atendimento à legislação ambiental; possibilidade de reuso dos efluentes tratados.

Os principais contaminantes encontrados são: detergentes, sólidos, óleos e graxas, metais e nutrientes e matéria orgânica (CAVALCANTI, 2012). Dependendo da natureza da indústria, os efluentes também podem apresentar altos níveis de toxicidade, tanto para os processos biológicos de tratamento quanto aos organismos aquáticos representativos das comunidades biológicas dos corpos d'água receptores (ALVES, 2010 e BERANGER, 2009). Os efluentes de indústrias farmacêuticas, por exemplo, tem sido alvo de constantes estudos, pois constituem um sério problema para o ambiente, em particular para o meio aquático. Dependendo da natureza do produto fabricado, os compostos presentes neste tipo de efluente podem ser extremamente resistentes ao tratamento convencional por lodos ativados, sendo muitas vezes necessário recorrer a tecnologias avançadas de tratamento, como os processos avançados de oxidação. Além disso, são muito diversificados e podem ser extremamente problemáticos se lançados sem tratamento adequado. Como é o caso dos antibióticos que mesmo em baixas concentrações, se não forem inativados podem causar mudanças irreversíveis em longo prazo no genoma dos microrganismos, aumentando sua resistência. Outro problema importante é a presença de alguns compostos que causam disfunção endócrina nos organismos aquáticos, sendo sabido que também causam essa disfunção no sistema endócrino do ser humano, com efeitos cancerígenos e mutagênicos. São resultantes da limpeza do maquinário, sendo essa etapa a principal responsável pela presença dos fármacos nos efluentes industriais brutos além de outros compostos inorgânicos e orgânicos, que incluem reagentes diversos, solventes, catalisadores e intermediários de síntese (BALCIOGLU e ÖTKER, 2003; CHEN *et al.*, 2011). Assim, as demandas química e bioquímica de oxigênio (DQO e DBO), o teor de sólidos suspensos, o pH e as quantidades de fenol e amônia são variáveis (AKINTONWA *et al.*, 2009).

Independentemente da origem do efluente (efluentes industriais ou esgoto doméstico), devem ser tratados por duas razões fundamentais: proteção da saúde pública e preservação do meio ambiente (SILVA, 2003). E para isso, podem ser

utilizados alguns processos de tratamento ou a combinação deles. Estes são classificados em físicos, químicos e biológicos.

Os processos físicos caracterizam-se pela retirada de substâncias fisicamente separáveis do líquido, ou seja, que não estão dissolvidas no efluente. Os processos químicos são assim denominados por envolverem reações químicas fazendo uso de produtos químicos, tais como: agentes de coagulação, floculação, neutralização de pH, oxidação, redução e desinfecção em diferentes etapas do sistema (GIORDANO e SURERUS, 2015). Já os processos biológicos objetivam retirar a matéria orgânica biodegradável dos efluentes, e podem ser aeróbios, anaeróbios e algumas vezes facultativos, onde há fase aeróbia e a fase anaeróbia. O objetivo principal de qualquer uma das muitas opções de sistemas de tratamento biológicos existentes é de simular os fenômenos naturais em condições controladas e otimizadas, de modo que resulte em um aumento da velocidade e da eficiência de estabilização da matéria orgânica, bem como de outras substâncias presentes no meio (VON SPERLING, 1997; JORDÃO; PESSÔA, 2014). As combinações de processos anaeróbios e aeróbios também permitem a remoção de nutrientes (N e P) em excesso, por ação dos microrganismos.

1.2- O Processo de Lodos Ativados

1.2.1- Descrição geral

O processo de lodos ativados originou-se em 1914 na Inglaterra (BITTON, 2005, JORDÃO; PESSÔA, 2014) e, embora muitas pesquisas tenham contribuído para a melhora do sistema tanto em termos de eficiência de remoção de M.O como em termos da capacidade de tratamento por unidade de volume no sistema (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999), o princípio básico do tratamento não foi alterado. Ainda hoje se obtém a remoção de material orgânico (M.O) contido nas águas residuárias colocando-as em contato com o lodo ativado e aerando a mistura.

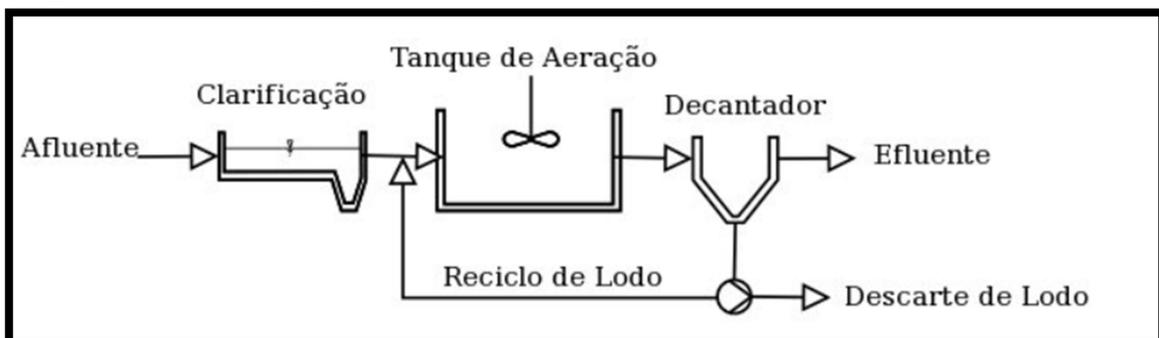
O princípio do processo baseia-se na oxidação bioquímica dos compostos orgânicos e inorgânicos dos esgotos, mediada por uma população microbiana diversificada e mantida em suspensão num meio aeróbio. A aeração tem como

objetivo fornecer oxigênio e realizar a homogeneização dos flocos, de maneira que os mantenha em suspensão e em contato com a matéria orgânica a ser degradada. A formação dos flocos biológicos é possível graças à secreção de uma matriz extracelular bacteriana ou substância polimérica extracelular (SPE), cujas propriedades aderentes permitem a união de diversos organismos e a formação de dos flocos (ARAÚJO, 2010; VON SPERLING, 1997). Além disso, as SPEs controlam a estrutura do floco biológico e a fisiologia microbiana. São compostas de fibras orgânicas, partículas orgânicas adsorvidas e componentes orgânicos, na forma de proteínas, substâncias húmicas, carboidratos, ácidos nucleicos e lipídios (ARAÚJO, 2010).

Segundo Santos (2012) e Jordão e Pessoa (2014), o processo apresenta algumas vantagens e desvantagens. Entre as principais vantagens pode-se citar: maior eficiência de tratamento, maior flexibilidade de operação e menor área ocupada em relação à filtração biológica. No entanto, a operação é mais delicada, sendo necessário maior controle laboratorial, uma vez que o lodo é extremamente sensível a mudanças bruscas. Ainda apresentam como desvantagens, grande produção de biomassa, elevado gasto energético e mecanização mais sofisticada. Dentre outros fatores, a eficiência do processo depende da capacidade de floculação da biomassa ativa e da composição dos flocos formados (BENTO *et al.*, 2005; VAN HAANDEL; MARAIS, 1999).

De acordo com a finalidade ao qual se destina (disponibilidade de espaço físico, volume de efluente, manutenção entre outros), o sistema de lodos ativados pode ter dois modos operacionais: sistema contínuo ou por batelada. As **figuras 1.1** e **1.2** mostram como funcionam esses sistemas.

Figura 1.1- A unidade operacional básica de um Sistema de lodos Ativados convencional.



Fonte: Adaptado de Jordão e Pessoa (2014).

Figura 1.2- Representação esquemática de um ciclo de operação de reatores em bateladas sequenciais (RBS)

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA	FASE DO CICLO	OBJETIVO DA FASE	ESTADO DA AERAÇÃO
	ENCHIMENTO	INTRODUÇÃO DO SUBSTRATO NO SISTEMA DE TRATAMENTO	LIGADA OU DESLIGADA
	AERAÇÃO	BIODEGRADAÇÃO DO SUBSTRATO	LIGADA
	SEDIMENTAÇÃO	CLARIFICAÇÃO DO EFLUENTE TRATADO	DESLIGADA
	DESCARGA	DESCARTE DO EFLUENTE TRATADO	DESLIGADA
	REPOUSO	RESERVA DE TEMPO A SER TRANSFERIDO A OUTRA FASE CASO SEJA NECESSÁRIO AJUSTE OPERACIONAL	LIGADA OU DESLIGADA

Fonte: SANTOS (2002)

Nos processos unitários de RBS a equalização, o tratamento biológico e a clarificação secundária, e em alguns casos, clarificação primária ocorrem num único tanque com uma sequência de tempo controlada. Apresentam também vantagens adicionais no que diz respeito a remoção biológica de nutrientes, como a remoção de nitrogênio e fósforo sem a necessidade de nenhum equipamento adicional ou de aditivos químicos (GOMES, 1997). Quando o objetivo é a remoção destes nutrientes, as etapas do ciclo são ajustadas para proporcionar períodos anóxicos ou anaeróbias. A duração de cada ciclo pode ser alterada em função das variações de carga alimentada ao sistema, dos objetivos operacionais de tratamento e das características de remoção desejada (VON SPERLING, 1996). Em geral, a duração

de um ciclo varia de algumas horas a um dia. Se o esgoto chega continuamente na ETE, será necessário que existam pelo menos 2 tanques operando em ciclo diferentes. Devido a sua praticidade tanto em termos de instalação (dispensa o uso de decantadores secundários, já que a biomassa permanece no reator de um ciclo para outro) e flexibilidade de operação (com a duração dos ciclos definidos e estabelecidos) (MAHVI, 2008), os sistemas RBS tem se mostrado como uma boa alternativa no tratamento de efluentes.

Já no sistema convencional, as etapas de aeração e sedimentação são realizadas em tanques separados, ou seja, independente da vazão, é necessário dois tanques, sendo um reator aeróbio e um decantador.

Independentemente do modo de operação, a eficiência do tratamento biológico em sistemas de lodos ativados depende tanto da ação da comunidade microbiana presente no reator, a qual é responsável pela degradação dos diversos poluentes, quanto da eficiência de separação sólido-líquido no sedimentador. Caso a sedimentabilidade do lodo não seja boa, pode haver a perda de sólidos (biomassa) no efluente tratado, diminuindo drasticamente a qualidade do efluente (BASSIN, 2012).

1.2.2- Fatores que influenciam no processo de lodos ativados

O desempenho do processo de lodos ativados está diretamente ligado aos fatores que influenciam no crescimento dos microrganismos que compõem o lodo, tais como: pH, temperatura, oxigênio dissolvido, nutrientes, disponibilidade de substrato (ARAÚJO, 2010; BENTO *et al*, 2005; JENKINS *et al*, 1993; MADONI, 1994; VAN HAANDEL; MARAIS, 1999). As condições ótimas para a eficiência do processo podem ser verificadas na **tabela 1.2**.

Tabela 1.2- Condições necessárias para o desempenho do processo.

Parâmetros	Valores ideais
Densidade de microrganismos	2.000 a 3.000 mg/L
Disponibilidade de Oxigênio	Mínimo de 2,0 mg O ₂ /L
Disponibilidade de nutrientes (M.O: N: P)	100:05:01
Disponibilidade de micronutrientes	Depende do micronutriente
Temperatura	Entre 20 a 30 °C
pH	Entre 6,5 e 7,5
Tempo de contato entre microrganismos e esgoto	6 a 8 horas

Fonte: Adaptado de ARAÚJO, 2010.

A faixa de pH tolerável para os microrganismos do lodo ativado, segundo a literatura disponível, situa-se entre 7 e 8, sendo que a eficiência do tratamento alcança valores máximos em $\text{pH } 7 \pm 0,2$ (MCKINNEY, 2004; GERARDI, 2006; CORDI, 2008). Essa faixa de pH é dita como sendo a faixa ideal para o crescimento e manutenção de lodo. Sant'Anna Jr (2010) menciona que as bactérias que atuam na degradação da matéria orgânica mantêm crescimento ótimo na faixa de pH entre 5,5 e 8,5. Porém, alguns estudos, tais como o de Beranger (2009), mostram que mesmo com variações bruscas na faixa de 4,5 e 11, a comunidade microbiana ainda se mantém ativa (respirando). Os problemas operacionais em um sistema de tratamento biológico, para unidades de pH com valores menores que 6,8 são: redução da atividade enzimática; aumento da produção de sulfeto de hidrogênio (H_2S); inibição do processo de nitrificação; interrupção da formação do floco e crescimento indesejado de fungos filamentosos. Para um sistema de tratamento biológico operando a um pH acima de 7,2, ocorrem as seguintes interferências: Redução da atividade enzimática; Aumento da produção de amônia (NH_3); Inibição do processo de nitrificação e Interrupção na formação do floco. O crescimento indesejado dos fungos filamentosos são os principais responsáveis pela má característica de sedimentabilidade. As variações de pH dentro dos reatores biológicos estão relacionadas com as transformações químicas da matéria orgânica (GERARDI, 2006; GIORDANO; SURERUS, 2015; BERANGER, 2009).

A temperatura exerce dois efeitos sobre a população microbiana no lodo: afeta a taxa de difusão de substratos e nutrientes na célula bacteriana e afeta a taxa da atividade enzimática (COSTA, 2013). As bactérias que toleram variações de temperaturas podem ser classificadas em psicrófilas, mesófilas e termófilas. O processo de lodos ativados atua em faixa mesofílica podendo operar com temperaturas entre $4,0^\circ\text{C}$ a $39,0^\circ\text{C}$. Alguns autores afirmam que a faixa ótima de operação dos sistemas de lodos ativados variam entre 12 a 35°C , podendo a temperatura ser um fator seletivo, gerando mudanças significativas no processo. Por exemplo, a uma temperatura de $35,5^\circ\text{C}$ há a degradação do floco biológico; a uma temperatura de $40,0^\circ\text{C}$ podemos observar o desaparecimento de protozoários e a uma temperatura de $43,3^\circ\text{C}$ há a presença de flocos dispersos com filamentosos (GERARDI, 2006; GIORDANO; SURERUS, 2015; BERANGER, 2009; ECKENFELDER, 1989; VON SPERLING, 1997; JENKINS *et al*, 1993; MADONI, 1994; VAN HAANDEL; MARAIS, 1999). A temperatura também influi diretamente na

concentração de O_2 dissolvido, o que pode afetar negativamente o sistema: quanto maior a temperatura, menor a concentração de OD. O suprimento constante de oxigênio é necessário para as atividades respiratórias dos microrganismos aeróbios e para manter os flocos em suspensão, assegurando um contato permanente entre estes e a matéria orgânica. A concentração de OD deve ser suficiente para fornecer oxigênio aos microrganismos, possibilitando-os oxidar a matéria orgânica biodegradável e converter amônia em nitrato (nitrificação biológica). Por outro lado, elevadas concentrações de OD exigem maior taxa de fluxo de ar, elevando o gasto energético (SANTOS, 2012). Os processos podem operar com uma concentração de até 0,5 mg/L de OD, porém, por medida de segurança, são adotados normalmente um valor fixo de 2 mg/L de OD (GIORDANO; SURERUS 2015; BERANGER, 2009; SANTOS, 2005). Essas concentrações acomodam variações eventuais ao processo (SANT'ANNA JR, 2010). O nível de OD pode ser resultante de diversos fatores, tais como, tipo de aeração, temperatura, atividade microbiana, composição orgânica no efluente etc. Quando a aeração não é adequada, o metabolismo dos microrganismos pode produzir álcoois, aldeídos e ácidos orgânicos, que levam à redução do pH do sistema a faixas entre 4 e 5, consideradas ideais ao desenvolvimento de fungos (JORDÃO; PESSOA, 1991; SILVA; MARA, 1979). A concentração de oxigênio limita a presença de bactérias do lodo ativado, sendo necessário o mínimo de 1,2 mg/L para bactérias formadoras de flocos e 0,6 mg/L para bactérias filamentosas. Abaixo desses valores, há proliferação excessiva de bactérias filamentosas anaeróbias facultativas (COSTA, 2013; ARAÚJO, 2010; FERNANDES, 2009). O comprimento dos filamentos bacterianos está relacionado à capacidade de sedimentação do lodo ativado, pois quanto maiores, maiores Índices Volumétricos do Lodo (IVL).

Os nutrientes N e P são essenciais aos microrganismos, pois são utilizados para os metabolismos de biossíntese e catálise, além da remoção de matéria orgânica. Em quantidades insuficientes de nitrogênio, a matéria celular sintetizada por unidade de matéria orgânica removida aumenta por causa de um acúmulo de polissacarídeos até que, em algum ponto, as condições limitantes de nitrogênio restringem a taxa de redução de DBO e podem estimular o crescimento de filamentosos. O fósforo geralmente é assimilado na forma de ortofosfato, tendo como principal fonte o esgoto urbano (ECKENFELDER, 1995). Segundo Beranger (2009), quantidades insuficientes de nitrogênio e fósforo têm sido apresentadas como uma

das causas do intumescimento filamentoso do lodo. A relação DBO:N:P aproximadamente é 100:5:1 e normalmente apresentada como a mínima desejada para o desenvolvimento de um lodo ativado adequado. Os esgotos domésticos se apresentam sempre com quantidades de nitrogênio e fósforo em excesso, porém, muitos efluentes industriais são deficientes em relação a esses nutrientes. Deve-se, nesses casos, adicionar ao efluente as quantidades adequadas de nitrogênio e fósforo (GIORDANO; SURERUS, 2015; BERANGER, 2009; SANTOS, 2005).

Alguns micronutrientes são essenciais ao processo, pois atuam como cofatores, participando de diversas reações. Por exemplo, os íons cálcio e magnésio são considerados um dos fatores para estabilidade e compressão dos flocos biológicos, pois ajudam a estabilizar a estrutura da membrana (BITTON, 2005), porém quando a concentração é muito elevada, pode ocorrer de interagirem com outros metais, gerando efeitos de inibição, sinérgicos ou antagônicos e gerarem o processo de desestabilização do lodo (ARAÚJO, 2010).

As bactérias heterotróficas, responsáveis pela degradação do material orgânico, oxidam o composto transformando-o em gás carbônico e água, utilizando o oxigênio dissolvido para tal. Isso ocorre se for mantido um fator de carga alimento/microrganismos (A/M) adequado para as condições do biorreator. Quando a concentração de substrato (alimento) for elevada, tem-se um fator de carga elevado, resultando em concentrações ainda elevadas no efluente final (COSTA, 2005). A relação A/M representa a razão entre a concentração de alimento (matéria orgânica) proveniente dos esgotos e a concentração de biomassa (SSV) nos tanques de aeração (VON SERLING, 1997; SANTOS, 2012; GIORDANO; SURERUS, 2015). A faixa de operação do processo pode variar de 0,02 a 5 kg DBO₅ /kg SSV. dia, sendo que os valores do processo convencional, variam normalmente entre 0,07 – 1,1 kg DBO₅ /kg SSV. dia (JORDÃO; PESSÔA, 1995). Quando a relação A/M apresenta valores abaixo de 0,15 pode significar que há pouca disponibilidade de alimento para a quantidade de microrganismos no tanque de aeração (GIORDANO; SURERUS, 2015).

A relação SSV/SS ou RNFV/RNFT também é muito importante em sistemas de lodos ativados, pois indica a idade do lodo e/ou o tempo de contado entre os microrganismos constituintes do lodo e o efluente a ser tratado. Giordano; Surerus (2015) afirmam que essa relação deve se manter abaixo ou próximo a 0,82 e, que valores superiores indicam um lodo novo, não apropriado ao desaguamento.

Segundo Beranger (2009), outro fator que influencia no crescimento da microfauna do lodo ativado e, conseqüentemente, na estabilidade do processo, é a presença de substâncias inibidoras no efluente a ser tratado além de seu grau de toxicidade. Em efluentes industriais, a presença dessas substâncias devem-se principalmente ao tipo de matéria-prima empregada no processo, as etapas de limpeza e sanitização dos equipamentos e os produtos químicos utilizados. Em indústrias farmacêuticas e alimentícias, por exemplo, devido à necessidade de se manter a qualidade e segurança do produto, é muito comum utilizarem o sistema CIP (*Clean in Place*) para a limpeza dos equipamentos e utensílios que entram em contato com o produto. Esse sistema tem como principal objetivo eliminar todos os resíduos e não permitir a formação dos biofilmes. Segundo Bremer (2005), os principais sanitizantes químicos utilizados nesse sistema são aqueles à base de cloro, ácido peracético, iodo, compostos quaternários de amônio e peróxido de hidrogênio. Outro fator muito importante nesse sistema são as temperaturas e concentrações elevadas desses produtos químicos. Os efluentes gerados no sistema CIP devem ser inativados nas etapas que antecedem aos reatores de lodos ativados, caso contrário, podem gerar altos níveis de toxicidade aos microrganismos do lodo, alterar a permeabilidade da membrana celular, destruir os flocos da biomassa, diminuir a eficiência do sistema ou até mesmo matar o lodo. Atualmente, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas na busca por produtos que sejam biodegradados e que apresentem a mesma eficiência no sistema de limpeza.

1.3 - Microbiologia de lodos ativados

O lodo ativado é formado pela associação de diversos organismos, como bactérias, fungos, algas, protozoários, nematódeos, rotíferos e outros micrometazoários com a finalidade da biodegradação da M.O. Alguns organismos, de vida livre, movimentam-se entre os flocos e o afluente, enquanto outros organismos estão agregados e paralisados na forma de flocos biológicos (BENTO *et al*, 2005; JORDÃO *et al*, 1997; OLIVEIRA; ARAÚJO; FERNANDES, 2009). O equilíbrio entre esses microrganismos é o que garante o bom funcionamento do sistema. Na **tabela 1.3** estão relacionadas às principais características de processo e predominância dos diferentes microrganismos.

Tabela 1.3- Microrganismos indicadores das condições de depuração

Características do processo	Microrganismos
Lodo Jovem	Predominância de Flagelados e amebas
Deficiência de aeração, má depuração e sobrecarga orgânica.	Predominância de Flagelados
Boas condições de depuração ou Boa depuração	Predominância de ciliados pedunculados e livres e ameba com teca
Nitrificação	Predominância de <i>Aspidisca</i>
Efluente de má qualidade	Predominância de ciliados pedunculados e baixa concentração de ciliados livres
Excesso de oxigênio dissolvido	Predominância de anelídeos
Intumescimento do lodo	Predominância de filamentos

Fonte: FIGUEIREDO *et al.*, (1997).

As características do floco como: tamanho, microestrutura, propriedades de superfície e densidade podem diferenciar devido às peculiaridades de cada planta de tratamento (SANTOS, 2012) e podem influenciar diretamente na eficiência do processo de lodos ativados. Flocos bem formados cooperam para um eficiente tratamento e boa remoção da matéria orgânica; flocos mal formados possuem má sedimentabilidade, com tendência a dispersão, facilitando a desagregação dos constituintes e sendo perdidos no efluente final. Os flocos biológicos são constituídos preponderantemente por bactérias formadoras de flocos e bactérias que formam filamentos (SANT'ANNA JR, 2010). A condição biológica do floco determina a taxa de remoção do substrato e sua estrutura física determina a eficiência de sedimentação da biomassa no decantador.

Segundo Gerardi (2006), a formação do floco em processo de lodos ativados é essencial para o seu correto funcionamento, permitindo o “empacotamento” de uma grande e diversificada população de bactérias nos flocos que (1) podem ser separadas no decantador secundário, e (2) podem ser retornadas ao processo. As principais funções proporcionadas pelas bactérias formadoras de flocos em tanques de aeração incluem: remoção de M.O; remoção de nitrogênio; remoção de fósforo; remoção de sólidos finos.

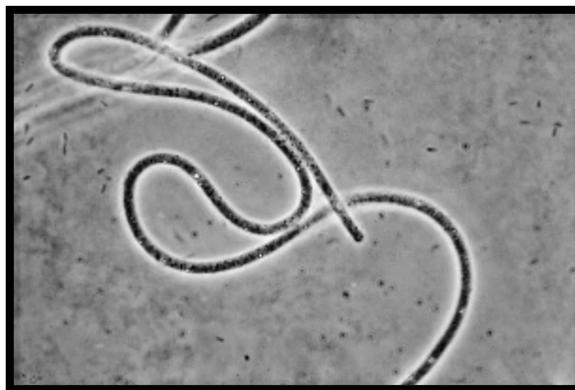
Quando os microrganismos filamentosos crescem em excesso, a sedimentabilidade do lodo diminui por causa de dois fatores: a) o floco fica menos denso, ou seja, a estrutura do floco se torna mais difusa e b) a aproximação de dois

flocos é dificultada devido aos filamentos longos que formam uma espécie de ponte entre os flocos que funcionam como barreiras contra a aproximação destes.

1.3.1- Bactérias:

As bactérias são as principais responsáveis pela degradação dos compostos orgânicos e na reciclagem de nutrientes presentes nos efluentes. Possuem grande variedade morfológica, tais como cocos, bacilos, bastonetes, espiraladas e filamentosas em diferentes arranjos. No sistema de tratamento, desempenham três funções básicas: oxidação da M.O carbonácea, nitrificação e a floculação (formação de flocos) que confere a capacidade de sedimentação ao lodo e a consequente clarificação do efluente (WILLIBALDO *et al*, 2007; BITTON, 2005). As bactérias mais frequentes são: *Pseudomonas*, *Zooglea*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Bdellovibrio*, *Mycobacterium*, bactérias nitrificantes como *Nitrossomas* e *Nitrobactere*, bactérias acumuladoras de fosfatos (OAP) que também permitem a remoção de fósforo (MILOSKI, 2015; ARAÚJO, 2010; BERANGER, 2009; CETESB, 2000) e alguns microrganismos filamentosos como *Sphaerotilus*, *Beggiatoa* e *Vitreoscilla*. Apesar das bactérias filamentosas (**figura 1.3**) terem grande importância na estrutura do floco, seu crescimento deve ser limitado, pois em excesso, não permitem a sedimentação do lodo, resultando no intumescimento do mesmo, provocando um aumento excessivo de volume ou bulking (JENKINS *et al.*,1993; BITTON, 2005).

Figura 1.3- Bactéria filamentosa comum em sistemas de lodos ativados

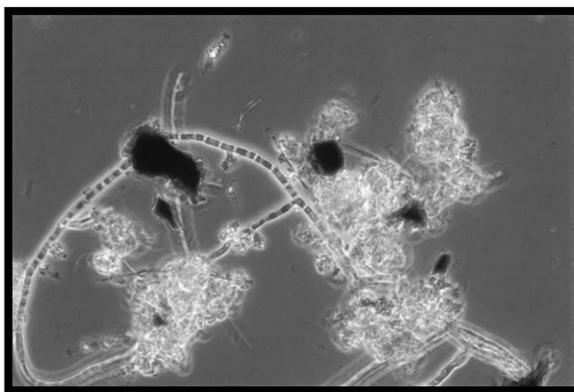


Fonte: GERARDI (2006).

1.3.2 – Fungos:

Os fungos não são frequentes nos sistemas de lodos ativados, porém, sob condições específicas de pH baixo, toxicidade, deficiência de O.D. e nutrientes e resíduos ácidos podem aparecer alguns fungos filamentosos, tais como *Geotrichum*, *Penicillium*, *Cephalosporium*, *Cladosporium*, *Alternaria* e *Candidum* (**figura 1.4**). Alguns estudos têm mostrado que os fungos também são capazes de realizar nitrificação e desnitrificação (BITTON, 2005). Apesar de atuarem na estabilização da matéria orgânica, os fungos são indesejáveis nos lodos ativados, porque sua natureza filamentosa não é capaz de formar flocos compactos e densos, diminuindo a capacidade de separação das partes líquida e sólida, ou seja, a capacidade de sedimentação (JORDÃO *et al*, 1997; JORDÃO; PESSOA, 1991; SILVA; MARA, 1979).

Figura 1.4- Fungos filamentosos em lodo ativado decorrente de baixo pH do meio ou deficiência de nutrientes



Fonte: GERARDI (2006)

1.3.3 – Protozoários:

Os protozoários e micrometazoários ocorrem naturalmente no sistema de lodos ativados e são de extrema importância, pois além de serem os predadores das bactérias, desempenham o papel de bioindicadores do processo, sendo altamente sensíveis as mudanças nas condições físico-químicas e ambientais. Os mais encontrados são *Carchesium*, *Chillodenella* sp., *Paramecium* sp., *Vorticella* sp., *Opercularia* sp., *Apidisca* sp. De acordo com sua morfologia e locomoção, podem ser classificados em ciliados, flagelados e amebas, e podem ser livres (**figura 2.5**) ou fixos (VAZOLLÉR *et al.*, 1991, JENKINS *et al.*, 1993; BITTON, 2005; CETESB,

2000; FIGUEIREDO et al.,1997). Podem representar 5% do peso da biomassa de lodos ativados (JENKINS *et al.*,1993).

Figura 1.5- Exemplo de um protozoário livre.



Fonte: GERARDI (2006)

1.3.4 – Invertebrados:

Alguns invertebrados, tais como rotíferos, nematoides, tardígrados e anelídeos também podem compor a microfauna do sistema de lodos ativados, apresentando tamanho e formas variadas, alimentando-se de bactérias e protozoários (MILOSKI, 2005; JENKINS *et al.*, 2003)

1.4- Sedimentação

A sedimentação é um processo físico adotado em sistemas de tratamento para separar os sólidos indesejáveis da água ou efluente tratado, utilizando o próprio efeito gravitacional. Ou seja, o processo de sedimentação é uma operação unitária na qual a capacidade de carreamento e de erosão da água é diminuída, de modo que as partículas em suspensão sedimentem pela ação da gravidade, o que oferece ao processo características de baixo custo e grande simplicidade operacional (PAULA, 2014; JORDÃO; PESSÔA, 2014).

A sedimentação pode ocorrer em diferentes etapas do tratamento:

- Tratamento preliminar: remoção da areia
- Tratamento primário: decantação primária
- Tratamento secundário: decantação secundária

- Tratamento terciário: sedimentação pós precipitação química
- Tratamento do lodo: adensamento

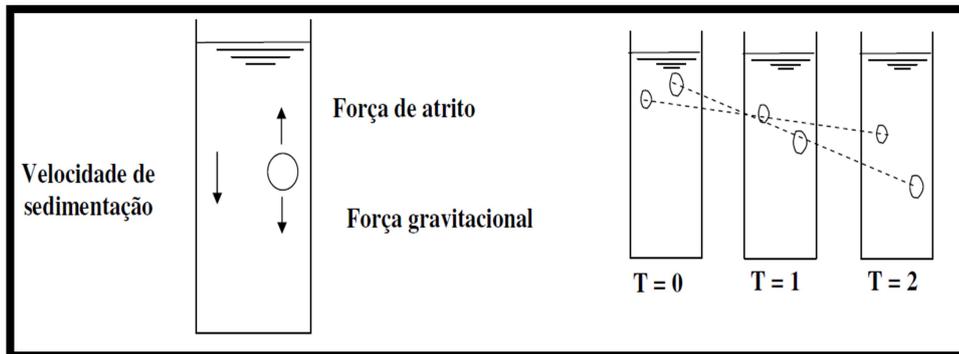
Quando se estuda o comportamento de materiais durante o processo de sedimentação, existem diversos aspectos que devem ser considerados. Vários estudos sugerem fatores como concentração de sólidos em suspensão ou a temperatura da água como condições de extrema importância na sedimentação ou decantação. Variações nas concentrações das partículas modificam, em primeiro lugar, a forma de sedimentação das partículas. Com uma concentração mais baixa na solução tem-se uma sedimentação livre, ou seja, poucos obstáculos se interpõem ao movimento das partículas e poucas interações acontecem, deixando o regime mais estável. Assim como as propriedades das partículas modificam a forma de sedimentação (sedimentação para partículas livres ou decantação para partículas floculadas) (VIETTI, 2014; ANDREW *et al*, 2007; CORDI, 2008, BENTO, 2005; VANDERHASSELT, 1999; VANDERHASSELT, 2000; AZEVEDO, 2009; SILVA, 2004; SCHULET, 2007).

Para alguns autores tais como Metcalf; Eddy (2005), Jordão; Pessoa (2014), Santos (2005) Von Sperling (1998), a sedimentação pode ser classificada em quatro tipos, que variam de acordo com a classificação das partículas e suas concentrações.

1.4.1- Sedimentação de partículas discretas

As suspensões diluídas não sofrem alteração do tamanho, forma ou peso durante a fase de sedimentação, havendo uma fraca interação entre as partículas mais próximas e a velocidade de cada uma depende das forças que nessas interagem. A força gravitacional age sobre o peso das partículas e o atrito causado pela viscosidade do líquido (**figura 1.6**). Ou seja, as partículas sedimentam-se como entidades individuais e não ocorre interação significativa com partículas vizinhas (baixa concentração de sólidos e velocidade constante). Ocorrem normalmente em caixas de areia e decantadores primários.

Figura 1.6: Esquema de um tanque de sedimentação de partículas discretas



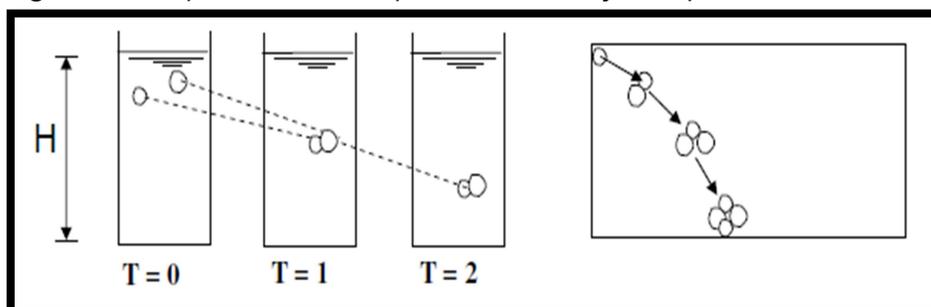
Legenda: T= tempo

Fonte: adaptado de METCALF; EDDY (2005).

1.4.2- Sedimentação de partículas floculentas

As suspensões diluídas inicialmente sedimentam sob a forma de partículas discretas, no entanto essas tendem a agregar-se, aumentando a sua massa e sedimentando com taxas variáveis e crescentes durante a fase de sedimentação (**figura 1.7**). Esse tipo de sedimentação ocorre usualmente em decantadores primários.

Figura 1.7: Esquema de um tanque de sedimentação de partículas floculentas



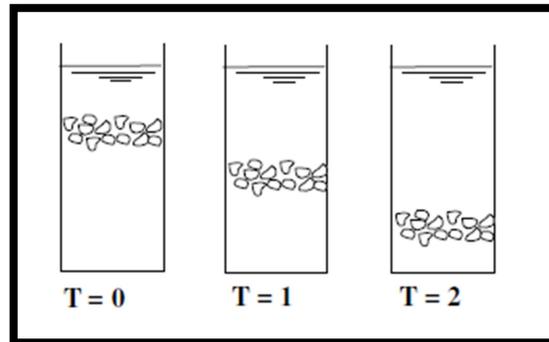
Legenda: H= altura da interface; T= Tempo

Fonte: Adaptado de METCALF; EDDY (2005).

1.4.3- Sedimentação em Zona

Em suspensões com alta concentração de sólidos, a sedimentação ocorre de maneira diferente das suspensões diluídas, uma vez que há a formação de uma matriz de flocos interligados e as mesmas sedimentam com igual velocidade. Ocorrem em decantadores secundários e adensadores de lodo (**figura 1.8**).

Figura 1.8: Esquema de um tanque de sedimentação em zona.



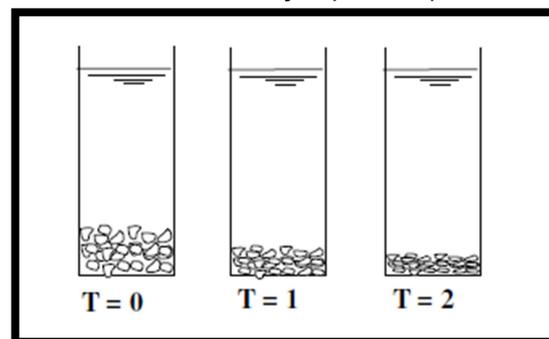
Legenda: T= tempo

Fonte: Adaptado de METCALF; EDDY (2005).

1.4.4- Sedimentação Compressiva

Quando os flocos interligados atingem uma elevada concentração, uma estrutura no nível inferior é formada e a sedimentação é influenciada mecanicamente pela compactação desta estrutura. A sedimentação na fase de compressão ocorre com velocidades muito baixas, devido à redução do espaço disponível entre as partículas e o líquido (**figura 1.9**). Ocorre normalmente no fundo dos decantadores secundários e adensadores de lodo.

Figura 1.9: Esquema de um tanque de sedimentação por compressão.



Fonte: adaptado de Metcalf; Eddy (2005).

Quando se tem uma elevada concentração de sólidos, como ocorre por exemplo nos decantadores secundários e adensadores por gravidade, a sedimentação tende a evoluir de uma sedimentação zonal para uma sedimentação compressiva. As partículas tendem a se aglomerarem formando uma “espécie” de manto que sedimenta como uma massa única de partículas. Estas tendem a permanecer numa posição fixa com relação às partículas vizinhas. À medida que a

sedimentação evolui, a manta de lodo se desloca para baixo, e o líquido inferior se desloca para cima tornando-se clarificado. Ao mesmo tempo, no fundo da coluna de sedimentação, a concentração de sólidos torna-se mais elevada. No sistema RBS, a face superior desta camada de lodo move-se para cima, devido ao contínuo acréscimo de material acumulado no fundo (JORDÃO; PESSÔA, 2014; SANTOS, 2002; VON SPERLING, 1998). Em tanques de sedimentação com retirada contínua do lodo sedimentado pelo fundo, esta camada mais concentrada não se propaga para cima, sendo a razão de recirculação, a velocidade ascensional do lodo.

A realização da etapa de sedimentação do lodo biológico varia conforme a configuração adotada para realizar o tratamento, podendo ocorrer em decantadores secundários (Sistemas de fluxo contínuo) ou no próprio tanque de aeração (Sistemas de reatores de bateladas Sequenciais- RBS) (PAULA, 2014). Nos sistemas de lodos ativados, a etapa de sedimentação é fundamental para o sucesso da estação como um todo, pois na maioria das vezes os decantadores secundários constituem a última unidade do sistema, ditando a qualidade do efluente final (VON SPERLING, 1998). O tamanho e a composição dos flocos biológicos estão diretamente relacionados com as características de sedimentabilidade, adensamento do lodo e eficiência do sistema. Na **tabela 1.4** estão descritos os principais problemas encontrados devido ao tamanho e à má formação dos flocos.

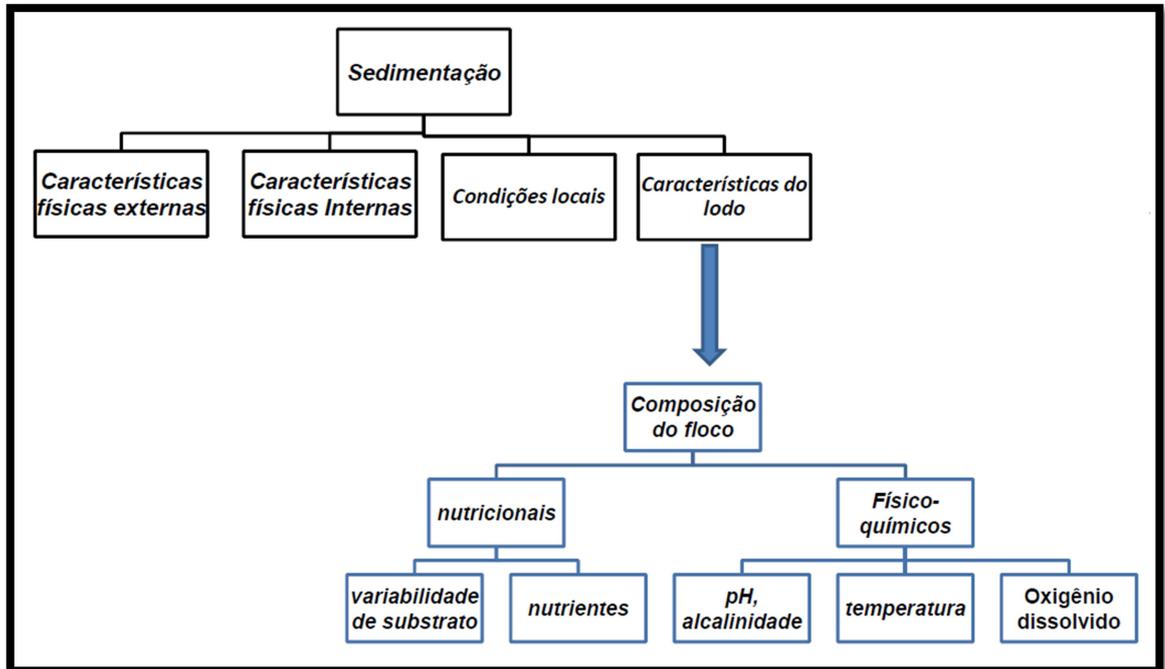
Além das características do lodo (concentração, idade do lodo, características de floculação, decantação e espessamento e tipo de processo biológico) que estão diretamente ligadas a composição dos flocos, outros fatores podem interferir na sedimentabilidade do lodo e eficiência da estação. Esses fatores podem ser classificados em externos, internos e condições locais. As principais características externas são: configuração do tanque, área de superfície, profundidade, distribuição do fluxo e turbulência em estruturas de transporte. As características físicas internas são: presença de zona de floculação, mecanismo de coleta de lodo, arranjo de entrada de afluente, padrões de fluxo hidráulico e turbulência. As condições locais são: ação dos ventos e das ondas geradas por estes e variação da temperatura da água (WILSON, 2005). Esses fatores estão resumidos na **figura 1.10**.

Tabela 1.4- Causas e efeitos relacionados à formação dos flocos.

Identificação do Problema	Causa	Efeito
Crescimento Disperso	<ul style="list-style-type: none"> - Baixa produção de polímeros extracelulares. - Reduzida idade do lodo. -Alta concentração de substratos biodegradáveis. 	<ul style="list-style-type: none"> - Turbidez elevada. - Má sedimentação do lodo
Bulking não filamentososo (lodo viscoso)	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada produção e presença de biopolímeros extracelulares produzidos por bactérias formadoras de flocos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Taxas reduzidas de sedimentação e compactação. - Perda de lodo no decantador secundário. - Presença de espuma.
Micro flocos ou pin floc	<ul style="list-style-type: none"> - Flocos aproximadamente esféricos, pequenos, compactos, e frágeis são formados, e a maioria sedimenta lentamente. 	<ul style="list-style-type: none"> -Baixos valores de IVL - Efluente final com elevada turbidez.
Bulking Filamentososo	<ul style="list-style-type: none"> - Excesso de organismos filamentosos, interferindo com a compactação e sedimentação do lodo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto índice volumétrico do lodo. -Dificuldade de sedimentação do lodo. - Dificuldade na manutenção da concentração da biomassa no tanque de aeração. - Baixa taxa de desidratação do lodo. - Excesso de carga hidráulica no processamento do lodo.
Ascensão da manta de lodo	<ul style="list-style-type: none"> - Ocorrência de desnitrificação no decantador secundário 	<ul style="list-style-type: none"> - Formação de uma espuma na superfície do decantador secundário, devido ao arraste de sólidos pelas bolhas de gás nitrogênio resultantes da desnitrificação.
Espumas	<ul style="list-style-type: none"> - Presença de surfactantes não biodegradáveis. 	<ul style="list-style-type: none"> - Formação de espuma na superfície do tanque de aeração. - Putrefação do material contido na espuma.

Fonte: Adaptado de JENKINS *et al.* (1993).

Figura 1.10: Fatores que podem interferir na eficiência do sistema e sedimentação



Fonte: A autora (2016).

Para projetos, é necessário que se conheça as características de sedimentabilidade, que vão indicar a facilidade com que o lodo irá se separar da fase líquida. Como a concentração de sólidos em sistemas de lodos ativados é elevada, as partículas não sedimentam individualmente, e todas as partículas estão ligadas umas as outras, e sedimentam com uma mesma velocidade. Segundo Van Haandel e Van der Lubbe (2012), dois atributos são essenciais para a qualificação de um lodo quanto à sedimentabilidade: velocidade de sedimentação da biomassa e capacidade de armazenar maior volume de lodo em um mesmo espaço (compressibilidade). Dessa forma, quanto mais rápido e mais compressível for o lodo, menor será o tempo de sedimentação aplicado e, em função da alta concentração de sólidos, maior será sua capacidade metabólica volumétrica na degradação dos poluentes. Paralelamente é possível também aplicar índices de qualidade (índices volumétricos de lodo, IVL) que podem definir de forma geral a qualidade do lodo. A principal forma de se conhecer a sedimentabilidade do lodo é através dos ensaios técnicos de sedimentação, sendo os o IVL e a velocidade de sedimentação zonal os mais utilizados. Esses testes estão descritos no próximo item.

1.5- Ensaios técnicos de sedimentação

Os ensaios técnicos de sedimentação tiveram início em 1916 com COE e CLEVINGER. A metodologia proposta por eles era baseada em ensaios em batelada para diversas concentrações iniciais, variando entre as concentrações de alimentação e de lodo, tendo como ponto de partida, os ensaios de sedimentação em coluna. Em meados de 1952, o trabalho de KYNCH estabeleceu que a partir do conhecimento do movimento da interface descendente e da concentração inicial, pode-se determinar a variação da velocidade das partículas na suspensão. Na verdade, KYNCH propôs um modelo matemático, com base na equação da continuidade para sólidos, o que possibilitou a redução do número de ensaios em provetas (ou em colunas). Esta teoria está alicerçada na hipótese de formação de sedimentos incompressíveis, e sua utilização é apropriada para projetos de sedimentadores que operam com suspensões que produzem sedimentos com pequenos graus de compressibilidade.

