



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS II – CAMPINA GRANDE

OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE DECANTADORES SECUNDÁRIOS

LINDAUBERTO RODRIGUES COURA

CAMPINA GRANDE

1995

LINDAUBERTO RODRIGUES COURA 58

OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE DECANTADORES SECUNDÁRIOS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS

CAMPINA GRANDE- PB

-1995-

GTU
11-12-94
COSTA

OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE DECANTADORES SECUNDÁRIOS



C858o Coura, Lindauberto Rodrigues.
Otimizacao da operacao de decantadores secundarios /
Lindauberto Rodrigues Coura. - Campina Grande, 1995.
123 f.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) -
Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e
Tecnologia.

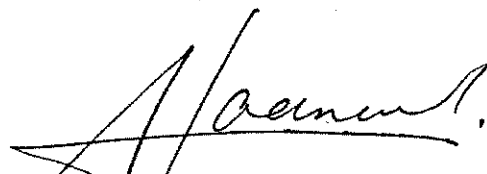
1. Decantadores. 2. Tratamento de Efluentes - Esgotos.
3. Recursos Hidricos. 4. Dissertacao - Engenharia Civil. I.
Haandel, Adrianus Cornelius Van. II. Catunda, Paula
Frassinetti C. III. Universidade Federal da Paraiba -
Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 621.928.44(043)

OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE DECANTADORES SECUNDÁRIOS

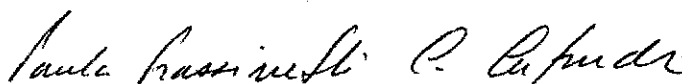
LINDAUBERTO RODRIGUES COURA

COMISSÃO EXAMINADORA



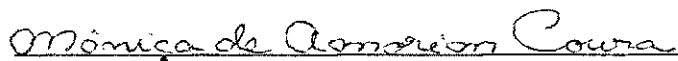
Prof.º ADRIANUS C. VAN HAANDEL -Ph.D

Orientador



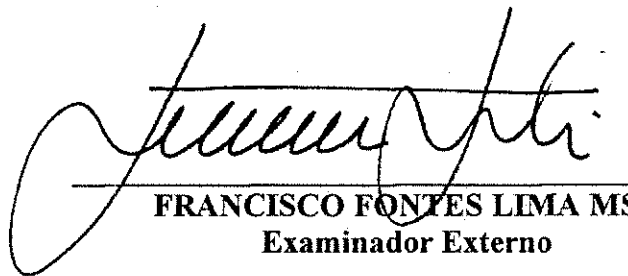
Prof.ª PAULA FRASSINETTI C. CATUNDA -MSc.

Orientadora



Prof.ª -MÔNICA DE AMORIN COURA -MSc.

Examinadora Interna



FRANCISCO FONTES LIMA MSc.

Examinador Externo

CAMPINA GRANDE- PB

1995

AGRADECIMENTOS

A Deus por todas as coisas boas que tem acontecido na minha vida.

Aos professores Adrianus van C. Haandel e Paula Frassinetti Cavalcanti Catunda pela orientação deste trabalho e pela amizade, dedicação e compreensão que me ofereceram em todos os momentos desta jornada.

À meus pais pela compreensão e dedicação.

À professora Mônica de Amorin Coura pelo incentivo ao acréscimo dos meus conhecimentos científicos

À CAPES, e a CETREL por financiarem este trabalho.

À GETRAD (Gerência de Tratamento e Disposição de Efluentes Líquidos), COLAB (Coordenação do Laboratório), COTEL (Coordenação de Tratamento de Efluente Líquido)

À toda equipe da Biblioteca pela fraternidade e carinho.

À Manoel Reis Neiva e Demóstenes Miranda de Carvalho Filho pela colaboração prestada durante a realização desta pesquisa.

À João Augusto S. Seixas e Laurindo Alves G. J. pelo companheirismo e amizade

Aos colegas da operação e do Laboratório pela carinho e amizade.

Ao meu e amigo Lindenor S. Missias pelo acolhimento e incentivo que me foi prestado.

À Adelita Barreto pela cooperação, paciência, amizade e entretenimento nos momentos de tensão.

OFERECIMENTO

Aos meus pais Raimundo e Lindaura.

À meus irmãos Hércules, Bruno e Lonardo.

Resumo

Realizou-se uma investigação experimental visando a otimização do desempenho de decantadores da CETREL. A investigação englobou uma parte prática, que resultou em uma estratégia operacional mais adequada e uma parte teórica que levou ao desenvolvimento de um método gráfico para avaliar se um decantador está sobrecarregado e, neste caso, quais são as modificações necessárias dos valores de variáveis operacionais para que se elimine a sobrecarga. Estabeleceu-se que além da sedimentabilidade, os valores da concentração do licor misto, da taxa de escoamento superficial do decantador e do fator de recirculação de lodo são fatores que influenciam a carga hidráulica e a carga de sólidos aplicáveis. Em adição a estes parâmetros há limites físicos que impõem valores mínimos e máximos para as variáveis operacionais e assim determinam a faixa de validade do método desenvolvido. Estes limites dependem da forma e arranjos construtivos do decantador e precisam ser determinados em cada caso.