A teoria apresenta ainda a descrição de quatro regiões distintas do fenômeno da sedimentação em batelada: região do líquido clarificado, região de sedimentação livre, região de transição e região de formação do sedimento. As premissas adotadas na construção do modelo são:

- A sedimentação é unidimensional;
- A concentração aumenta no sentido do fundo do recipiente;
- A velocidade de sedimentação tende a zero quando a concentração atinge um valor máximo;
- A velocidade de sedimentação depende apenas da concentração local de sólidos;
- Os efeitos de parede não são considerados.

Após a teoria de Kynch, muitos outros trabalhos surgiram a fim de diminuir o número de ensaios, melhorar a eficiência dos decantadores ou até mesmo diminuir os erros no dimensionamento destes. VESILIND (1968) propõe o uso da velocidade de sedimentação (v_0) e da compressibilidade do lodo (k), ou seja, ele propôs uma equação (1) capaz de correlacionar a velocidade de sedimentação em zona (V_{SZ}) e a concentração de sólidos em suspensão (X_t).

$$V = V_0 e^{-k.X_t} \quad (1)$$

Onde:

V = Velocidade de sedimentação em zona (m/h)

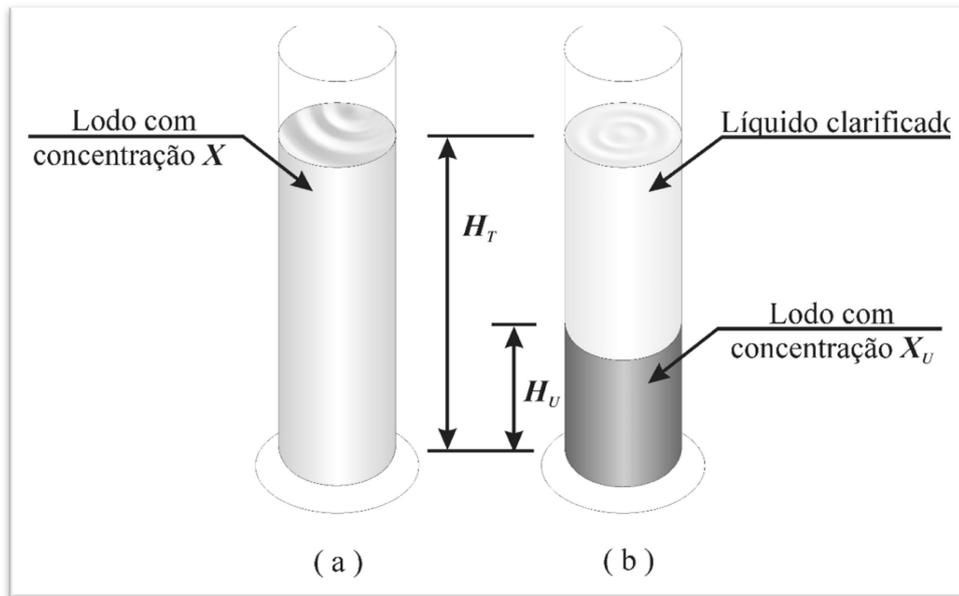
k, v_0 = Constantes de sedimentabilidade.

O valor dessas duas constantes pode ser obtido através de testes experimentais e estão ligadas a propriedades mecânicas de lodo: a constante V_0 representa a velocidade de sedimentação que o lodo poderia ter se estivesse tão diluída que as partículas sedimentariam individualmente. A constante k representa a compressibilidade do lodo: quanto maior o valor de k , mais difícil é obter uma concentração elevada mediante sedimentação.

Atualmente, os testes mais utilizados tanto para o dimensionamento quanto para a verificação da sedimentabilidade em decantador, são os testes de IVL e da velocidade de sedimentação zonal realizados em provetas (ou cilindros verticais graduados).

Segundo Santos (2002), os ensaios em provetas consistem em colocar uma suspensão homogênea com concentração de sólidos X , em uma coluna com altura total. Posta esta suspensão em repouso, tem início a sedimentação do lodo. No instante inicial da sedimentação, o lodo está presente em toda a altura da coluna, com concentração de sólidos X , uniforme. Ao longo do processo de sedimentação, todas as camadas de lodo se deslocam em direção ao fundo do cilindro. Terminada a sedimentação, todo o lodo está em repouso, acumulado em uma camada de espessura H_U menor que H_T , apoiada no fundo do cilindro com concentração máxima. A concentração de sólidos é X_U , uniforme (**figura 1.11**).

Figura 1.11: Ensaio de sedimentação zonal em proveta.



Legenda: (a) instante inicial, (b) instante final; H_T = altura total da coluna de suspensão no início do ensaio; H_U = altura da camada de lodo ao final do ensaio (com concentração X_U); X = concentração de sólidos inicial; X_U = concentração de sólidos final (a máxima).
Fonte: SANTOS, 2002.

A VSZ é determinada seguindo os procedimentos adotados por Kynch (1952) e descritos abaixo:

- 1° deve-se homogeneizar o líquido a fim de garantir a mesma concentração em toda a coluna.
- 2° interromper a homogeneização para permitir a sedimentação.
- 3° medir o nível da interface em diversos intervalos de tempo até que a sedimentação não seja mais significativa.
- 4° plotar o gráfico altura da interface (eixo Y) x o tempo (eixo X).
- 5° a velocidade de sedimentação é determinada através da inclinação do trecho retilíneo do gráfico, onde os pontos iniciais e finais que não estejam no trecho retilíneo são descartados e a V_s é encontrada através da variação de espaço e tempo desse trecho retilíneo.

Os objetivos da metodologia para a determinação da VSZ é: 1) mostrar o comportamento da interface com o tempo; 2) o tempo de residência necessário para obtenção da concentração de sólidos no decantador e 3) a velocidade de sedimentação. Para que o decantador opere com máxima eficiência, a velocidade ascensional do fluxo de água tem que ser igual à velocidade de sedimentação dos sólidos. O princípio básico é encontrar a menor velocidade de sedimentação para as

partículas sedimentarem antes de alcançar a saída do decantador (COE e CLEVENGER, 1916; JORDÃO; PESSÔA, 2014; METCALF; EDDY, 2005).

O IVL é mais simples de ser calculado, sendo um dos parâmetros mais utilizados para caracterizar a sedimentabilidade do lodo biológico. Por ser mais simples evita a perda dos dados. O IVL é o volume ocupado por 1 g de sólidos suspensos após 30 minutos de sedimentação, conforme pode ser observado na Equação 2. (SANT'ANNA JÚNIOR, 2010).

$$IVL = \frac{(H_{30} * 10^6)}{H_0 * SS} \quad (2)$$

Onde:

IVL: Índice Volumétrico do Lodo (ml/g);

H₃₀: Altura da interface após 30 min. de sedimentação (m);

H₀: Altura da interface no instante 0 (m);

SS: Concentração de sólidos em suspensão (mg/L);

10⁶: Conversão de mg em g, e de L em ml.

A faixa de IVL recomendada varia de autor para autor, conforme pode ser vista na **tabela 1.5**. Esses valores são típicos de esgotos domésticos, pois como descrito no item 2.1, efluentes industriais adquirem características próprias.

Tabela 1.5- Interpretação do IVL e caracterização da sedimentabilidade do lodo ativado por diferentes autores.

Sperling (2001)	Jordão; Pessôa (2014)	Haandel; Marais (1999)
0 – 50 Ótima	< 50 Perfeita	<50 Boa
50 – 100 Boa	50 – 100 Muito boa	50 – 65 Média
100 – 200 Média	100 – 200 Tolerável	>65 Ruim
200 – 300 Ruim	200 – 400 Má	
300 – 400 Péssima	>400 Praticamente impossível	

Diversos aspectos devem ser considerados quando se estuda o comportamento da sedimentação. Vários estudos sugerem fatores como concentração de sólidos em suspensão, temperatura do reator, presença de microrganismos filamentosos, toxicidade, e pH, como condições de extrema

importância na sedimentação ou decantação. Os problemas que pode ocasionar uma má sedimentabilidade são divididos em duas categorias. A primeira categoria está associada a mudanças no caráter físico ou bioquímico da população bacteriana. A segunda categoria envolve mudanças nas populações bacterianas, como por exemplo, populações excessivas de microrganismos filamentosos. Com o objetivo de verificar o tempo necessário de sedimentação em função do IVL, alguns autores propuseram modelos matemáticos capazes de estimar a concentração e o volume de lodo sedimentado (ECKENFELDER JR., 1998; METCALF; EDDY, 1991; ORHON; ARTAN, 1994; DAIGGER, 1995). Daigger (1995) propôs uma equação (3) capaz de determinar a velocidade inicial de sedimentação em função do IVL e da concentração de sólidos presentes no reator.

$$V_i = 6,49 * \frac{e^{-(0,1646 + ,001586*IVL*Xi)}}{1000} \quad (3)$$

Onde:

V_i = Velocidade inicial de sedimentação (m/h)

IVL = Índice Volumétrico de Lodo (ml/g)

X_i = Concentração de sólidos iniciais no reator (mg/L)

Após o método de Daigger, outros métodos foram construídos tendo como base o IVL. Porém para este trabalho, foram selecionados apenas dois, sendo eles integrantes dos métodos propostos por Von Sperling (1998) e Santos (2002) para o dimensionamento de reatores biológicos operados em bateladas.

1.5.1 – O método proposto por Von Sperling & Fróes (1998)

O método proposto é baseado nos princípios da teoria do fluxo limite de sólidos para a estimativa da concentração de sólidos em suspensão durante a fase de repouso. Segundo o autor, esta estimativa é relevante, pois é este lodo de fundo que compõe a fração de lodo excedente a ser retirado do reator, e a estimativa de sua concentração é importante para o projeto da etapa de processamento do lodo. A metodologia proposta pelo autor utiliza o conceito de VSZ para estimar o tempo de sedimentação, concentração e o volume do lodo sedimentado, apresentando uma

metodologia de cálculo no comportamento dos sólidos no sistema, considerados como fator de influência na alocação dos tempos dentro do ciclo.

A seguir se descreve um resumo do modelo.

Para o estudo da sedimentação em bateladas, os autores utilizam como base a equação (1), proposta por VESILIND (1968). A velocidade de sedimentação v é função da concentração de sólidos em suspensão X , decrescendo com o aumento de X . Os autores estabeleceram, por faixa de sedimentabilidade, os valores médios, representativos para esgoto doméstico, dos parâmetros V_0 , K , p e q para cada faixa de IVL (**tabela 1.6**).

Tabela 1.6- Equações propostas para velocidade de Sedimentação do lodo em função do IVL, valores típicos de p , q e V_0 .

IVL	Equações proposta para cada faixa	Fluxo limite (kg/m ² .h) GL = p.(Qu/A) ^q		K(m ³ /kg)	V ₀ (m/h)
0 a 50	$V = 10,0 \cdot e^{(-0,27 \cdot X / 1000)}$	$p = 14,79$	$q = 0,64$	-0,27	10
50 a 100	$V = 9,0 \cdot e^{(-0,35 \cdot X / 1000)}$	$p = 11,77$	$q = 0,70$	-0,35	9,0
100 a 200	$V = 8,6 \cdot e^{(-0,50 \cdot X / 1000)}$	$p = 8,41$	$q = 0,72$	-0,50	8,6
200 a 300	$V = 6,2 \cdot e^{(-0,67 \cdot X / 1000)}$	$p = 6,26$	$q = 0,69$	-0,67	6,2
300 a 400	$V = 5,6 \cdot e^{(-0,73 \cdot X / 1000)}$	$p = 5,37$	$q = 0,69$	-0,73	5,6

v : velocidade de sedimentação da interface (m/h); X : concentração de SS no reator, na etapa de reação (SSTA), ou seja, também no lodo a sedimentar (kgSS/m³); GL: fluxo de sólidos limite (kg/m².h); Qu: velocidade ascensional da camada de lodo denso no fundo do reator, na etapa de sedimentação (em um decantador de fluxo contínuo, corresponderia à velocidade de retirada pelo fundo) (m³/h); A: área superficial da unidade de decantação, igual à área superficial do reator (m²)

Com isso, conhecendo-se os valores de IVL e a concentração inicial de sólidos, pode ser efetuado o dimensionamento da etapa de sedimentação do lodo ativado, ou seja, o tempo (horas) gasto para que a interface lodo-líquido sedimente a distância ($H_{ench} + H_{trans}$). Conhecendo-se a vazão (Q), idade do lodo (θ_c), concentração de RNFV (X_v), coeficientes cinéticos e estequiométricos (Y , K_d , f_b , e $RNFV/RNFT$), tempo de geração de despejos por dia, altura do reator; o dimensionamento pode ser realizado seguindo as etapas abaixo:

1° calcula-se o tempo total do ciclo:

$$T_{total} = \frac{24}{m} \quad (4)$$

2° calcula-se o tempo ativo, é este tempo que define o volume do reator, e pressupõe atividade de remoção durante as fases de enchimento e reação propriamente dita:

$$T_{\text{ativo}} = T_{\text{ench}} + T_{\text{reac}} = T_{\text{total}} - (T_{\text{sedim}} + T_{\text{retir}} + T_{\text{repou}}) \quad (5)$$

3° Calcula-se o tempo de entrada de afluente:

$$T_{\text{entrada de afluente}} = \frac{T_{\text{geração de afluente}}}{m} \quad (6)$$

➤ Para calcular o volume do reator deve-se:

1° Calcular o Volume de reação:

$$V_{\text{reac}} = \frac{Y \cdot \theta_c \cdot Q \cdot (S_0 - S)}{X_v \cdot (1 + f_b \cdot K_d \cdot \theta_c)} \quad (7)$$

$$f_b = \frac{0,8}{1 + 0,2 \cdot K_d \cdot \theta_c} \quad (9)$$

2° Calcular o volume de enchimento:

$$V_{\text{ench}} = \frac{Q}{m} \quad (10)$$

3° Calcular o volume de transição:

$$V_{\text{trans}} = f_{\text{Hench}} \cdot V_{\text{ench}} \quad (11)$$

Onde f_{Hench} = fração da altura de enchimento, normalmente é adotado um valor em torno de 0,1 a 0,2 da altura de transição e altura de enchimento.

4° calcular o volume total do reator:

$$V_{\text{Total}} = V_{\text{reac}} + V_{\text{ench}} + V_{\text{tran}} \quad (12)$$

➤ Para calcular as alturas das camadas, deve-se:

1° Saber a altura total, adotada no início do dimensionamento.

2° Calcular a altura de enchimento:

$$H_{\text{ench}} = \frac{V_{\text{ench}}}{\text{Área}} = \left(\frac{V_{\text{ench}}}{\frac{V_{\text{tot}}}{H_{\text{tot}}}} \right) \quad (13)$$

3° Calcular a altura de transição:

$$H_{\text{trans}} = F_{\text{Hench}} * H_{\text{ench}} \quad (14)$$

4° Calcular a altura do lodo:

$$H_{\text{lodo}} = H_{\text{tot}} - (H_{\text{ench}} + H_{\text{trans}}) \quad (15)$$

➤ Para calcular a concentração e massa RNFT deve-se:

1° Calcular a concentração de RNFT no reator.

$$X = \left(\frac{X_v}{\text{RNFV/RNFT}} \right) \quad (16)$$

2° Calcular a massa de RNFT no reator:

$$M_x = \frac{X * V_{\text{tot}}}{1000} \quad (17)$$

➤ Para calcular o volume de cada reator, sendo que o volume de cada reator (m^3) corresponde ao volume total dividido pelo n° de reatores:

$$V_{\text{reat}} = \frac{V_{\text{tot}}}{n} \quad (18)$$

➤ Para calcular os tempos operacionais dentro do ciclo deve-se:

1° Calcular o tempo de enchimento.

$$T_{ench} = \frac{T_{entrada\ afluente\ por\ ciclo}}{n} \quad (19)$$

2° calcular o tempo ativo.

$$T_{ativo} = T_{total} * \left(\frac{V_{reac}}{V_{tot}}\right) \quad (20)$$

3° Calcular o tempo de reação.

$$T_{reac} = T_{ativo} - T_{ench} \quad (21)$$

➤ Para calcular o tempo de sedimentação, deve-se:

1° Calcula-se o tempo de sedimentação:

$$T_{sedim} = \frac{H_{trans} + H_{ench}}{v} \quad (22)$$

Onde:

v = velocidade de sedimentação, calculada de acordo com a tabela 2.8.

2° O tempo de retirada do sobrenadante deverá ser adotado, satisfazendo os critérios abaixo:

$$T_{ret} \leq T_{total} - (T_{ench} + T_{reac} + T_{sedim}) \quad (23)$$

3° calcula-se o tempo de repouso:

$$T_{repol} = T_{total} - (T_{ench} + T_{reac} + T_{sedim} + T_{retir}) \quad (24)$$

4° A vazão de retirada de cada reator

O número de retiradas (N_{ret}) de efluentes por dia é igual ao n° de ciclos por dia (m) e o n° de reatores (n).

$$N_{ret} = m * n \quad (25)$$

5° O volume de cada retirada (V_{ret}) (m^3) corresponde ao volume afluente diário (Q) dividido pelo n° de retiradas por dia.

$$V_{ret} = \frac{Q}{m \cdot n} \quad (26)$$

6° A vazão de cada retirada (m^3/h) é dada pelo quociente entre o volume de cada retirada e o tempo de retirada.

$$\text{Vazão de cada ret} = \frac{V_{ret}}{T_{ret}} \quad (27)$$

7° A concentração de SS (mg/L) no lodo sedimentado é dada por:

$$X_r = \left(\frac{M_x \cdot 1000}{V_{lodo}} \right) = \frac{V_{tot} \cdot X}{V_{tot} \cdot \left(\frac{H_{lodo}}{H_{tot}} \right)} = \frac{X}{\frac{H_{lodo}}{H_{tot}}} \quad (28)$$

O valor de X_r calculado é o valor médio em toda a camada de lodo.

1.5.2 – O método proposto por Santos (2002)

O método desenvolvido por Santos (2002) é um método inteiramente racional, desenvolvido com base em dados e informações coligidas a partir de pesquisa bibliográfica, porém, sem nenhuma experiência prática. O autor propôs um modelo matemático que pudesse prever o comportamento de uma unidade de tratamento de esgotos em regime de bateladas e das condições de contorno, indicando o tempo de sedimentação para o qual se obtém a máxima eficiência operacional.

As premissas adotadas foram:

- *A atividade biológica em cada ciclo é restrita ao tempo t_R de reação, ou seja, o autor adota como premissa que nenhuma biodegradação ocorre nas fases de*

sedimentação, de descarga e de repouso, restringindo-se a conversão biológica do substrato às fases de enchimento e de aeração.

- *Tempo t_C de duração total do ciclo é igual à soma dos tempos t_R de reação, t_S de sedimentação e t_D de descarga. Ou seja, a zona de transição passa a se constituir em um volume que invade paulatinamente a zona de lodo ao longo do tempo t_D de descarga, à medida que, simultaneamente, a interface lodo-clarificado sedimenta e a superfície do líquido clarificado se desloca para o fundo da zona de carga, que vai sendo esvaziada (equação 29).*

$$t_C (h) = t_R (h) + t_S (h) + t_D (h) \quad (29)$$

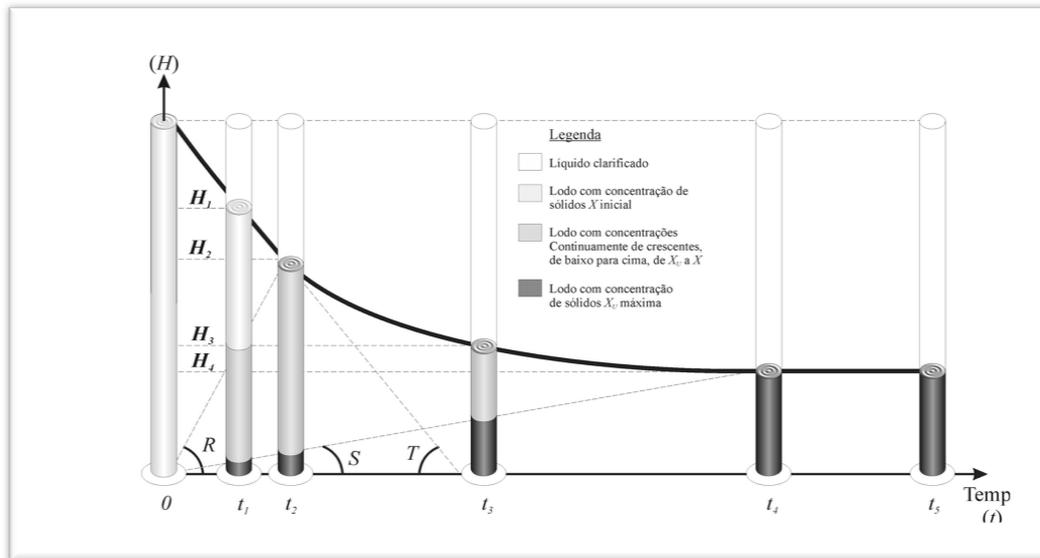
- *A altura H_T total do reator é igual à soma das alturas H_B da zona de carga e H_L da zona de lodo (equação 30):*

$$H_T (m) = H_B (m) + H_L (m) \quad (30)$$

O tempo de sedimentação, essencial para que se possa separar o efluente tratado do lodo, implica em redução da eficiência do processo na redução biológica de carga orgânica. Com isso, o autor propôs uma série de equações cujo objetivo foi determinar o tempo ótimo de sedimentação T_s . O protocolo proposto para cálculo do tempo teórico de sedimentação em reatores de lodos ativados em bateladas deve seguir as etapas abaixo.

A partir do conhecimento da concentração X de sólidos em suspensão totais no reator, o IVL e a altura total do reator, é possível determinar as velocidades de sedimentação e ascensional da concentração inicial do lodo, a razão de recirculação e o tempo ótimo de sedimentação, seguindo as equações 31 a 37. Na **Figura 1.12** estão representadas as principais regiões da sedimentação em batelada, bem como as posições do lodo em cada tempo.

Figura 1.12: Principais regiões da sedimentação em batelada.



Legenda: Tg (T) = velocidade de sedimentação do lodo com concentração de sólidos X inicial; Tg (R) = velocidade ascensional da concentração X inicial; Tg (S) = velocidade ascensional da concentração Xu máxima

Fonte: SANTOS, 2005.

Em seguida, segue-se o protocolo proposto para a determinação do tempo de sedimentação teórico recomendado.

1º calcula-se a velocidade Vs [m/h] de sedimentação do lodo à concentração X.

$$V_s = 10,79 * e^{-(1,952 * IVL + 0,04 * X * IVL^{0,5}) * 10^{-3}} \quad (31)$$

2º Determinam-se os valores p e q (adimensionais).

$$p = 100,93 * (IVL)^{-0,5} \quad (32)$$

Para valores de IVL menores que 150 ml/g

$$q = 0,405 + 0,064 * \log_e (IVL) \quad (33)$$

Para valores maiores que 150 ml/g

$$q = 0,904 - 0,037 * \log_e (IVL) \quad (34)$$

3° Calcula-se a razão de recirculação (R) para qual, no decantador de operação contínua, a camada limite tem concentração de sólidos X.

$$R = \frac{p \cdot (R \cdot V_s)^q}{X \cdot V_s \cdot 10^{-3}} \quad (35)$$

4° Calcula-se a velocidade ascensional (VA) pela equação 36.

$$VA = R \cdot V_s \quad (36)$$

5° Determinam-se o tempo Ts de sedimentação teórico plicando se a equação 37.

$$T_s = \frac{H_t}{V_s + VA} \quad (37)$$

Onde:

Ht= Altura total do reator (ou coluna de sedimentação) (m)

Vs= Velocidade de sedimentação (m/h)

VA= Velocidade ascensional do lodo (m/h)

IVL= Índice volumétrico do lodo (mL/g)

X= Concentração de sólidos no reator (mg/L)

e= constante de Euler

Segundo Santos (2002), quando o decantador é de operação contínua, o líquido no seu interior encontra-se em movimento. Por isto, a clarificação do efluente só será promovida caso a taxa de escoamento superficial T_L a ele aplicada (igual à razão entre a vazão tratada Q e a área A da superfície da unidade) não exceda a velocidade de sedimentação V_S da interface líquido clarificado-lodo. Ou seja, T_L não pode ultrapassar a velocidade de sedimentação do lodo com a concentração inicial de sólidos X (a concentração no afluente ao decantador).

2- METODOLOGIA:

Neste capítulo, estão descritos os procedimentos experimentais e laboratoriais realizados durante o estudo, assim como os materiais e métodos utilizados para determinação da sedimentabilidade das ETEIs estudadas. A presente pesquisa foi do tipo experimental visando à caracterização quantitativa e da qualidade de sedimentação de diferentes biomassas. Os ensaios laboratoriais foram realizados no laboratório da TECMA- Tecnologia em Meio Ambiente LTDA, localizada no município do Rio de Janeiro, laboratório este credenciado pelo INEA. Já os ensaios de sedimentabilidade foram realizados nas próprias indústrias, sendo estas monitoradas e operadas pela TECMA- Tecnologia em Meio Ambiente LTDA. Os ensaios foram realizados nos meses de agosto a dezembro de 2015.

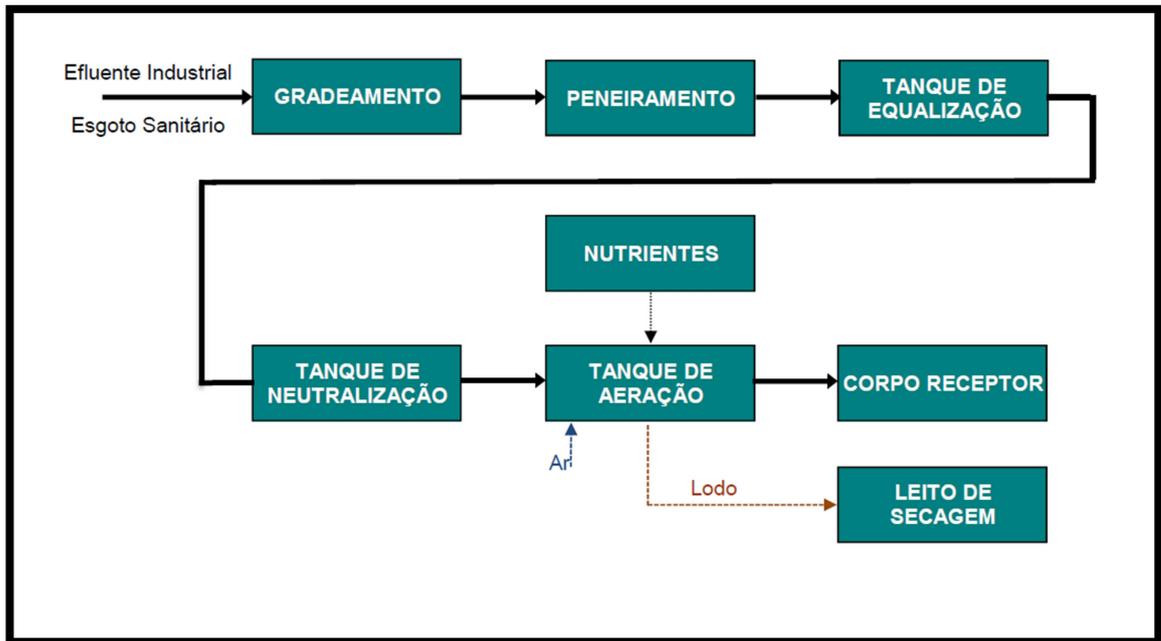
2.1- Escolha das ETEIs (Estações de Tratamento de Efluentes Industriais)

As ETEIs selecionadas para o presente estudo foram:

- ✓ **Indústria farmacêutica (01):** produtora de antibióticos, antidepressivos e remédios para diabetes.

A ETEI desta indústria funciona em regime de batelada, com todas as unidades do processo ocorrendo em um único tanque (ver **figura 2.1**). Apresenta como tratamento primário o gradeamento, peneiramento seguido de um tanque de equalização onde se faz a correção de pH. O tratamento secundário é constituído de um reator de lodos ativados seguido de leito de secagem. O volume do reator de lodos ativados é de 120 m³.

Figura 2.1: Fluxograma do processo da ETEIs da indústria farmacêutica 01:

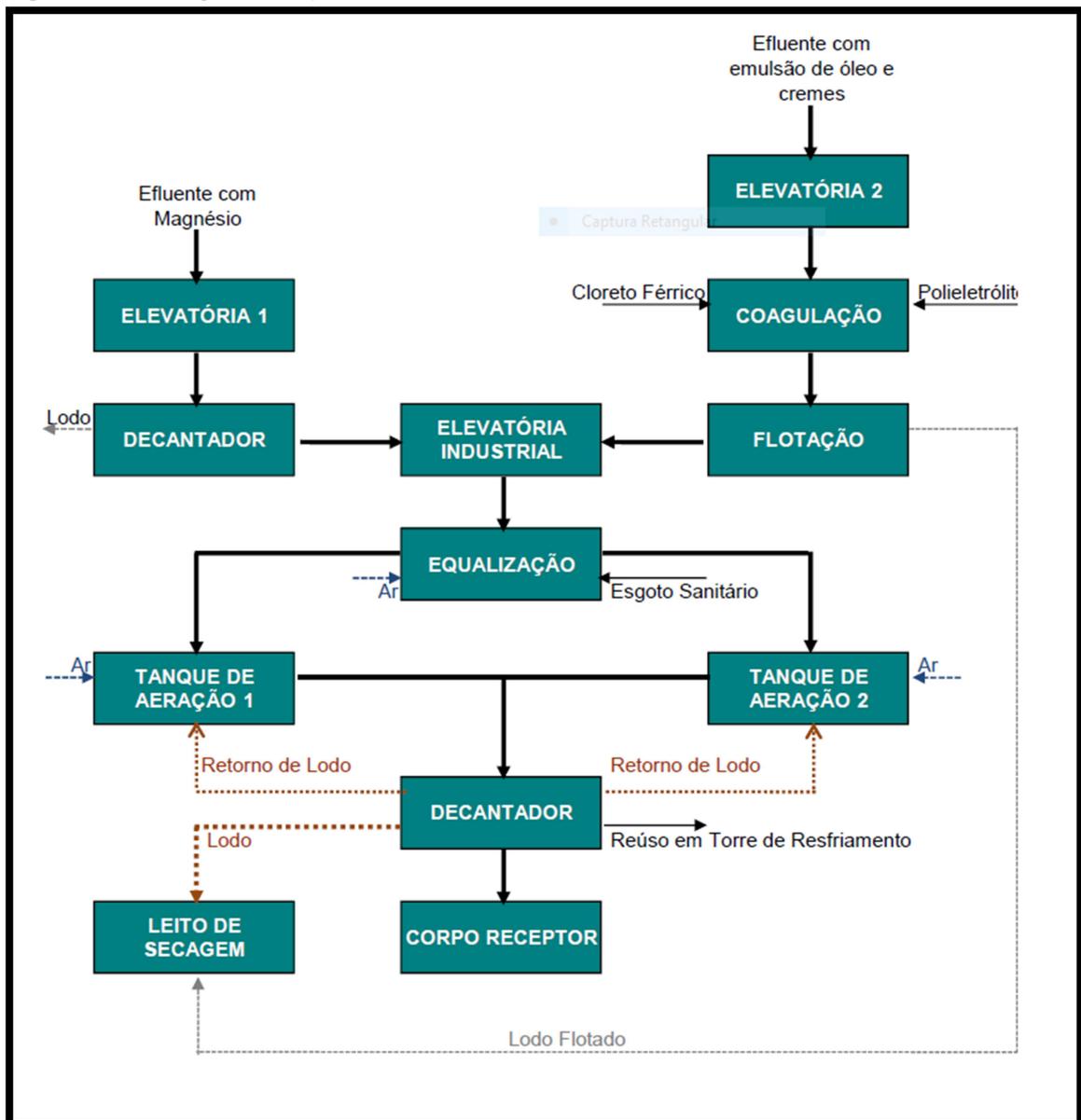


Fonte: A autora (2016)

- ✓ **Indústria farmacêutica (02):** produtora de cremes, pomadas e efervescentes.

A ETEI desta indústria funciona em regime contínuo, apresentando tratamento primário constituído de peneiramento, coagulação, flotação e tanque de equalização. O tratamento secundário é constituído de dois reatores de lodos ativados, um decantador secundário e um adensador de lodo, apresentando também leito de secagem para o lodo gerado. O tratamento terciário é constituído de filtração à membrana, sendo o efluente desta etapa reutilizado na própria indústria (ver **figura 2.2**). O afluente desta indústria é composto por emulsão de óleos e gorduras, característico dos produtos fabricados, porém são removidos no tratamento primário. O volume dos reatores de lodos ativados é de 290 m³.

Figura 2.2: Fluxograma do processo da ETEIs indústria farmacêutica 02:



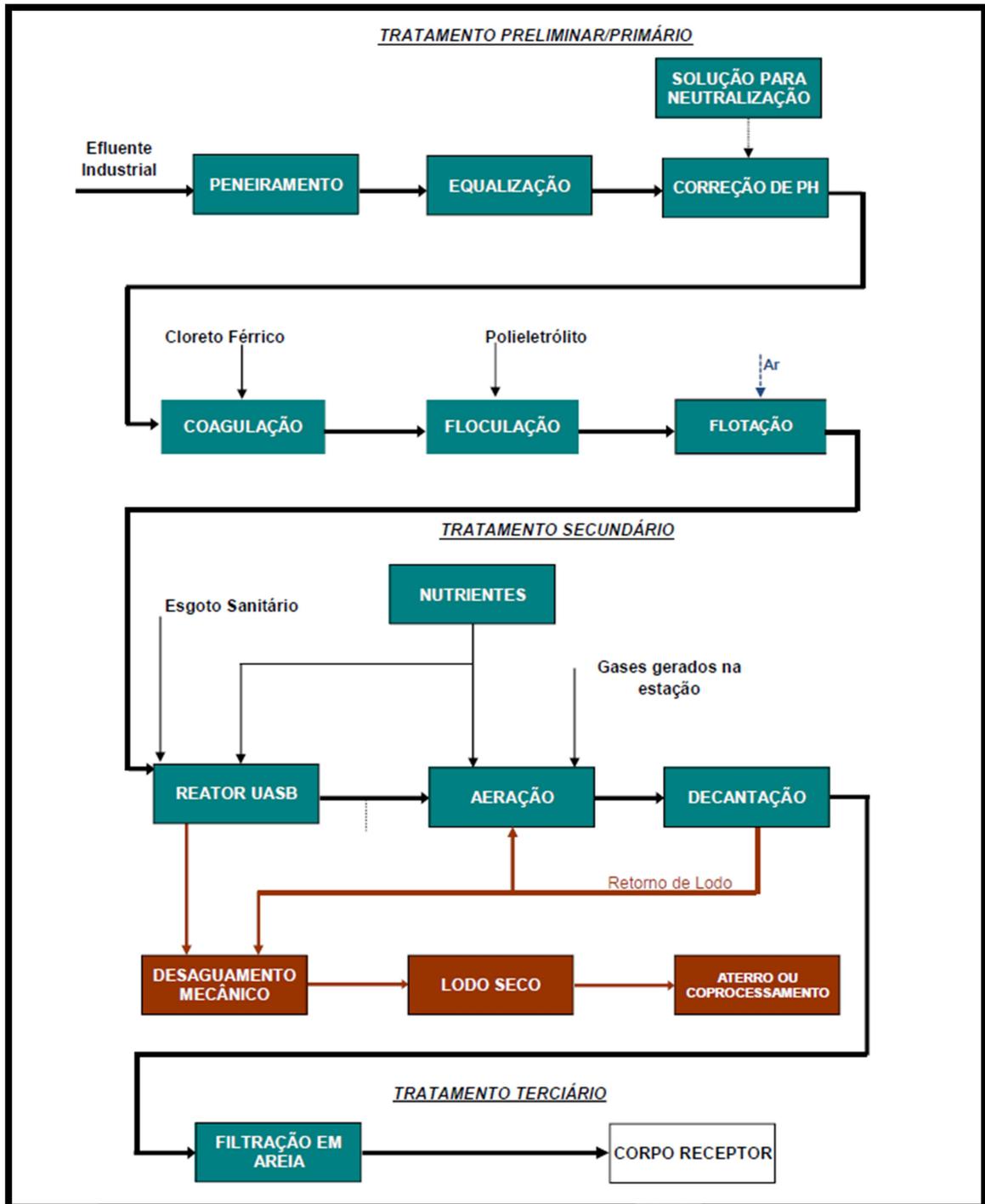
Fonte: A autora (2016)

✓ **Indústria alimentícia:** produtora de bolos, sorvetes e chocolates:

A ETEI desta indústria funciona em regime contínuo, apresentando tratamento primário constituído de peneiramento, tanque de equalização, correção de pH, coagulação (com adição de cloreto férrico), floculação (com adição de polieletrólito) e flotação (a ar dissolvido). O tratamento secundário é constituído de reator UASB, seguido de reator de lodos ativados. O tratamento terciário é constituído de filtração em areia (**Ver figura 2.3**). Seus afluentes se caracterizam por possuírem elevadas

concentrações de M.O devido aos produtos fabricados (bolos, sorvetes e chocolates). O volume do reator de lodos ativados é de 160 m³.

Figura 2.3: Fluxograma do processo da ETEIs da indústria alimentícia:



Fonte: A autora (2016)

2.2 – Coleta e preservação das amostras

Os lodos ativados utilizados neste estudo foram coletados nos Tanques de Aeração (Reatores Aeróbios) de cada ETEI. As coletas foram realizadas em diferentes pontos do tanque e em diferentes profundidades, a fim de se obter uma amostra mais homogênea possível. Também foram coletadas amostras dos afluentes e efluentes das ETEI's, e submetidas a análises laboratoriais, objetivando conhecer o funcionamento dos sistemas de tratamento nos dias das coletas. Para os ensaios de sedimentação, as amostras foram submetidas aos testes imediatamente após a coleta. Já para os ensaios laboratoriais, as amostras foram coletadas em frascos de polietileno e acondicionadas em isopor com gelo até a chegada ao laboratório e mantidas sobre refrigeração até o momento da análise.

2.3- Métodos de análise laboratoriais

2.3.1- Análises de sólidos, DBO₅, DQO, pH, temperatura e IVL

As análises laboratoriais foram realizadas segundo o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22th (APHA et al., 2012). As metodologias usadas estão descritas na **tabela 2.1**:

Tabela 2.1- Metodologias utilizadas para as análises físico-químicas de acordo com o *Standard Methods 22th*.

Parâmetros	Metodologia
Sólidos	2540 (E) - Sólidos Fixos e suspensos voláteis
Sólidos sedimentáveis	2540 (F) - Sólidos sedimentáveis e flutuantes
DBO ₅	5210 (B) - Demanda Bioquímica de Oxigênio 5 dias
DQO	5220 (B)- Demanda Química de Oxigênio
pH	4500 - H ⁺ (A) - Potencial Hidrogeniônico
Temperatura	2500 (A) - Temperatura

A análise do IVL foi realizada junto com os ensaios de sedimentação, sendo o volume medido após 30 minutos de repouso utilizado na **equação 2**, descrita no **item 1.5-** Ensaios técnico de sedimentação. O IVL foi calculado para todos os ensaios, incluindo os ensaios com as amostras diluídas.

A relação A/M foi calculada conforme equação 38.

$$\frac{A}{M} = \frac{DQO_{\text{alimentação}} * Q_{\text{alimentação}}}{RNFV * V_{\text{reator}}} \quad (38)$$

As eficiências das estações foram calculadas em relação a redução de DBO e redução de DQO através das equações 39 e 40.

$$\text{eficiência}_{\text{remoção de DBO}} (\%) = \left(\frac{DBO_{\text{afluente}} - DBO_{\text{efluente}}}{DBO_{\text{afluente}}} \right) * 100 \quad (39)$$

$$\text{eficiência}_{\text{remoção de DQO}} (\%) = \left(\frac{DQO_{\text{afluente}} - DQO_{\text{efluente}}}{DQO_{\text{afluente}}} \right) * 100 \quad (40)$$

2.3.2- Caracterização dos flocos de lodos ativados

As análises microscópicas foram realizadas no Laboratório de Microbiologia da TECMA através de um microscópio óptico estereoscópico binocular de marca *NiKon Eclipse- E 200MVR* (figura 2.4).

Figura 24: Microscópio óptico estereoscópico binocular usado para a caracterização dos flocos biológicos



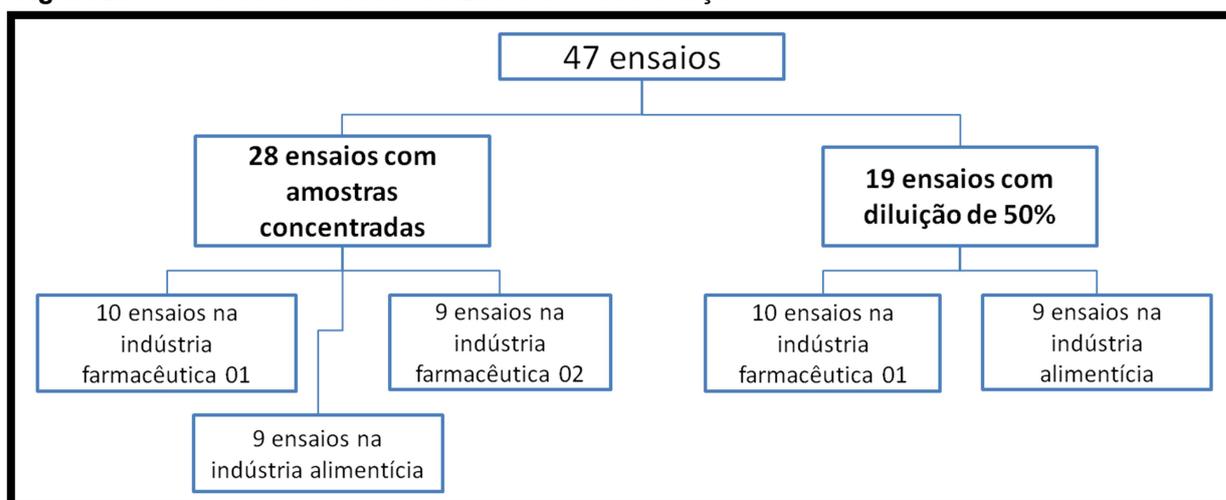
Fonte: A autora, 2016.

A avaliação microscópica foi realizada com amostras coletadas diretamente do tanque de aeração, onde aproximadamente 50 ml da amostra foram acondicionadas em frascos com tampa e espaço suficiente para que permanecesse ar dentro dos frascos. No laboratório, 0,1 ml da amostra foi retirada com o auxílio de uma pipeta de plástico e colocada em uma lâmina de vidro e depois selada com uma lamínula, a fim de se determinar os principais organismos que compõem a microfauna, morfologia dos flocos e a presença de organismos filamentosos. Não foi adicionado nenhum tipo de conservante ou preservativo químico.

2.4 - Procedimentos adotados nos ensaios de sedimentação

Foram realizados 47 testes de sedimentabilidade. Destes, 28 ensaios foram realizados com amostras concentradas (ou seja, coletadas e analisadas diretamente) e 19 testes de sedimentação com as amostras diluídas em 50%. As diluições foram realizadas com o efluente tratado coletado na própria estação. Os testes com a diluição do lodo objetivou-se verificar se a concentração pode interferir na sedimentabilidade. Os números de ensaios realizados em cada indústria estão descritos na **figura 2.5**. Devido à demanda operacional, não foi realizado teste com a concentração diluída na indústria farmacêutica 02.

Figura 2.5: Números de ensaios realizados em cada estação.



Fonte: A autora, 2016.

Os testes de sedimentação foram realizados de acordo com o procedimento do Standard Methods, sem agitação e foram realizados em provetas graduadas de

um litro e 33,5 cm de altura. Para minimizar os possíveis erros de medição, todos os ensaios foram realizados em triplicata e a média de cada ensaio foi utilizada para determinação das velocidades. Os testes consistiam em verificar o deslocamento do lodo (em cm) em função do tempo (min). Os testes foram realizados no período de uma hora (60min.), sendo anotado o volume do lodo a cada minuto nos primeiros cinco minutos de testes e, após esse tempo, a cada 5 minutos até completar o tempo determinado. Para essa metodologia foi confeccionada uma tabela para facilitar as anotações (**figura 2.6**). Os resultados médios do volume de lodo em cada intervalo de tempo de todos os ensaios estão no **apêndice A**.

Figura 2.6: Tabela de análise usada nos ensaios de sedimentabilidade

Tipologia Industrial: _____

Data: ___/___/___ Hora: _____

Houve coleta? Sim () Não () N° do laudo: _____

Temperatura ambiente:___ Temperatura no reator: _____

RNFT: _____ Houve diluição? () Sim () Não

RNFV: _____

Tempo (Minutos)	Volume do lodo na proveta 1	Volume do lodo na proveta 2	Volume do lodo na proveta 3
0			
1			
2			
3			
4			
5			
10			
15			
20			
25			
30			
35			
40			
45			
50			
55			
60			

ANALISTA: _____

Fonte: A autora, 2016.

Após coletado, o lodo era transportado para o local onde se realizavam os ensaios (laboratórios nas estações). Antes de iniciar o teste, as amostras eram homogeneizadas cuidadosamente no próprio recipiente de coleta. As **figuras 2.7 e 2.8** mostram como o lodo era coletado e levado para o local das análises.

Figura 2.7: Recipiente utilizado para coleta de lodos ativados.



Fonte: A autora (2016)

Figura 2.8: Materiais utilizados para coleta, transporte e análises de lodos ativados.



Fonte: A autora, 2016.

Após a homogeneização, as três provetas eram preenchidas suavemente com a amostra de forma gradual, evitando com isso a variação na concentração de sólidos. Após o preenchimento das provetas, as amostras eram novamente

homogeneizadas por alguns segundos e logo em seguida começava-se a cronometrar o tempo (**figura 2.9**)

Figura 2.9: Ensaio do teste de sedimentação realizado na ETEI da indústria farmacêutica 01- Ensaio com diluição e em triplicata.



Fonte: a autora (2016)

2.5- Metodologia de cálculo aplicada aos dados dos ensaios de sedimentação

O presente trabalho foi dividido em duas etapas, sendo que a primeira parte do trabalho foi dedicada à comparação entre as velocidades medidas nos ensaios, com as velocidades calculadas pelos métodos de DAIGGER (1995) e Von SPERLING & FRÓES (1998) e SANTOS (2002). E a segunda parte do trabalho foi dedicada a verificar se a equação proposta por SANTOS (2002) referente ao tempo de sedimentação é válida para as estações estudadas, uma vez que foram propostas para esgotos domésticos.

2.5.1- Metodologia de análise da velocidade de sedimentação

2.5.1.a – Velocidade de sedimentação determinada nos ensaios práticos

Para a determinação da V_s em cada ensaio experimental, foram plotados os gráficos com as alturas médias medidas em cada ensaio (eixo Y) x tempo de

sedimentação (eixo X). As alturas médias podem ser vistas no **apêndice B**. A velocidade de sedimentação foi determinada através da inclinação do trecho retilíneo do gráfico, sendo que os pontos iniciais e finais que estavam fora do trecho retilíneo foram descartados. A V_s foi calculada através de análises de regressão linear, sendo escolhida a reta de melhor ajuste. Não foram escolhidas as retas cujos coeficientes de correlação de Pearson ficaram abaixo de 0,97 e o R-ajustado 0,96. Os resultados de cada ensaio podem ser vistos no **apêndice C**, sendo a V_s a tangente do ângulo.

2.5.1.b – Velocidade de sedimentação estimada pelo método de DAIGGER (1995)

O cálculo da V_s pelo método de Daigger (1995), foi realizado de acordo com a **equação 3**, descrita no **item 1.5**. Ensaio técnico de sedimentação.

2.5.1.c – Velocidade de sedimentação estimada pelo método de Von Sperling & Fróes (1998)

Para o cálculo das Velocidades iniciais de sedimentação propostas pelo método de Von Sperling & Fróes (1998), foram utilizadas as equações descritas na **tabela 1.8** do **item 1.5.1**. Para os ensaios técnicos de sedimentação, as equações foram selecionadas de acordo com o IVL de cada ensaio.

2.5.1.d – Velocidade de sedimentação estimada pelo método de Santos (2002)

O cálculo da V_s pelo método de Santos (2002), foi realizado de acordo com a **equação 31**, descrita no **item 1.5.2**. Ensaio técnico de sedimentação.

2.5.2 - Cálculo de Tempo de Sedimentação

Para a validação do T_s , foram determinados os parâmetros p , q , R e V_a , calculadas de acordo com as **equações 32 a 37**, proposta por Santos (2002) e

descritas **item 1.5.2**, porém foram utilizadas as Vs medidas nos ensaios e não as calculadas. Os Ts calculados foram comparados com o Ts estimados nos ensaios.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentados todos os resultados dos ensaios de sedimentação, dados laboratoriais e microbiológicos de cada ETEI estudadas. Os resultados estão apresentados por indústria e em seguida foi realizado uma comparação entre essas.

Nos meses de estudo, os reatores de lodos ativados operaram dentro da faixa recomendada para o bom desempenho do processo, descrita no item 2.2 e listadas na tabela 2.3. Os reatores de lodos ativados apresentaram eficiência média de redução de DBO de 97%, 98% e 90% para as ETEIs das indústrias farmacêutica 01, farmacêutica 02 e alimentícia, respectivamente.

Todos os parâmetros físico-químicos para lançamento (pH, temperatura, DBO, DQO e sólidos suspensos) estiveram dentro dos limites permitidos pela legislação do Estado do Rio de Janeiro.

3.1- Resultados dos ensaios realizados na ETEI da indústria farmacêutica 01

3.1.1- Parâmetros físico-químicos medidos em campo

Os dados de temperatura e pH medidos diretamente nos reatores de lodos ativados mostraram que a ETEIs da indústria farmacêutica 01 operou dentro das faixas consideradas ótimas para o bom funcionamento do sistema, como descrito no item 2.2 e tabela 2.3. Os dados de temperatura e pH são apresentados no **apêndice D, tabela D.1**.

A temperatura média da estação foi de 24,2 °C, sendo a menor temperatura registrada 22°C e a máxima 25°C. Embora muitos autores afirmem que a faixa ótima de temperatura esteja entre 20 e 30°C, Giordano; Surerus (2015) afirma que em temperaturas abaixo de 26°C pode ocorrer a redução da atividade biológica, aumentando o tempo de retenção nos reatores. O pH apresentou variações entre 6 e 7. Alguns autores tais como Sant'Anna Jr (2010) mencionam que as bactérias que atuam na degradação da matéria orgânica, mantêm crescimento ótimo na faixa de pH entre 5,5 e 8,5. Já os estudos de Beranger (2009) afirmam que em valores de pH abaixo de 6,8 pode ocorrer o crescimento indesejado de fungos filamentosos.

3.1.2- Parâmetros físico-químicos medidos em laboratório

Os parâmetros físico-químicos medidos em laboratório estão apresentados na **tabela 3.1** e **apêndice D, tabela D.1**.

Tabela 3.1- Dados físico-químicos analisados em laboratório – ETEI da Indústria farmacêutica 01.

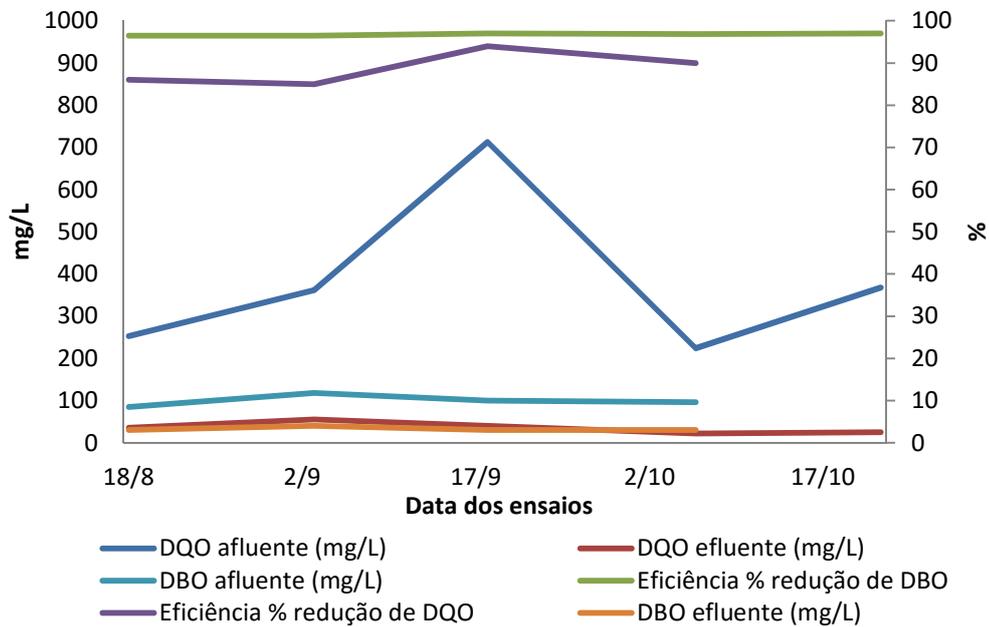
	RNFT (mg/L)	RNFV (mg/L)	Razão RNFV/RNFT	Material inerte (mg/L)	DQO _a (mg/L O ₂)	DQO _e (mg/L O ₂)	Eficiência (DQO)	A/M
Média	2605	1737	0,67	868	384	36	89	0,02
D.P	991	580	0,02	418	195	13	4,4	0,003
Mínimo	1755	1185	0,61	570	224	22	85	0,02
Máximo	5560	3405	0,70	2155	713	55	94	0,03

Fonte: Apêndice D, Tabela D.1.

Os resultados de sólidos (RNFT, RNFV, razão RNFV/RNFT e a quantidade de material inerte) presentes no reator mostraram características de aeração prolongada e idade do lodo elevada. A razão RNFV/RNFT apresentou variação entre 0,61 e 0,70, indicando um lodo bem digerido e com ótimas condições de desaguamento e secagem. A baixa relação A/M registrada na ETEIs desta estação, entre 0,02 e 0,03 kg DBO₅ /kg SSV. dia, indica que pode estar ocorrendo processos de nitrificação e/ou que o reator está operando em condições endógenas, nas quais as células utilizam suas reservas internas para a manutenção e sobrevivência, levando a uma redução do material celular.

Os resultados de DQO foram maiores que os resultados de DBO, podendo ser atribuídos às características dos produtos produzidos na indústria, uma vez que a DQO engloba tanto a M.O biodegradável quanto a M.O não biodegradável. A eficiência média de redução de 89% da DQO indica um efluente com pouca biodegradabilidade e com compostos recalcitrantes, característicos de efluentes gerados por indústrias farmacêuticas. Porém, a eficiência da estação em relação à redução de DBO (97%) se encontra muito acima das faixas normalmente encontradas em lodos ativados, corroborando com os estudos de Giordano e Surerus (2015). Os materiais inertes presentes nos reatores constituem a fração não biodegradada que poderá seguir dois caminhos: ou sairá com o efluente clarificado constituindo a DQO final ou irá flocular constituindo a fração do lodo inerte. A **figura 3.1** mostra os dados de entrada e saída de DBO e DQO eficiência da estação.

Figura 3.1: dados de DBO e DQO e eficiência da ETEI da indústria farmacêutica 01



Fonte: Apêndice D, tabela D.1.

3.1.3- Resultados de IVL e Velocidade de sedimentação

3.1.3.1- Resultados dos ensaios sem diluição

Os resultados, mínimo, médio, máximo e os desvios padrão (D.P) de IVL e Vs estão apresentados na **tabela 3.2** e **apêndice E, tabela E.1**.

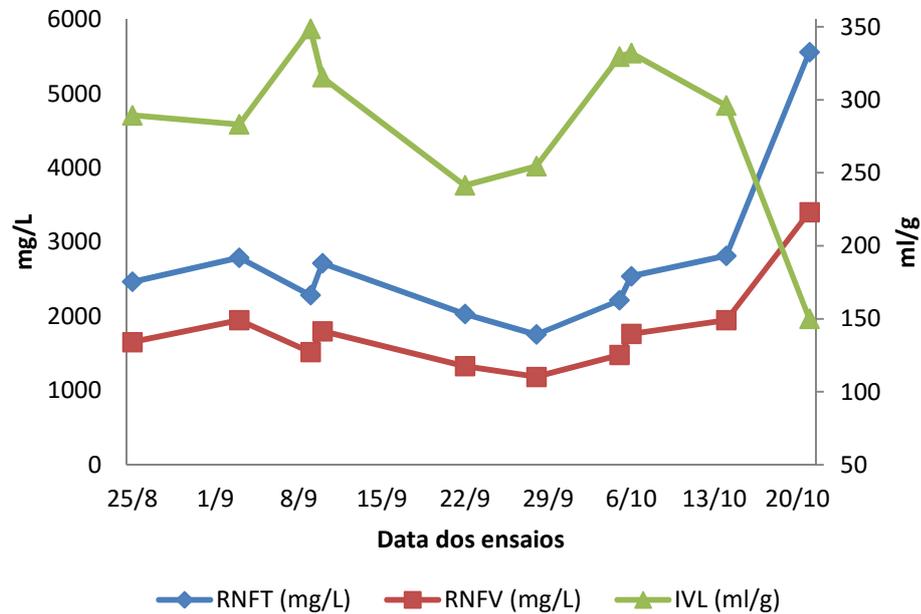
Tabela 3.2- Dados de RNFT, IVL e Vs presentes no reator de lodos ativados- ETEI da Indústria farmacêuticas 01.

	RNFT (mg/L)	IVL (ml/g)	Vs medida (m/h)
Mínimo	1755	150	0,10
Médio	2605	284	0,21
Máximo	5560	349	0,68
DP	991	58	0,20

Fonte: Apêndice E, tabela E.1.

Nos ensaios sem diluição, a variação do IVL foi de 150 a 349 ml/g nos meses estudados, apresentando como média 284 ml/g. A **figura 3.2** mostra a variação da concentração de RNFT e IVL ao longo dos dias de ensaios sem a diluição do lodo.

Figura 3.2: Variação das concentrações de RNFT, RNFT e IVL ao longo dos ensaios, ETEI da indústria farmacêutica 01- (sem diluição).



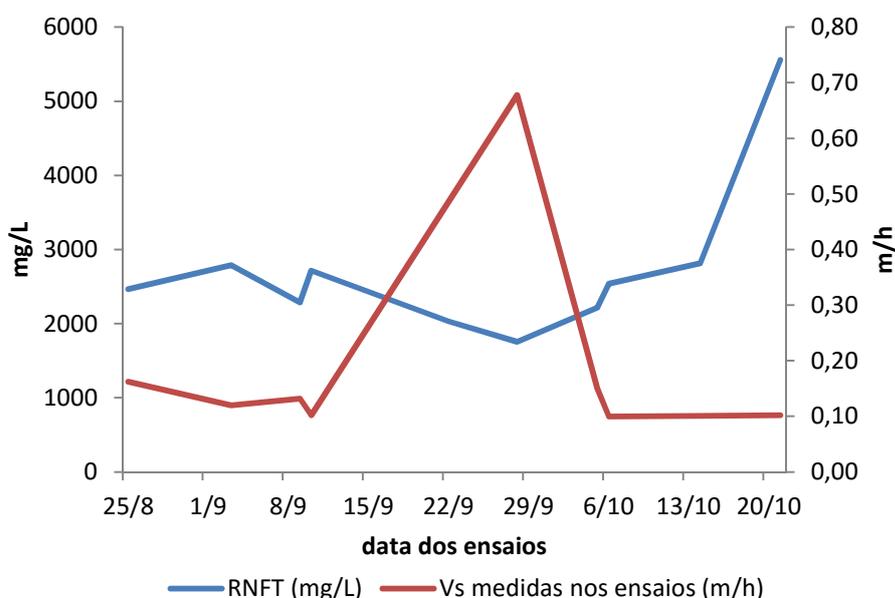
Fonte: Apêndice E, tabela E.1.

A concentração de RNFT e RNFT apresentou poucas variações durante os meses estudados, porém, devido a um descarte de lodo que ocorrer no dia 28/09, a concentração de RNFT e RNFT ficou um pouco menor que as concentrações registradas ao longo de todos os dias de ensaio. No dia 21/10, houve um aumento de quase 100% na concentração do lodo e embora não seja possível determinar as causas desse aumento, o IVL apresentou o menor valor registrado em todos os dias de ensaios.

Os resultados de IVL estiveram muito acima dos recomendados para uma boa sedimentabilidade, como descritos na **tabela 1.6**. Os resultados de IVL encontrados caracterizam a sedimentabilidade da estação como muito ruim quando comparadas com a classificação proposta por Van Haandel e Marais (1999). Quando comparados com a classificação posposta por Von Sperling (2001), a maioria dos ensaios caracterizam a sedimentabilidade como ruim e péssima. Porém, no dia 21/10 a sedimentabilidade pode ser classificada como média. Utilizando a classificação de Jordão e Pessoa (2014), a sedimentação em todos os ensaios pode ser considerada má, exceto no dia 21/10 que pode ser considerada tolerável.

As velocidades de sedimentação se mantiveram constante ao longo dos ensaios, exceto no dia 28/09 que, devido ao descarte de lodo ocorrido na semana a velocidade de sedimentação esteve mais alta. Como pode ser notada na **figura 3.3**.

Figura 3.3: Variação da concentração de RNFT e Vs ao longo dos ensaios-ETEI da Indústria farmacêutica 01- sem diluição



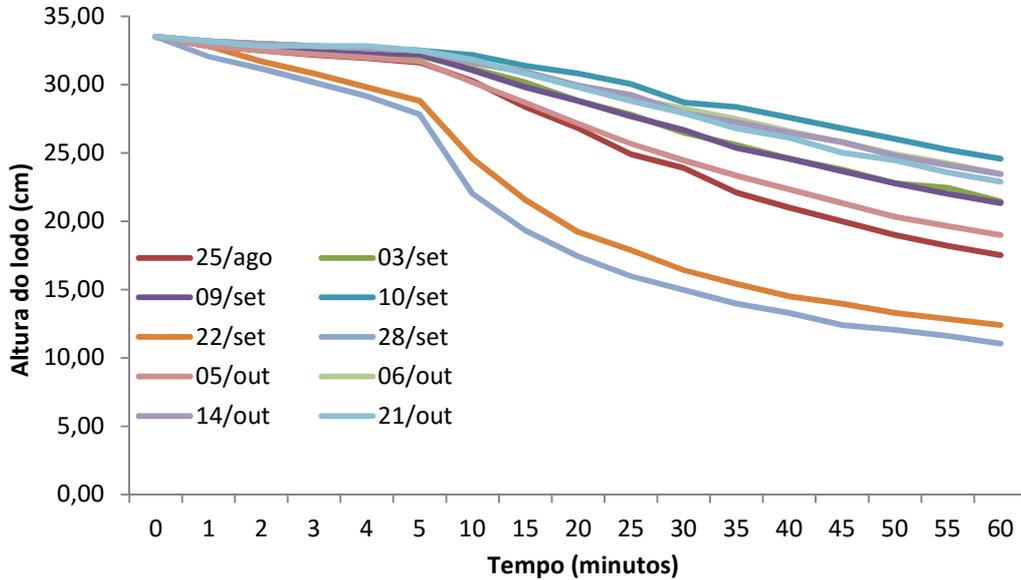
Fonte: Apêndice E, tabela E.1.

As Vs iniciais medidas nos ensaios sem diluição estiveram muito abaixo das recomendadas por Van Haandel e Marais (1999) e Von Sperling (2001). Segundo Van Haandel e Marais (1999), as Vs iniciais podem variar entre 11,0 e 6,0 m/h, sendo esses valores considerados bons e ruins respectivamente. Von Sperling (2001) afirma que Vs iniciais menores que 5,6 m/h apresentam uma sedimentabilidade péssima. Sendo assim, a Vs inicial dos ensaios sem diluição podem ser caracterizadas como ruins e péssimas pelos respectivos autores.

A **figura 3.4** apresentam as curvas de sedimentabilidade da ETEI nos ensaios sem a diluição. Pode ser notado que, com exceção dos os dias 22 e 28/09/2015, as curvas de VS são quase que retas inclinadas ao longo de todo tempo de ensaio, não apresentando grandes variações de velocidade. Ou seja, a Vs inicial permaneceu constante ao longo de uma hora de ensaio, com características de sedimentação compressiva. Esse tipo de sedimentação é muito comum em decantadores secundários e adensadores por gravidade, onde a variação de velocidade é muito

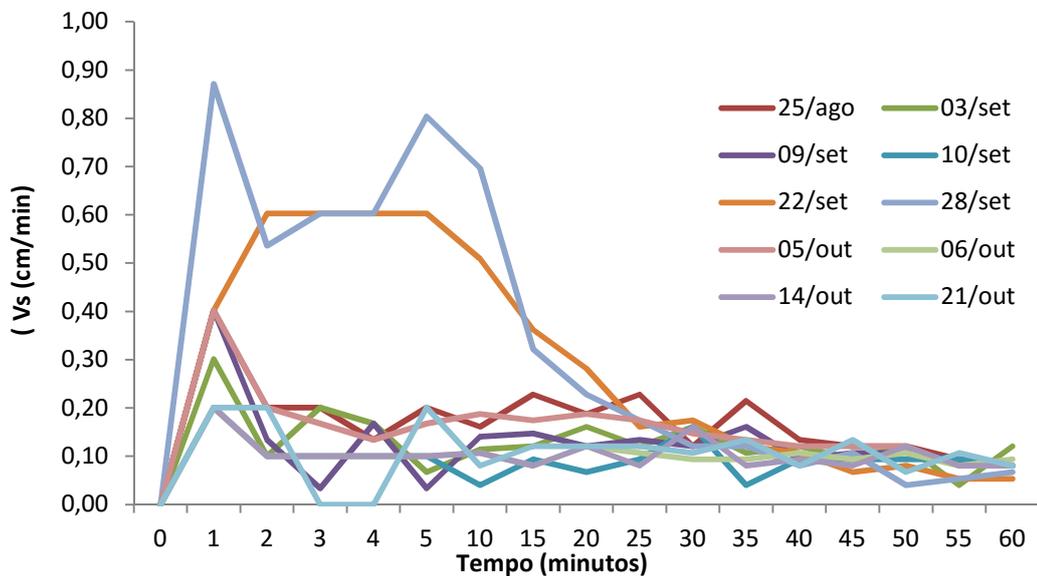
pequena e a concentração de lodo muito elevada. Como também podem ser vistas na **figura 3.5** e **apêndice F, tabela F.1**.

Figura 3.4: Curvas de sedimentabilidade da ETEI da indústria farmacêutica 01- sem diluição.



Fonte: Apêndice B, tabela B.1

Figura 3.5: Variação das VS em cada tempo de ensaio- ETEI da indústria farmacêutica 01- sem diluição.

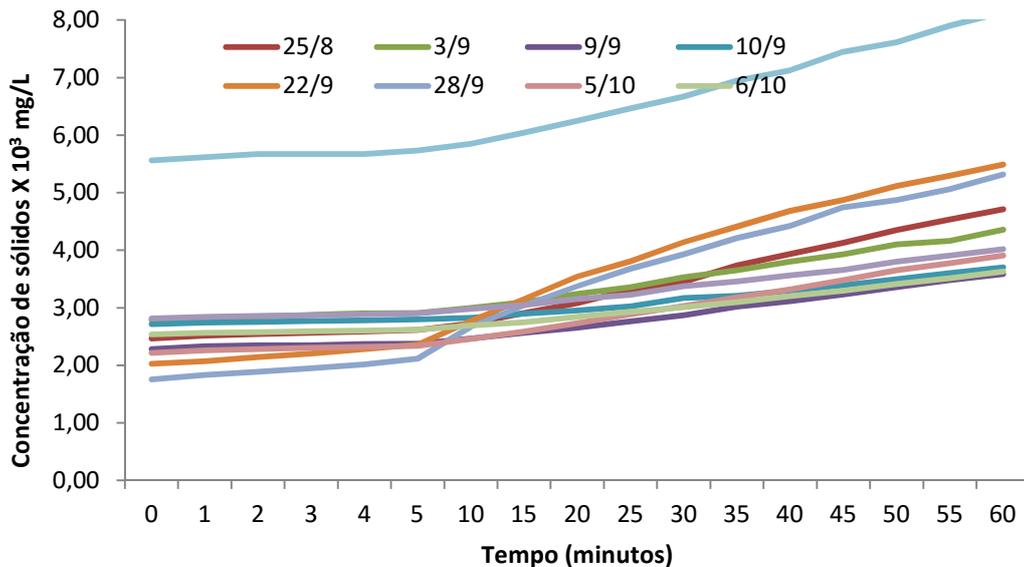


Fonte: Apêndice F, tabela F.1

A **figura 3.6** e **apêndice G, tabela G.1** mostram a variação da concentração do lodo durante o tempo de ensaio. Pode ser notado que a concentração do lodo ao longo do tempo de ensaio aumenta muito lentamente, característica essa da

sedimentação compressiva. Em ETE, é muito comum que a sedimentação inicie com características zonais e, conforme a sedimentação vai evoluindo e a concentração do lodo no fundo de decantador vai aumentando, a sedimentação passe a ser compressiva.

Figura 3.6: Variação das concentrações de lodo durante o tempo de ensaio- ETEI da indústria farmacêutica 01- sem diluição.



Fonte: Apêndice G, tabela G.1

A **tabelas 3.3**, apresentam a matriz de correlação com os dados de RNFT, RNFV, IVL, material inerte, razão RNFV/RNFT e V_s das análises sem diluição. Com essa matriz, pode ser constatado que não existe nenhuma correlação muito forte entre os dados de RNFT, IVL e V_s . Porém, existe uma correlação moderada (-0,69) entre IVL e RNFT. O sinal negativo indica que a relação é inversamente proporcional, quanto maior a concentração de RNFT menor o IVL, essa relação pode ser comprovada com os dados da **tabela E.1, apêndice E**. A correlação positiva entre IVL e razão RNFV/RNFT indica que quanto maior a relação RNFV/RNFT, maior o IVL, ou seja, quanto mais novo o lodo, menor o grau de compressividade. A V_s também apresenta correlação moderada negativa com RNFT e RNFV, e correlação fraca negativa com o IVL.

Tabela 3.3- Matriz de correlação entre os dados analisados na ETEI da Indústria farmacêutica 01

	RNFT	RNFV	IVL	Material	Razão RNFV/RNFT	Vs medidas
RNFT	1	0,99	-0,69	0,99	-0,73	-0,46
RNFV	0,99	1	-0,65	0,97	-0,66	-0,51
IVL	-0,69	-0,65	1	-0,74	0,69	-0,28
Material inerte	0,99	0,97	-0,74	1	-0,82	-0,37
Razão RNFV/RNFT	-0,73	-0,66	0,69	-0,82	1	0,05
Vs medidas	-0,46	-0,51	-0,28	-0,37	0,05	1

LEGENDA: RNFT, RNFV, Material inerte= mg/L; IVL= ml/g; Vs medida= m/h

A **tabela 3.4**, ajuda na interpretar dos dados da matriz de correlação. Quanto mais próximo de 1, mais forte é a correlação, resultados próximos de 0 significam que não existe correlação entre os dados. O sinal negativo significa que a correlação é inversamente proporcional, quando um aumenta o outro diminui.

Tabela 3.4- Interpretação dos dados da matriz de correlação.

Valor de p (+ ou -)	Interpretação
0,00 a 0,19	Correlação bem fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

3.1.3.2- Resultados dos ensaios com o lodo diluído em 50%

Os resultados de IVL e os resultados de Vs apresentaram diferenças bem significativas com a diluição do lodo, como podem ser vistos na **tabela 3.5**.
Apêndice E, tabela E.2.

Tabela 3.5- Dados de RNFT, RNFV e Vs no reator de lodos ativados- ETEI da Indústria farmacêuticas 01.com diluição de 50%

	RNFT (mg/L)	IVL (ml/g)	Vs medida (m/h)
Mínimo	878	93	1,65
Médio	1359	192	2,37
Máximo	2780	231	3,74
DP	528	40	0,73

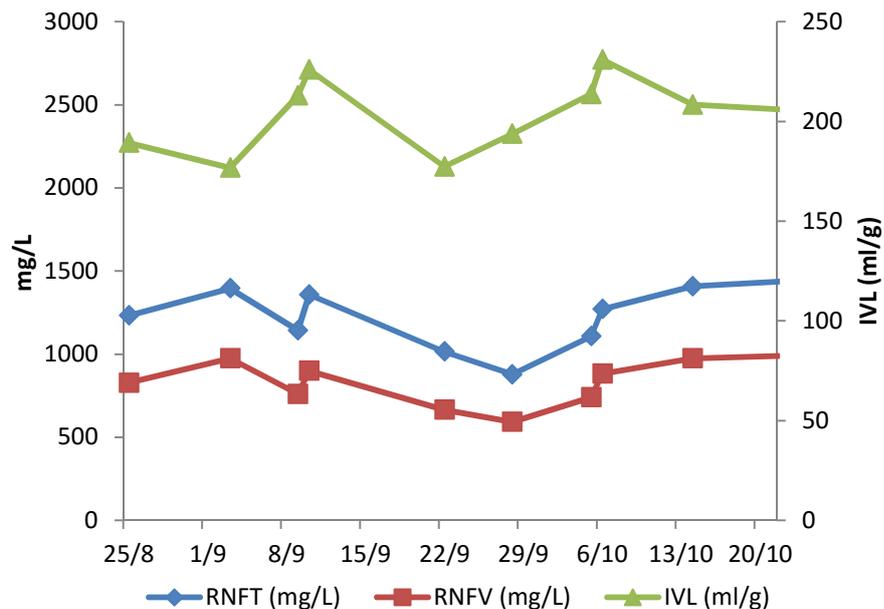
Fonte: Apêndice E, tabela E.2.

Com a diluição do lodo, a variação do IVL foi de 93 a 231 ml/g nos meses estudados, apresentando como média 192 ml/g. Mesmo com uma diluição, esses

resultados caracterizam a sedimentabilidade da estação como muito ruim quando comparadas com as faixas recomendadas por Van Haandel e Marais (1999). Utilizando a classificação proposta por Von Sperling (2001), o resultado mínimo da indústria classifica a sedimentabilidade como boa. Já os resultados médios e máximos, classificam a sedimentabilidade como média e ruim respectivamente. Utilizando os parâmetros de Jordão e Pessoa (2014), o resultado mínimo caracteriza a sedimentabilidade da indústria como muito boa e os resultados médio e máximo como tolerável e má respectivamente. Os valores que caracterizam a sedimentabilidade desses autores estão na **tabela 1.7**.

A **figura 3.7** mostra a variação da concentração de RNFT e IVL ao longo dos dias de ensaios com a diluição do lodo.

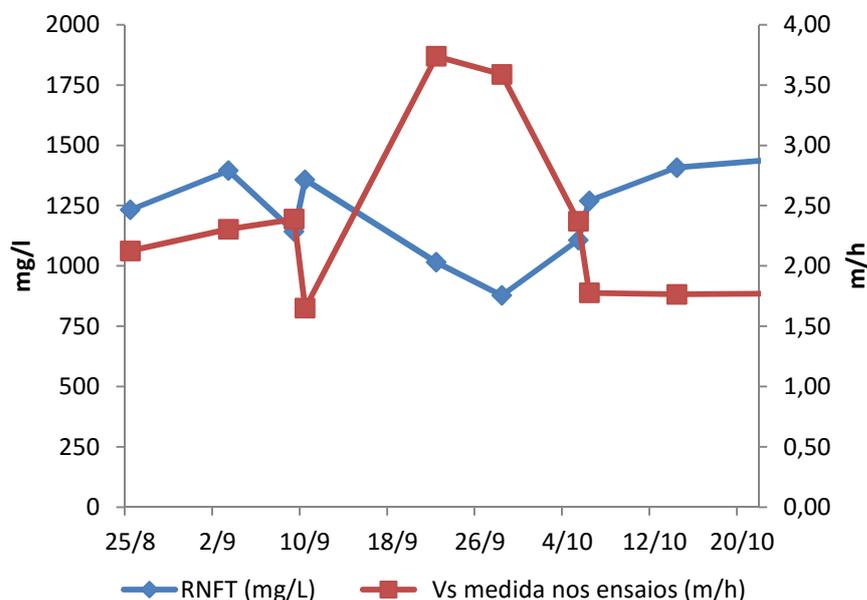
Figura 3.7: Variação das concentrações de RNFT, RNFT e IVL ao longo dos ensaios, ETEI da indústria farmacêutica 01- com diluição de 50%.



Fonte: Apêndice E, tabela E.2.

Mesmo com a diluição, as Vs iniciais ficaram abaixo das recomendadas por Van Haandel e Marais (1999) e Von Sperling (2001), consideradas boas para a sedimentação. Porém, quando comparadas com as Vs iniciais dos resultados sem diluição, as velocidades mínima, média e máxima tiveram um aumento de 16,5; 11 e 5,5 vezes respectivamente. A **figura 3.8** mostra a variação das velocidades e os valores de RNFT dos ensaios com diluição. O aumento da Vs registrada entre os dias 18/09 e 04/10 deve-se ao descarte do lodo que ocorreu na semana dia 20/09.

Figura 3.8: Variação das concentrações de RNFT e Vs ao longo dos Ensaios. ETEI da indústria farmacêutica 01- com diluição de 50%.

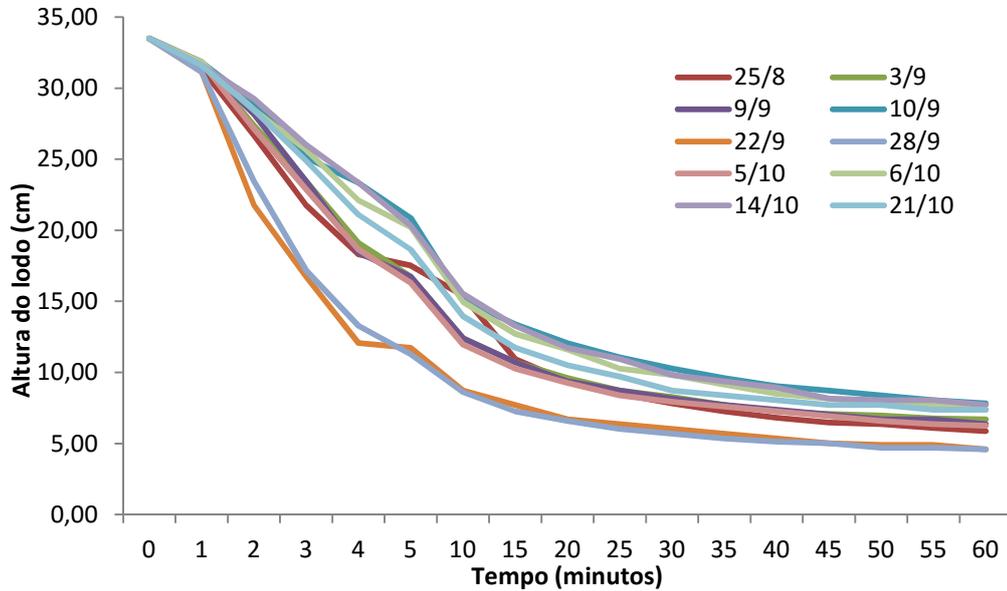


Fonte: Apêndice E, tabela E.2.

A **figura 3.9** mostra as curvas de sedimentabilidade dos ensaios com a diluição. Nesta figura é possível notar a diferença no perfil de sedimentabilidade quando comparados com os ensaios sem diluição do lodo. É possível também perceber que a Vs inicial se manteve constante durante os primeiros 5 minutos de ensaio. Conforme o ensaio foi evoluindo e a concentração de sólidos aumentando, a Vs foi diminuindo gradativamente. Ou seja, até os primeiros 5 minutos de ensaios o lodo sedimentou com Vs máxima, com características da sedimentação em zona (**item 1.4.3**). Quando a concentração do lodo ficou próxima de $2,64 \times 10^3 \text{mg/L}$, a velocidade diminuiu e se manteve constante, ou seja, o lodo atingiu a sua concentração máxima, não podendo mais ser compactado, característica da sedimentação compressiva (**item 1.4.4**). Esse tipo de sedimentação zonal evoluindo para a sedimentação compressiva é o que normalmente ocorre em ETE. Os resultados desse estudo corroboram com os estudos de Santos (2002), Andrew *et al.* (2007), Vanderhasselt *et al.* (2000) e Ozinsky *et al.* (1995). Segundo esses autores, a velocidade de sedimentação tende a decrescer com o aumento da concentração da biomassa. Nos ensaios sem a diluição do lodo, a sedimentação já iniciava com concentração maior que $2,0 \times 10^3 \text{mg/L}$, fazendo com que o lodo sedimentasse com características compressivas ao longo de todo o ensaio. Os resultados das velocidades de sedimentação em cada intervalo de tempo estão na

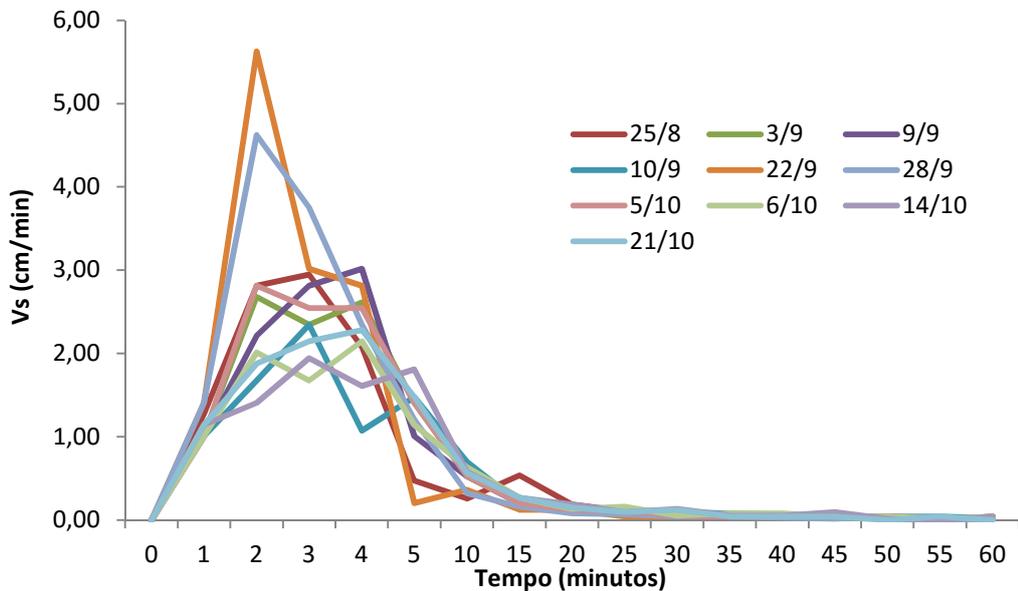
figura 3.10, apêndice F, tabela F.2. A figura 3.11, apêndice G, tabela G.2 mostra a concentração de lodo durante o tempo de ensaio.

Figura 3.9: Curvas de sedimentabilidade da ETEI da indústria farmacêutica 01-com diluição de 50%.



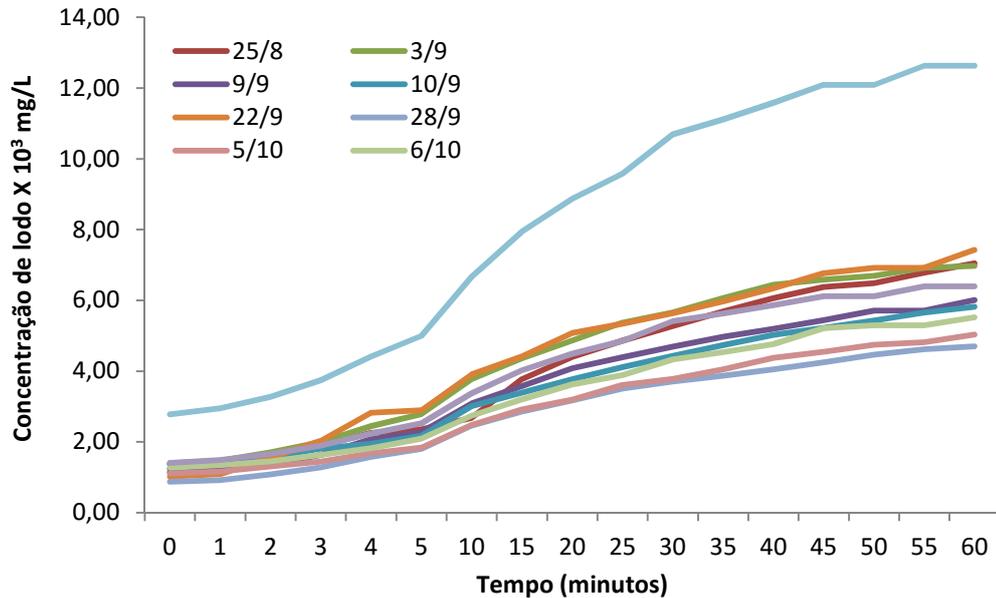
Fonte: Apêndice B, tabela B.2.

Figura 3.10: Variação da V_s durante o tempo de ensaio- ETEI da indústria farmacêutica 01- com diluição de 50%.



Fonte: Apêndice F, tabela F.2.

Figura 3.11: Variação da concentração de lodo durante o período de ensaio- ETEI da Indústria farmacêutica 01- com diluição de 50%.



Fonte: Apêndice G, tabela G.2

A **tabelas 3.6**, mostra a matriz de correlação entre os dados de RNFT, RNFV, IVL, material inerte, Razão RNFV/RNFT e Vs iniciais. Pode-se notar que as mesmas correlações que existe nos ensaios sem diluição aparecem nos ensaios com diluição. Nenhuma correlação muito forte ente os dados, e a mesma correlação forte (-0,79) entre IVL e RNFT e correlação moderada negativa entre Vs e RNFT. Indicando novamente que as concentrações de sólidos presentes influenciam diretamente na velocidade de sedimentação.

Tabela 3.6- Matriz de correlação entre os dados analisados na ETEI da indústria farmacêutica 01. Com diluição de 50%

	RNFT	RNFV	IVL	Material inerte	Razão RNFV/RNFT	Vs medida
RNFT	1	0,99	-0,79	0,80	-0,73	-0,45
RNFV	0,99	1	-0,76	0,81	-0,66	-0,51
IVL	-0,79	-0,76	1	-0,77	0,72	-0,14
material inerte	0,80	0,81	-0,77	1	-0,47	-0,37
Razão RNFV/RNFT	-0,73	-0,66	0,72	-0,47	1	0,02
Vs medida	-0,45	-0,51	-0,14	-0,37	0,02	1

LEGENDA: RNFT, RNFV, Material inerte= mg/L; IVL= ml/g; Vs medida= m/h

4.1.4- Comparação das Vs medidas nos ensaios com os modelos de DAIGGER (1995), Von Sperling & Fróes (1998) e Santos (2002)

Os resultados de Vs iniciais mostraram que os modelos propostos para cálculos de Vs iniciais de esgoto doméstico não devem ser aplicados as estações de tratamento de efluentes industriais com características semelhantes a indústria farmacêutica 01, pois poderiam gerar erros no dimensionamento ou problemas no decantador, já que nenhuma das velocidades medidas nos ensaios ficou próxima ou igual às velocidades calculadas pelos diferentes autores, mesmo nos ensaios com o lodo diluído. As **tabelas 3.7 e 3.8** mostram os resultados mínimo, médio e máximo das velocidades medidas e calculadas pelos diferentes autores, nos ensaios sem e com diluição. Os resultados individuais de cada ensaio estão no **apêndice H, Tabela H.1 e H.2**

Tabela 3.7- Comparação entre as Vs medidas e calculadas utilizando os modelos de DAIGGER (1995), Von Sperling & Fróes (1998) e Santos (2002)- ETEI da Indústria farmacêutica 01- sem diluição

	Vs medidas (m/h)	DAIGGER (1995) (m/h)	Von SPERLING & FRÓES (1998) (m/h)	SANTOS (2002) (m/h)
Média	0,21	2,08	1,09	1,14
Mínima	0,10	1,67	0,53	0,53
Máxima	0,68	3,20	1,91	2,14
DP	0,20	0,55	0,40	0,50

Fonte: Apêndice H, tabela H.1.

Tabela 3.8- Comparação entre as Vs medidas e calculadas utilizando os modelos de DAIGGER (1995), Von Sperling & Fróes (1998) e Santos (2002)- ETEI da indústria farmacêutica 01- com diluição

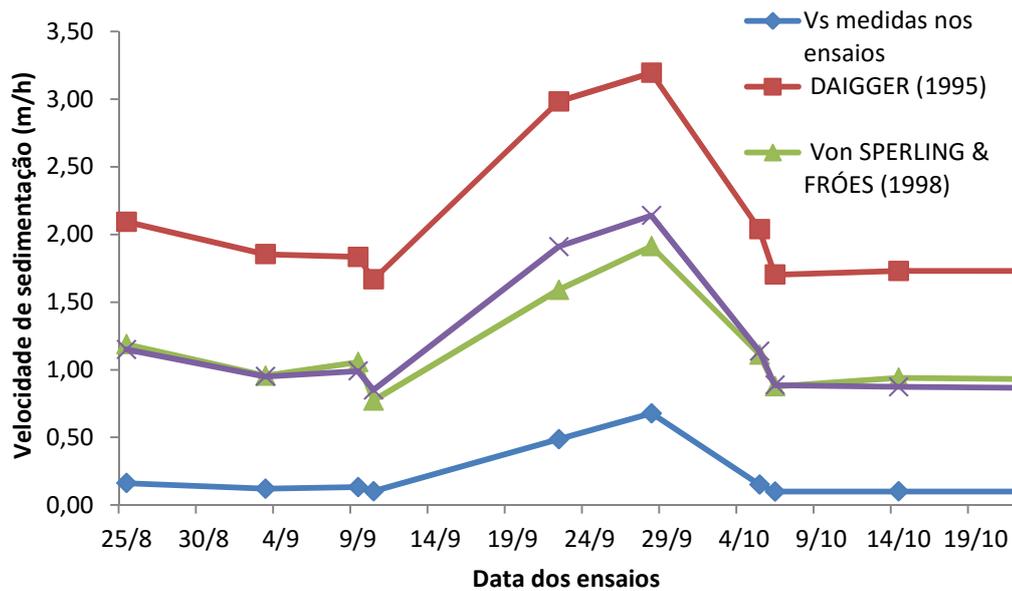
	Vs medidas (m/h)	DAIGGER (1995) (m/h)	Von SPERLING & FRÓES (1998) (m/h)	SANTOS (2002) (m/h)
Média	2,37	4,40	3,64	3,63
Mínima	1,65	3,99	2,41	3,06
Máxima	3,74	4,96	5,55	4,54
DP	0,73	0,32	1,17	0,53

Fonte: Apêndice H, tabela H.2.