Abstract

An experimental investigation was carried out with the aim to optimize the final settlers at CETREL. The investigation was comprised of a practical part that resulted in a more adequate operational strategy and a theoretical part that led to the development of a graphical method to evaluate if a settler is overloaded and, if so, how the operational variables must be changed in order to eliminate the overload. It was established that along with the sludge settleability, the values of the sludge concentration, the overflow rate and the sludge recirculation factor are parameters that influence the applicable hydraulic and solids loading rates. In addition to these parameters there are physical limits that impose maximum and minimum values for the operational variables and thus determine the validity range of the developed model. These limits depend on the constructive form and setting of the settlers and hence need to be determined in each case.

SUMÁRIO

	Pag.
CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2	
APRESENTAÇÃO DA CETREL	4
2.1 Introdução	4
2.2 Estação Central de Tratamento de Efluentes	7
2.2.1 Unidade de Remoção de Voláteis (URV)	8
2.2.2 Bacia de Equalização (BEQ)	8
2.2.3 Tanques de Aeração (TA'S)	8
2.2.4 Decantadores Secundários (DS'S)	9
2.2.5 Espessadores (ou Adensadores) de Lodo (ADE'S)	9
2.2.6 Digestores Aeróbios (DA'S)	10
2.2.7 Fazenda de Lodo	10
CAPÍTULO 3	
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 Introdução	12
3.2 Tanque de Aeração em Sistema de Lodo Ativado	14
3.3 Decantadores de Sistema de Lodo Ativado	15
3.3.1 Descrição	15
3.3.2 Operação	17
3.3.3 Tempo de Permanência	17
3.3.4 Manutenção	20
3.4 Avaliação da Eficiência de um Decantador	21
3.5 Sedimentação	22
3.5.1 Sedimentação Discreta	22
3.5.2 Sedimentação Flocculenta	22
3.5.3 Sedimentação em Zona	23

3.6 Determinação da Velocidade de Sedimentação em Zona, VSZ.	23
3.7 Sedimentação de Lodo em um Decantador Contínuo	28

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1 Introdução	32
4.2 O Sistema de Lodo Ativado da CETREL - Ala Nova.	34
4.2.1 Descrição geral	35
4.2.2 Tanque de Aeração TA-3	35
4.2.3 Caixa de Distribuição de Vazão (CDV)	35
4.2.4 Decantadores (DS7/DS12)	36
4.2.5 Elevatória (ELA-3)	37
4.3 Determinação das Vazões nos Decantadores	37
4.4 Distribuição do Tempo de Permanência	38
4.5 Determinação da Posição da Válvula Telescópica para Controle do Fluxo de Lodo Decantado	40
4.6 Determinação da Posição do Lençol de Lodo	42
4.7 Unidade Experimental para Determinação da Velocidade de Sedimentação em Zona (VSZ)	43
4.8 Procedimento Analítico	44
4.8.1 Determinação do Índice Volumétrico de Lodo IVL.	44
4.8.2 Outras Determinações	45
4.8.3 Determinação da Rodamina-B	45
4.9 Figuras	46

CAPÍTULO 5

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	54
5.1 Introdução	54
5.2 Determinação de Vazões nos Decantadores	55
5.2.1 Determinação da Relação entre a posição da Válvula Telescópica e a Vazão do Lodo de Retorno	57
5.3 Estimativa da Capacidade dos Decantadores Finais na CETREL.	59

5.3.1 Diagrama geral da capacidade dos decantadores	59
5.3.2 Determinação da Sedimentabilidade de Lodo	62
5.3.3 Determinação da Distribuição do Tempo de Permanência nos Decantadores	64
5.3.4 Diagrama Específico da Capacidade de um Decantador	66
5.3.5 Verificação Experimental	68
5.3.6 Limitação Imposta do Diagrama pelas Condições Operacionais de um Decantador.	71
5.3.7 Procedimento Operacional para Avaliar a Condição de um Decantador.	75
5.5 Avaliação dos Resultados Obtidos	76
5.6 Tabelas	78
5.7 Figuras	90
CAPÍTULO 6	
CONCLUSÕES	109
CAPÍTULO 7	
SUGESTÕES	111
CAPÍTULO 8	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
APÊNDICE	114

CAPÍTULO 1

Introdução

O objetivo do tratamento na estação operada pela CETREL é a remoção do material orgânico e os sólidos em suspensão dos efluentes industriais ali processados. Para tanto, dispõe-se de um sistema que se compõe de duas partes: uma construída no período em que foi fundado o pólo Petroquímico de Camaçari (a Ala Velha) e uma extensão que foi completada em 1993 (Ala Nova). Nos primeiros anos de operação da Ala Nova, a eficiência de remoção dos sólidos em suspensão ficou aquém da expectativa e as características do efluente produzido não correspondiam, em todos os aspectos, aos padrões especificados pelo CEPRAM (Conselho Estadual de Proteção do Meio Ambiente). Em particular, a concentração de sólidos em suspensão tem se mantido acima do padrão: no período da investigação, de 14 de dezembro a 18 de janeiro de 1993, a concentração de sólidos em suspensão no efluente da Ala Nova era de 156 mg/L, enquanto o padrão especificava um máximo de 40 mg/L.