Nos resultados dos ensaios sem diluição do lodo, o modelo de Daigger (1995) foi o modelo que mais se distanciou da Vs medida. A Vs calculada utilizando esse modelo ficou muito maior que a Vs medida nos ensaios, sendo essa diferença de 10, 16 e 5 vezes para os resultados das Vs média, mínima e máxima respectivamente. Já os modelos de Von Sperling; Fróes (1998) e Santos (2002) apresentaram diferença de 5 vezes para as Vs mínimas e médias e de 3 vezes para Vs máxima. Esses dois modelos também apresentaram resultados muito próximos

entre si, o que já era de se esperar, uma vez que a equação de V_s proposta por Santos (2002) foi uma consolidação de todas as equações proposta por Von Sperling & Fróes (1998), descritas na tabela 2.8 do capítulo 2. A **figura 3.12** ilustra as diferenças entre as V_s iniciais medidas e calculadas pelos autores.

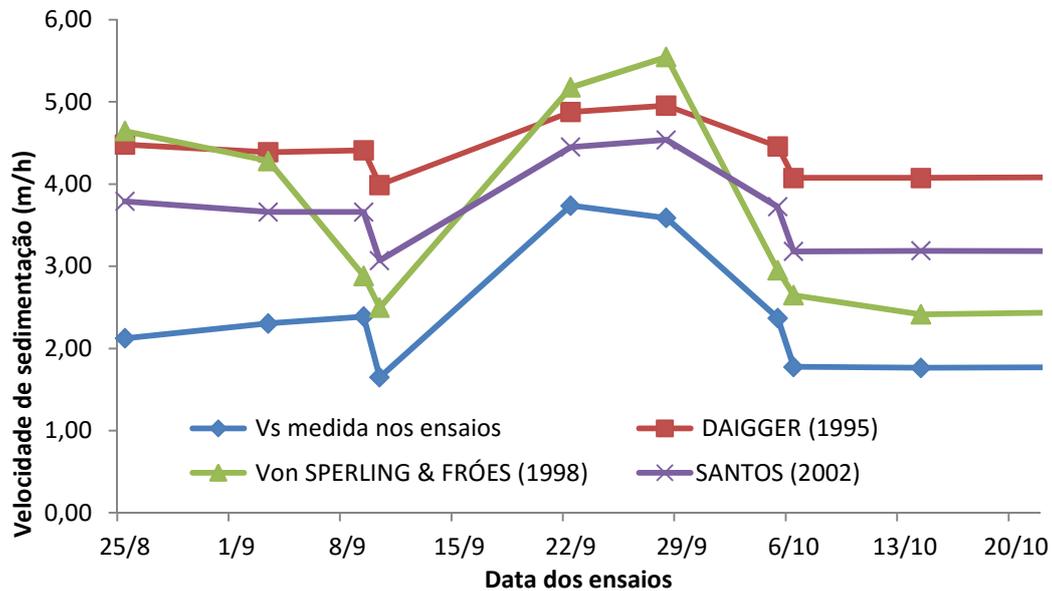
Figura 3.12: Comparação entre as V_s medidas e calculadas por Daigger (1995), Von Sperling (1998) e Santos (2002)- ETEI da indústria farmacêutica 01- ensaios sem diluição.



Fonte: Apêndice H, tabela H.1.

Já nos resultados dos ensaios com diluição do lodo, as diferenças entre os valores de V_s da bibliografia e as V_s medidas foram menores. A V_s média calculada pelos diferentes autores foi 2 vezes maior que a V_s média medida nos ensaios. Ou seja, a confiabilidade dos métodos desses autores se torna maior quando o IVL e a concentração do lodo diminuem, uma vez que todos eles fazem uso do IVL para cálculo da V_s inicial. A **figura 3.13** mostra a variação das velocidades medidas e calculados pelos diferentes autores.

Figura 3.13: Comparação entre as Vs medidas e calculadas por Daigger (1995), Von Sperling (1998) e Santos (2002) - ETEI da Indústria farmacêutica 01- Com diluição de 50%



Fonte: Apêndice H, tabela H.1.

3.1.5- Resultados dos tempos de sedimentação medidos e calculados utilizando as equações de Santos (2002)

Nos ensaios sem diluição não é possível comparar os valores dos tempos de sedimentação calculados e medidos, uma vez que os tempos calculados foram muito maiores que o tempo total do ensaio (60 minutos), como pode ser visto no **apêndice I, tabela I.1**. Já os resultados de tempo de sedimentação calculados e medidos com o lodo diluído ficaram muito próximos entre si, como pode ser visto na **tabela 3.9**. A diferença entre os resultados foi de mais ou menos um minuto, diferença que pode ser desprezada. Portanto, em estações com efluentes contendo características semelhantes aos da indústria farmacêutica 01, com diluição, a equação de Ts proposta por Santos (2002) pode ser validada.

Tabela 3.9- Tempo total de sedimentação medido e calculado- ETEI da Indústria farmacêutica 01. Com diluição de 50%.

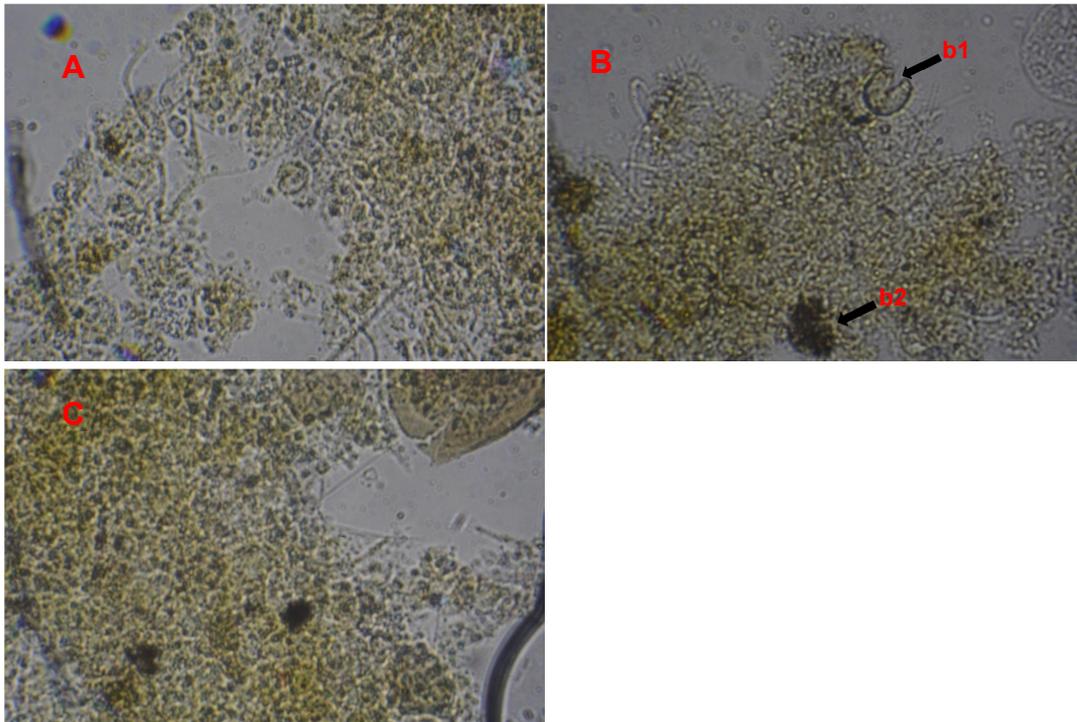
Data dos ensaios	p	q	R	Va	Ts calculado com a velocidade medida (h)	Ts medido nos ensaios (h)
25/08	7,33	0,71	0,170	0,60	00:05:00	00:05:00
03/09	7,59	0,71	0,207	0,80	00:05:00	00:05:00
09/09	6,91	0,70	0,171	0,68	00:05:00	00:05:00
10/09	6,71	0,70	0,155	0,25	00:05:00	00:05:00
22/09	7,57	0,71	0,151	0,73	00:03:28	00:04:00
28/09	7,25	0,71	0,126	0,56	00:03:06	00:04:00
05/10	6,90	0,70	0,162	0,64	00:04:37	00:05:00
06/10	6,64	0,70	0,192	0,57	00:06:10	00:05:00
14/10	6,99	0,70	0,210	0,61	00:06:05	00:05:00
21/10	10,43	0,73	0,401	1,33	00:04:32	00:05:00

3.1.6- Caracterização do floco biológico e da microfauna do efluente da indústria farmacêutica 01

A indústria farmacêutica 01 apresentou pouca diversidade de microrganismos, flocos muito densos e excesso de filamentosos, o que dificultou a análise, como pode ser visto na **figura 3.14**. A presença desses microrganismos indica processos de nitrificação, baixo pH e baixa relação A/M, o que pode ser comprovado pelas análises físico químicas descritas no item 3.1.

Vários autores como Vazóller (1989), Madoni (1994), Santos (2005) e Costas (2013), afirmam que a predominância de filamentosos caracteriza um lodo intumescido de má qualidade e com altos IVL e com Vs mais baixas, o que corrobora com os resultados obtidos neste trabalho.

Figura 3.14: caracterização dos flocos biológicos da ETEI da indústria farmacêutica 01



Legenda: A) Excesso de microrganismos filamentosos, aumento de 400X; B) Excesso de microrganismos filamentosos; b1) protozoário predador de flocos, b2) fungos filamentosos, aumento de 100X; C) Floco denso com fungos filamentosos, aumento de 100X.

3.2- Resultados dos ensaios realizados na indústria farmacêutica 02

3.2.1- Parâmetros físico-químicos medidos em campo

Os dados de temperatura e pH medidos diretamente nos reatores de lodo ativado, mostraram que a indústria farmacêutica 2 operou dentro das faixas consideradas ótimas para o bom funcionamento do sistema, como descrito no **item 1.2** e **tabela 1.3**. Os dados de temperatura e pH estão descritos no **apêndice D**, **tabela D.2**.

A temperatura média da estação foi de 27,1 °C, sendo a menor temperatura registrada 25°C e a máxima 29°C. Não apresentou variação de pH, sendo 7 o valor registrado em os ensaios. Ou seja, a indústria operou dentro da faixa ótima de temperatura e pH recomendadas por Bento *et al* (2005), Jenkins *et al* (1993); Madoni (1994); Van Haadel e Marais (1999).

3.2.2- Parâmetros físico-químicos medidos em laboratório

Os parâmetros físico-químicos medidos em laboratório estão apresentados na **tabela 3.10** e **apêndice D, tabela D.2**.

Tabela 3.10- Dados físico-químicos analisados em laboratório –ETEI da Indústria farmacêutica 02.

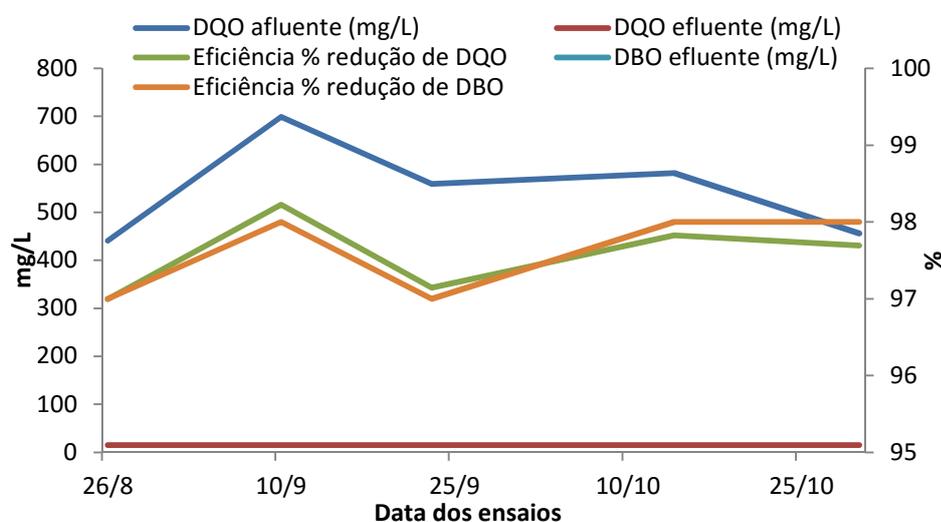
	RNFT (mg/L)	RNFV (mg/L)	Razão RNFV/RNFT	Material inerte (mg/L)	DQO _a (mg/L O ₂)	DQO _e (mg/L O ₂)	Eficiência	A/M
Média	5365	3203	0,61	2162	551	15	97	0,04
D.P	1228	589	0,09	818	191,4	1,26	0,5	0,01
Mínimo	1550	1375	0,40	175	333	15	97	0,03
Máximo	7430	4114	0,89	4430	1016	19	98	0,05

Fonte: Apêndice D, Tabela D.2.

Os resultados de sólidos (RNFT, RNFV, razão RNFV/RNFT e a quantidade de material inerte, A/M presentes nos reatores, apresentam características de aeração prolongada e idade do lodo elevada. A razão média de RNFV/RNF de 0,61 indica um lodo bem digerido e com ótimas condições de desaguamento e secagem. Somente na amostra do dia 22/10/2015 essa relação estava um pouco maior do que a recomendada por Giordano e Surerus (2015) para o desaguamento. O valor de 0,89 registrado nesse dia deve-se ao descarte de lodo ocorrido durante a semana, o que caracteriza um lodo novo e não apropriado ao desaguamento.

A baixa relação A/M registrada na estação, entre 0,03 e 0,05 kg DBO₅ /kg. SSV. dia, indica a formação de flocos mais volumosos e IVL mais elevado. A eficiência tanto na redução de DBO quanto na redução de DQO (entre 97 e 98%) indica um efluente altamente biodegradável. A **figura 3.15** mostra a eficiência da estação em relação à redução de DQO.

Figura 3.15: Eficiência da ETEI na redução de DQO e BDO- Indústria farmacêutica 02



Fonte: Apêndice D, Tabela D.2.

3.2.3- Resultados de IVL e Velocidade de sedimentação

Os resultados de IVL e os resultados de Vs estão apresentados na **tabela 3.11** e **apêndice E, tabela E.3**.

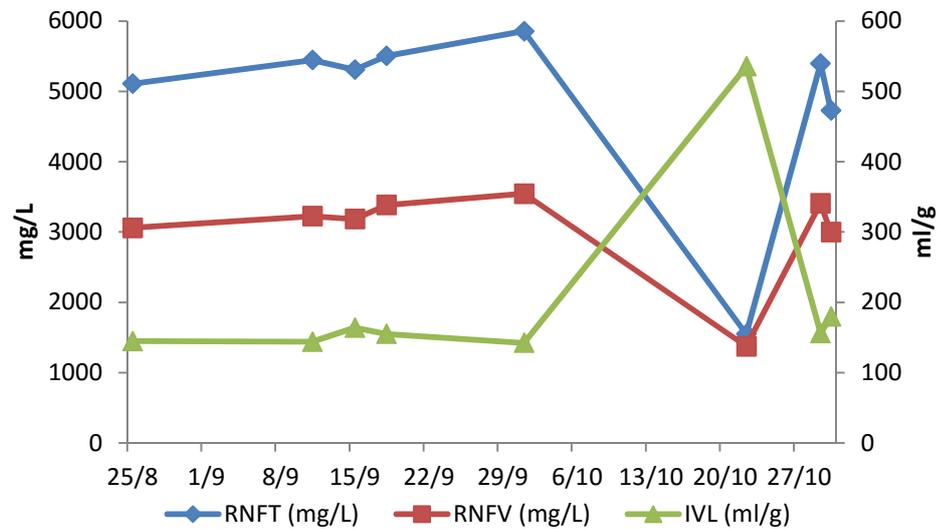
Tabela 3.11- Dados de RNFT, RNFV e Vs presentes no reator de lodos ativados- ETEI da Indústria farmacêuticas 02.

	RNFT (mg/L)	IVL (ml/g)	Vs medida (m/h)
Mínimo	1550	142	0,10
Médio	3203	203	0,12
Máximo	5365	535	0,17
DP	1228	135	0,03

Fonte: Apêndice E, tabela E.3.

A variação do IVL da indústria farmacêutica 02 foi de 142 a 180 ml/g nos meses estudados, exceto no dia 22/10/2015 que apresentou IVL de 535 ml/g, fazendo com que o IVL médio passasse para 203 ml/g. Esses resultados caracterizam a sedimentabilidade da estação como muito ruim quando comparadas com as faixas recomendadas por Van Haandel e Marais (1999). Quando comparados com os valores das faixas de Von Sperling (2001), os resultados entre 142 e 180 ml/g classificam a sedimentabilidade como média. Já os resultados do dia 22/10/2015, classificam a sedimentabilidade como péssima. Utilizando os parâmetros de Jordão e Pessoa (2014), os resultados da maioria dos ensaios, caracterizam a sedimentabilidade da indústria como tolerável, e o do dia 22/10/2015 como praticamente impossível. A **figura 3.16** ilustra a variação da concentração de RNFT e IVL ao longo dos dias de ensaios sem a diluição do lodo. É possível notar que o IVL se mantém abaixo de 200 ml/g e praticamente todos os ensaios, exceto no dia 22/10. Somente neste caso é possível afirmar que o IVL não está relacionado com a concentração do lodo e sim com a estrutura física dos flocos, como será descrito mais adiante.

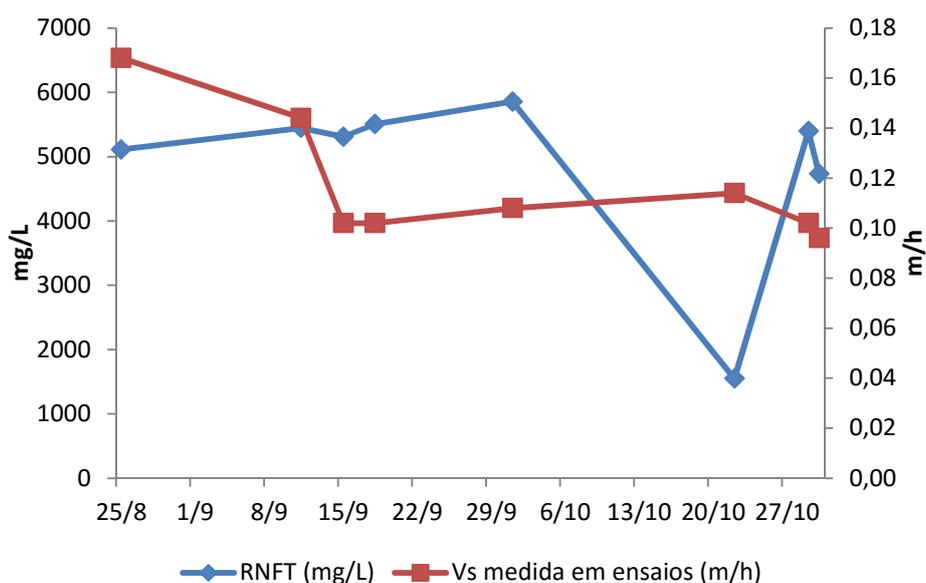
Figura 3.16: Variação das concentrações de RNFTV, RNFT e IVL ao longo dos ensaios, ETEI da indústria farmacêutica 02.



Fonte: Apêndice E, tabela E.3.

As Vs iniciais medidas nos ensaios da ETEI da indústria farmacêutica 02 também estiveram muito abaixo das Vs iniciais recomendados por Van Haandel e Marais (1999) e Von Sperling (2001), podendo ser caracterizadas como ruins e péssimas de acordo com os respectivos autores. A **figura 3.17** mostra a relação entre RNFT e Vs ao longo dos ensaios. Pode ser observado que a concentração do lodo influencia diretamente na Vs, uma vez que a Vs aumenta conforme a concentração do lodo diminui.

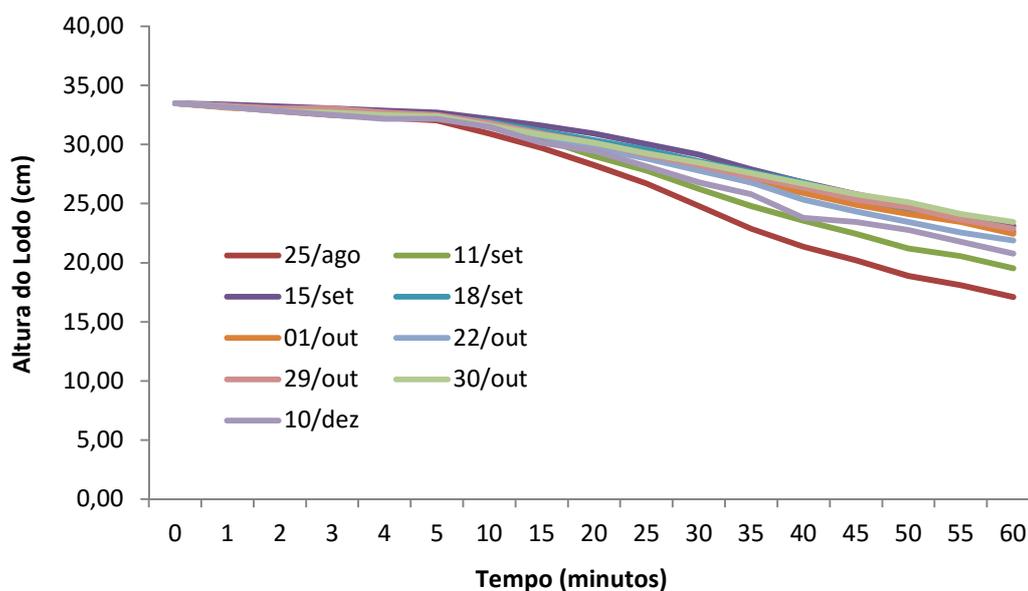
Figura 3.17: Variação da concentração de RNFT e Vs ao longo dos ensaios- Indústria farmacêutica 02



Fonte: Apêndice E, tabela E.3.

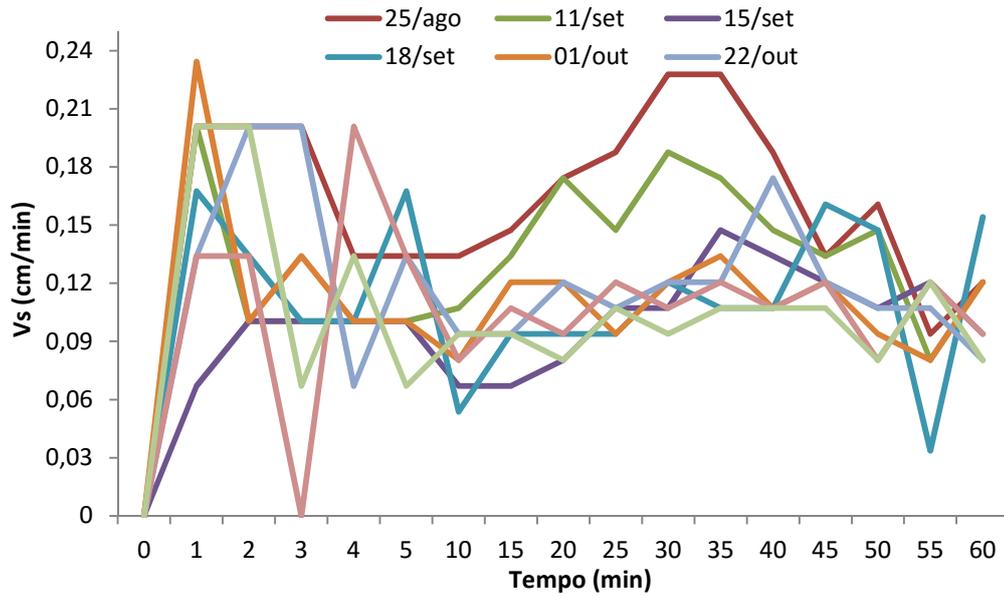
A **figura 3.18** mostra as curvas de sedimentabilidade da ETEI da indústria farmacêutica 02 dos ensaios sem a diluição. É possível notar que as Vs iniciais foram praticamente constantes ao longo de todos os ensaios. Esse perfil de sedimentação é muito comum de ocorrer no fundo dos decantadores e em adensadores, que caracterizam a sedimentação compressiva, como descrito no item 1.4. Os resultados das Vs em cada intervalo de tempo podem ser vistos na **figura 3.19 Apêndice F, tabela F.3**. A **figura 3.20** mostra a variação da concentração de sólidos durante o tempo de ensaio. Perceba que esta indústria apresentou uma concentração inicial de lodo muito elevada ($5,33 \times 10^3 \text{mg/L}$) quando comparada com a indústria farmacêutica 01 (maior que $2,0 \times 10^3 \text{mg/L}$). Sendo esse um dos principais fatores responsáveis pelas baixas Vs registrada nas estações.

Figura 3.18: Curvas de sedimentabilidade da ETEI da indústria farmacêutica 02



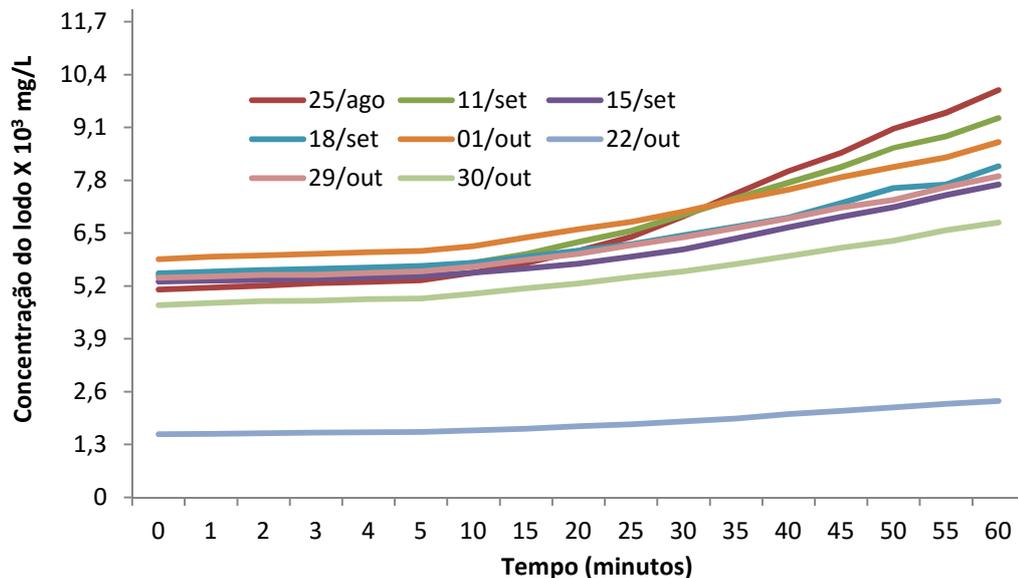
Fonte: Apêndice D, tabela D.3

Figura 3.19: Variação da Vs durante o tempo de ensaio- ETEI da indústria farmacêutica 02



Fonte: Apêndice G, tabela G.3

Figura 3.20: Variação da concentração do lodo durante o tempo de ensaio- ETEI da indústria farmacêutica 02.



Fonte: Apêndice I, Tabela I.3.

A **tabela 3.12**, mostra a matriz de correlação dos dados de RNFT, RNFV, IVL, material inerte, Razão RNFV/RNFT e Vs. De acordo com esses dados, não existe nenhuma correlação muito forte ente os dados de RNFT, IVL e Vs. Os resultados referentes ao dia 22/10/2015 não foram incluídos na matriz, uma vez que apresentou dados muito discrepantes.

De acordo com essa matriz, existe uma correlação forte (-0,73) entre IVL e RNFT. Essa relação pode ser comprovada com os dados da **tabela E.3, apêndice E**. Diferente da ETEI da indústria farmacêutica 01, a Vs não apresentou nenhuma correlação com RNFT, porém apresentou uma correlação fraca negativa com RNFV, e correlação moderada negativa com o IVL e razão RNFV/RNFT.

Tabela 3.12- Matriz de correlação entre os dados analisados na ETEI da Indústria farmacêutica 02.

	RNFT	RNFV	IVL	Material inerte	Razão RNFV/RNFT	Vs medida
RNFT	1	0,92	-0,73	0,90	-0,40	-0,06
RNFV	0,92	1	-0,51	0,66	0,00	-0,35
IVL	-0,73	-0,51	1	-0,84	0,68	-0,62
material inerte	0,90	0,66	-0,84	1	-0,75	0,25
Razão RNFV/RNFT	-0,40	0,00	0,68	-0,75	1	-0,65
Vs medida	-0,06	-0,35	-0,62	0,25	-0,65	1

LEGENDA: RNFT, RNFV, Material inerte= mg/L; IVL= ml/g; Vs medida= m/h

3.2.4- Comparação das Vs medidas nos ensaios com os modelos de DAIGGER (1995), Von Sperling & Fróes (1998) e Santos (2002)

Os resultados de Vs iniciais mostraram que os modelos propostos para cálculos de Vs iniciais de esgoto doméstico não podem ser aplicados as estações de tratamento de efluentes industriais com características semelhantes aos da indústria farmacêutica 02, pois poderiam gerar erros no dimensionamento ou problemas no decantador, já que nenhuma das velocidades medidas nos ensaios ficou próxima ou igual às velocidades calculadas pelos diferentes autores pesquisados. A **tabela 3.13** mostra os resultados das velocidades medidas e calculadas pelas metodologias propostas por esses autores. Os resultados individuais estão no **apêndice H, tabela H.3**.

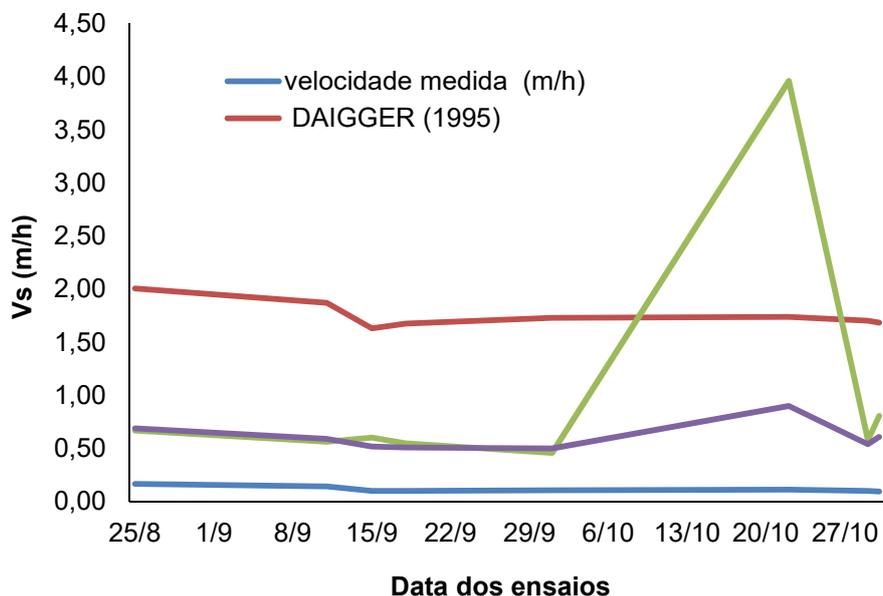
Tabela 3.13- Resultado das Vs medidas e calculadas utilizando os modelos de DAIGGER (1995), Von Sperling & Fróes (1998) e Santos (2002)- ETEI da Indústria farmacêutica 02

	Vs medidas nos (m/h)	DAIGGER (1995) (m/h)	Von SPERLING & FRÓES (1998) (m/h)	SANTOS (2002) (m/h)
Média	0,12	1,76	1,02	0,61
Mínima	0,10	1,63	0,46	0,50
Máxima	0,17	2,01	3,96	0,90
DP	0,03	0,12	1,19	0,13

Fonte: Apêndice H, tabela H.3.

A diferença entre a V_s iniciais medidas e as calculadas pelos três modelos apresentaram diferenças significativas. O modelo de Daigger (1995) apresentou diferença entre 12 e 17 vezes maior que a velocidade medida nos ensaios, sendo o modelo que mais se distanciou da V_s medida. Já o modelos de Von Sperling & Fróes (1998) apresentou diferença de 7 e 4 vezes maiores para os resultados médios e mínimos e de 24 vezes maior para a velocidade máxima. O modelo de Santos (2002), apresentou uma diferença de apenas 5 vezes maior em todos os resultados. Para um possível dimensionamento de decantadores com efluentes com características semelhantes a esta indústria, o modelo a ser usado deverá ser o de Santos (2002), uma vez que apresenta a menor diferença em relação aos resultados medidos. A **figura 3.21** ilustra as diferenças entre as V_s iniciais medidas e calculadas pelos diferentes autores. Perceba que o modelo de Von Sperling & Fróes (1998) tende a um maior erro quando se tem um IVL alto.

Figura 3.21: Comparação entre as V_s medidas e calculadas por Daigger (1995), Von Sperling (1998) e Santos (2002)- ETEI da Indústria farmacêutica 02



Fonte: Apêndice H, tabela H.3.

3.2.5- Resultados dos tempos de sedimentação medidos e calculados utilizando as equações de Santos (2002)

Não é possível comparar os valores dos tempos de sedimentação calculados e medidos na mistura de lodo ativado do reator da ETEI da indústria farmacêutica

02, uma vez que os tempos calculados foram muito maiores que o tempo total de ensaio (60 minutos), como pode ser visto na **tabela 3.14**. Para que os Ts pudessem ser comparados, o tempo de duração do ensaio deveria ter sido maior.

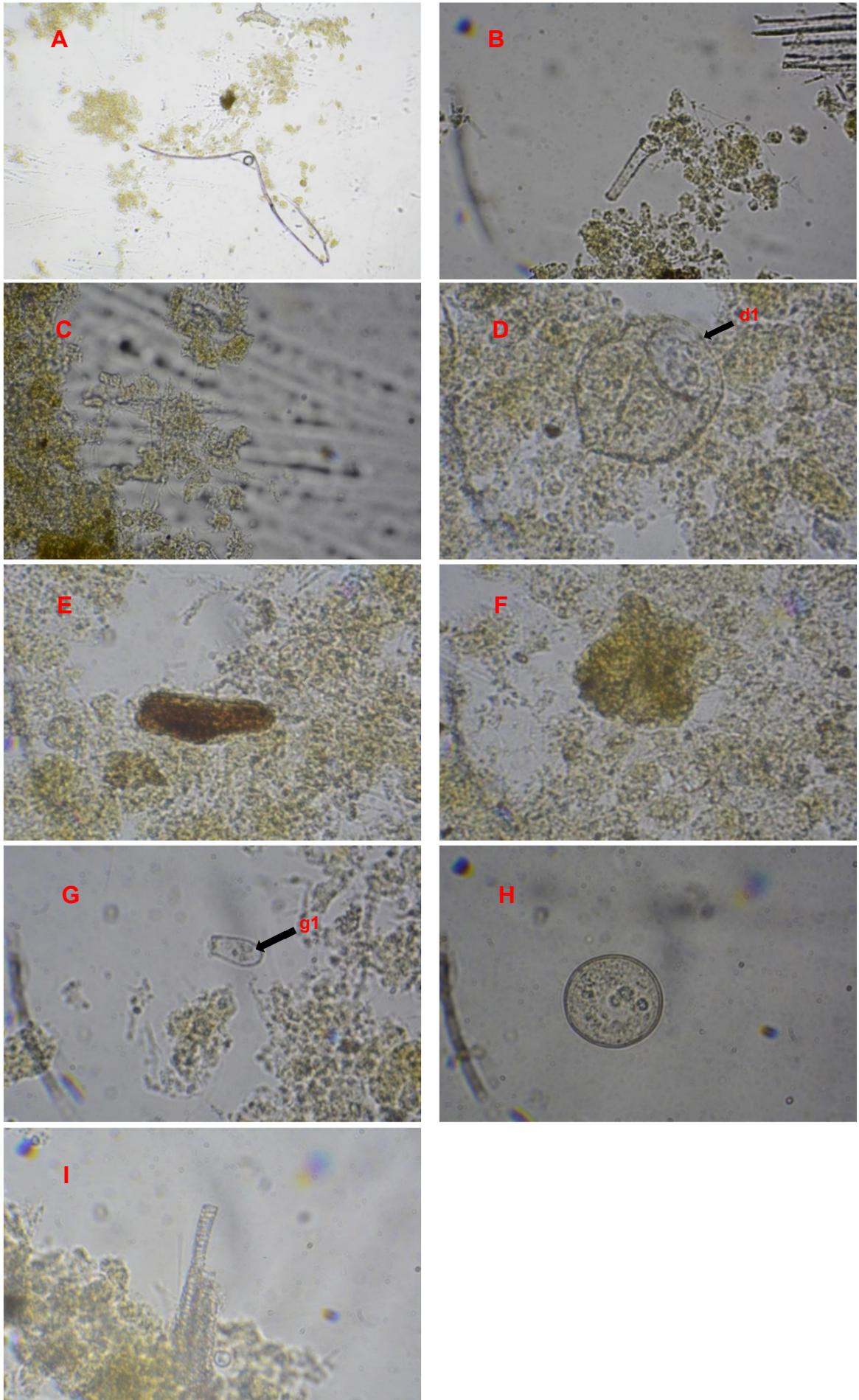
Tabela 3.14- Comparação entre os tempos de sedimentação medidos e calculados.

Data dos ensaios	Ts calculado com a velocidade medida (h)	Ts medido nos ensaios (h)
25/08	01:24:00	≥ 01:00:00
11/09	01:38:00	≥ 01:00:00
15/09	01:25:00	≥ 01:00:00
18/09	02:24:00	≥ 01:00:00
01/10	01:11:00	≥ 01:00:00
22/10	01:35:00	≥ 01:00:00
29/10	01:25:00	≥ 01:00:00
30/10	01:29:00	≥ 01:00:00

3.2.6: Caracterização do floco biológico e da microfauna da indústria farmacêutica 02

A Indústria farmacêutica 02 apresentou uma diversidade maior de microrganismos quando comparada com a indústria farmacêutica 01, como pode ser vista na **figura 3.22**. A presença dos ciliados fixos, *Tecamebas* e protozoários indicam que o processo apresenta boas condições de depuração e idade do lodo elevada. Embora a estação tenha operado em ótimas condições de temperatura e pH, e tenha apresentado ótima eficiência na redução de DBO e DQO, apresentou na composição de seus flocos, predominância de bactérias filamentosas e alguns a de fungos filamentosos. A presença desses microrganismos deve-se principalmente a baixa relação A/M registrada na estação. Os estudos de Vazóller (1989), Madoni (1994), Santos (2005) e Costas (2013), afirmam que a predominância de filamentosos caracteriza um lodo intumescido de má qualidade e com altos IVL. Sendo assim, a composição dos flocos biológicos é o principal responsável pela eficiência da estação e os altos IVLs.

Figura 3.22: caracterização dos flocos biológicos do efluente da ETEI da indústria farmacêutica 02



Legenda: A) a) Microrganismo filamentososo não identificado, aumento de 100X; B) Ciliado Fixo, aumento de 400X; C) Floco intumescido com organismos filamentosos, aumento de 400 X; D) d)Protozoário ciliado sésil, aumento de 1000X; E) Protozoário predador de flocos, aumento de 400X; F) Fungo filamentososo, aumento de 400X; G) g) Tecameba dos gêneros *Euglypha*,, aumento de 400X; G) Tecameba do gênero *Arcella*, aumento de 400X. I) Ciliado fixo, aumento de 400X

3.3- Resultados dos ensaios realizados na indústria alimentícia

3.3.1- Parâmetros físico-químicos medidos em campo

Os dados de temperatura e pH medidos diretamente no reator de lodos ativado mostraram que a ETEI da indústria alimentícia operou dentro das faixas consideradas ótimas para o bom funcionamento do sistema como descrito no item 1.2 e **tabela 1.3**. Os dados de temperatura e pH estão descritos no **apêndice D, tabela D.3**. A temperatura média da estação foi de 27,4 °C, sendo a menor temperatura registrada 25,4°C e a máxima 30°C. Não houve variação de pH, sendo 7 o valor registrado em todos os ensaios.

3.3.2- Parâmetros físico-químicos medidos em laboratório

Os parâmetros físico-químicos medidos em laboratório estão apresentados na **tabela 3.15 e apêndice D, tabela D.3**.

Tabela 3.15- Dados físico-químicos analisados em laboratório – Indústria alimentícia- sem diluição

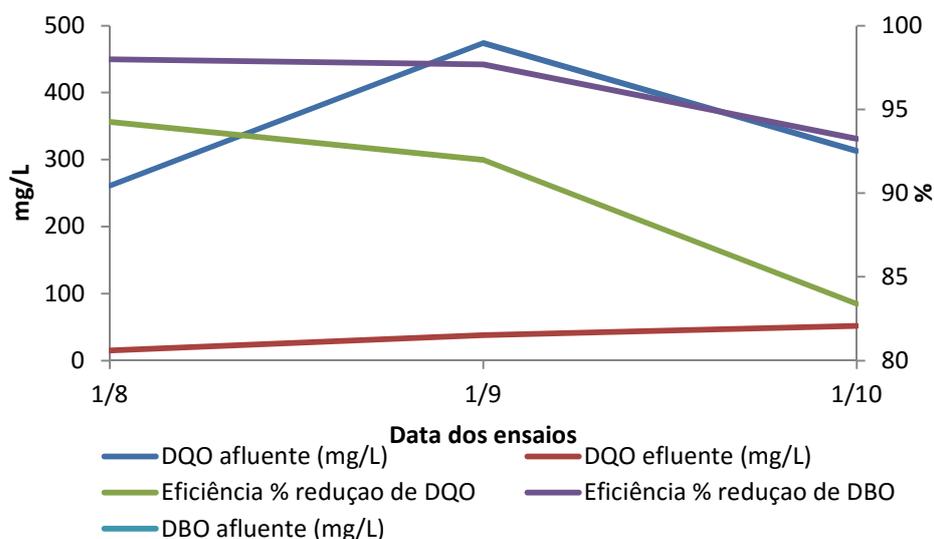
	RNFT (mg/L)	RNFV (mg/L)	Razão RNFV/RNFT	Material inerte (mg/L)	DQO _a (mg/L O ₂)	DQO _e (mg/L O ₂)	Eficiência (redução de DQO)	A/M
Média	3975	3077	0,78	899	349	31	90	0,04
D.P	678	569	0,07	377	111	13	6	0,01
Mínimo	2970	2410	0,58	550	261	15	83	0,03
Máximo	4795	3990	0,83	1875	474	52	94	0,06

Fonte: apêndice D, tabela D.3.

Os resultados de sólidos (RNFT, RNFV, razão RNFV/RNFT e a quantidade de material inerte) presentes no reator, mostraram características de aeração prolongada e idade do lodo alta. A razão média de RNFV/RNFT foi de 0,78, sendo que na maioria dos ensaios, esse valor ficou entre 0,76 e 0,83. Esses resultados indicam um lodo bem digerido, com ótimas condições de desaguamento e secagem e muito bem adaptado. Embora tenha apresentado grande quantidade de M.O no reator, que pode ser comprovado pelos resultados de RNFV, a relação A/M ficou entre 0,03 e 0,06 kg DBO₅ /kg. SSV. dia, ou seja, o reator operou com relação

A/M abaixo da recomendada para lodos ativados, que seria $A/M = 0,15$ (GIORDANO; SURERUS, 2015). Sendo assim, parte do material volátil presente no reator deve-se principalmente ao material celular dos microrganismos constituintes do lodo e não do afluente da indústria. Mesmo com A/M baixa o reator apresentou eficiência maior que 95% na redução de DBO, mostrando boa biodegradabilidade do afluente. Já a eficiência na redução de DQO (média de 90%) indica a presença de compostos de difícil biodegradação e/ou presença de produtos tóxicos, o que pode ter ocorrido devido ao excesso de produtos químicos utilizado na limpeza de maquinários e processos de sanitização (CIP) muito comum em indústrias alimentícias. Essa diferença entre os resultados de DBO e DQO ocorre por que a DQO engloba tanto a matéria orgânica biodegradável quanto a matéria orgânica não biodegradável (GIORDANO; SURERUS, 2015). A **figura 3.23** mostra a eficiência da estação em relação à redução de DBO e DQO.

Figura 3.23: Eficiência da ETEI da indústria alimentícia.



Fonte: apêndice D, tabela D.3.

3.3.3- Resultados de IVL e Velocidade de sedimentação

3.3.3.1- Resultados dos ensaios sem diluição

Os resultados de IVL e V_s estão apresentados na **tabela 4.16** e **apêndice E, tabela E.4**.

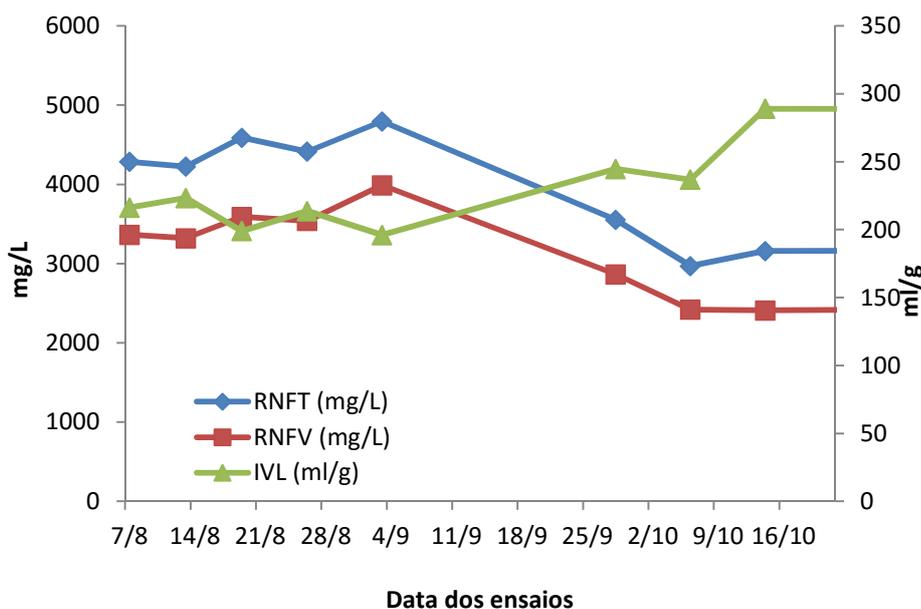
Tabela 3.16- Dados de RNFT, IVL e Vs presentes no reator de Lodo ativado - ETEI da Indústria alimentícia. Sem diluição

	RNFT (mg/L)	IVL (ml/g)	Vs medida (m/h)
Mínimo	2970	196	0,04
Médio	3975	234	0,07
Máximo	4795	289	0,19
DP	678	34	0,05

Fonte: Apêndice B, tabela B.4.

A ETEI da indústria alimentícia também apresentou IVL médio maior que 200 ml/L, o que caracteriza a sedimentabilidade da estação como muito ruim quando comparadas com as faixas recomendadas por Van Haandel e Marais (1999). Quando a comparação é feita com as faixas indicadas por de Von Sperling (2001), o resultado mínimo da indústria classifica a sedimentabilidade como média, enquanto que os resultados médios e máximos classificam a sedimentabilidade como ruim. Utilizando os parâmetros de Jordão e Pessoa (2014), o resultado mínimo caracteriza a sedimentabilidade da indústria como tolerável e os resultados médio e máximo como má. Os valores que caracterizam a sedimentabilidade desses autores estão na **tabela 1.7**. A **figura 3.24** mostra a variação da concentração de RNFT e IVL ao longo dos dias de ensaios sem a diluição do lodo.

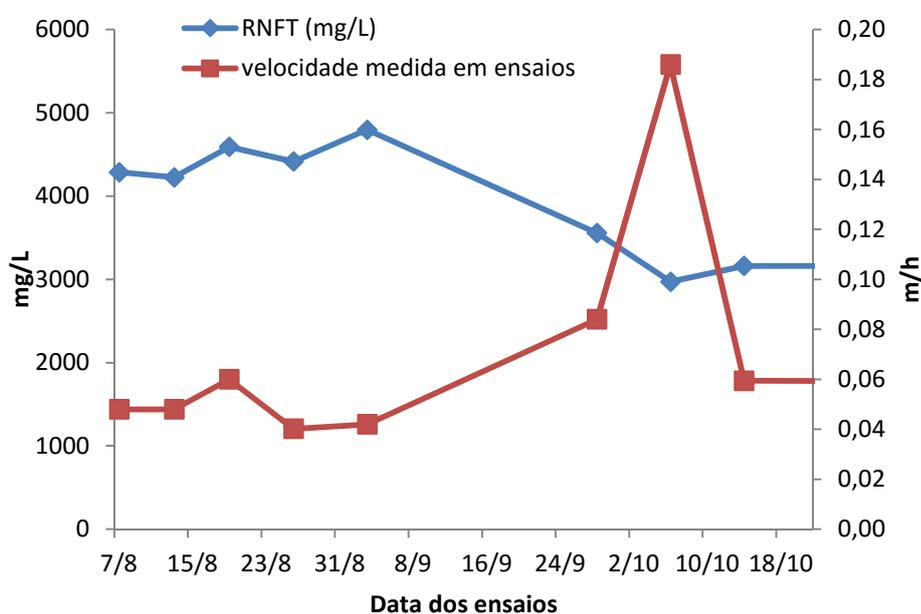
Figura 3.24: Variação das concentrações de RNFV, RNFT e IVL ao longo dos ensaios, ETEI da indústria alimentícia- sem diluição



Fonte: Apêndice E, tabela E.4.

As Vs iniciais medidas nos ensaios sem diluição estiveram menores que as Vs recomendadas por Van Haandel e Marais (1999) e Von Sperling (2001). Segundo esses autores, velocidades menores que 6,0 m/h já podem ser consideradas muito ruins. A **figura 3.25** mostra a relação entre RNFT e Vs ao longo dos ensaios. Pode ser notado no gráfico que a velocidade menor que 0,10 m/h em praticamente todos os ensaios, porém, devido a um descarte de lodo ocorrido na semana na primeira semana de outubro, o que acarretou numa menor concentração do lodo, a Vs inicial do dia 6/10 foi de 0,19 m/h.

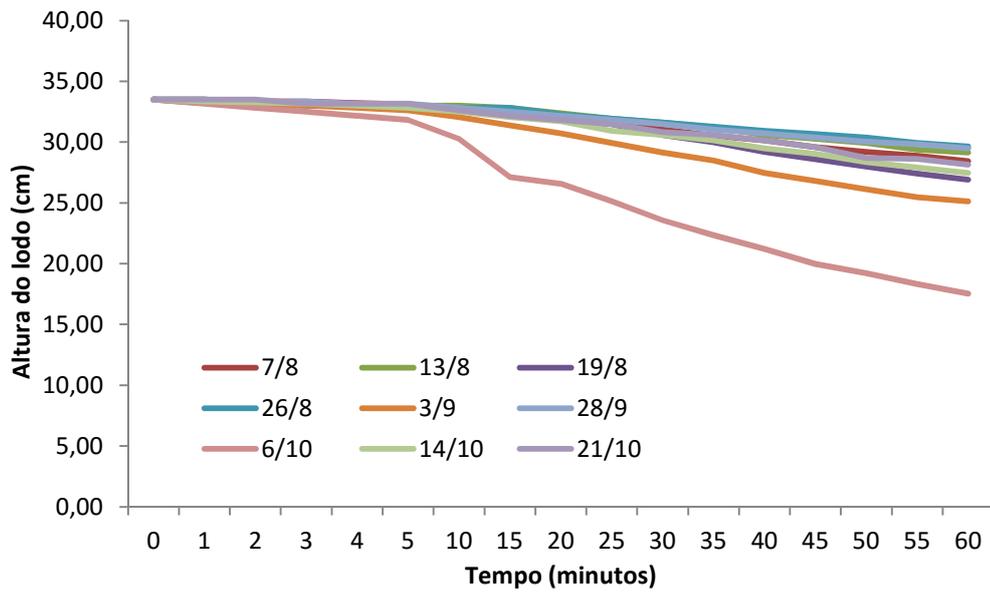
Figura 3.25: Variação da concentração de RNFT e Vs ao longo dos ensaios- ETEI da Indústria alimentícia- sem diluição



Fonte: Apêndice E, tabela E.4

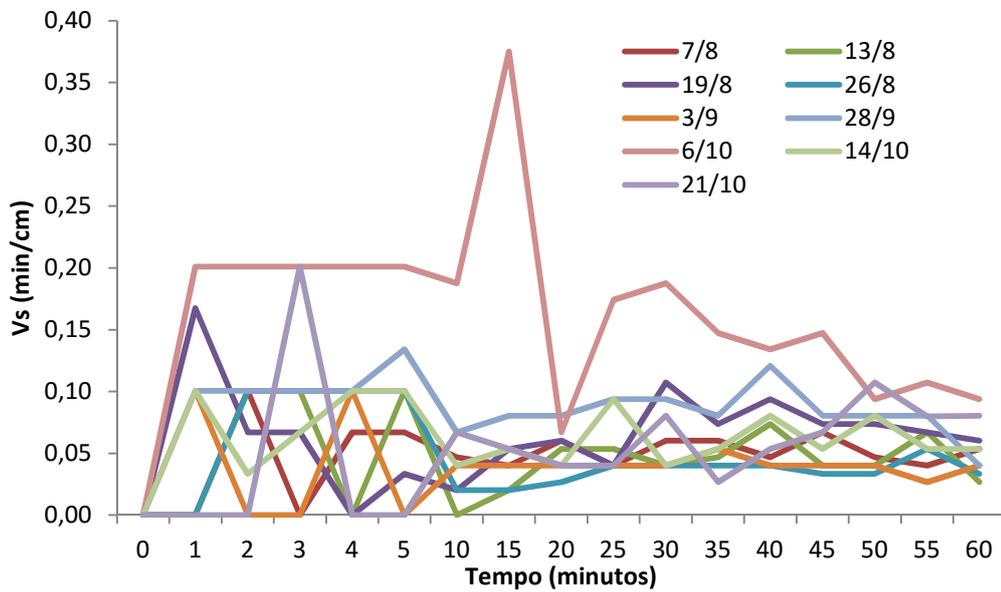
A **figura 3.26** mostra as curvas de sedimentabilidade dos efluentes ETEI da indústria analisados nos ensaios sem a diluição. Podemos notar que, exceto no dia 06/10/2015, as Vs iniciais foram praticamente constantes ao longo de todo o tempo de ensaios. Esse tipo de sedimentação é comum em reatores com elevadas concentrações de sólidos e normalmente ocorre nos fundo dos decantadores e adensadores, que caracterizam a sedimentação compressiva, descrita no item 1.4.4. A curva de sedimentação do dia 06/10/2015 se manteve afastada dos outros resultados devido à baixa concentração de sólidos neste dia, resultado do descarte ocorrido dias antes. Os resultados das Vs em cada intervalo de tempo podem ser vistos na **figura 3.27**, **Apêndice F**, **tabela F.4**. A **figura 3.28** mostra a variação da concentração de sólidos durante o tempo de ensaio.

Figura 3.26: Curvas de sedimentabilidade da ETEI da indústria alimentícia- sem diluição



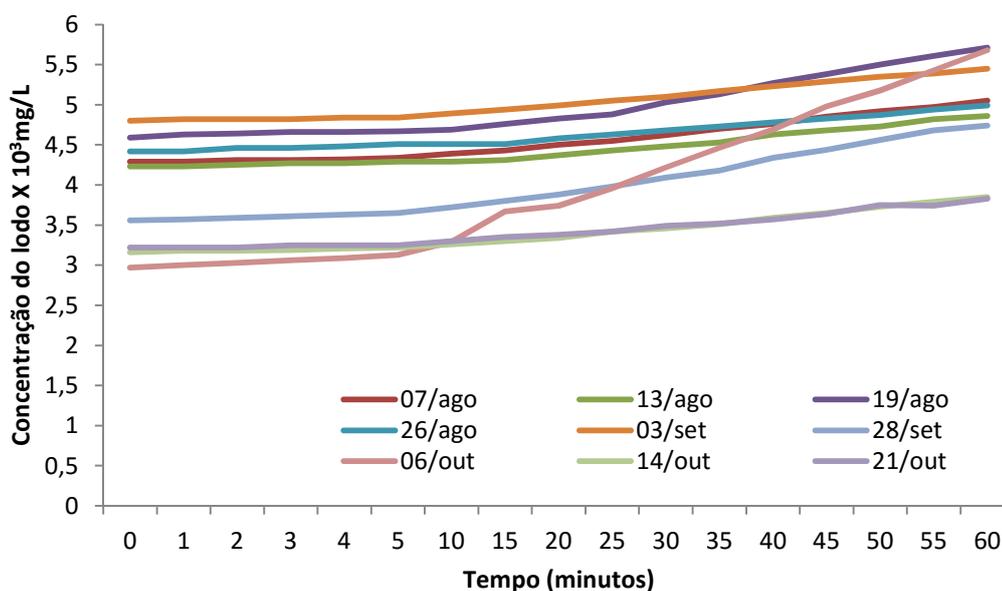
Fonte: Apêndice B, tabela B.4.

Figura 3.27: Variação da Vs durante o tempo de ensaio. ETEI da Indústria alimentícia- sem diluição



Fonte: Apêndice F, tabela F.4.

Figura 3.28: Variação da concentração de sólidos durante o tempo de ensaio. ETEI da Indústria alimentícia-sem diluição



Fonte: Apêndice G, tabela G.4.

A **tabelas 3.17**, mostra a matriz de correlação dos dados de RNFT, RNFV, IVL, material inerte, Razão RNFV/RNFT e Vs dos resultados sem diluição. Pode ser verificado que não existe correlação muito forte ente os dados de RNFT, IVL e Vs. De acordo com a matriz, existe uma correlação forte (-0,86) entre IVL e RNFT. O IVL também apresentou correlação negativa moderada (-0,67) com o material inerte e correlação positiva bem fraca com a Vs. Esta apresentou correlação negativa moderada com o RNFT, RNFV e material inerte.

Tabela 3.17- Matriz de correlação da ETEI da Indústria alimentícia.

	RNFT	RNFV	IVL	Material inerte	Razão RNFV/RNFT	Vs medidas
RNFT	1	0,99	-0,86	0,84	0,01	-0,62
RNFV	0,99	1	-0,86	0,74	0,16	-0,59
IVL	-0,86	-0,86	1	-0,67	-0,13	0,14
Material inerte	0,84	0,74	-0,67	1	-0,53	-0,61
Razão RNFV/RNFT	0,01	0,16	-0,13	-0,53	1	0,20
Vs medidas	-0,62	-0,59	0,14	-0,61	0,20	1

LEGENDA: RNFT, RNFV, Material inerte= mg/L; IVL= ml/g; Vs medida= m/h

3.3.3.2- Resultados dos ensaios com diluição

Os resultados de IVL e os resultados de Vs apresentaram diferenças bem significativas com a diluição do lodo, como podem ser vistos na **tabela 3.18**.

Apêndice E, tabela E.5.

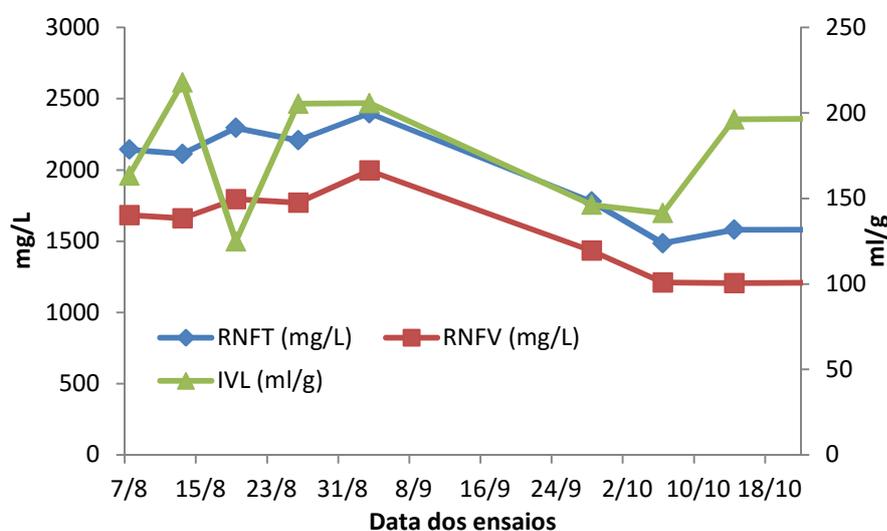
Tabela 3.18- Análise de dados dos sólidos presentes nos reatores de lodos Ativados - ETEI da Indústria alimentícia. Com diluição de 50%

	RNFT (mg/L)	IVL (ml/g)	Vs medida (m/h)
Mínimo	1485	125	0,42
Médio	1956	179	1,36
Máximo	2398	218	2,67
DP	344	35	0,70

Fonte: Apêndice E, tabela E.5.

Nos ensaios com diluição, a variação do IVL foi de 125 a 218 ml/g nos meses estudados, apresentando como média 179 ml/g. Mesmo com a diluição, e conseqüentemente redução da concentração de RNFT na amostra, o IVL ainda se manteve alto, caracterizando a sedimentabilidade dos sólidos nos reatores da ETEI como muito ruim quando comparadas com as faixas indicadas por Van Haandel e Marais (1999). Quando comparados com as faixas indicadas por Von Sperling (2001) e Jordão e Pessoa (2014), os resultados mínimos e médios classificam a sedimentabilidade como média e tolerável, enquanto que os resultados máximos caracterizam-na como ruim. A **figura 3.29** mostra a variação da concentração de RNFT e IVL ao longo dos dias de ensaios com a diluição do lodo.

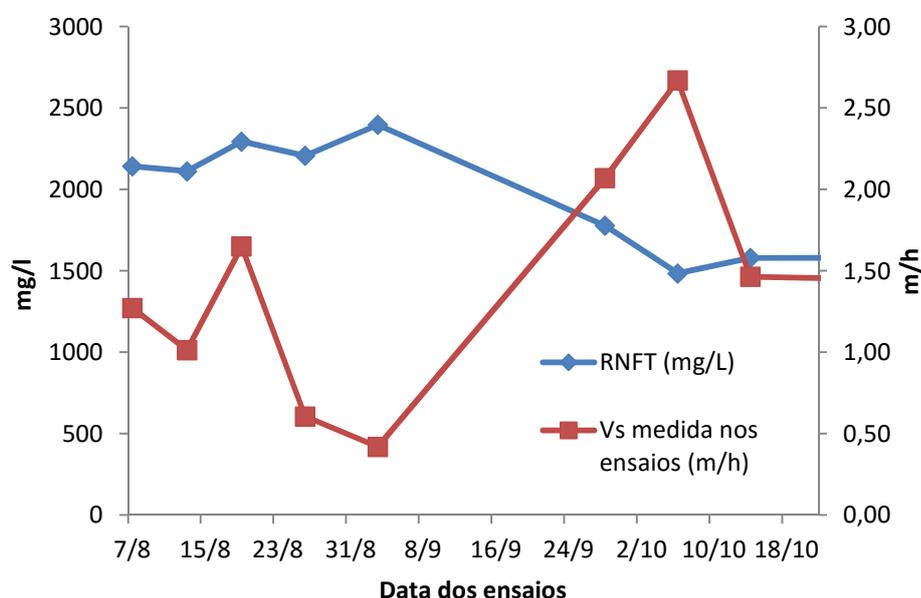
Figura 3.29: Variação das concentrações de RNFT, RNFT e IVL ao longo dos ensaios, ETEI da indústria alimentícia- com diluição de 50%



Fonte: Apêndice E, tabela E.5.

Mesmo com a diluição, as Vs iniciais ficaram abaixo das recomendadas por Van Haandel e Marais (1999) e Von Sperling (2011) consideradas boas para a sedimentação. Porém, quando comparadas com as Vs iniciais dos resultados sem diluição, apresentaram um aumento bem significativo, chegando a Vs inicial média a aumentar 19 vezes com a diluição do lodo. Com isso, pode-se afirmar que a concentração do lodo influencia diretamente na velocidade de sedimentação. A **figura 3.30** mostra a variação das velocidades e os valores de RNFT ao longo dos dias de ensaio.

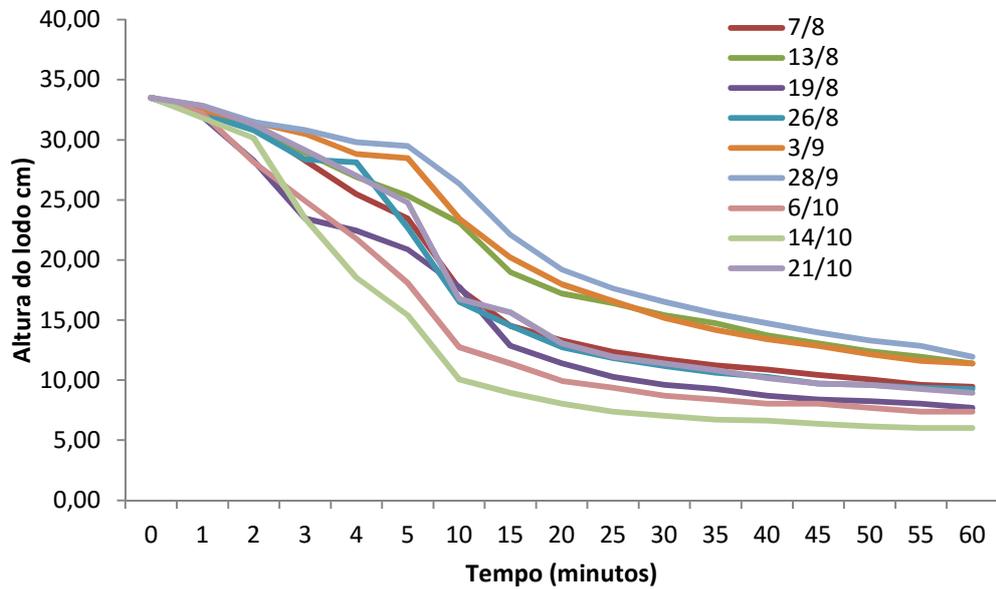
Figura 3.30: Variação da concentração de RNFT e Vs ao longo dos ensaios-ETEI da Indústria alimentícia- com diluição de 50%



Fonte: Apêndice E, tabela E.5.

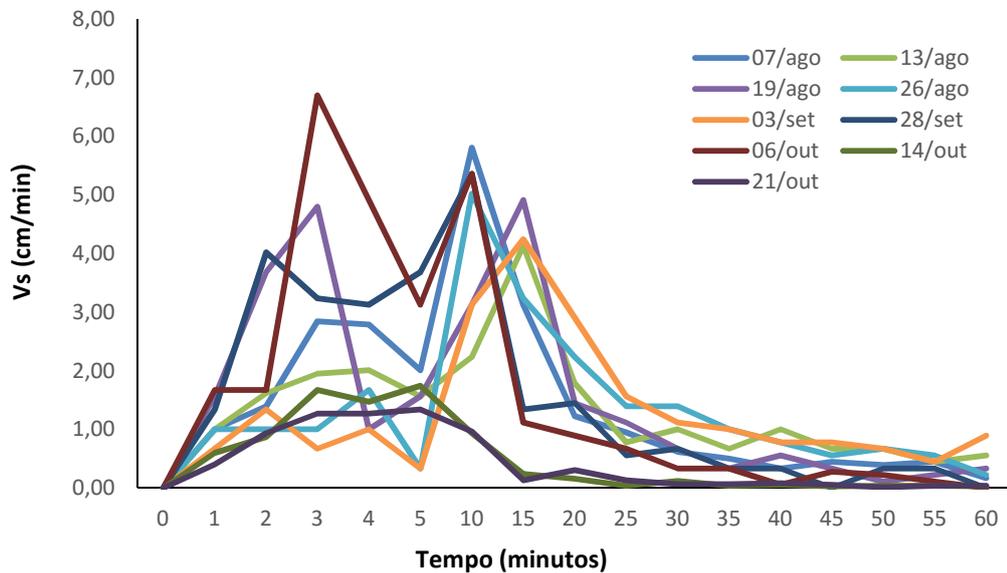
A **figura 3.31** mostra as curvas de sedimentabilidade dos ensaios com diluição. Pode-se notar a diferença nos perfis de sedimentabilidade do lodo da estação quando a amostra é diluída. Sem a diluição, a sedimentação se apresenta quase que como compressiva ao longo de todo o ensaio. Já com a diluição, a sedimentação evolui com características zonais até os 15 primeiros minutos de ensaio, passando então para a sedimentação compressiva, ou seja, até os primeiros 15 minutos de ensaio a concentração do lodo não estava alta o suficiente para interferir na Vs. Os resultados das Vs em cada intervalo de tempo podem ser vistos na **figura 3.32 e Apêndice F, tabela F.5**. A **figura 3.33** mostra a variação da concentração de lodo durante o tempo de ensaio.

Figura 3.31: Curvas de sedimentabilidade da ETEI da indústria alimentícia-com diluição de 50%



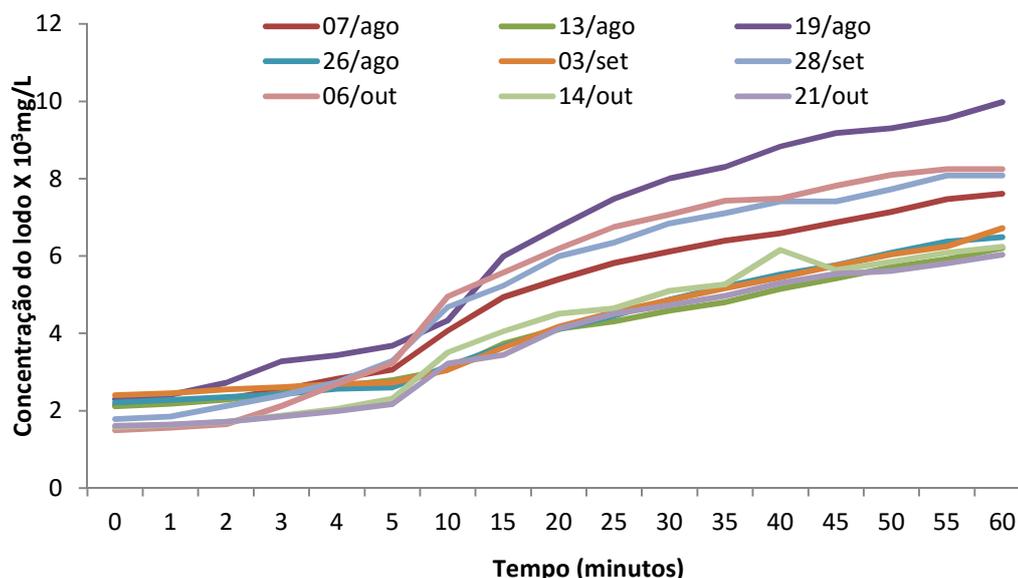
Fonte: Apêndice B, tabela B.5.

Figura 3.32: Variação da V_s durante o tempo de ensaio. ETEI da Indústria alimentícia-Com diluição de 50%



Fonte: Apêndice F, tabela F.5.

Figura 3.33: Variação da Vs durante o tempo de ensaio. ETEI da Indústria alimentícia- com diluição de 50%



Fonte: Apêndice G, tabela G.5.

A **tabelas 3.19**, mostra a matriz de correlação dos dados de RNFT, RNFV, IVL, material inerte, Razão RNFV/RNFT e Vs dos resultados com diluição. Mesmo com a diluição do lodo, não existe nenhuma correlação muito forte ente os dados de RNFT, IVL e Vs. No caso dessa matriz, não existe correlação entre IVL e RNFT, porem o IVL apresenta uma correlação forte negativa com a Vs. A Vs também apresenta correlação moderada negativa com a concentração de RNFT, RNFV e material inerte. Essa relação pode ser comprovada com os dados da **tabela E.5**, **apêndice E**.

Tabela 3.19- Matriz de correlação da Indústria alimentícia- Com diluição de 50%.

	RNFT	RNFV	IVL	Material inerte	Razão RNFV/RNFT	Vs medidas
RNFT	1	0,99	0,09	0,84	0,01	-0,65
RNFV	0,99	1	0,13	0,74	0,16	-0,67
IVL	0,09	0,13	1	-0,05	0,16	-0,77
Material inerte	0,84	0,74	-0,05	1	-0,53	-0,44
Razão RNFV/RNFT	0,01	0,16	0,16	-0,53	1	-0,14
Vs medidas	-0,65	-0,67	-0,77	-0,44	-0,14	1

LEGENDA: RNFT, RNFV, Material inerte= mg/L; IVL= ml/g; Vs medida= m/h

3.3.4- Comparação das Vs medidas nos ensaios com os modelos de DAIGGER (1995), Von Sperling & Fróes (1998) e Santos (2002)

Com base nas comparações dos resultados de Vs iniciais foi possível constatar que os modelos propostos para cálculos de Vs iniciais de esgoto doméstico não devem ser aplicados as estações de tratamento de efluentes industriais com características semelhantes a ETEI da indústria alimentícia estudada, pois podem gerar erros no dimensionamento e eventualmente problemas futuros no decantador, já que nenhuma das velocidades medidas nos ensaios ficou próxima ou igual às velocidades calculadas pelos diferentes autores. A **tabela 3.20 e 3.21** mostram os resultados estatísticos das velocidades medidas e calculadas pelos diferentes autores. Os resultados individuais estão no **apêndice H, tabela H.4 e H.5**.

Tabela 3.20- Análise dos dados das Vs medidas e calculadas utilizando os modelos de DAIGGER (1995), Von Sperling & Fróes (1998) e Santos (2002)- ETEI da Indústria alimentícia- sem diluição

	Vs medidas (m/h)	DAIGGER (1995) (m/h)	Von SPERLING & FRÓES (1998) (m/h)	SANTOS (2002) (m/h)
Média	0,07	1,58	0,62	0,66
Mínima	0,04	1,45	0,32	0,50
Máxima	0,19	2,13	0,87	1,09
DP	0,05	0,21	0,22	0,18

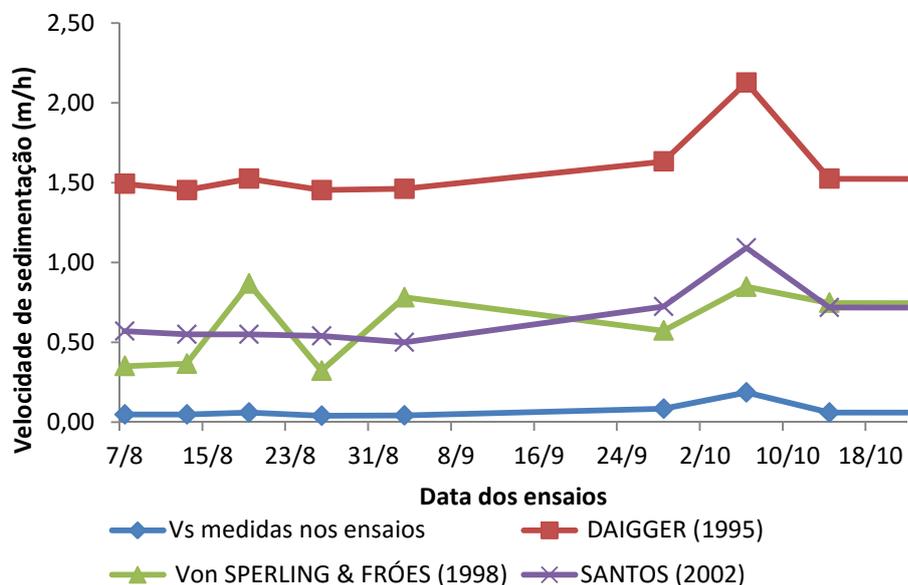
Tabela 3.21- Análise dos dados das Vs medidas e calculadas utilizando os modelos de DAIGGER (1995), Von Sperling & Fróes (1998) e Santos (2002)- ETEI da Indústria alimentícia- com diluição

	Vs medidas nos ensaios (m/h)	DAIGGER (1995) (m/h)	Von SPERLING & FRÓES (1998) (m/h)	SANTOS (2002) (m/h)
Média	1,36	3,76	2,61	2,76
Mínima	0,42	2,97	1,24	1,83
Máxima	2,67	4,65	4,09	4,04
DP	0,70	0,57	1,10	0,72

Nos resultados dos ensaios sem diluição do lodo, a velocidade calculada pelo modelo de Daigger (1995) foi muito maior do que a Vs inicial medida nos ensaios, ficando entre 11 e 36 vezes maior. Sendo o modelo que mais se distanciou da Vs medida. Por outro lado, o modelo de Von Sperling & Fróes (1998) foi o modelo que mais se aproximou da Vs medida, ficando entre 4 e 9 vezes maior que a Vs medida. Já o modelo de Santos (2002) apresentou diferença entre 6 a 12 vezes. A

figura 3.34 ilustra as diferenças entre as Vs iniciais medidas e calculadas pelos autores.

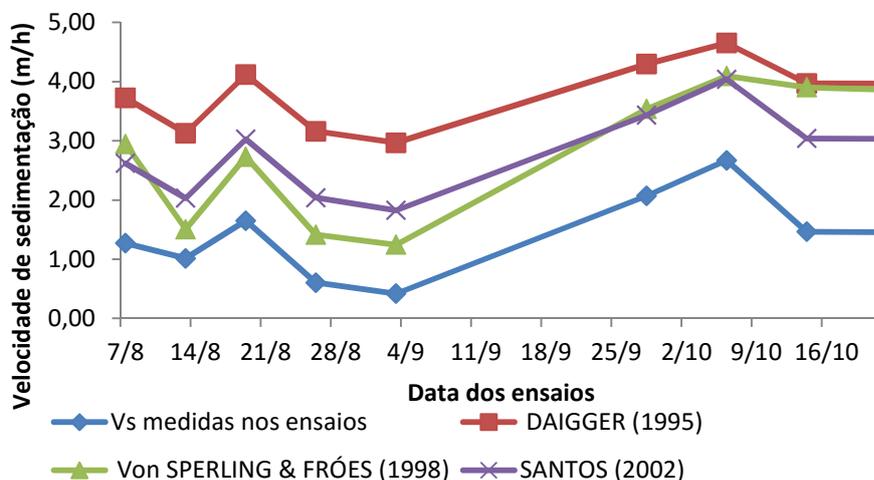
Figura 3.34: Comparação entre as Vs medidas e calculadas por Daigger (1995), Von Sperling (1998) e Santos (2002)- ETEI da Indústria Alimentícia- Sem diluição



Fonte: apêndice H, tabela H.4

Nos resultados dos ensaios com diluição do lodo, as diferenças entre as Vs calculadas e entre as Vs medidas foram menores. A Vs média calculada pelos diferentes autores ficou 2 vezes maior que a Vs média medida nos ensaios. Ou seja, quanto menores as concentrações de lodo e IVL, menor o erro do modelo. A **figura 3.35** mostra a variação das velocidades medidas e calculados pelos diferentes autores.

Figura 3.35: Comparação entre as Vs medidas e calculadas por Daigger (1995), Von Sperling (1998) e Santos (2002)- ETEI da Indústria alimentícia- Com diluição de 50%.



Fonte: apêndice H, tabela H.5

3.3.5- Resultados dos tempos de sedimentação medidos e calculados utilizando as equações de Santos (2002)

Não foi possível comparar os valores dos tempos de sedimentação calculados e medidos sem a diluição na indústria alimentícia, uma vez que os tempos calculados foram muito maiores que o tempo total de ensaio (60 minutos). O tempo médio de sedimentação calculado foi de 5 horas, como pode ser visto no **apêndice I, tabela I.4**. Para que os Ts pudessem ser comparados, o tempo de duração do ensaio deveria ter sido maior. Os resultados de tempo de sedimentação calculados e medidos com o lodo diluído ficaram relativamente mais próximos, como pode ser visto na **tabela 3.22**. O Ts médio calculado foi 2 vezes maior que o Ts medido no ensaio. Os resultados individuais de cada ensaio esta no **apêndice I, tabela I.5**.

Tabela 3.22- Tempo total de sedimentação medido e calculado- ETEI da Indústria alimentícia- com diluição

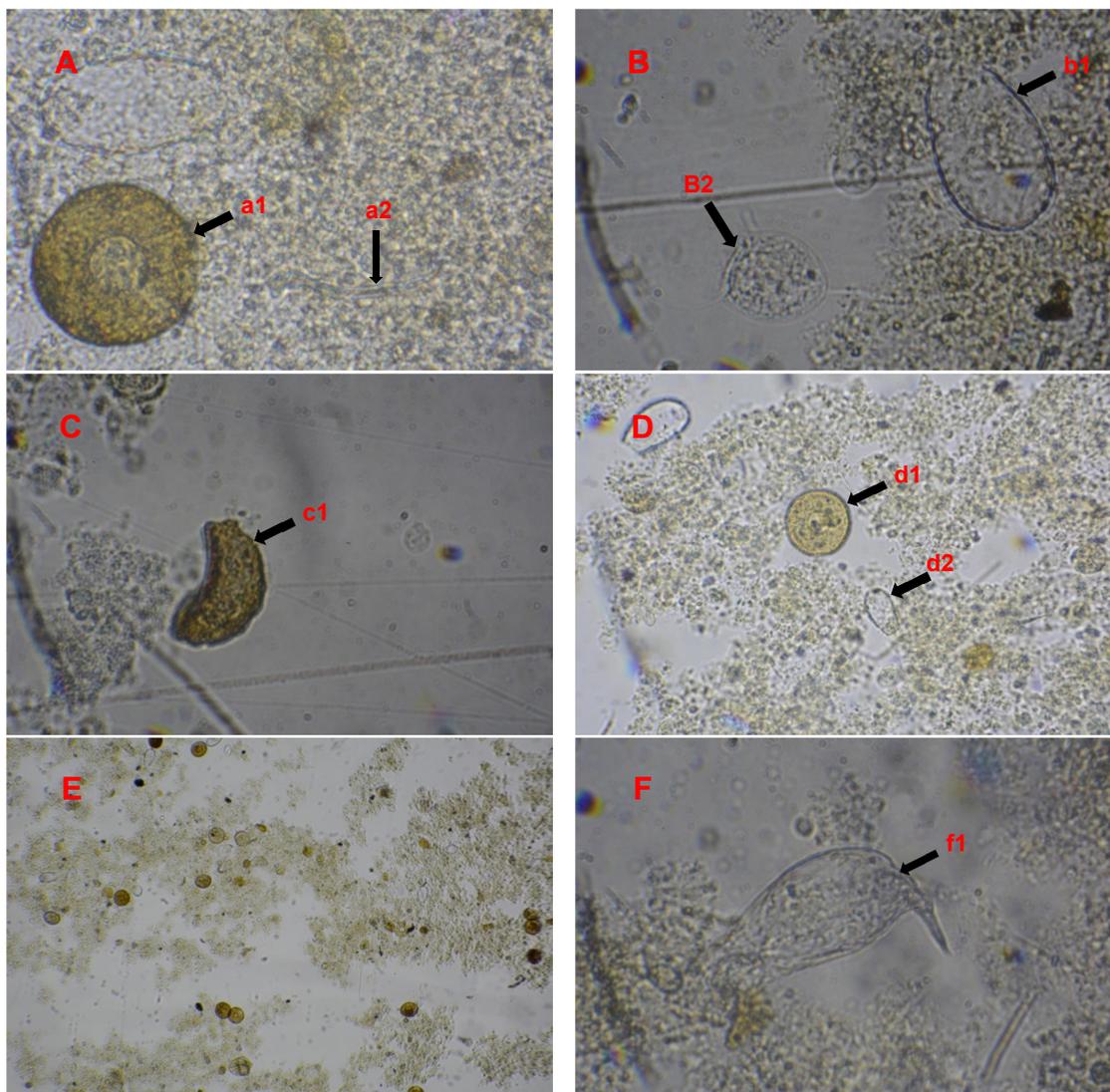
Data dos ensaios	Ts calculado (horas)	Ts medido (horas)
Mínimo	00:06:48	00:04:00
Média	00:16:51	00:05:27
Máxima	00:40:00	00:10:00
DP	00:10:45	00:01:44

3.3.6: Caracterização do floco biológico e da microfauna da indústria alimentícia.

A indústria alimentícia apresentou uma concentração muito alta de Tecamebas dos gêneros dos gêneros *Euglypha* e *Arcella*, como podem ser vistos na **figura 3.36**. De acordo com os trabalhos de Jenkins *et al.* (1993) e Bento *et al.* (2005), a predominância desses microrganismos indicam alto grau de estabilidade biológica do sistema, alta idade do lodo, boas reduções de DBO e DQO e condições de O₂ favorável à nitrificação, o que corroborando com os resultados do presente estudo. A presença desses microrganismos também indica que a ETEI esta operando com baixa carga orgânica, que pode ser comprovado pelos resultados de A/M. Embora tenha apresentado uma diversidade maior de microrganismos quando comparada com os efluentes das outras indústrias, apresentou poucos filamentosos. A ausência de filamentosos faz com que o lodo cresça disperso, tornando os flocos

mais leves e difíceis de sedimentarem. A composição microbiológica do lodo e o tamanho do floco foram os principais responsáveis pelas características de sedimentabilidade e altos IVLs registrados nos meses de estudo.

Figura 3.36: Caracterização dos flocos biológicos da ETEI da indústria alimentícia.



Legenda: A) a1) Tecameba do gênero *Arcella*, a2) anelídeo, aumento de 400X;
 B) b1) Tecamebas dos gêneros *Euglypha*, b2) Protozoário ciliado sésil, aumento de 400X; C) Protozoário flagelado predador de floco, aumento de 100X;
 D-E) Predominância de Tecamebas dos gêneros *Euglypha* e *Arcella*, aumento de 100X; F) Protozoário não identificado, , aumento de 1000X.

3.4- Comparação entre as três ETEI estudadas.

3.4.1- Parâmetros físico-químicos

As três estações estudadas apresentaram características de aeração prolongada e idade do lodo elevada. Todos os parâmetros físico-químicos analisados nas três estações estiveram dentro das faixas ideais recomendadas para os processos de lodos ativados. Também apresentaram eficiência na redução de DBO superiores as indicadas nos processos de lodos ativados. A indústria farmacêutica 01 foi a indústria que apresentou maiores variações de temperatura (entre 22,0 e 25°C) e pH (entre 6 e 7). As relações médias de RNFB/RNFT das indústrias farmacêuticas 01, 02 e alimentícia foram 0,67, 0,61 e 0,74 respectivamente, indicando um lodo bem digerido e com ótimas condições de desaguamento e secagem. Em todos os ensaios essa relação se manteve abaixo de 0,82. Porém, na indústria farmacêutica 02, dia 22/10/2015 devido ao descarte de lodo ocorrido nesta semana, essa relação foi de 0,89, muito acima do recomendado, caracterizando um lodo novo, não apropriado ao desaguamento.

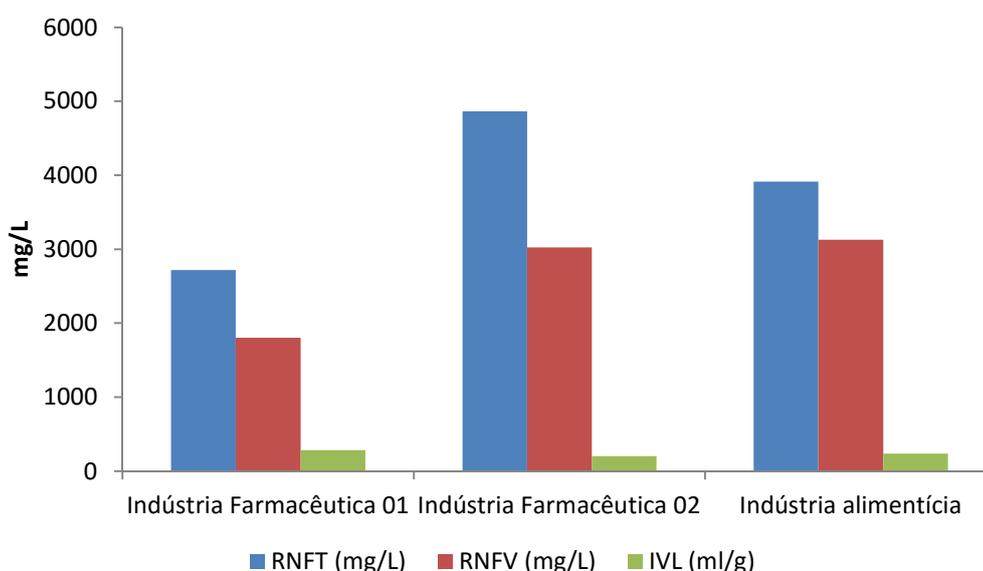
A relação A/M das três ETEs foram menores do que as faixa de operação do processo para aeração prolongada, descrita no tem 2.2 e recomendadas por Von Sperling (1997) e Santos (2012). Giordano e Surerus (2015), afirmam que essa faixa deve se manter próxima de 0,15 kg DBO₅ /kg .SSV .dia, e que valores menores podem criar condições endógenas, onde as células utilizaram suas reservas energéticas internas para a manutenção e sobrevivendo, levando a uma redução o material celular. A menor relação A/M foi registrada na indústria farmacêutica 01, com valores entre 0,02 e 0,03 kg DBO₅ /kg .SSV .dia, indicando que pode estar ocorrendo processos de nitrificação. A eficiência na redução de DQO registrada na indústria farmacêutica 01 indica um efluente com pouca biodegradabilidade ou com compostos tóxicos, característicos de efluentes gerados por indústrias farmacêuticas. Os autores Balcioglu e Ötker (2003) afirmam em seus estudos que efluentes de indústrias farmacêuticas são altamente resistentes ao tratamento biológico. No entanto, essa mesma relação não foi registrada na indústria farmacêutica 02, que apresentou efluente com características altamente biodegradáveis, comprovados pela eficiência de 97 a 98% tanto na redução de DBO quando na redução de DQO. A indústria alimentícia foi a indústria que apresentou a maior A/M (média de 0,04 kg DBO₅ /kg .SSV .dia) , maior eficiência na redução de DBO (98%), porém baixa redução de DQO (média de 90%). Essa eficiência na redução de DQO pode ter sido ocasionada pela presença de produtos sanitizantes utilizado para limpeza da fábrica e maquinários (processo conhecido como CIP).

3.4.2- Resultados de IVL e Velocidade de sedimentação

3.4.2.1- Ensaio sem diluição

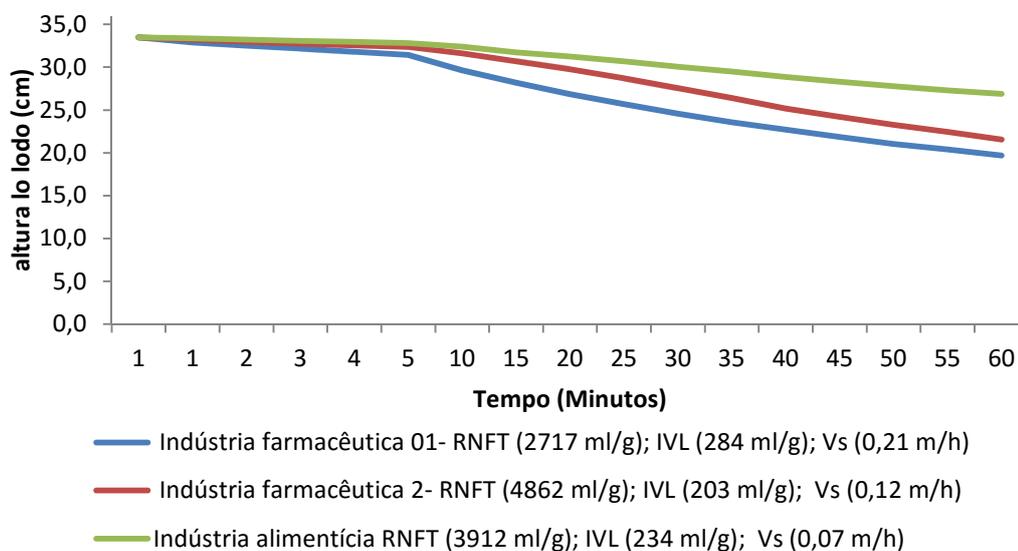
As três ETEIs apresentaram IVL médios maiores que 200 ml/g, caracterizando a sedimentabilidade das três ETEIs como muito ruim quando comparadas com os resultados de Van Haandel e Marais (1999). Já de acordo com a interpretação dos resultados de Von Sperling (2001) e Jordão e Pessôa (2014), a sedimentabilidade das três ETEIs podem ser caracterizadas como ruim, tendendo a péssima ou praticamente impossível. A V_s também ficou muito abaixo das V_s recomendadas pelos respectivos autores, e também ficaram muito diferentes entre si. A maior V_s foi registrada na ETEI da indústria farmacêutica 01, que apresentou também a menor concentração de sólidos no reator biológico. Entre tanto, a presença de microrganismos filamentosos fez com que o lodo da indústria farmacêutica 01 ficasse intumescido, gerando altos IVL. A **figura 3.37** mostra os resultados médios de RNFT, RNFV e IVL dos reatores das três indústrias.

Figura 3.37: Comparação entre os resultados médios de RNFT, RNFV, e IVL das três ETEIs estudadas. Sem diluição.



A **figura 3.38** mostra a comparação entre os perfis de sedimentabilidade das indústrias estudadas.

Figura 3.38: Comparação entre as médias de altura X tempo das três ETEIs estudadas. Sem diluição.



3.4.2.2- Ensaios com diluição

Com o lodo diluído, a indústria farmacêutica 01 apresentou IVL médio de 192 ml/g e a alimentícia 197 ml/g. Não houve maiores diferenças entre as razões RNFV/RNFT comparando-se os ensaios diluídos e não diluídos. As maiores diferenças entre eles foram registradas nos ensaios de Vs, principalmente nos primeiros minutos (entre 5 e 20 minutos). Nos ensaios sem diluição, a Vs média que era de 0,21 e 0,07 m/h nas indústrias farmacêuticas 01 e alimentícia respectivamente, passando para 2,37 e 1,36 m/h nos ensaios com diluição, respectivamente. A **figura 3.39** mostra os resultados médios de RNFT, RNFV e IVL das indústrias farmacêutica 01 e alimentícia, e a **figura 3.40** mostra a curva de sedimentabilidade desses ensaios.

Figura 3.39: Comparação entre os resultados médios de RNFT, RNFV e IVL, das indústrias farmacêutica 01 e alimentícia. Com diluição de 50%

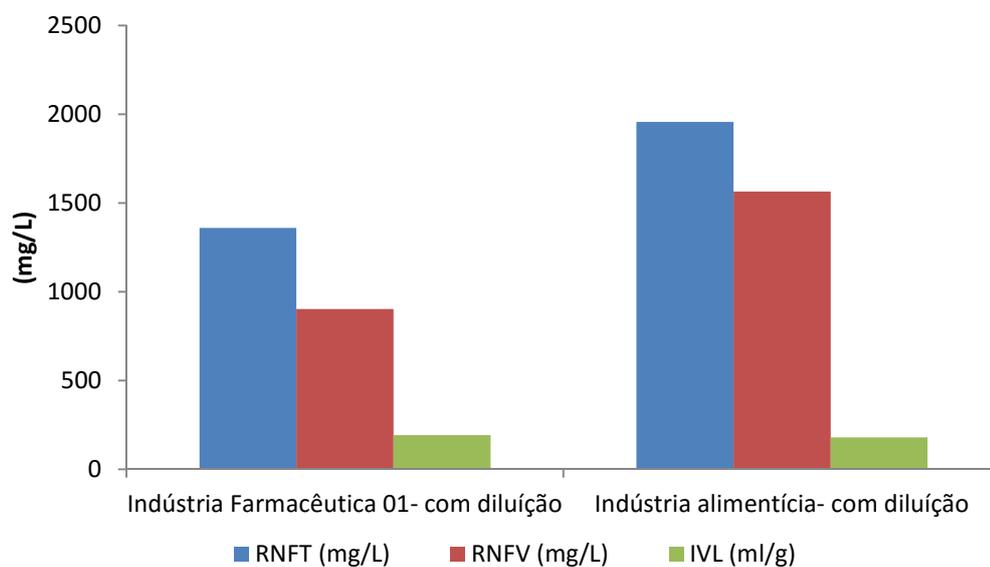
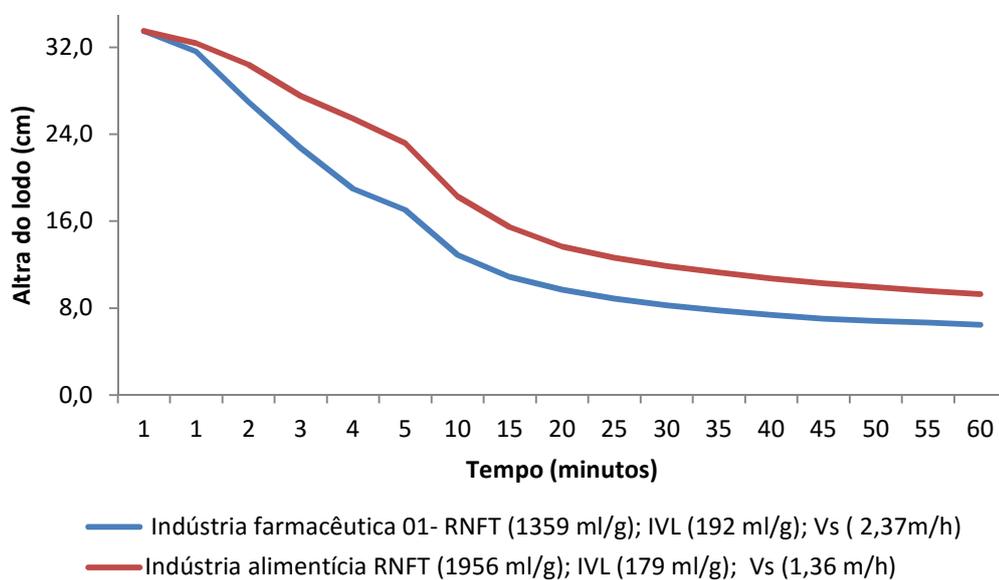


Figura 3.40: Comparação entre as curvas de sedimentabilidade das ETEI das indústrias farmacêutica 01 e alimentícia. Com diluição de 50%.



4- CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

4.1- Conclusão:

- As três indústrias analisadas apresentaram características de aeração prolongada e idade do lodo elevada. Os parâmetros físico-químicos analisados estiveram dentro das faixas indicadas como ótimas para o bom funcionamento dos reatores biológicos, resultando em ótima eficiência na redução de DBO.
- A baixa relação A/M e baixa redução de DQO na indústria farmacêutica 01 indica presença de compostos de difícil biodegradação nos seus efluentes. Já a indústria farmacêutica 02 apresentou características de efluentes altamente biodegradáveis. Embora tenha apresentado ótima eficiência na redução de DBO, a indústria alimentícia também apresentou compostos de difícil biodegradação na composição de seus efluentes.
- Nos ensaios de sedimentação sem a diluição do lodo tanto os valores de IVL quanto a V_s inicial caracterizam a sedimentabilidade dos lodos das três indústrias como muito ruim ao longo de todos os meses de ensaio. A alta concentração de RNFT presente nos reatores fez com que a sedimentação evoluísse com características de sedimentação compressiva.
- Com a diluição do lodo, as V_s iniciais da indústria farmacêutica 01 e alimentícia tiveram aumento de mais de 10 vezes nos primeiros minutos de ensaio. A sedimentação evoluiu com características zonais até os 15 primeiros minutos de ensaio. A partir de então, a sedimentação evoluiu com características de sedimentação compressiva. Desta forma, conclui-se que as concentrações dos sólidos presentes nos reatores influenciam diretamente na V_s inicial.

- As três indústrias apresentaram correlação negativa entre RNFT e IVL e RNFT e Vs, caracterizando que quanto maior a concentração de RNFT menor o IVL.
- Tanto os parâmetros físico-químicos quanto a presença de *Euglypha* e *Arcella* no lodo das indústrias farmacêutica 02 e alimentícia indicam que essas ETEs operavam com baixa relação A/M, alto grau de estabilidade biológica e elevada idade do lodo.
- A presença de microrganismos filamentosos e o tamanho dos flocos são os principais responsáveis pela sedimentabilidade do lodo biológico. A presença de bactérias filamentosas nas indústrias farmacêuticas foram as responsáveis pelo intumescimento do lodo, gerando lodos volumosos e com muita dificuldade de sedimentar. Já a ausência desses microrganismos na indústria alimentícia fez com que o lodo ficasse mais disperso e leve, também com dificuldades de sedimentar, o que ocasionou altos IVLs.
- As velocidades medidas nos ensaios sem diluição e as calculadas utilizando os modelos propostos para esgotos domésticos foram muito diferentes, no entanto, com a diluição do lodo a diferença entre as velocidades torna-se muito menor. Porém, devido as especificidades dos efluentes gerado por cada indústria, essas equações não devem ser utilizadas no dimensionamento.
- A equação de tempo de sedimentação proposta por Santos (2002) é válida para concentrações de RNFT iniciais menores que $2,4 \times 10^3$ mg/L.
- Tanto os sistemas de fluxo contínuo quanto o sistema de RBS apresentaram características de sedimentação similares.
- Embora existam muitos modelos racionais para dimensionamento e operação de ETE, para efluentes industriais, os estudos de tratabilidade são os mais indicados.

4.2- Recomendações:

- Para verificar a validade das equações propostas para V_s em ETEIs, recomenda-se realizar os ensaios com diluição maiores.
- Para verificar a validade do tempo de sedimentação proposto por Santos (2002) em efluentes com concentração de sólidos iniciais maiores que $2,4 \times 10^3$ mg/L, recomenda-se aumentar o tempo de ensaio.
- Para um melhor acompanhamento da eficiência de ETEIs recomenda-se o uso da microscopia do lodo, uma vez que a composição e o tamanho dos flocos podem ser os principais responsáveis pela característica do efluente final.

REFERÊNCIAS

- AKINTONWA, A.; AWODELE, O.; OLOFINNADE, A. T.; ANUYAKORA, C.; AFOLAYAN, G. O.; COKER, H. A. B.; *Assessment of the mutagenicity of some pharmaceutical effluents*. American Journal of Pharmacology and Toxicology, Vails Gate, v. 4, p. 144-150, 2009.
- ALVES, S. D. *Estudo comparativo da sensibilidade de dois organismos expostos a efluentes líquidos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)- Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. 123f
- ANDREW J; SCHULER; HOON JANG; *Density effects on activated sludge zone settling velocities*. Water Research 41 (2007) 1814 – 1822
- APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22th ed. American Public Health Association, Washington, DC, 2012.
- ARAÚJO, L.G.B.R. *Avaliação da influência dos nutrientes metálicos nos processos de lodos ativados*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)- Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. 186f
- ARTAN, N.; WILDERER, P.; ORHON, D.; MORGENROTH, E.; ÖZGÜR, N.; *The mechanism and design of sequencing batch reactor systems for nutrient removal – the state of the art*. Water Science and Technology, 43, (3), 53-60. 2001
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209: *Projeto de estações de tratamento de esgotos sanitários*. Rio de Janeiro, 1992. 12 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9648: *Estudo de concepção de sistemas de esgotos sanitários*. Rio de Janeiro, 1986. 5 p.
- AZEVEDO, C.G. *Simulação da operação de sedimentos contínuos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química, Uberlândia, Brasil, 2009.
- BALCIOĞLU, I. A.; ÖTKER, M. *Treatment of pharmaceutical wastewater containing antibiotics by O3 and O3/H2O2 processes*. Chemosphere, Oxford, v. 50, p. 85-95, 2003.
- BASSIM, P. J. *Remoção biológica de nutrientes em sistemas compactos e estudo da diversidade microbiana por técnicas de biologia molecular*. Tese de Doutorado. Engenharia Química. COPPE-UFRJ. Rio de Janeiro. RJ. 2012.
- BENTO, A.P.; SEZERINO, P. H.; PHIPIPI, L. S.; REGINATTO, V.; LAPOLLI, F. R.; *Caracterização da microfauna em estações de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo*. Engenharia Sanitária e Ambiental, [S.l.], v.10, n.4, p. 329-338, out./dez. 2005.

BERANGER, M. A. *Avaliação da Influência do pH na respiração de Lodos Ativados*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)- Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, 2009.

BISOONI, J. J. JR.; LAWRENCE, A. WM. *Relationships between biological solids retention time and settling characteristics of activated sludge*. Water Research Pergamon Press 1971, Vol 5, pp. 753- 763. Printed in Great Britain.

BITTON, G. *Wastewater Microbiology*. 3a ed. Nova Iorque: Department Environmental Engineering Sciences. University of Florida, Gainesville. 2005.p.746.

BRAGA, B. *Introdução à engenharia ambiental*, 2ª edição. São Paulo: Pearson, 2005.

BREMER, P. J. *Laboratory scale Clean-In-Place (CIP) studies on the effectiveness of different caustic and acid wash steps on the removal of dairy biofilms*. Elsevier Science & International Journal of Food Microbiology, University of Otago, New Zealand, 2005.

CAVALCANTI, J. E. W. A. *Manual de Tratamento de Efluentes Industriais*. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda., 2012. 2ª Edição ampliada.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Microbiologia de lodos ativados. Editora CETESB, São Paulo, 2000.

CHEN, G. W.; CHANG, I. L.; HUNG, W. T.; LEE, D. J. *Regime for zone setting of waste activated sludges*. Wat. Res. Vol. 30. N° 8. Pp. 1844-1850. 1996.

COE, H. S.; CLEVENGER, G. H. *Determining Thickener Unit Areas*. Am. Inst. Mining, Metal, Petrol. Eng. AIME, 55, 3. 1916.

CORDI, L.; ASSALIN, M. R.; DIEZ, M. C.; DURAN, N.; *Montagem, partida e operação de um sistema de lodos ativados para o tratamento de efluentes: Parâmetros físico-químicos e biológicos*. Engenharia Ambiental. Espírito Santo do Pinhal, v.5, n. 1, p. 097 – 115, 2008.

COSTA, T. B.; *Desempenho de reator em batelada sequencial (RBS) com enchimento escalonado no tratamento de esgoto sanitário doméstico*. Dissertação de mestrado em Engenharia Ambiental. Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, SC. 2005

DAIGGER, G. T. *Development of refined clarifier operating diagrams using an updated settling characteristics database*. Water Environment Research, v. 67, n. 1, pp 95-100, 1995.

DEZOTTI, M. *Curso de tratamento de efluentes*. Escola Piloto Virtual do Programa de Engenharia Química da COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2003.

ECKENFELDER, W. W. Jr. *Industrial Water Pollution Control*, 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1989. 400p.

FIGUEIREDO, M. G.; DOMINGUES, V. B. *Microbiologia de Lodos Ativados*. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo: CETESB, 48 p. 1997.

GERARDI, M. H. *Wastewater bacteria*. New Jersey, 2006. 272 p.

GERARDI, M.H. *An operator's guide to protozoa and their role in the activated sludge process*. Public Works, p. 44-47/90-92, July. 1986.

GIORDANO, G.; SURERUS, V.; *Efluentes Industriais- Estudo de Tratabilidade*. Rio de Janeiro: Publit, 2015. 196 pg.

GUIMARÃES, F. A. V. *Revisão nos métodos de dimensionamento de espessadores e comparação dos modelos industriais*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. MG. 2010.

JENJINKS, D., RICHARDd, M. G., DAIGGER, G. T., *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming*, 2th Edition, Lewis Publishers, Michigan. 1993.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 7ª edição. Rio de Janeiro- ABES, 2014. 1050p.

JORDÃO, E. P.; VILLAS BÔAS, D.; CONCEIÇÃO, J. R.; SILVA, T. C. R. *Controle microbiológico na operação de um sistema de lodos ativados – Estudo em escala piloto*. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 1997.

KYNCH, G. J. "A theory of sedimentation." *Transactions, Faraday Society*, v. 48, pp 166-176, 1952.

MADONI, P.A. *Sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the micro fauna analyses*. *Water Research*, Grã – Bretanha, v.28, n.1, p.67-75, 1994.

MAHVI, A. H. *Sequencing batch reactor: a promising technology in wastewater treatment*. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, 2008, Vol. 5,nº 2, pp. 79-90.

MCKINNEY, R. E. "Mathematics of complete-mixing activated sludge." *Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE*, v. 88, n. SA 3, pp 87-113, 1962.

METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. EUA: McGraw-Hill, 4ª edição, 2005.

MILOSKI, J. *caracterização da microbiota envolvida nos processos aeróbios (lodos ativados) e anaeróbios (UASB) de uma indústria de alimentos*. Dissertação de Mestrado- Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. 98f

NUNES, J.F., *Estudo da sedimentação Gravitacional de Suspensões Floculentas*. Dissertação de mestrado, FEQ/ UFU, Uberlandia, Brasil 2008.

NUVOLARI, A. *Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola*. 2ª edição revista, atualizada e ampliada. Blucher. 2011.

OLIVEIRA, G. S. S.; ARAÚJO, C. V. M.; FERNANDES, J. G. S. *Microbiologia de sistema de lodos ativados e sua relação com o tratamento de 175 efluentes industriais: a experiência da Cetrel*. Engenharia Sanitária e Ambiental, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 183- 192, abr./jun. 2009.

ORHON, D., ARTAN, N. *Modelling of activated sludge systems*. Technomic Publishing Co., 1994. 589 p. 1994.

PAULA, L. G.A.; *Avaliação da influência das condições operacionais e da configuração de sistemas de lodos ativados sobre a sedimentação do lodo*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). 2014.

SANTA'ANNA, Jr., G. L. *Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações*. Rio de Janeiro. Editora Interciência, 2010. 418p.

SANTOS, E. V. M.; LIMA, J. F.; SILVA FILHO, H. A.; SOUZA, J. T.; HAADEL, A. C. V.; *Avaliação da sedimentabilidade de biomassa granular e floculenta em sistemas de lodos ativados*. HOLOS, Ano 30, Vol. 3 – Edição Especial- XXV ENTMME/ VII MSHNT. 2014.

SANTOS, L.S. *A influência da salinidade nos processos de tratamento de efluentes por lodos ativados*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Faculdade de Engenharia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.

SANTOS, R. C. *Proposta de um método racional para dimensionamento de sistemas de tratamento de esgotos por lodos ativados em batelada*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Faculdade de Engenharia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.

SANTOS, R. C. O.; BARBOSA FILHO, O.; GIORDANO, G. *Proposta de um método racional para o dimensionamento de reatores de tratamento de esgotos por lodos ativados em bateladas para remoção de carga orgânica*. Engenharia Sanitária Ambiental, Vol. 11 – Nº 2, 2006. 153 – 161 p.

SILVA, L. M.; *Avaliação de sistema não convencional de esgoto sanitário e do impacto dos efluentes no corpo receptor*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2003.

SILVA, T. A. *Estudo teórico- Experimental da operação de sedimentadores divergentes*. Dissertação de mestrado, FEQ/ UFU, Uberlândia, Brasil 2004.

SILVA; MARA, S. A.; MARA, D. D. *Tratamentos biológicos de águas residuárias: lagoas de estabilização*. Rio de Janeiro: ABES, 1979. 140 p.

VANDERHASSELT, A.; VANROLLEGHEM, A. P.; *Estimation of sludge sedimentation parameters from single batch settling curves*. Wat. Res. Vol. 34, No. 2, pp. 395±406, 2000.

VANDERHASSELT, A.; VERSTRAETE, W.; *Short- term effects of additives on sludge sedimentation characteristics*. Wat. Res. Vol. 33, No. 2, pp. 381±390, 1999

VAN HAANDEL, A.C.; VAN DER LUBBE, J. *Handbook biological wastewater treatment, design and optimization of activate sludge systems*. 2012.

VAN HANDEEL, A. C.; MARAIS, G. *O comportamento do sistema de lodos ativados- Teoria e aplicações para projetos e operações*. Campina Grande, PB. 472p., 1999

VAZOLLÈR, R. F.; GARCIA, A. D.; CONCEIÇÃO NETO, J. *Microbiologia de Lodos Ativados: Série manuais*. CETESB – Companhia de tecnologia de Saneamento Ambiental. CETESB, 23p., 1991.

VESILIND, P.A. *Theoretical considerations: desingn of prototype thickeners from batch settling test*. Water and Sewage Works 1968.

VESILIND, P. A. *Discussão de Evaluation of activated sludge thickening theories*, de Dick, R. I. & Ewing, B. B. Journal of Sanitary Engineering Division, ASCE, v. 94, n. AS 1, pp 185-190, 1968.

VIETTI, A. J.; DUNN, F.; *A description of the sedimentation process during dynamic thickener operation* R.J. Jewell, A.B. Fourie and D. Van Zyl (eds) © Australian Centre for Geomechanics, Perth, ISBN 978-0-98709xx-x-x. 2014

Von SPERLING, M. *Dimensionamento de lodos ativados por batelada utilizando os princípios da teoria do fluxo de sólidos*. Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, v. 6, n. 3, n. 4, pp 147-156, 2001.

Von SPERLING, M., FRÓES, C. M. V. *Dimensionamento e controle de decantadores secundários com base em uma abordagem integrada e simplificada da teoria do fluxo de sólidos*. Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), v. 3, n. 1/2, pp 42-54, 1998.

WILLIBALDO,S., et al. *Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. CNPQ. Florianópolis, 2007.

WILSON, T. E., *Clarifier design*. WEF manual of practice N°. FD-8. Water Environment Federation. Alexandria, USA. 2005.746p.

APÊNDICE A: Volume (ml) de lodo em cada intervalo de Tempo (min)= médias das triplicatas

Tabela A.1: Indústria farmacêutica 01- sem diluição

Tempo (Min)	25/8	3/9	9/9	10/9	22/9	28/9	5/10	6/10	14/10	21/10
0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0
1	980,0	985,0	980,0	990,0	980,0	956,7	980,0	990,0	990,0	990,0
2	970,0	980,0	973,3	985,0	946,7	930,0	970,0	985,0	985,0	980,0
3	960,0	970,0	971,7	980,0	920,0	900,0	961,7	980,0	980,0	980,0
4	953,3	961,7	963,3	975,0	890,0	870,0	955,0	975,0	975,0	980,0
5	943,3	958,3	961,7	970,0	860,0	830,0	946,7	970,0	970,0	970,0
10	903,3	930,0	926,7	960,0	733,3	656,7	900,0	943,3	943,3	950,0
15	846,7	900,0	890,0	936,7	643,3	576,7	856,7	923,3	923,3	920,0
20	800,0	860,0	860,0	920,0	573,3	520,0	810,0	893,3	893,3	890,0
25	743,3	830,0	826,7	896,7	533,3	476,7	766,7	866,7	873,3	860,0
30	713,3	790,0	796,7	856,7	490,0	446,7	730,0	843,3	833,3	833,3
35	660,0	763,3	756,7	846,7	460,0	416,7	696,7	820,0	813,3	800,0
40	626,7	733,3	733,3	823,3	433,3	396,7	666,7	793,3	790,0	780,0
45	596,7	710,0	706,7	800,0	416,7	370,0	636,7	770,0	770,0	746,7
50	566,7	680,0	680,0	776,7	396,7	360,0	606,7	743,3	740,0	730,0
55	543,3	670,0	656,7	753,3	383,3	346,7	586,7	723,3	720,0	703,3
60	523,3	640,0	636,7	733,3	370,0	330,0	566,7	700,0	700,0	683,3

Tabela A.2: Indústria farmacêutica 01- Com diluição

Tempo (Min)	25/8	3/9	9/9	10/9	22/9	28/9	5/10	6/10	14/10	21/10
0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
1	936,7	940,0	950,0	950,0	950,0	930,0	950,0	950,0	943,3	943,3
2	796,7	830,0	816,7	840,0	866,7	650,0	810,0	850,0	873,3	850,0
3	650,0	683,3	700,0	700,0	750,0	500,0	683,3	766,7	776,7	743,3
4	546,7	550,0	570,0	550,0	696,7	360,0	556,7	660,0	696,7	630,0
5	523,3	473,3	500,0	500,0	623,3	350,0	486,7	603,3	606,7	556,7
10	460,0	346,7	370,0	370,0	450,0	260,0	356,7	446,7	463,3	416,7
15	326,7	300,0	320,0	320,0	400,0	230,0	306,7	380,0	396,7	350,0
20	280,0	263,3	286,7	280,0	360,0	200,0	276,7	346,7	350,0	313,3
25	253,3	243,3	260,0	260,0	330,0	190,0	250,0	306,7	326,7	290,0
30	233,3	230,0	246,7	243,3	306,7	180,0	236,7	293,3	293,3	260,0
35	216,7	216,7	230,0	230,0	286,7	170,0	226,7	273,3	280,0	250,0
40	203,3	200,0	216,7	220,0	270,0	160,0	216,7	253,3	266,7	240,0
45	193,3	200,0	211,7	210,0	260,0	150,0	206,7	243,3	243,3	230,0
50	190,0	190,0	208,3	200,0	250,0	146,7	196,7	233,3	240,0	230,0
55	181,7	180,0	201,7	200,0	240,0	146,7	190,0	230,0	240,0	220,0
60	175,0	180,0	200,0	190,0	233,3	136,7	186,7	220,0	230,0	220,0

Tabela A.3: Indústria farmacêutica 02- sem diluição

Tempo (Minutos)	25/8	11/9	15/9	18/9	1/10	22/10	29/10	30/10
0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0
1	990,0	990,0	996,7	991,7	988,3	993,3	993,3	990,0
2	980,0	985,0	991,7	985,0	983,3	983,3	986,7	980,0
3	970,0	980,0	986,7	980,0	976,7	973,3	986,7	976,7
4	963,3	975,0	981,7	975,0	971,7	970,0	976,7	970,0
5	956,7	970,0	976,7	966,7	966,7	963,3	970,0	966,7
10	923,3	943,3	960,0	953,3	946,7	940,0	950,0	943,3
15	886,7	910,0	943,3	930,0	916,7	916,7	923,3	920,0
20	843,3	866,7	923,3	906,7	886,7	886,7	900,0	900,0
25	796,7	830,0	896,7	883,3	863,3	860,0	870,0	873,3
30	740,0	783,3	870,0	853,3	833,3	830,0	843,3	850,0
35	683,3	740,0	833,3	826,7	800,0	800,0	813,3	823,3
40	636,7	703,3	800,0	800,0	773,3	756,7	786,7	796,7
45	603,3	670,0	770,0	760,0	743,3	726,7	756,7	770,0
50	563,3	633,3	743,3	723,3	720,0	700,0	736,7	750,0
55	540,0	613,3	713,3	715,0	700,0	673,3	706,7	720,0
60	510,0	583,3	690,0	676,7	670,0	653,3	683,3	700,0

Tabela A.4: Indústria alimentícia- sem diluição

Tempo (Min)	7/8	13/8	19/8	26/8	3/9	28/9	6/10	14/10	21/10
0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0
1	1000,0	1000,0	991,7	1000,0	995,0	995,0	990,0	995,0	1000,0
2	995,0	995,0	988,3	990,0	995,0	990,0	980,0	993,3	1000,0
3	995,0	990,0	985,0	990,0	995,0	985,0	970,0	990,0	990,0
4	991,7	990,0	985,0	985,0	990,0	980,0	960,0	985,0	990,0
5	988,3	985,0	983,3	980,0	990,0	973,3	950,0	980,0	990,0
10	976,7	985,0	978,3	980,0	980,0	956,7	903,3	970,0	973,3
15	966,7	980,0	965,0	980,0	970,0	936,7	810,0	956,7	960,0
20	951,7	966,7	950,0	963,3	960,0	916,7	793,3	946,7	950,0
25	941,7	953,3	940,0	953,3	950,0	893,3	750,0	923,3	940,0
30	926,7	943,3	913,3	943,3	940,0	870,0	703,3	913,3	920,0
35	911,7	931,7	895,0	933,3	926,7	850,0	666,7	900,0	913,3
40	900,0	913,3	871,7	923,3	916,7	820,0	633,3	880,0	900,0
45	883,3	903,3	853,3	915,0	906,7	800,0	596,7	866,7	883,3
50	871,7	893,3	835,0	906,7	896,7	780,0	573,3	846,7	856,7
55	861,7	876,7	818,3	893,3	890,0	760,0	546,7	833,3	860,0
60	848,3	870,0	803,3	885,0	880,0	750,0	523,3	820,0	840,0

Tabela A.5: Indústria alimentícia- com diluição

Tempo (Min)	7/8	13/8	19/8	26/8	3/9	28/9	6/10	14/10	21/10
0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0
1	970,0	970,0	953,3	970,0	980,0	960,0	950,0	970,0	980,0
2	928,3	921,7	843,3	940,0	940,0	840,0	900,0	926,7	933,3
3	843,3	863,3	700,0	910,0	920,0	743,3	700,0	843,3	870,0
4	760,0	803,3	670,0	860,0	890,0	650,0	553,3	770,0	806,7
5	700,0	756,7	623,3	850,0	880,0	540,0	460,0	683,3	740,0
10	526,7	690,0	530,0	700,0	786,7	380,0	300,0	450,0	500,0
15	433,3	566,7	383,3	603,3	660,0	340,0	266,7	390,0	466,7
20	396,7	513,3	340,0	536,7	573,3	296,7	240,0	350,0	390,0
25	368,3	490,0	306,7	495,0	526,7	280,0	220,0	340,0	356,7
30	350,0	460,0	286,7	453,3	493,3	260,0	210,0	310,0	340,0
35	335,0	440,0	276,7	423,3	463,3	250,0	200,0	300,0	323,3
40	325,0	410,0	260,0	400,0	440,0	240,0	198,3	256,7	303,3
45	311,7	390,0	250,0	383,3	416,7	240,0	190,0	280,0	290,0
50	300,0	370,0	246,7	363,3	396,7	230,0	183,3	270,0	286,7
55	286,7	356,7	240,0	346,7	383,3	220,0	180,0	260,0	276,7
60	281,7	340,0	230,0	340,0	356,7	220,0	180,0	253,3	266,7

APÊNDICE B: Altura (cm) do lodo medida em cada ensaio e análise estatística da altura do lodo

Tabela B.1: Indústria farmacêutica 01- sem diluição

Tempo (Min)	25/08	03/09	09/09	10/09	22/09	28/09	05/10	06/10	14/10	21/10
0	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50
1	32,83	33,00	32,83	33,17	32,83	32,05	32,83	33,17	33,17	33,17
2	32,50	32,83	32,61	33,00	31,71	31,16	32,50	33,00	33,00	32,83
3	32,16	32,50	32,55	32,83	30,82	30,15	32,22	32,83	32,83	32,83
4	31,94	32,22	32,27	32,66	29,82	29,15	31,99	32,66	32,66	32,83
5	31,60	32,10	32,22	32,50	28,81	27,81	31,71	32,50	32,50	32,50
10	30,26	31,16	31,04	32,16	24,57	22,00	30,15	31,60	31,60	31,83
15	28,36	30,15	29,82	31,38	21,55	19,32	28,70	30,93	30,93	30,82
20	26,80	28,81	28,81	30,82	19,21	17,42	27,14	29,93	29,93	29,82
25	24,90	27,81	27,69	30,04	17,87	15,97	25,68	29,03	29,26	28,81
30	23,90	26,47	26,69	28,70	16,42	14,96	24,46	28,25	27,92	27,92
35	22,11	25,57	25,35	28,36	15,41	13,96	23,34	27,47	27,25	26,80
40	20,99	24,57	24,57	27,58	14,52	13,29	22,33	26,58	26,47	26,13
45	19,99	23,79	23,67	26,80	13,96	12,40	21,33	25,80	25,80	25,01
50	18,98	22,78	22,78	26,02	13,29	12,06	20,32	24,90	24,79	24,46
55	18,20	22,45	22,00	25,24	12,84	11,61	19,65	24,23	24,12	23,56
60	17,53	21,44	21,33	24,57	12,40	11,06	18,98	23,45	23,45	22,89

Tabela B.2: Análise estatística da altura do lodo em cada ensaio Indústria farmacêutica 01- sem diluição

	25/08	03/09	09/09	10/10	22/09	28/09	05/10	06/10	14/10	21/10
Mínima	17,53	21,44	21,33	24,57	12,40	11,06	18,98	23,45	23,45	22,89
1ºquartil	20,74	24,38	24,34	27,39	14,38	13,07	22,08	26,39	26,30	25,85
Mediana	25,82	28,31	28,25	30,43	18,54	16,70	26,41	29,48	29,59	29,32
Média	25,82	27,98	27,8	29,74	21,00	19,65	26,46	29,15	29,11	28,89
3ºquartil	31,68	32,12	32,23	32,54	29,06	28,14	31,78	32,54	32,54	32,58
Máxima	32,83	33,0	32,83	33,17	32,84	32,05	32,83	33,17	33,17	33,17

Tabela B.3: Indústria farmacêutica 01- Com diluição

Tempo (Min)	25/08	03/09	09/09	10/09	22/09	28/09	05/10	06/10	14/10	21/10
0	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50
1	31,38	31,83	31,83	31,83	31,16	31,16	31,83	31,83	31,60	31,60
2	26,69	27,36	28,14	29,03	21,78	23,45	27,14	28,48	29,26	28,48
3	21,78	23,45	23,45	25,13	16,75	17,20	22,89	25,68	26,02	24,90
4	18,31	19,10	18,43	23,34	12,06	13,29	18,65	22,11	23,34	21,11
5	17,53	16,75	16,75	20,88	11,73	11,28	16,30	20,21	20,32	18,65
10	15,41	12,40	12,40	15,08	8,71	8,60	11,95	14,96	15,52	13,96
15	10,94	10,72	10,72	13,40	7,71	7,26	10,27	12,73	13,29	11,73
20	9,38	9,60	9,38	12,06	6,70	6,59	9,27	11,61	11,73	10,50
25	8,49	8,71	8,71	11,06	6,37	6,03	8,38	10,27	10,94	9,72
30	7,82	8,26	8,15	10,27	6,03	5,70	7,93	9,83	9,83	8,71
35	7,26	7,71	7,71	9,60	5,70	5,36	7,59	9,16	9,38	8,38
40	6,81	7,26	7,37	9,05	5,36	5,14	7,26	8,49	8,93	8,04
45	6,48	7,09	7,04	8,71	5,03	5,03	6,92	8,15	8,15	7,71
50	6,37	6,98	6,70	8,38	4,91	4,69	6,59	7,82	8,04	7,71
55	6,09	6,76	6,70	8,04	4,91	4,69	6,37	7,71	8,04	7,37
60	5,86	6,70	6,37	7,82	4,58	4,58	6,25	7,37	7,71	7,37

Tabela B.4: Análise estatística da altura do lodo em cada ensaio Indústria farmacêutica 01- sem diluição

	25/08	03/09	09/09	10/10	22/09	28/09	05/10	06/10	14/10	21/10
Mínima	5,86	6,7	6,37	7,82	4,58	4,58	6,25	7,37	7,71	7,37
1ºquartil	6,78	7,2	7,28	8,96	5,27	5,11	7,17	8,40	8,73	7,95
Mediana	8,93	9,15	9,04	11,56	6,53	6,31	8,82	10,94	11,33	10,11
Média	12,91	13,16	13,11	15,23	9,96	10,00	12,84	14,77	15,13	14,12
3ºquartil	17,72	17,33	17,17	21,49	11,81	11,78	16,88	20,68	21,07	19,26
Máxima	31,38	31,83	31,83	21,83	31,16	31,16	31,83	31,3	31,30	31,60

Tabela B.3: Indústria farmacêutica 02- Sem diluição

Tempo (Min)	25/08	11/09	15/09	18/09	01/10	22/10	29/10	30/10
0	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50
1	33,17	33,17	33,39	33,22	33,11	33,28	33,28	33,17
2	32,83	33,00	33,22	33,00	32,94	32,94	33,05	32,83
3	32,50	32,83	33,05	32,83	32,72	32,61	33,05	32,72
4	32,27	32,66	32,89	32,66	32,55	32,50	32,72	32,50
5	32,05	32,50	32,72	32,38	32,38	32,27	32,50	32,38
10	30,93	31,60	32,16	31,94	31,71	31,49	31,83	31,60
15	29,70	30,49	31,60	31,16	30,71	30,71	30,93	30,82
20	28,25	29,03	30,93	30,37	29,70	29,70	30,15	30,15
25	26,69	27,81	30,04	29,59	28,92	28,81	29,15	29,26
30	24,79	26,24	29,15	28,59	27,92	27,81	28,25	28,48
35	22,89	24,79	27,92	27,69	26,80	26,80	27,25	27,58
40	21,33	23,56	26,80	26,80	25,91	25,35	26,35	26,69
45	20,21	22,45	25,80	25,46	24,90	24,34	25,35	25,80
50	18,87	21,22	24,90	24,23	24,12	23,45	24,68	25,13
55	18,09	20,55	23,90	23,95	23,45	22,56	23,67	24,12
60	17,09	19,54	23,12	22,67	22,45	21,89	22,89	23,45

Tabela B.4: Indústria farmacêutica 02- sem diluição

	25/08	11/09	15/09	18/09	01/10	22/10	29/10	30/10
Mínima	17,09	19,54	23,12	22,67	22,45	21,89	22,89	23,45
1ºquartil	21,05	23,28	26,55	26,46	25,66	25,10	26,10	26,47
Mediana	27,47	28,42	30,48	29,98	29,31	29,25	29,65	29,70
Média	26,35	27,59	29,47	29,16	28,77	28,53	29,07	29,17
3ºquartil	32,10	32,54	32,76	32,45	32,42	32,33	32,55	32,41
Máxima	33,17	33,17	33,39	33,22	33,11	33,28	33,28	33,17

Tabela B.4: Indústria alimentícia- Sem diluição

Tempo (Minutos)	07/08	13/08	19/08	26/08	03/09	28/09	06/10	14/10	21/10
0	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50
1	33,50	33,50	33,22	33,50	33,33	33,33	33,17	33,33	33,50
2	33,33	33,33	33,11	33,17	33,17	33,33	32,83	33,28	33,50
3	33,33	33,17	33,00	33,17	33,00	33,33	32,50	33,17	33,17
4	33,22	33,17	33,00	33,00	32,83	33,17	32,16	33,00	33,17
5	33,11	33,00	32,94	32,83	32,61	33,17	31,83	32,83	33,17
10	32,72	33,00	32,77	32,83	32,05	32,83	30,26	32,50	32,61
15	32,38	32,83	32,33	32,83	31,38	32,50	27,13	32,05	32,16
20	31,88	32,38	31,83	32,27	30,71	32,16	26,58	31,71	31,83
25	31,55	31,94	31,49	31,94	29,93	31,83	25,13	30,93	31,49
30	31,04	31,60	30,60	31,60	29,15	31,49	23,56	30,60	30,82
35	30,54	31,21	29,98	31,27	28,48	31,04	22,33	30,15	30,60
40	30,15	30,60	29,20	30,93	27,47	30,71	21,22	29,48	30,15
45	29,59	30,26	28,59	30,65	26,80	30,37	19,99	29,03	29,59
50	29,20	29,93	27,97	30,37	26,13	30,04	19,21	28,36	28,70
55	28,87	29,37	27,41	29,93	25,46	29,82	18,31	27,92	28,81
60	28,42	29,15	26,91	29,65	25,13	29,48	17,53	27,47	28,14

Tabela B.5: Análise estatística da altura do lodo em cada ensaio Indústria alimentícia – sem diluição

	07/08	13/08	19/08	26/08	03/09	28/09	06/10	14/10	21/10
Mínima	28,42	29,15	26,91	29,65	29,48	25,13	17,53	27,47	28,14
1ºquartil	30,01	30,52	29,05	30,86	30,62	27,30	20,91	29,37	30,01
Mediana	31,71	32,16	31,66	32,10	32,00	30,32	25,86	31,32	31,66
Média	31,43	31,78	30,90	31,87	31,79	29,85	25,86	30,99	31,34
3ºquartil	33,14	33,04	32,95	32,87	33,17	32,66	31,91	32,87	33,17
Máxima	33,50	33,50	33,22	33,50	33,33	33,33	33,17	33,33	33,50

Tabela B.6: Indústria alimentícia- com diluição

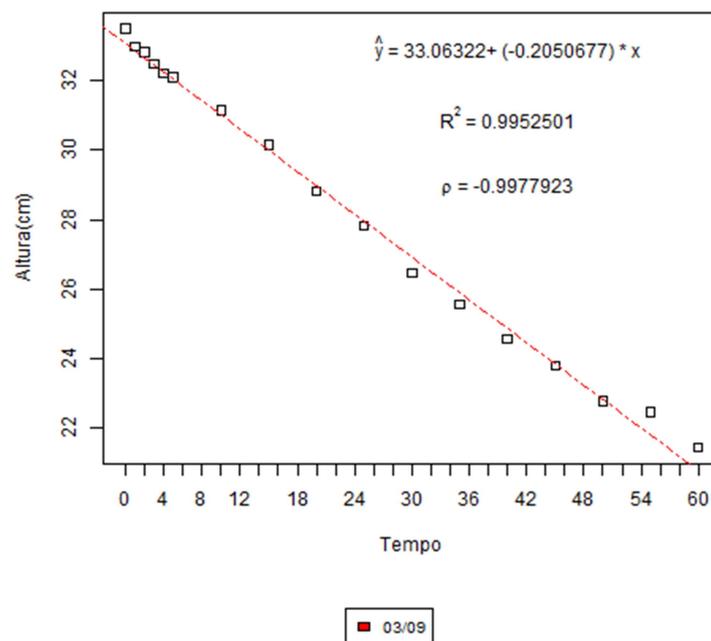
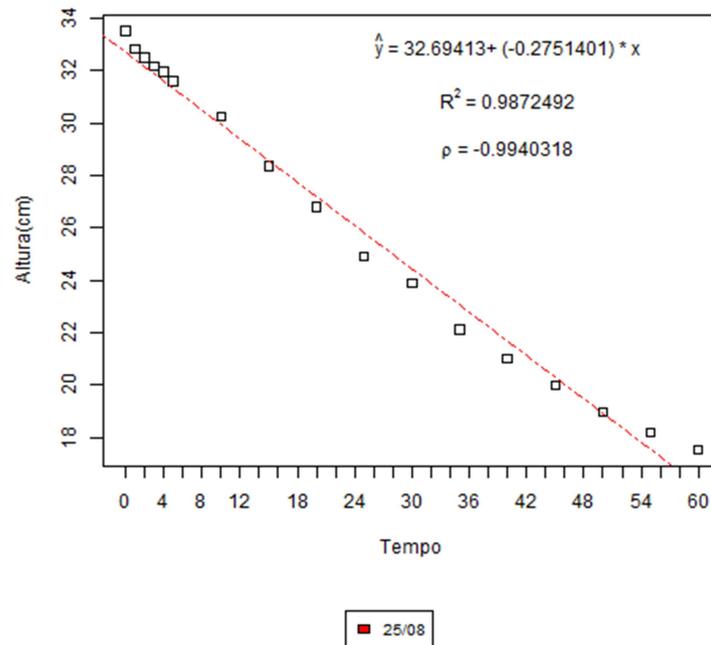
Tempo (Min)	07/08	13/08	19/08	26/08	03/09	28/09	06/10	14/10	21/10
0	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50
1	32,50	32,50	31,94	32,16	32,50	32,83	32,16	31,83	32,83
2	31,10	30,88	28,25	30,82	31,49	31,49	28,14	30,15	31,27
3	28,25	28,92	23,45	28,36	30,49	30,82	24,90	23,45	29,15
4	25,46	26,91	22,45	28,14	28,81	29,82	21,78	18,54	27,02
5	23,45	25,35	20,88	22,67	28,48	29,48	18,09	15,41	24,79
10	17,64	23,12	17,76	16,53	23,45	26,35	12,73	10,05	16,75
15	14,52	18,98	12,84	14,52	20,21	22,11	11,39	8,93	15,63
20	13,29	17,20	11,39	12,73	17,98	19,21	9,94	8,04	13,07
25	12,34	16,42	10,27	11,84	16,58	17,64	9,38	7,37	11,95
30	11,73	15,41	9,60	11,17	15,19	16,53	8,71	7,04	11,39
35	11,22	14,74	9,27	10,61	14,18	15,52	8,38	6,70	10,83
40	10,89	13,74	8,71	10,27	13,40	14,74	8,04	6,64	10,16
45	10,44	13,07	8,38	9,72	12,84	13,96	8,04	6,37	9,72
50	10,05	12,40	8,26	9,60	12,17	13,29	7,71	6,14	9,60
55	9,60	11,95	8,04	9,38	11,61	12,84	7,37	6,03	9,27
60	9,44	11,39	7,71	9,27	11,39	11,95	7,37	6,03	8,93

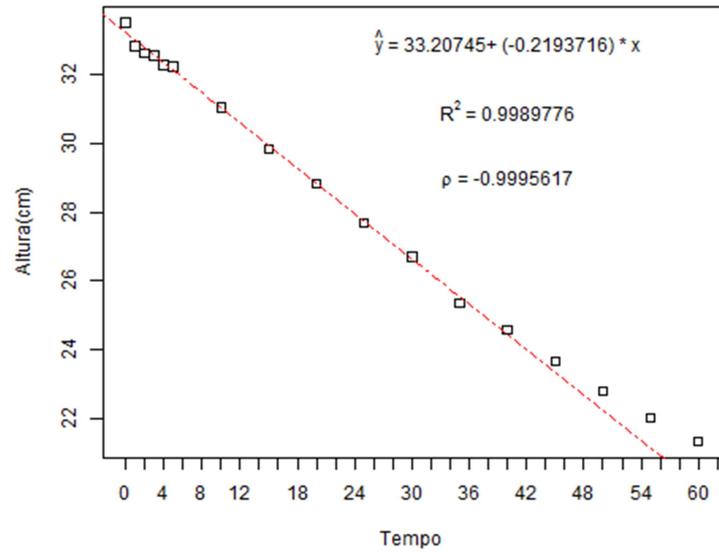
Tabela B.7: Análise estatística da altura do lodo em cada ensaio Indústria alimentícia – sem diluição

	07/08	13/08	19/08	26/08	03/09	28/09	06/10	14/10	21/10
Mínima	9,44	11,39	7,71	11,39	11,95	7,37	6,03	8,49	8,93
1ºquartil	10,78	13,57	8,62	13,26	14,54	8,04	6,57	9,29	10,05
Mediana	12,81	16,81	10,83	17,28	18,43	9,66	7,70	11,56	12,51
Média	17,00	19,56	14,95	20,05	21,16	14,01	12,42	16,02	17,02
3ºquartil	23,95	25,74	21,27	28,56	29,57	19,01	16,19	23,61	25,35
Máxima	32,50	32,50	31,94	32,50	32,83	32,16	31,83	32,50	32,83

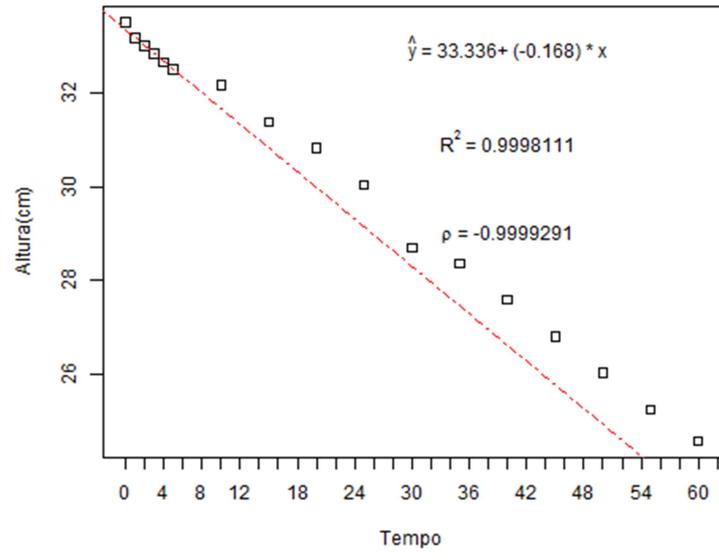
APÊNDICE C: Metodologia para determinação da Velocidade de Sedimentação medida dos ensaios

Indústria farmacêutica 01- Sem diluição

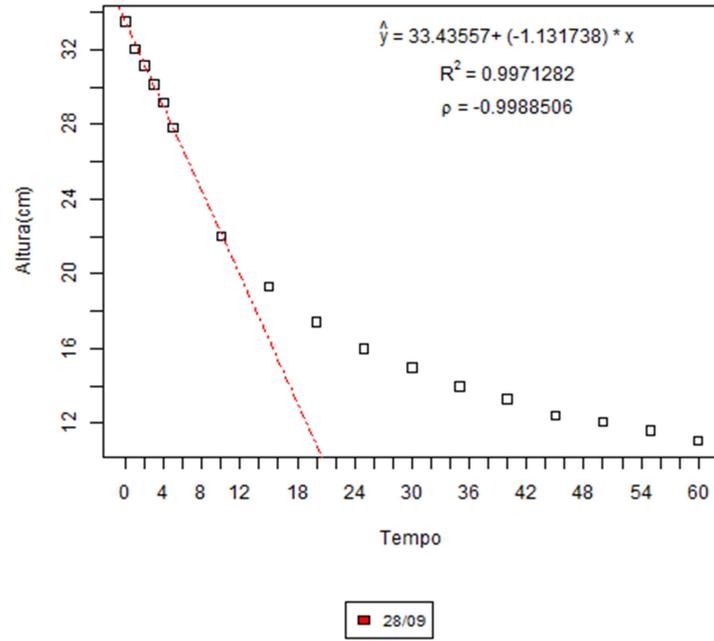
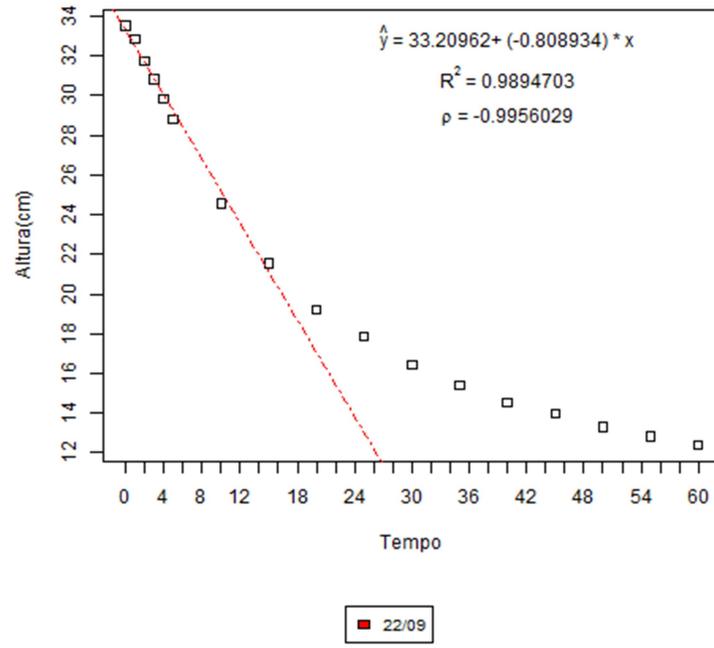


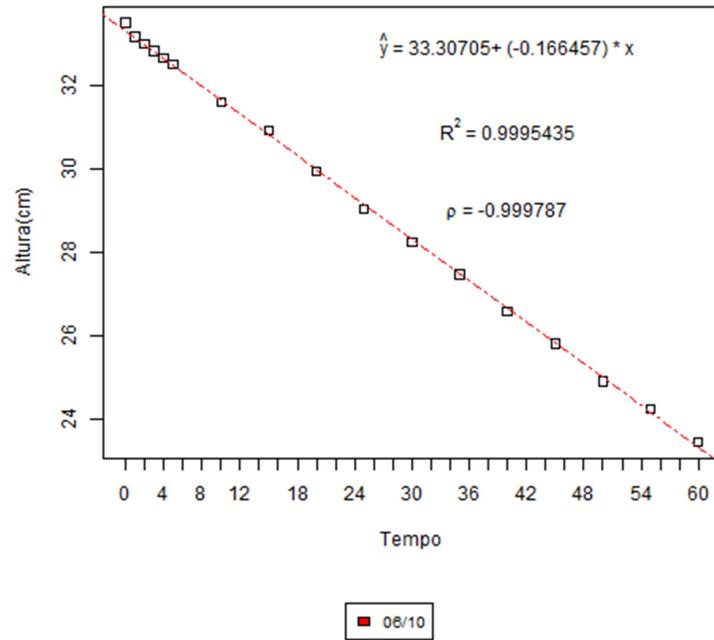
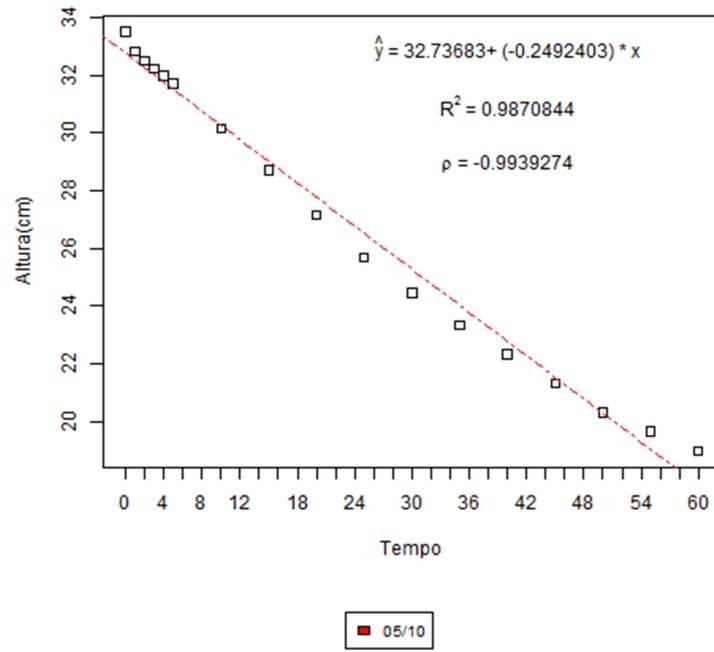


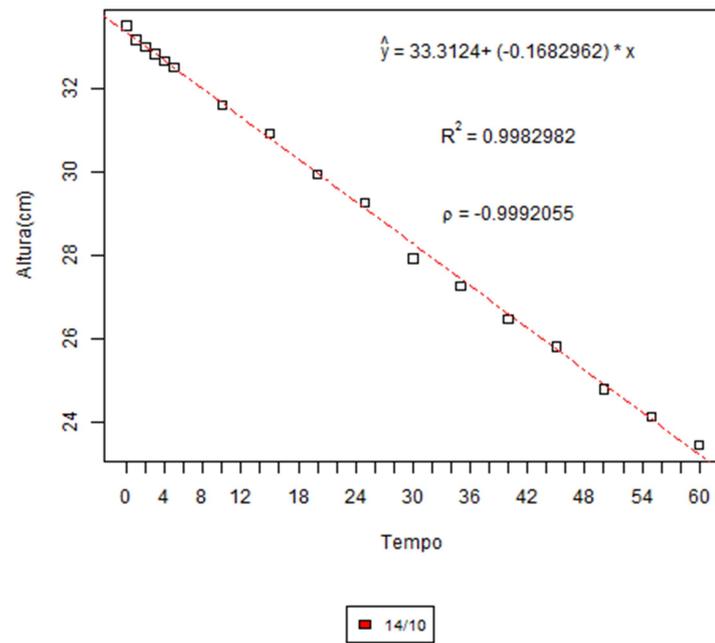
09/09



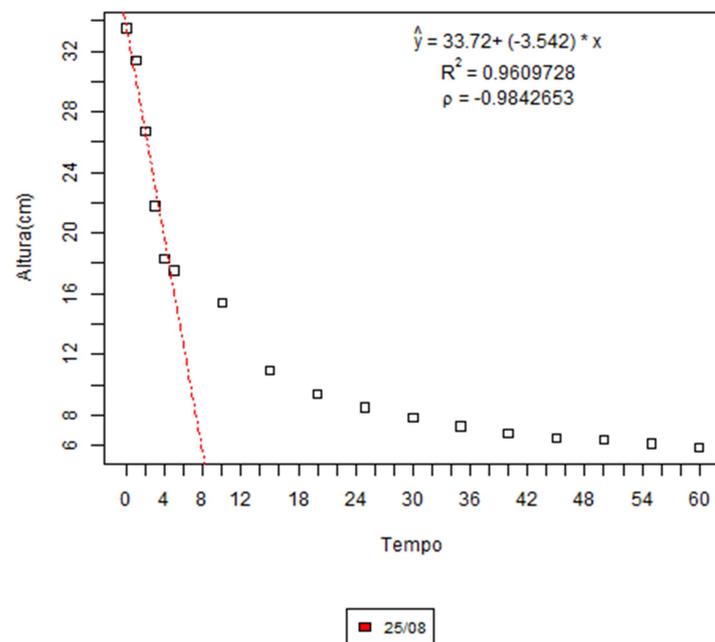
10/09

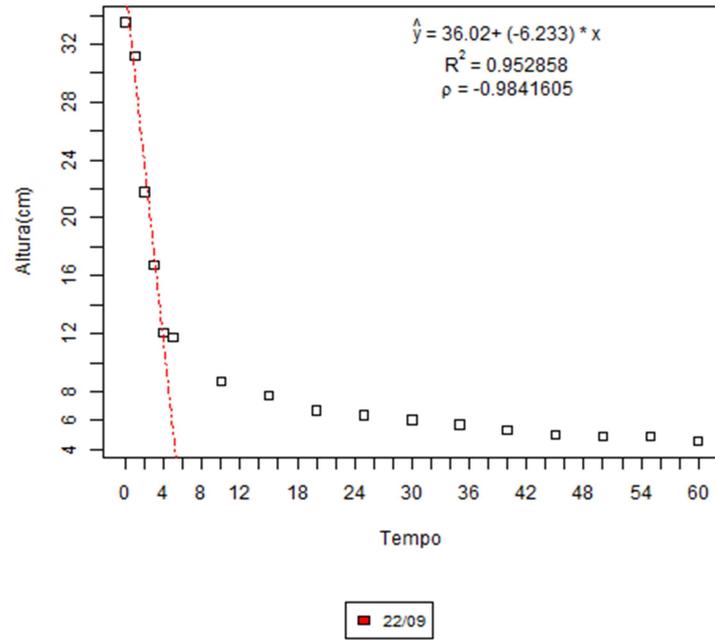
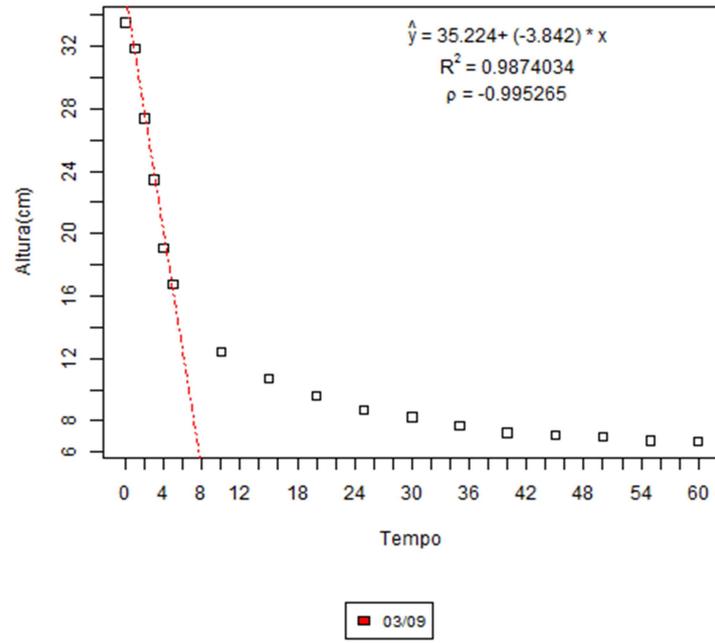


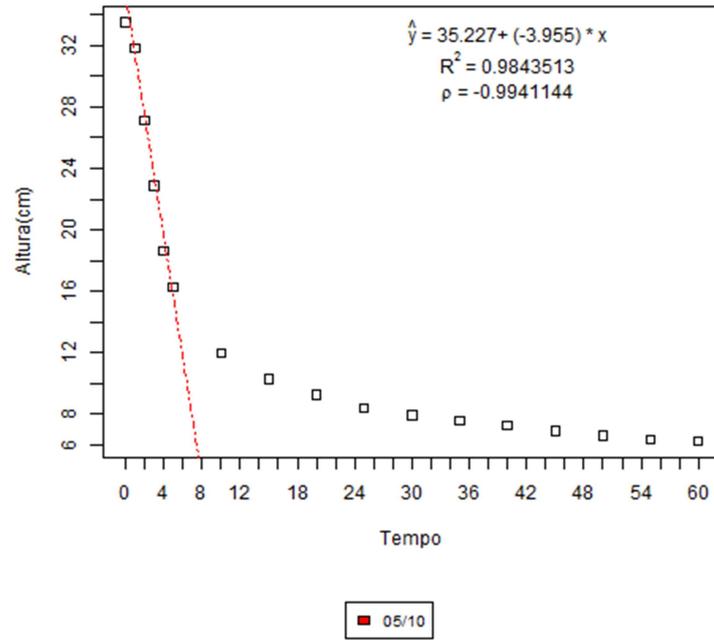
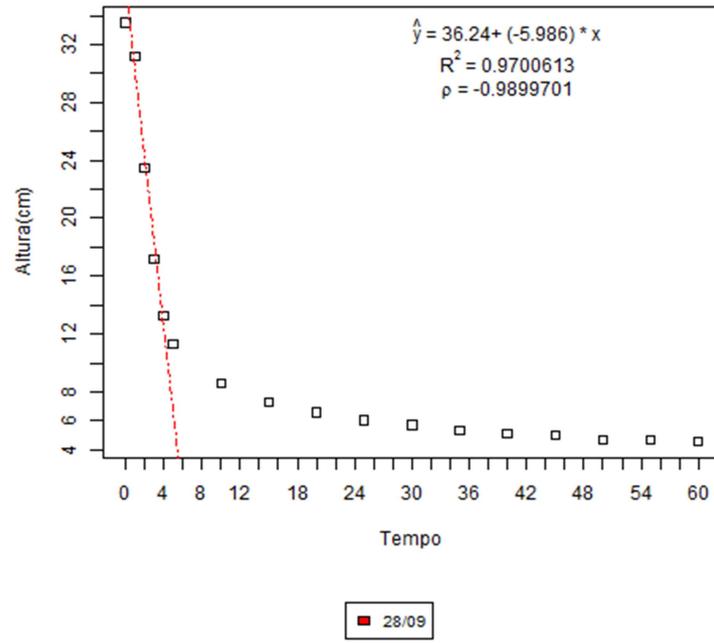


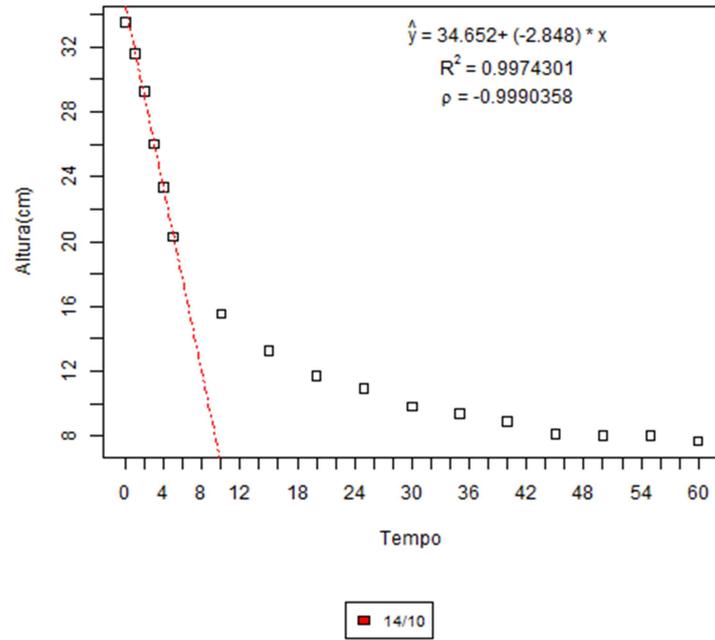
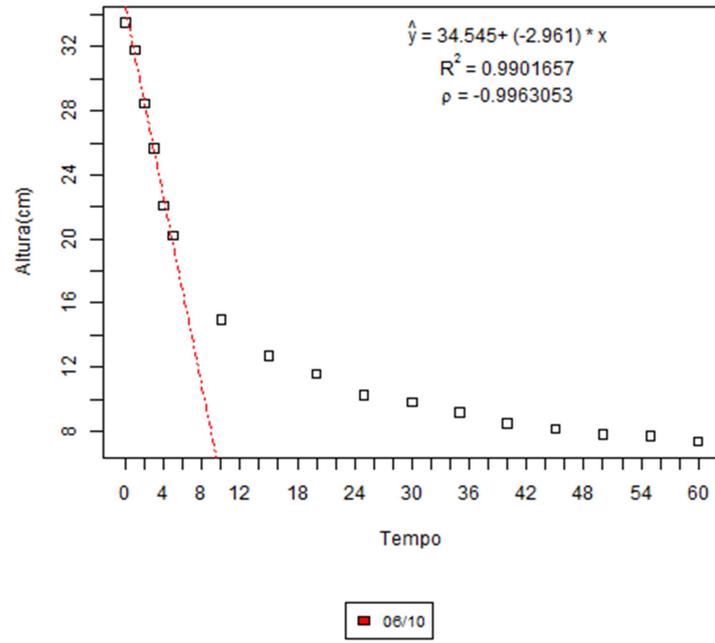


Indústria farmacêutica 01- Com diluição

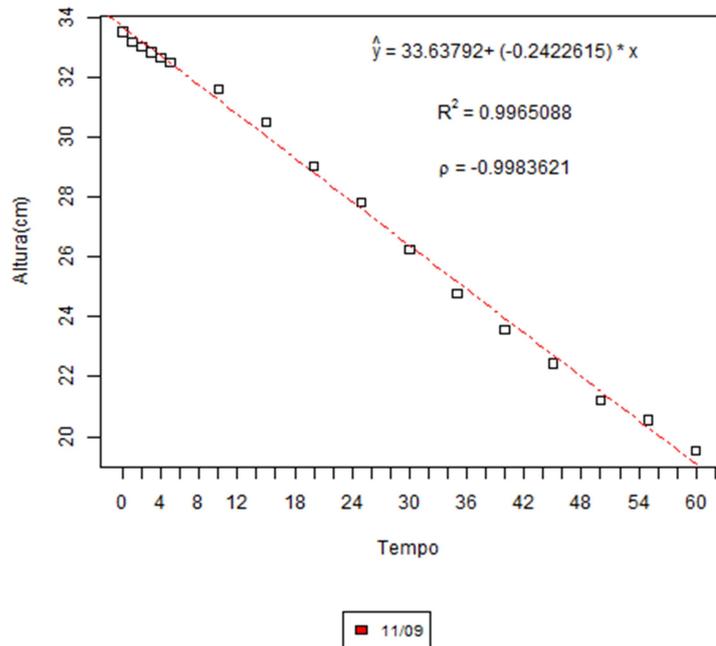
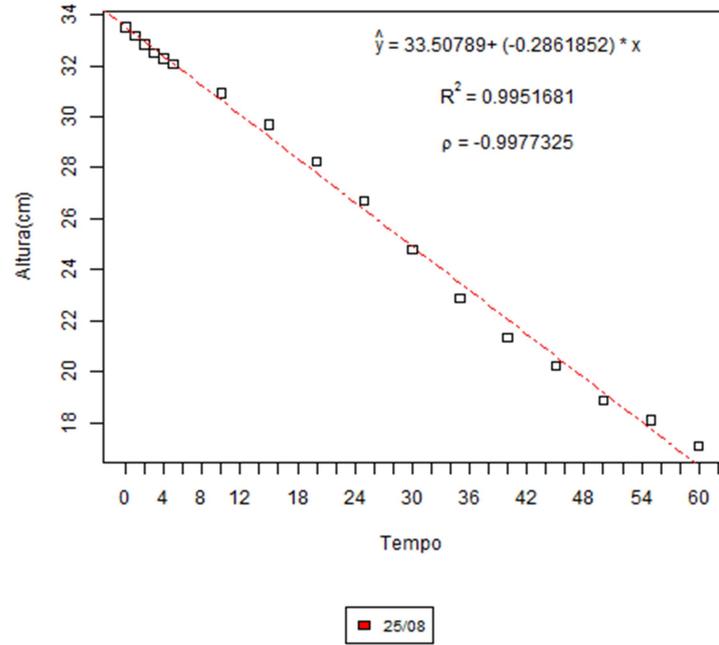


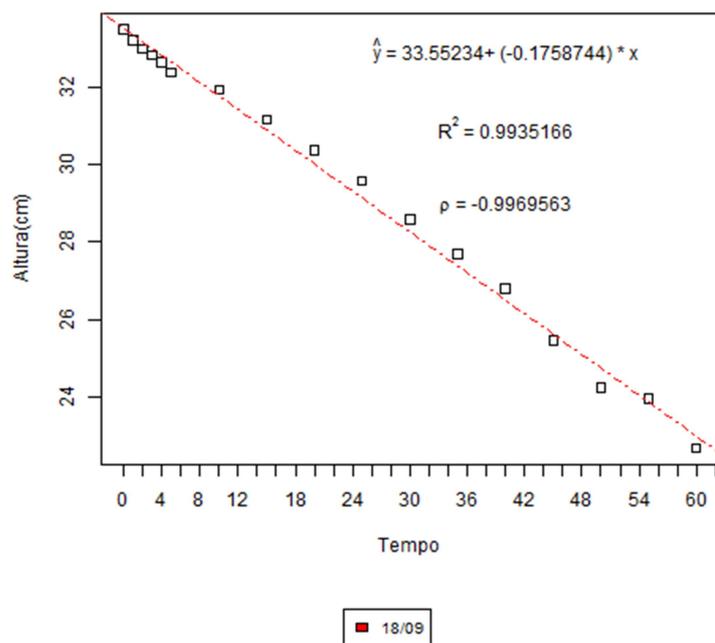
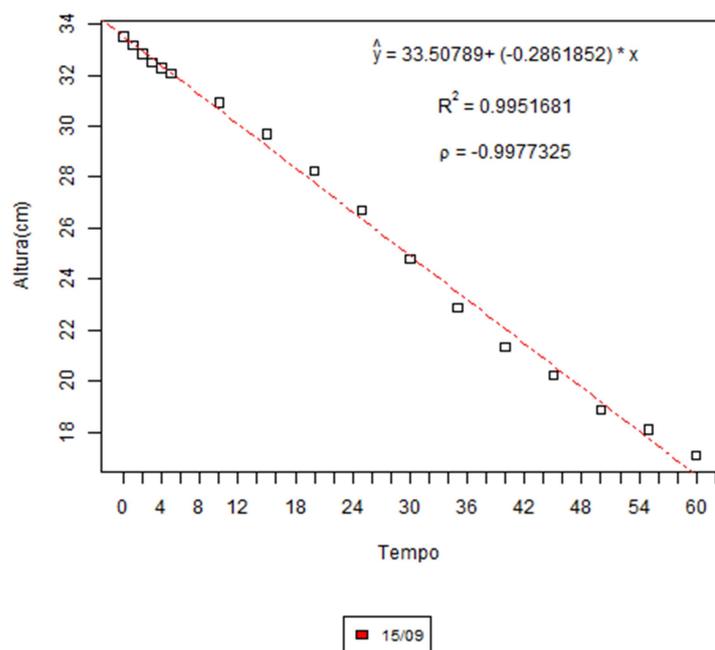


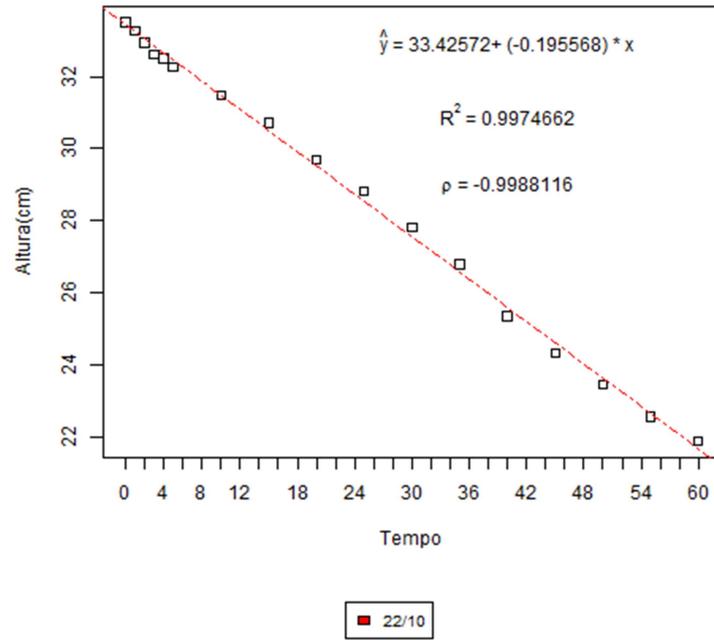
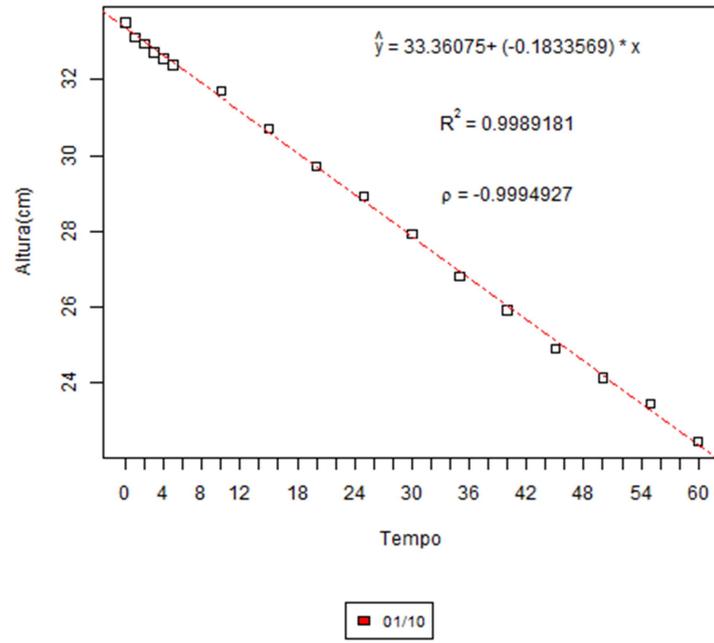


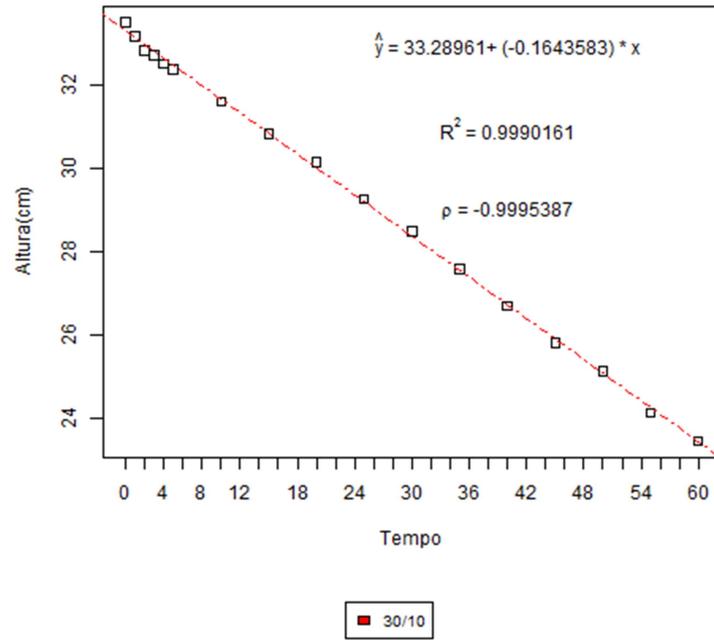
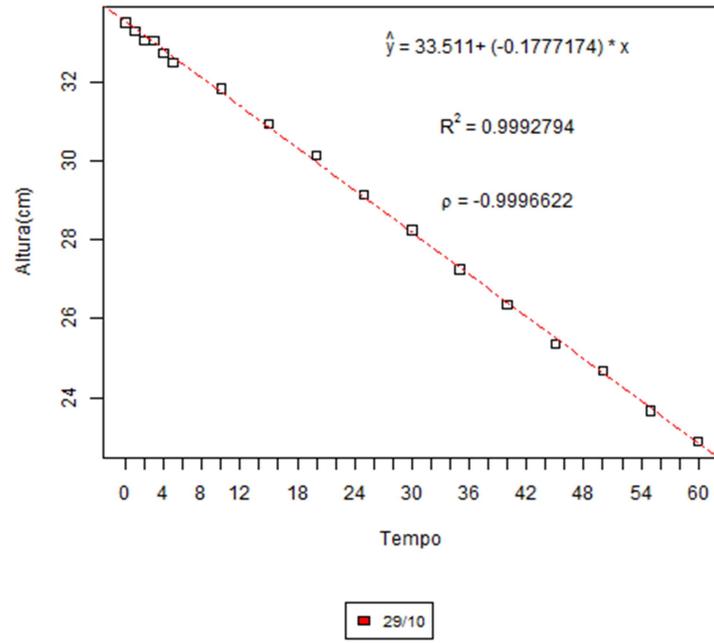


Indústria farmacêutica 02- Sem diluição

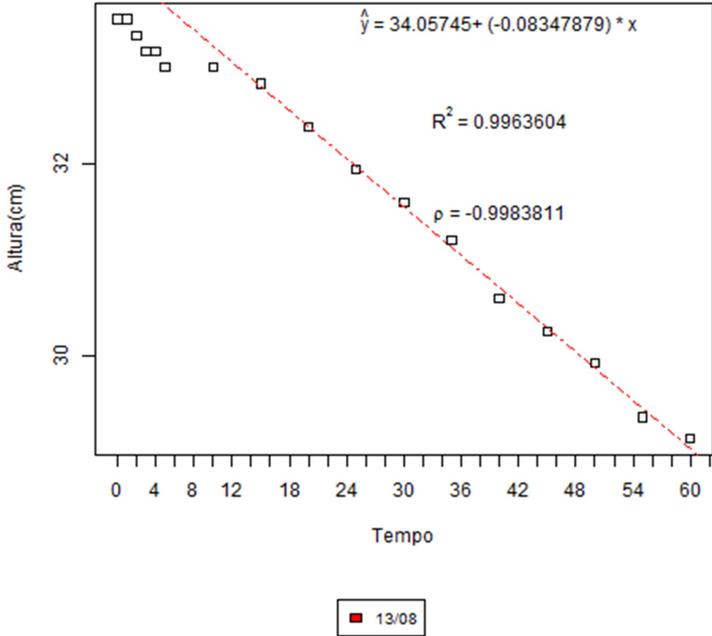
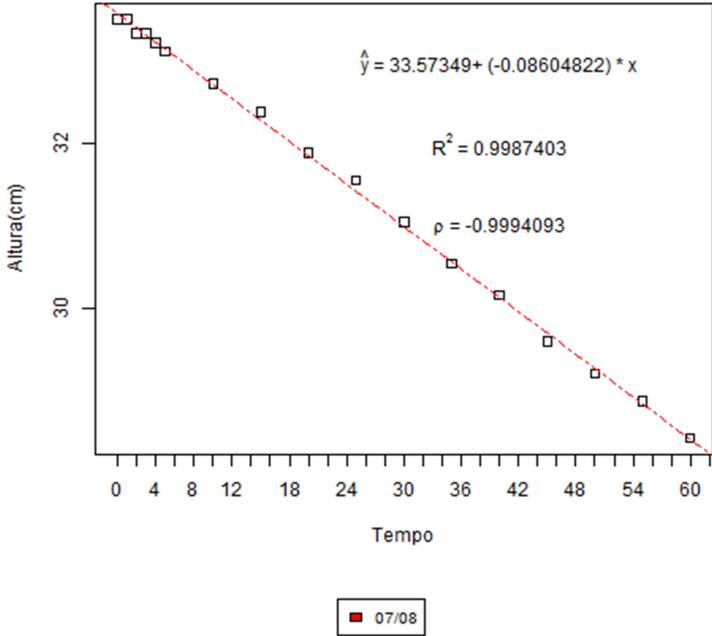


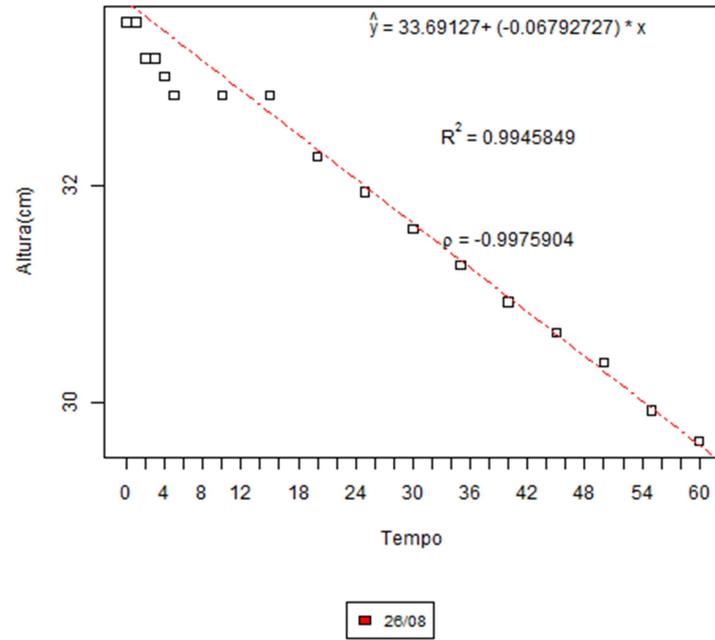
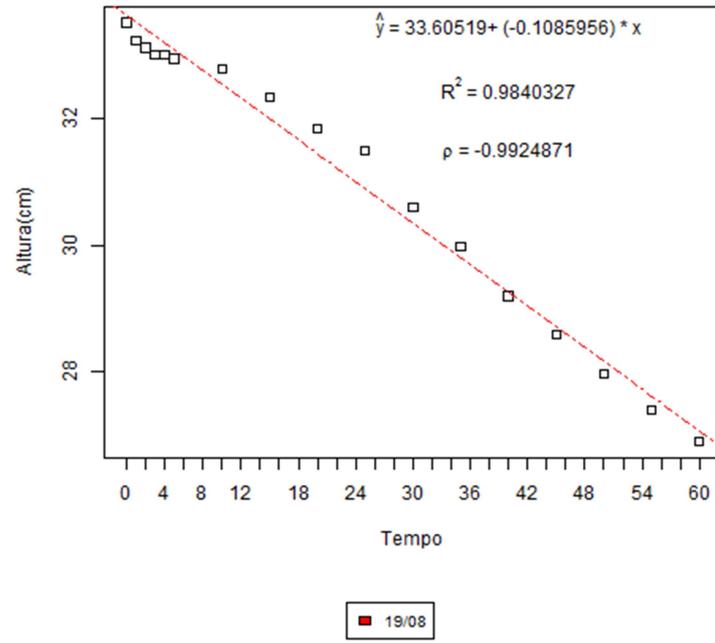


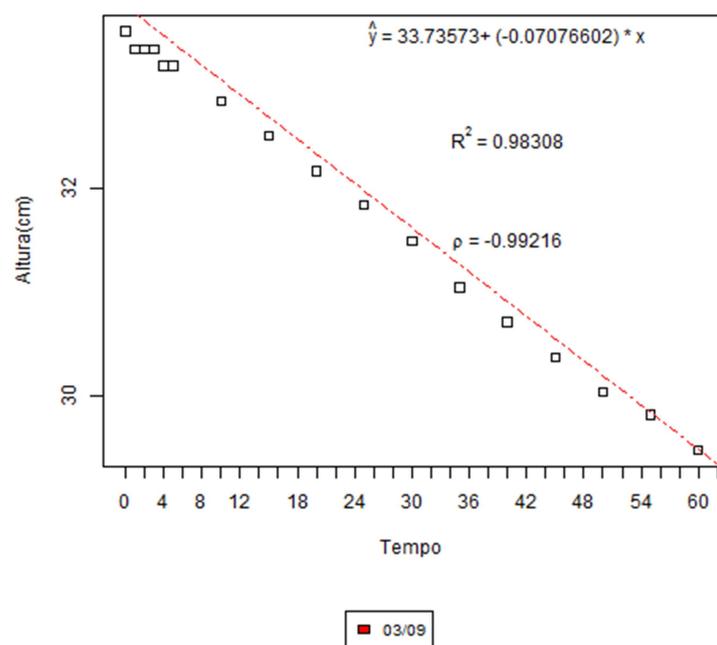
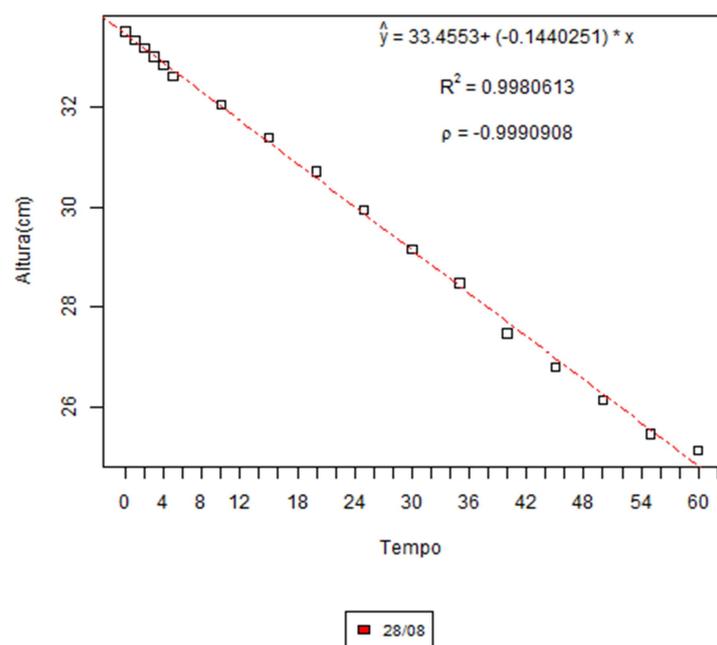


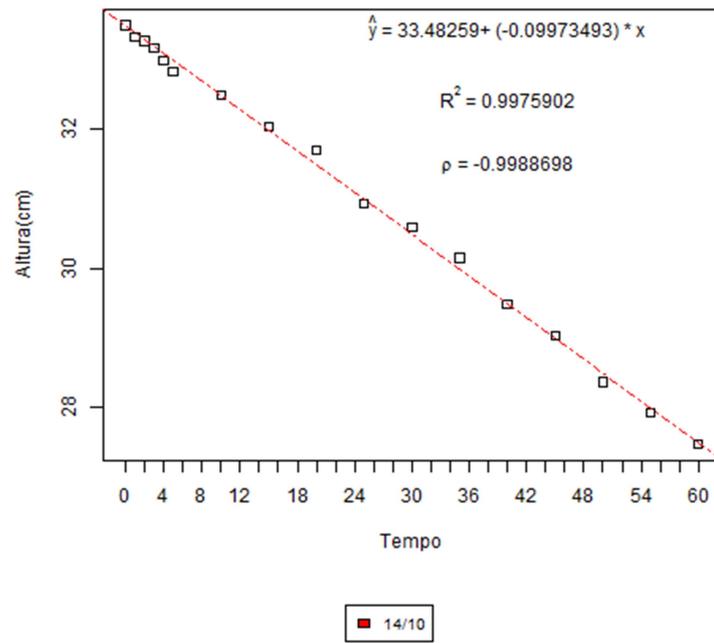
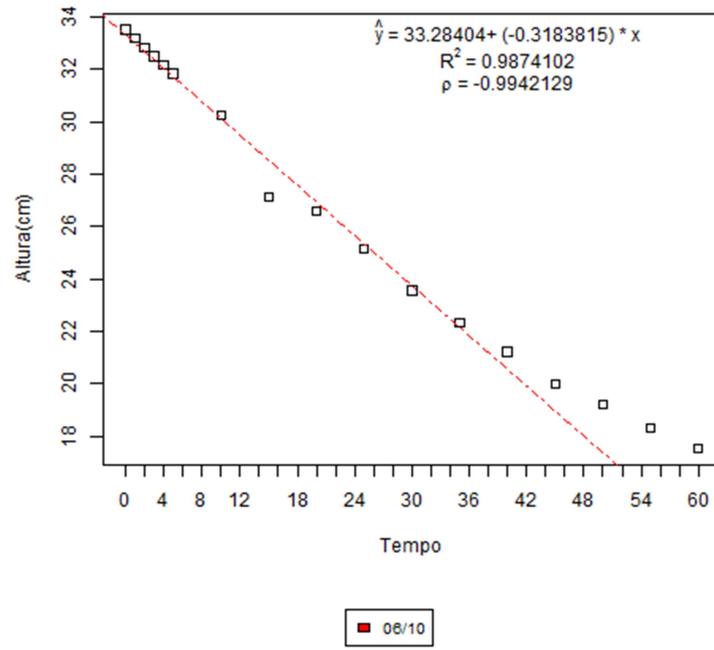


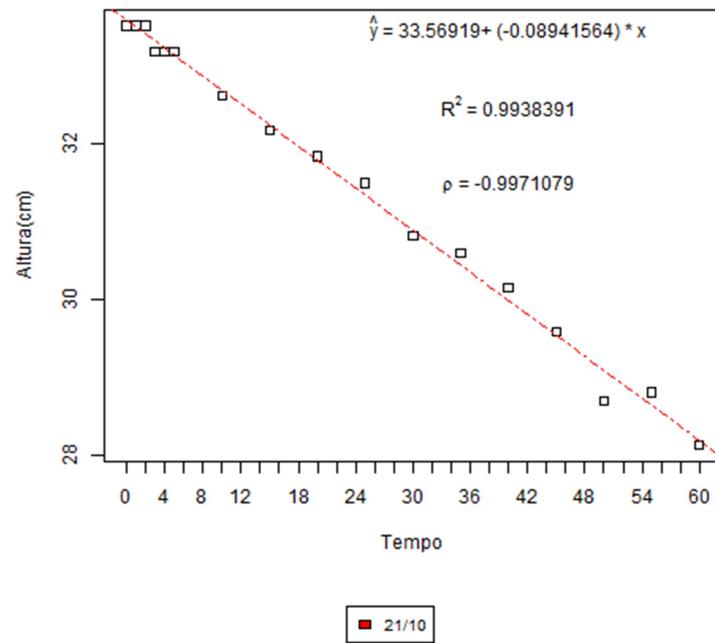
Indústria Alimentícia – Sem diluição



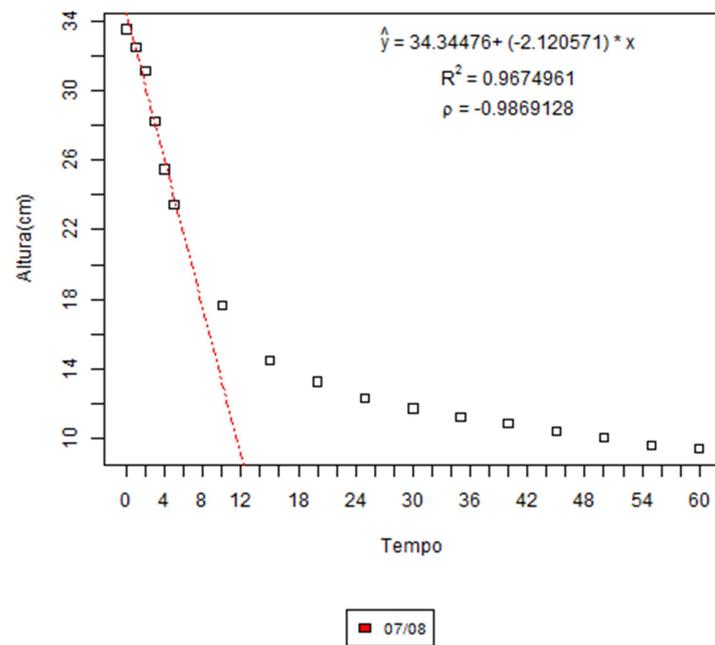


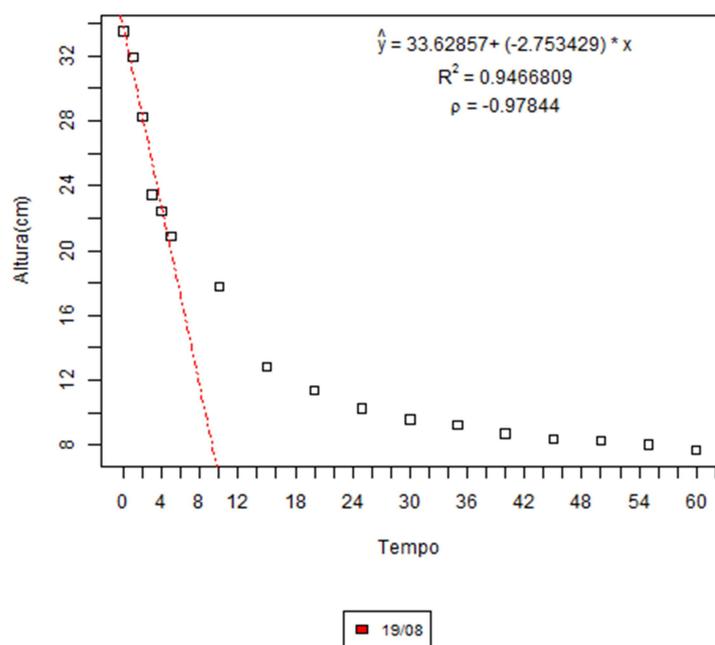
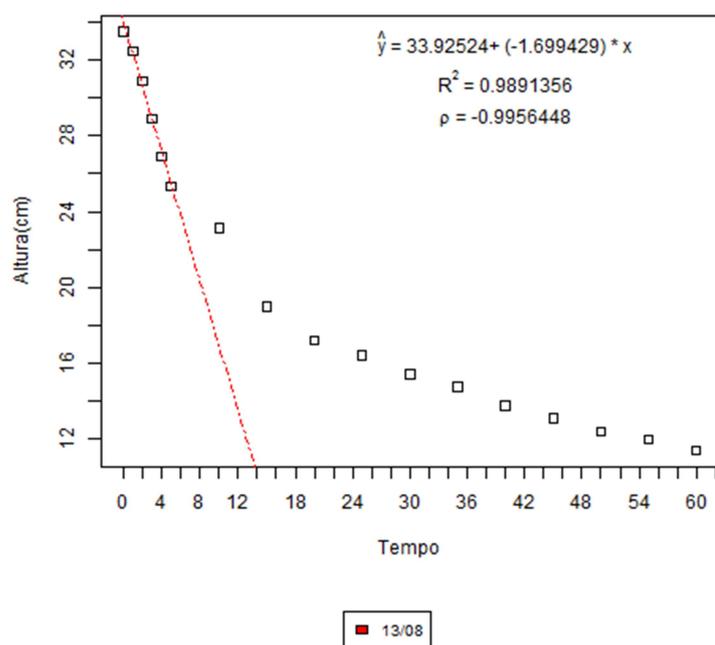


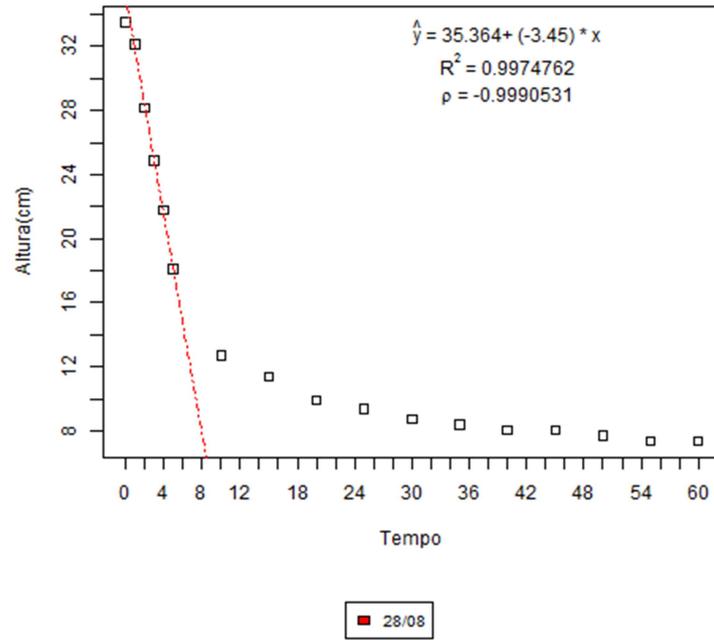
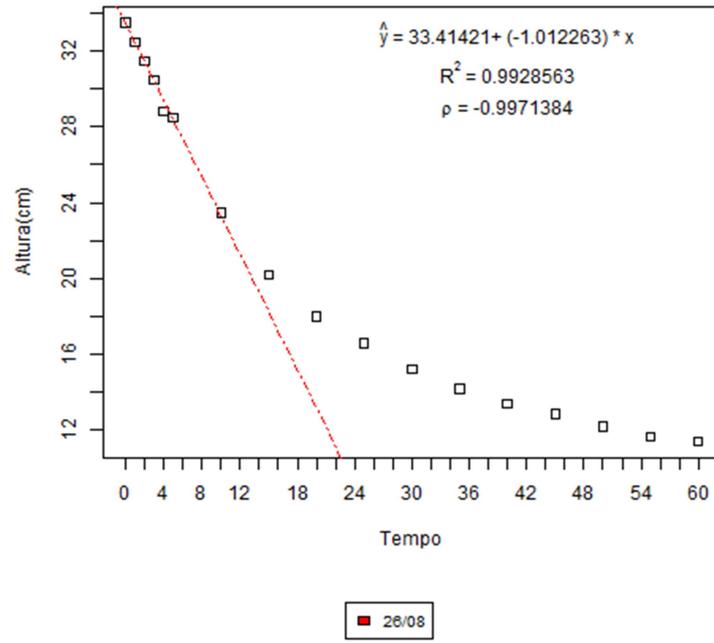


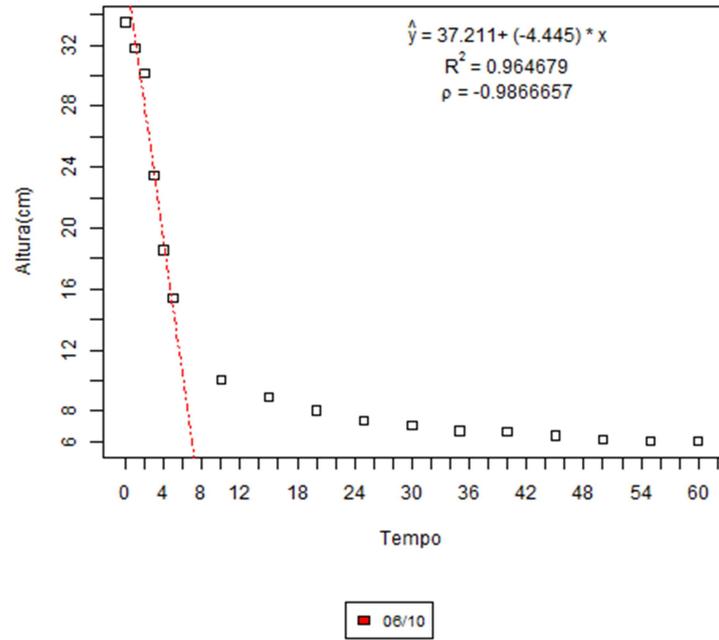
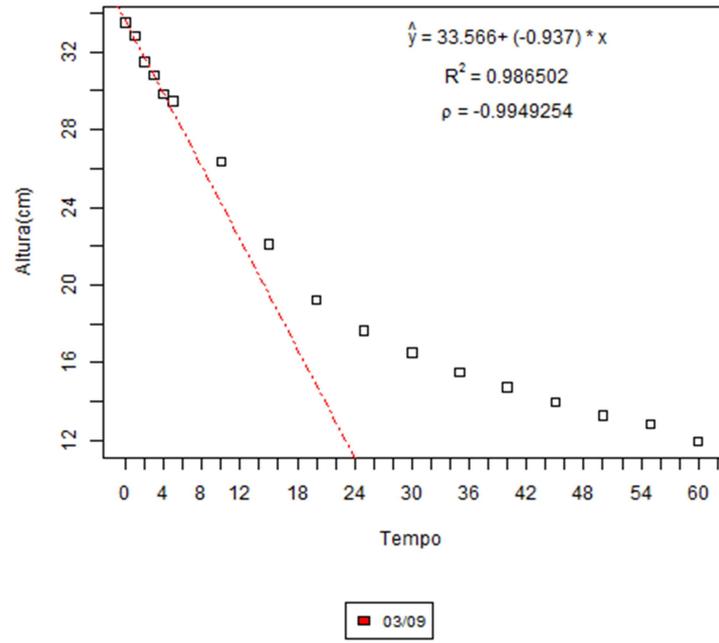


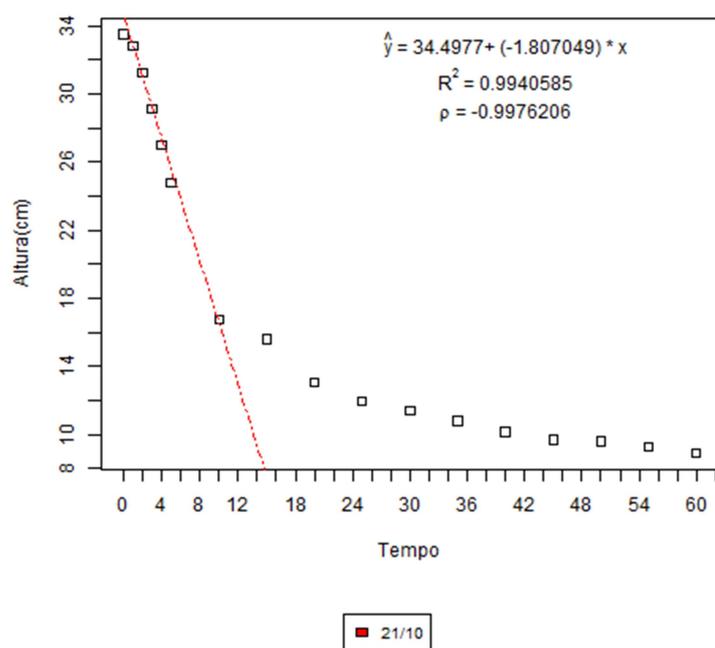
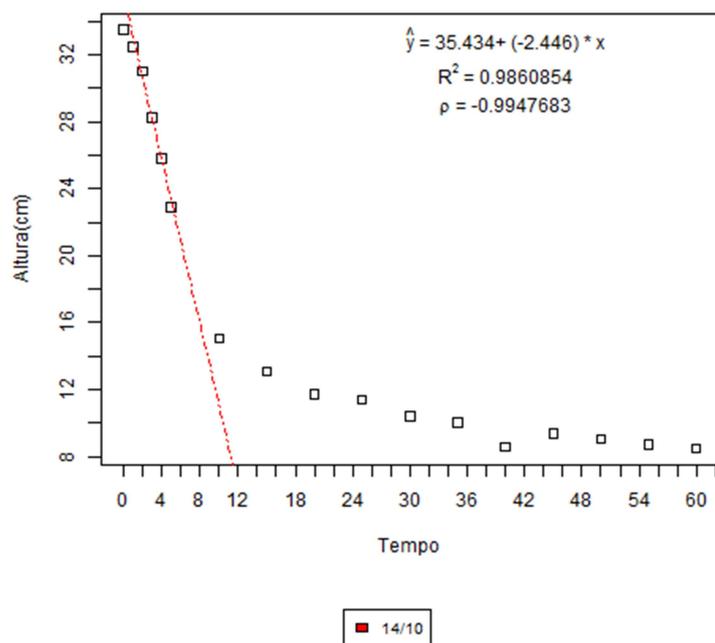
Indústria Alimentícia – Com diluição











APÊNDICE D: Dados laboratoriais das estações estudadas

Tabela D.1: Indústria farmacêutica 01.

	18/08	25/08	03/09	09/09	10/09	18/09	22/09	28/09	05/10	06/10	14/10	22/10
RNFT (mg/L)	2115	2465	2790	2285	2715	1970	2030	1755	2215	2540	2815	5560
RNFV (mg/L)	1420	1655	1950	1520	1800	1380	1330	1185	1480	1765	1950	3405
Razão RNFV/RNFT	0,67	0,67	0,70	0,67	0,66	0,70	0,66	0,68	0,67	0,69	0,69	0,61
Material inerte (mg/L)	695	810	840	765	915	590	700	570	735	775	865	2155
DQO_{afluente} (mg/L O²)	253	-	362	-	-	713	-	-	-	224	-	368
DQO_{efluente} (mg/L O²)	36	-	55	-	-	40	-	-	-	22	-	25
DBO_{afluente} (mg/L O²)	85	-	118	-	-	100	-	-	-	96	-	-
DBO_{efluente} (mg/L O²)	3	-	4	-	-	3	-	-	-	3	-	-
Eficiência DBO (%)	96	-	97	-	-	97	-	-	-	97	-	-
A/M (Kg DQO/Kg RNFV.d)	0,03	-	0,02	-	-	0,02	-	-	-	0,02	-	-
Vazão (m³/d)	52	46	38	46	38	38	52	52	46	46	40	46
pH	7,0	6,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,0	7,0	6,0	7,0	6,0
Temperatura (°C)	23,0	23,0	25,0	23,0	22,0	25,0	25,0	25,0	25,0	24,0	25,0	25,0

Tabela D.2: Indústria farmacêutica 02.

	25/08	26/08	03/09	10/09	11/09	15/09	18/09	23/09	28/09	01/10	06/10	14/10	22/10	29/10	30/10
RNFT (mg/L)	5110	4575	5598	5628	5445	5310	5505	5675	5636	5855	5370	6393	1550	5395	7430
RNFV (mg/L)	3060	2760	3210	3485	3225	3185	3385	3428	3496	3545	3365	4113	1375	3410	3000
Razão RNFV/RNFT	0,60	0,60	0,57	0,62	0,59	0,60	0,61	0,60	0,62	0,61	0,63	0,64	0,89	0,63	0,40
Material inerte (mg/L)	2050	1815	2388	2143	2220	2125	2120	2247	2140	2310	2005	2279	175	1985	4430
DQO_{afluente} (mg/L O²)	-	441	1016	699	-	-	426	559	333	-	480	582	517	-	456
DQO_{efluente} (mg/L O²)	-	15	19	15	-	-	15	15	15	-	15	15	15	-	15
DBO_{afluente} (mg/L O²)	-	133	-	169	-	-	-	105	-	-	-	138	-	-	130
DBO_{efluente} (mg/L O²)	-	4	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-	3
Eficiência DBO (%)	-	97	-	98	-	-	-	97	-	-	-	98	-	-	98
A/M (Kg QO/KgRNFV.d)	-	0,05	-	0,05	-	-	-	0,03	-	-	-	0,04	-	-	0,05
Vazão (m³/d)	305,5	306	306	306	306	306	284	306	249	306	306	306	305	268	305
pH	7,0	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Temperatura (°C)	27,0	26	26	27	26	25	27	27	29	29	26	28	28	27	29

Tabela D.3: Indústria alimentícia.

	07/08	13/08	19/08	26/08	03/09	28/09	29/09	06/10	14/10	21/10
RNFT (mg/L)	4285	4255	4590	4415	4795	3555	4510	2970	3160	3215
RNFV (mg/L)	3365	3320	3590	2540	3990	2865	3610	2420	2410	2655
Razão RNFV/RNFT	0,79	0,78	0,78	0,58	0,83	0,81	0,80	0,81	0,76	0,83
Material inerte (mg/L)	920	935	1000	1875	805	690	900	550	750	560
DQO_{afluente} (mg/L O²)	261	-	-		474	-	-	313	-	-
DQO_{efluente} (mg/L O²)	15	-	-	22	38	-	-	52	49	30
DBO_{afluente} (mg/L O²)	199	-	-	-	130	-	-	148	-	-
DBO_{efluente} (mg/L O²)	4	-	-	-	<3	-	-	10	-	-
Eficiência DBO (%)	98	-	-	-	98	-	-	94	-	-
A/M (Kg DQO/Kg RNFV.d)	0,03	-	-	-	0,04	-	-	0,06	-	-
Vazão (m³/d)	60	50	60	40	50	90	60	70	80	60
pH	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Temperatura (°C)	26,5	26	26,6	25,4	26,7	27,8	28,8	27,5	30,0	29,0

APÊNDICE E: Análise de sólidos presentes no reator de lodos ativados

Tabela E.1: Indústria farmacêutica 01- ensaios sem diluição.

Data dos ensaios	RNFT (mg/L)	RNFV (mg/L)	IVL (ml/g)	Material inerte (mg/L)	Razão RNFV/RNFT	Velocidades medidas em ensaios (m/h)
25/08	2465	1655	289	810	0,67	0,16
03/09	2790	1950	283	840	0,7	0,12
09/09	2285	1520	349	765	0,67	0,13
10/09	2715	1800	316	915	0,66	0,10
22/09	2030	1330	241	700	0,66	0,49
28/09	1755	1185	255	570	0,68	0,68
05/10	2215	1480	330	735	0,67	0,15
06/10	2540	1765	332	775	0,69	0,10
14/10	2815	1950	296	865	0,69	0,10
21/10	5560	3405	150	2155	0,61	0,10

Tabela E.2: Indústria farmacêutica 01- ensaios com diluição.

Data dos ensaios	RNFT (mg/L)	RNFV (mg/L)	IVL (ml/g)	Material inerte (mg/L)	Razão RNFV/RNFT	Velocidades medidas em ensaios (m/h)
25/08	1233	828	189	810	0,67	2,12
03/09	1395	975	177	840	0,70	2,30
09/09	1143	760	213	383	0,67	2,39
10/09	1358	900	226	458	0,66	1,65
22/09	1015	665	177	350	0,66	3,74
28/09	878	593	194	285	0,68	3,59
05/10	1108	740	214	368	0,67	2,37
06/10	1270	883	231	388	0,69	1,78
14/10	1408	975	208	433	0,69	1,76
21/10	2780	1703	93	1078	0,61	1,99

Tabela E.3: Indústria farmacêutica 02- ensaios sem diluição.

Data dos ensaios	RNFT (mg/L)	RNFV (mg/L)	IVL (ml/g)	Material inerte (mg/L)	Razão RNFV/RNFT	Velocidades medidas em ensaios (m/h)
25/08	5110	3060	145	2050	0,60	0,16
11/09	5445	3225	144	2220	0,59	0,12
15/09	5310	3185	164	2125	0,60	0,13
18/09	5505	3385	155	2120	0,61	0,10
01/10	5855	3545	142	2310	0,61	0,49
22/10	1550	1375	535	175	0,89	0,68
29/10	5395	3410	156	1985	0,63	0,15
30/10	4730	3000	180	1730	0,63	0,10

Tabela E.4: Indústria alimentícia- ensaios sem diluição.

Data dos ensaios	RNFT (mg/L)	RNFV (mg/L)	IVL (ml/g)	Material inerte (mg/L)	Razão RNFV/RNFT	Velocidades medidas em ensaios (m/h)
07/08	4285	3365	216	920	0,79	0,05
13/08	4225	3320	223	905	0,79	0,05
19/08	4590	3590	199	1000	0,78	0,06
26/08	4415	3540	214	875	0,80	0,04
03/09	4795	3990	196	805	0,83	0,04
28/09	3555	2865	245	690	0,81	0,08
06/10	2970	2420	237	550	0,81	0,19
14/10	3160	2410	289	750	0,76	0,06
21/10	3215	2655	286	560	0,83	0,05

Tabela E.5: Indústria alimentícia- ensaios com diluição.

Data dos ensaios	RNFT (mg/L)	RNFV (mg/L)	IVL (ml/g)	Material inerte (mg/L)	Razão RNFV/RNFT	Velocidades medidas em ensaios (m/h)
07/08	2143	1683	163	460	0,79	1,27
13/08	2113	1660	218	453	0,79	1,01
19/08	2295	1795	125	500	0,78	1,65
26/08	2208	1770	205	438	0,80	0,61
03/09	2398	1995	206	403	0,83	0,42
28/09	1778	1433	146	345	0,81	2,07
06/10	1485	1210	141	275	0,81	2,67
14/10	1580	1205	196	375	0,76	1,46
21/10	1608	1328	212	280	0,83	1,08

APÊNDICE F: Velocidade de sedimentação calculada em cada espaço de tempo (cm/min).

Tabela F.1: Indústria farmacêutica 01- sem diluição

Tempo (Min)	25/08	03/09	09/09	10/09	22/09	28/09	05/10	06/10	14/10	21/10
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,40	0,30	0,40	0,20	0,40	0,87	0,40	0,20	0,20	0,20
2	0,20	0,10	0,13	0,10	0,60	0,54	0,20	0,10	0,10	0,20
3	0,20	0,20	0,03	0,10	0,60	0,60	0,17	0,10	0,10	0,00
4	0,13	0,17	0,17	0,10	0,60	0,60	0,13	0,10	0,10	0,00
5	0,20	0,07	0,03	0,10	0,60	0,80	0,17	0,10	0,10	0,20
10	0,16	0,11	0,14	0,04	0,51	0,70	0,19	0,11	0,11	0,08
15	0,23	0,12	0,15	0,09	0,36	0,32	0,17	0,08	0,08	0,12
20	0,19	0,16	0,12	0,07	0,28	0,23	0,19	0,12	0,12	0,12
25	0,23	0,12	0,13	0,09	0,16	0,17	0,17	0,11	0,08	0,12
30	0,12	0,16	0,12	0,16	0,17	0,12	0,15	0,09	0,16	0,11
35	0,21	0,11	0,16	0,04	0,12	0,12	0,13	0,09	0,08	0,13
40	0,13	0,12	0,09	0,09	0,11	0,08	0,12	0,11	0,09	0,08
45	0,12	0,09	0,11	0,09	0,07	0,11	0,12	0,09	0,08	0,13
50	0,12	0,12	0,11	0,09	0,08	0,04	0,12	0,11	0,12	0,07
55	0,09	0,04	0,09	0,09	0,05	0,05	0,08	0,08	0,08	0,11
60	0,08	0,12	0,08	0,08	0,05	0,07	0,08	0,09	0,08	0,08

Tabela F.2: - Indústria farmacêutica 01- Com diluição

Tempo (Min)	25/08	03/09	09/09	10/09	22/09	28/09	05/10	06/10	14/10	21/10
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	1,27	1,01	1,01	1,01	1,41	1,41	1,01	1,01	1,14	1,14
2	2,81	2,68	2,21	1,68	5,63	4,62	2,81	2,01	1,41	1,88
3	2,95	2,35	2,81	2,35	3,02	3,75	2,55	1,68	1,94	2,14
4	2,08	2,61	3,02	1,07	2,81	2,35	2,55	2,14	1,61	2,28
5	0,47	1,41	1,01	1,47	0,20	1,21	1,41	1,14	1,81	1,47
10	0,25	0,52	0,52	0,70	0,36	0,32	0,52	0,63	0,58	0,56
15	0,54	0,20	0,20	0,20	0,12	0,16	0,20	0,27	0,27	0,27
20	0,19	0,13	0,16	0,16	0,12	0,08	0,12	0,13	0,19	0,15
25	0,11	0,11	0,08	0,12	0,04	0,07	0,11	0,16	0,09	0,09
30	0,08	0,05	0,07	0,09	0,04	0,04	0,05	0,05	0,13	0,12
35	0,07	0,07	0,05	0,08	0,04	0,04	0,04	0,08	0,05	0,04
40	0,05	0,05	0,04	0,07	0,04	0,03	0,04	0,08	0,05	0,04
45	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,01	0,04	0,04	0,09	0,04
50	0,01	0,01	0,04	0,04	0,01	0,04	0,04	0,04	0,01	0,00
55	0,03	0,03	0,00	0,04	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,04
60	0,03	0,01	0,04	0,03	0,04	0,01	0,01	0,04	0,04	0,00

Tabela F.3: Indústria farmacêutica 02- sem diluição

Tempo (Min)	25/08	11/09	15/09	18/09	01/10	22/10	29/10	30/10
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,20	0,20	0,07	0,17	0,23	0,13	0,13	0,20
2	0,20	0,10	0,10	0,13	0,10	0,20	0,13	0,20
3	0,20	0,10	0,10	0,10	0,13	0,20	0,00	0,07
4	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10	0,07	0,20	0,13
5	0,13	0,10	0,10	0,17	0,10	0,13	0,13	0,07
10	0,13	0,11	0,07	0,05	0,08	0,09	0,08	0,09
15	0,15	0,13	0,07	0,09	0,12	0,09	0,11	0,09
20	0,17	0,17	0,08	0,09	0,12	0,12	0,09	0,08
25	0,19	0,15	0,11	0,09	0,09	0,11	0,12	0,11
30	0,23	0,19	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,09
35	0,23	0,17	0,15	0,11	0,13	0,12	0,12	0,11
40	0,19	0,15	0,13	0,11	0,11	0,17	0,11	0,11
45	0,13	0,13	0,12	0,16	0,12	0,12	0,12	0,11
50	0,16	0,15	0,11	0,15	0,09	0,11	0,08	0,08
55	0,09	0,08	0,12	0,03	0,08	0,11	0,12	0,12
60	0,12	0,12	0,09	0,15	0,12	0,08	0,09	0,08

Tabela F.4: Indústria Alimentícia- sem diluição

Tempo (min)	07/08	13/08	19/08	26/08	03/09	28/09	06/10	14/10	21/10
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,17	0,00	0,10	0,10	0,20	0,10	0,00
2	0,10	0,10	0,07	0,10	0,10	0,00	0,20	0,03	0,00
3	0,00	0,10	0,07	0,10	0,10	0,00	0,20	0,07	0,20
4	0,07	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,20	0,10	0,00
5	0,07	0,10	0,03	0,10	0,13	0,00	0,20	0,10	0,00
10	0,05	0,00	0,02	0,02	0,07	0,04	0,19	0,04	0,07
15	0,04	0,02	0,05	0,02	0,08	0,04	0,38	0,05	0,05
20	0,06	0,05	0,06	0,03	0,08	0,04	0,07	0,04	0,04
25	0,04	0,05	0,04	0,04	0,09	0,04	0,17	0,09	0,04
30	0,06	0,04	0,11	0,04	0,09	0,04	0,19	0,04	0,08
35	0,06	0,05	0,07	0,04	0,08	0,05	0,15	0,05	0,03
40	0,05	0,07	0,09	0,04	0,12	0,04	0,13	0,08	0,05
45	0,07	0,04	0,07	0,03	0,08	0,04	0,15	0,05	0,07
50	0,05	0,04	0,07	0,03	0,08	0,04	0,09	0,08	0,11
55	0,04	0,07	0,07	0,05	0,08	0,03	0,11	0,05	0,08
60	0,05	0,03	0,06	0,03	0,04	0,04	0,09	0,05	0,08

Tabela F.5: Indústria Alimentícia- com diluição

Tempo (min)	07/08	13/08	19/08	26/08	03/09	28/09	06/10	14/10	21/10
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	1,01	1,01	1,56	1,01	0,67	1,34	1,68	0,60	0,40
2	1,40	1,62	3,69	1,01	1,34	4,02	1,68	0,87	0,94
3	2,85	1,95	4,80	1,01	0,67	3,24	6,70	1,68	1,27
4	2,79	2,01	1,01	1,68	1,01	3,13	4,91	1,47	1,27
5	2,01	1,56	1,56	0,33	0,34	3,69	3,13	1,74	1,34
10	5,81	2,23	3,13	5,03	3,13	5,36	5,36	0,94	0,96
15	3,13	4,13	4,91	3,24	4,24	1,34	1,12	0,24	0,13
20	1,23	1,79	1,45	2,23	2,90	1,45	0,89	0,16	0,31
25	0,95	0,78	1,12	1,40	1,56	0,56	0,67	0,04	0,13
30	0,61	1,01	0,67	1,40	1,12	0,67	0,34	0,12	0,07
35	0,50	0,67	0,33	1,01	1,01	0,34	0,34	0,04	0,07
40	0,34	1,01	0,56	0,78	0,78	0,34	0,06	0,05	0,08
45	0,45	0,67	0,34	0,56	0,78	0,00	0,28	0,03	0,05
50	0,39	0,67	0,11	0,67	0,67	0,33	0,22	0,04	0,01
55	0,45	0,45	0,22	0,56	0,45	0,34	0,11	0,04	0,04
60	0,17	0,56	0,33	0,22	0,89	0,00	0,00	0,03	0,04

APÊNDICE G - Concentração de lodo em cada intervalo de Tempo (x 10³ mg/L)

Tabela G.1: indústria farmacêutica 01- sem diluição

Tempo (Min)	25/8	3/9	9/9	10/9	22/9	28/9	5/10	6/10	14/10	21/10
0	2,47	2,79	2,29	2,72	2,03	1,76	2,22	2,54	2,82	5,56
1	2,52	2,83	2,33	2,74	2,07	1,83	2,26	2,57	2,84	5,62
2	2,54	2,85	2,35	2,76	2,14	1,89	2,28	2,58	2,86	5,67
3	2,57	2,88	2,35	2,77	2,21	1,95	2,30	2,59	2,87	5,67
4	2,59	2,90	2,37	2,78	2,28	2,02	2,32	2,61	2,89	5,67
5	2,61	2,91	2,38	2,80	2,36	2,11	2,34	2,62	2,90	5,73
10	2,73	3,00	2,47	2,83	2,77	2,67	2,46	2,69	2,98	5,85
15	2,91	3,10	2,57	2,90	3,16	3,04	2,59	2,75	3,05	6,04
20	3,08	3,24	2,66	2,95	3,54	3,38	2,73	2,84	3,15	6,25
25	3,32	3,36	2,76	3,03	3,81	3,68	2,89	2,93	3,22	6,47
30	3,46	3,53	2,87	3,17	4,14	3,93	3,03	3,01	3,38	6,67
35	3,73	3,66	3,02	3,21	4,41	4,21	3,18	3,10	3,46	6,95
40	3,93	3,80	3,12	3,30	4,68	4,42	3,32	3,20	3,56	7,13
45	4,13	3,93	3,23	3,39	4,87	4,74	3,48	3,30	3,66	7,45
50	4,35	4,10	3,36	3,50	5,12	4,88	3,65	3,42	3,80	7,62
55	4,54	4,16	3,48	3,60	5,30	5,06	3,78	3,51	3,91	7,91
60	4,71	4,36	3,59	3,70	5,49	5,32	3,91	3,63	4,02	8,14

Tabela G.2: indústria farmacêutica 01- com diluição

Tempo (Minutos)	25/8	3/9	9/9	10/9	22/9	28/9	5/10	6/10	14/10	21/10
0	1,23	1,40	1,14	1,36	1,02	0,88	1,11	1,27	1,41	2,78
1	1,32	1,47	1,20	1,43	1,09	0,92	1,17	1,35	1,49	2,95
2	1,55	1,71	1,36	1,57	1,56	1,08	1,30	1,45	1,66	3,27
3	1,90	1,99	1,63	1,81	2,03	1,28	1,44	1,64	1,89	3,74
4	2,25	2,45	2,08	1,95	2,82	1,58	1,68	1,82	2,23	4,41
5	2,36	2,79	2,29	2,18	2,90	1,80	1,84	2,09	2,53	4,99
10	2,68	3,77	3,09	3,02	3,90	2,46	2,48	2,74	3,38	6,67
15	3,77	4,36	3,57	3,39	4,41	2,86	2,91	3,20	4,02	7,94
20	4,40	4,87	4,08	3,77	5,08	3,17	3,19	3,63	4,49	8,87
25	4,87	5,37	4,39	4,11	5,34	3,51	3,61	3,89	4,85	9,59
30	5,28	5,66	4,70	4,43	5,64	3,71	3,78	4,33	5,41	10,69
35	5,69	6,07	4,97	4,74	5,97	3,87	4,05	4,54	5,63	11,12
40	6,06	6,44	5,19	5,03	6,34	4,05	4,37	4,76	5,86	11,58
45	6,38	6,59	5,44	5,22	6,77	4,25	4,55	5,22	6,12	12,09
50	6,49	6,70	5,71	5,43	6,92	4,46	4,75	5,29	6,12	12,09
55	6,78	6,92	5,71	5,66	6,92	4,62	4,82	5,29	6,40	12,64
60	7,04	6,98	6,01	5,82	7,43	4,70	5,03	5,52	6,40	12,64

Tabela G.3: indústria farmacêutica 02- sem diluição

Tempo (Minutos)	25/8	11/9	15/9	18/9	1/10	22/10	29/10	30/10
0	5,11	5,45	5,31	5,51	5,86	1,55	5,40	4,73
1	5,16	5,50	5,33	5,55	5,92	1,56	5,43	4,78
2	5,21	5,53	5,35	5,59	5,95	1,58	5,47	4,83
3	5,27	5,56	5,38	5,62	5,99	1,59	5,47	4,84
4	5,30	5,58	5,41	5,65	6,03	1,60	5,52	4,88
5	5,34	5,61	5,44	5,69	6,06	1,61	5,56	4,89
10	5,53	5,77	5,53	5,77	6,18	1,65	5,68	5,01
15	5,76	5,98	5,63	5,92	6,39	1,69	5,84	5,14
20	6,06	6,28	5,75	6,07	6,60	1,75	5,99	5,26
25	6,41	6,56	5,92	6,23	6,78	1,80	6,20	5,42
30	6,91	6,95	6,10	6,45	7,03	1,87	6,40	5,56
35	7,48	7,36	6,37	6,66	7,32	1,94	6,63	5,74
40	8,03	7,74	6,64	6,88	7,57	2,05	6,86	5,94
45	8,47	8,13	6,90	7,24	7,88	2,13	7,13	6,14
50	9,07	8,60	7,14	7,61	8,13	2,21	7,32	6,31
55	9,46	8,88	7,44	7,70	8,36	2,30	7,63	6,57
60	10,02	9,33	7,70	8,14	8,74	2,37	7,90	6,76

Tabela G.4: indústria alimentícia- sem diluição

Tempo (Minutos)	7/8	13/8	19/8	26/8	3/9	28/9	6/10	14/10	21/10
0	4,29	4,23	4,59	4,42	4,80	3,56	2,97	3,16	3,22
1	4,29	4,23	4,63	4,42	4,82	3,57	3,00	3,18	3,22
2	4,31	4,25	4,64	4,46	4,82	3,59	3,03	3,18	3,22
3	4,31	4,27	4,66	4,46	4,82	3,61	3,06	3,19	3,25
4	4,32	4,27	4,66	4,48	4,84	3,63	3,09	3,21	3,25
5	4,34	4,29	4,67	4,51	4,84	3,65	3,13	3,22	3,25
10	4,39	4,29	4,69	4,51	4,89	3,72	3,29	3,26	3,30
15	4,43	4,31	4,76	4,51	4,94	3,80	3,67	3,30	3,35
20	4,50	4,37	4,83	4,58	4,99	3,88	3,74	3,34	3,38
25	4,55	4,43	4,88	4,63	5,05	3,98	3,96	3,42	3,42
30	4,62	4,48	5,03	4,68	5,10	4,09	4,22	3,46	3,49
35	4,70	4,53	5,13	4,73	5,17	4,18	4,46	3,51	3,52
40	4,76	4,63	5,27	4,78	5,23	4,34	4,69	3,59	3,57
45	4,85	4,68	5,38	4,83	5,29	4,44	4,98	3,65	3,64
50	4,92	4,73	5,50	4,87	5,35	4,56	5,18	3,73	3,75
55	4,97	4,82	5,61	4,94	5,39	4,68	5,43	3,79	3,74
60	5,05	4,86	5,71	4,99	5,45	4,74	5,68	3,85	3,83

Tabela G.5: indústria alimentícia- com diluição

Tempo (Minutos)	7/8	13/8	19/8	26/8	3/9	28/9	6/10	14/10	21/10
0	2,14	2,11	2,30	2,21	2,40	1,78	1,49	1,58	1,61
1	2,21	2,18	2,41	2,28	2,45	1,85	1,56	1,63	1,64
2	2,31	2,29	2,72	2,35	2,55	2,12	1,65	1,71	1,72
3	2,54	2,45	3,28	2,43	2,61	2,39	2,12	1,87	1,85
4	2,82	2,63	3,43	2,57	2,69	2,73	2,68	2,05	1,99
5	3,06	2,79	3,68	2,60	2,72	3,29	3,23	2,31	2,17
10	4,07	3,06	4,33	3,15	3,05	4,68	4,95	3,51	3,22
15	4,94	3,73	5,99	3,66	3,63	5,23	5,57	4,05	3,44
20	5,40	4,12	6,75	4,11	4,18	5,99	6,19	4,51	4,12
25	5,82	4,31	7,48	4,46	4,55	6,35	6,75	4,65	4,51
30	6,12	4,59	8,01	4,87	4,86	6,84	7,07	5,10	4,73
35	6,40	4,80	8,30	5,21	5,17	7,11	7,43	5,27	4,97
40	6,59	5,15	8,83	5,52	5,45	7,41	7,49	6,16	5,30
45	6,87	5,42	9,18	5,76	5,75	7,41	7,82	5,64	5,54
50	7,14	5,71	9,30	6,08	6,04	7,73	8,10	5,85	5,61
55	7,47	5,92	9,56	6,37	6,25	8,08	8,25	6,08	5,81
60	7,61	6,21	9,98	6,49	6,72	8,08	8,25	6,24	6,03

APÊNDICE H: Comparação entre as Vs iniciais medidas e calculadas pelas metodologias propostas por Daigger (1995), Von Sperling & Froes (1998) e Santos (2002)

Tabela H.1: Indústria Farmacêutica 01- sem diluição

Data dos ensaios	Velocidades medidas em ensaios (m/h)	DAIGGER (1995) (m/h)	Von SPERLING & FRÓES (1998) (m/h)	SANTOS (2002) (m/h)
25/08	0,16	2,09	1,19	1,15
03/09	0,12	1,85	0,96	0,95
09/09	0,13	1,83	1,06	0,99
10/09	0,10	1,67	0,77	0,85
22/09	0,49	2,98	1,59	1,91
28/09	0,68	3,20	1,91	2,14
05/10	0,15	2,04	1,11	1,14
06/10	0,10	1,70	0,88	0,89
14/10	0,10	1,73	0,94	0,87
21/10	0,10	1,73	0,53	0,53

Tabela H.2: Indústria Farmacêutica 01- com diluição

Data dos ensaios	Velocidades medidas em ensaios (m/h)	DAIGGER (1995) (m/h)	Von SPERLING & FRÓES (1998) (m/h)	SANTOS (2002) (m/h)
25/08	2,12	4,48	4,64	3,79
03/09	2,30	4,39	4,28	3,66
09/09	2,39	4,41	2,88	3,66
10/09	1,65	3,99	2,50	3,07
22/09	3,74	4,88	5,18	4,45
28/09	3,59	4,96	5,55	4,54
05/10	2,37	4,46	2,95	3,72
06/10	1,78	4,08	2,65	3,18
14/10	1,76	4,08	2,41	3,19
21/10	1,99	4,31	3,40	3,06

Tabela H.3: Indústria Farmacêutica 02- sem diluição

Data dos ensaios	Velocidades medidas em ensaios (m/h)	DAIGGER (1995) (m/h)	Von SPERLING & FRÖES (1998) (m/h)	SANTOS (2002) (m/h)
25/08	0,17	2,01	0,67	0,69
11/09	0,14	1,87	0,57	0,59
15/09	0,10	1,63	0,60	0,52
18/09	0,10	1,68	0,55	0,51
01/10	0,11	1,73	0,46	0,50
22/10	0,11	1,74	3,96	0,90
29/10	0,10	1,70	0,58	0,54
30/10	0,10	1,69	0,81	0,61

Tabela H.4: Indústria alimentícia- sem diluição

Data dos ensaios	Velocidades medidas em ensaios (m/h)	DAIGGER (1995) (m/h)	Von SPERLING & FRÖES (1998) (m/h)	SANTOS (2002) (m/h)
07/08	0,05	1,49	0,35	0,57
13/08	0,05	1,45	0,37	0,55
19/08	0,06	1,52	0,87	0,55
26/08	0,04	1,45	0,32	0,54
03/09	0,04	1,46	0,78	0,50
28/09	0,08	1,63	0,57	0,72
06/10	0,19	2,13	0,85	1,09
14/10	0,06	1,52	0,75	0,72
21/10	0,05	1,51	0,72	0,70

Tabela H.5: Indústria alimentícia- com diluição

Data dos ensaios	Velocidades medidas em ensaios (m/h)	DAIGGER (1995) (m/h)	Von SPERLING & FRÖES (1998) (m/h)	SANTOS (2002) (m/h)
07/08	1,27	3,72	2,95	2,62
13/08	1,01	3,13	1,51	2,03
19/08	1,65	4,12	2,73	3,03
26/08	0,61	3,16	1,41	2,04
03/03	0,42	2,97	1,24	1,83
28/03	2,07	4,30	3,54	3,43
06/03	2,67	4,65	4,09	4,04
14/03	1,46	3,97	3,90	3,04
21/10	1,08	3,78	2,11	2,82

APÊNDICE I: Comparação entre os tempos de sedimentação medidos e calculados

Tabela I.1: indústria farmacêutica 01- Sem diluição

Data dos ensaios	p	q	R	Va	Ts calculado com a velocidade medida (h)	Ts medido nos ensaios (h)
25/08	5,93	0,69	0,17	0,03	01:42:00	00:40:00
03/09	6,00	0,70	0,17	0,02	02:16:00	≥ 01:00:00
09/09	5,41	0,69	0,13	0,01	02:21:00	≥ 01:00:00
10/09	5,68	0,69	0,15	0,01	02:54:00	≥ 01:00:00
22/09	6,50	0,70	0,19	0,1	00:34:55	00:15:00
28/09	6,33	0,70	0,16	0,11	00:25:46	00:15:00
05/10	5,56	0,69	0,15	0,02	01:58:00	≥ 01:00:00
06/10	5,54	0,69	0,14	0,01	02:58:00	≥ 01:00:00
14/10	5,87	0,69	0,14	0,01	02:56:00	≥ 01:00:00
21/10	8,24	0,73	0,54	0,09	01:16:00	≥ 01:00:00

Tabela I.3: indústria farmacêutica 02- sem diluição

Data dos ensaios	p	q	R	Va	Ts calculado com a velocidade medida (h)	Ts medido nos ensaios (h)
25/08	8,39	0,72	0,410	0,07	01:24:00	≥ 01:00:00
11/09	8,41	0,72	0,410	0,06	01:38:00	≥ 01:00:00
15/09	7,89	0,72	0,351	0,04	01:25:00	≥ 01:00:00
18/09	8,11	0,72	0,401	0,04	02:24:00	≥ 01:00:00
01/10	8,46	0,72	0,410	0,04	01:11:00	≥ 01:00:00
22/10	4,36	0,67	0,111	0,02	01:35:00	≥ 01:00:00
29/10	8,07	0,71	0,381	0,06	01:25:00	≥ 01:00:00
30/10	7,35	0,71	0,398	0,06	01:29:00	≥ 01:00:00

Tabela I.4: Indústria alimentícia- sem diluição

Data dos ensaios	p	q	R	Va	Ts calculado com a velocidade medida (h)	Ts medido nos ensaios (h)
07/08	6,86	0,71	0,175	0,01	06:05:00	≥ 01:00:00
13/08	6,75	0,70	0,180	0,01	06:06:00	≥ 01:00:00
19/08	7,16	0,71	0,218	0,01	04:58:00	≥ 01:00:00
26/08	6,90	0,71	0,152	0,01	07:15:00	≥ 01:00:00
03/09	7,21	0,71	0,256	0,01	07:04:00	≥ 01:00:00
28/09	6,45	0,70	0,190	0,01	03:25:00	≥ 01:00:00
06/10	6,56	0,70	0,292	0,04	01:29:00	00:40:00
14/10	5,94	0,69	0,138	0,01	05:29:00	≥ 01:00:00
30/10	5,96	0,69	0,179	0,01	05:46:00	≥ 01:00:00

Tabela I.5: Indústria alimentícia- com diluição

Data dos ensaios	p	q	R	Va	Ts calculado com a velocidade medida (h)	Ts medido nos ensaios (h)
07/08	7,90	0,72	0,237	0,30	00:13:19	00:05:00
13/08	6,84	0,70	0,270	0,30	00:16:07	00:05:00
19/08	9,03	0,71	0,242	0,40	00:10:20	00:05:00
26/08	7,04	0,71	0,200	0,10	00:28:31	00:10:00
03/09	7,04	0,71	0,192	0,80	00:40:00	00:04:00
28/09	8,35	0,72	0,198	0,40	00:08:10	00:05:00
06/10	8,49	0,72	0,160	0,40	00:06:48	00:05:00
14/10	7,21	0,71	0,167	0,20	00:12:19	00:05:00
30/10	6,93	0,7	0,158	0,20	00:16:07	00:05:00