Decidiu-se investigar as razões do desempenho insatisfatório da Ala Nova, concentrando-se nos decantadores finais, onde se realiza a separação dos sólidos em suspensão do efluente clarificado. Estabeleceu-se que, parte do problema, era devido as condições operacionais nos seis decantadores existentes na Ala Nova, as quais, eram muito diferentes, devido à falta de uma padronização operacional. Quando se instituiu um regime com condições operacionais iguais (e adequadas) para todos os decantadores,

a concentração de sólidos em suspensão diminuiu sensivelmente, reduzindo de 156 para 53 mg/L, em média.

Para facilitar a operação dos decantadores, desenvolveu-se um método gráfico que permite identificar se um decantador está sobrecarregado e, se o caso for, indicar quais as providências possíveis para eliminar a sobrecarga. Estabeleceu-se que a carga hidráulica e a carga de sólidos que podem ser aplicadas num decantador, dependem de determinados fatores que podem ser agrupados em duas classes: (a) a sedimentabilidade de lodo e (b) as variáveis operacionais do processo de decantação sendo estas: a concentração do licor misto, a taxa de escoamento superficial e o fator de recirculação.

Baseando-se em considerações teóricas sobre a sedimentabilidade de lodo, desenvolveu-se o diagrama da capacidade do decantador que permite avaliar, para uma determinada sedimentabilidade de lodo, os valores necessários das variáveis operacionais para que o decantador possa funcionar apropriadamente. Para facilitar o uso do método gráfico, procurou-se correlacionar a sedimentabilidade com o índice volumétrico de lodo (IVL) e elaborou-se diagramas da capacidade do decantador para diferentes valores do IVL.

O método apresentado se baseia em conceitos teóricos e não leva em consideração limites físicos que determinem a faixa operacional do decantador. Há um limite superior de carga hidráulica (taxa de escoamento superficial), imposto pela necessidade de se ter um ambiente tranquilo para sedimentação. Por outro lado, há um tempo de retenção máximo de sólidos no decantador, que repercute em valores mínimos da taxa de escoamento superficial e no fator de lodo de retorno. Os valores limites das

variáveis operacionais dependem da qualidade construtiva do decantador e devem ser determinados experimentalmente.

CAPÍTULO 2

APRESENTAÇÃO DA CETREL

2.1 Introdução

O complexo Petroquímico de Camaçari está situado numa área próxima ao litoral norte da Bahia a 50 km de Salvador e é o maior complexo industrial da América Latina. Mais de 60 indústrias nacionais e internacionais produzem plástico, resinas, fertilizantes e outros produtos da petroquímica, que são comercializados no Brasil e exportados para países da América, Europa, Ásia e África. Para minimizar o impacto ambiental, decorrente dos diferentes resíduos advindos da operação do Pólo Petroquímico de Camaçari, coube à CETREL S.A.- Empresa de Proteção Ambiental, através de suas coordenações setoriais, atuar no monitoramento e tratamento dos resíduos produzidos pelas indústrias.

A Figura 2.1 mostra o esquema dos resíduos provenientes do Pólo Petroquímico de Camaçari, e os pontos de atuação da CETREL, destacando-se:

- Sistema de Monitoramento do Ar (1- S.M.A.): o Sistema de Monitoramento do Ar se destina a monitorar a qualidade do ar na área sob influência do Pólo Petroquímico de Camaçari;
- Incinerador de Resíduos Líquidos (2- I.R.L.): a unidade de incineração é responsável pela queima dos resíduos líquidos perigosos (9- RLP). Esses resíduos líquidos perigosos

são encaminhados para o sistema de incineração cuja eficiência é de 99,9999 % ,tendo capacidade para tratar 10.000 toneladas por ano;

•Sistema de Valos de Tratamento e Disposição (3- V.T.D): nesta unidade os resíduos sólidos perigosos (10- RSP) são conduzidos para aterros, denominados de valos de tratamento e disposição, os quais têm uma capacidade para disposição final de 60.000 toneladas por ano. O chorume produzido é encaminhado para a Estação Central de Tratamento de Efluentes (ECTE).

Na própria indústria ocorre a separação dos resíduos líquidos orgânicos e inorgânicos os quais são coletados por diferentes sistemas. Os resíduos líquidos orgânicos são coletados pelo sistema orgânico (8-SO) e encaminhado para a ECTE, enquanto que os resíduos líquidos inorgânicos são conduzidos pelo sistema inorgânico (7-SN) e encaminhado para o sistema de reunião de efluente (6-SRE);

•Estação Central de Tratamento de Efluentes (4-ECTE.): nesta unidade ocorre o tratamento dos efluentes industriais de natureza orgânica. Os efluentes são conduzidos para a ECTE , onde recebem tratamento físico (dessorção de voláteis) e biológico (sistema de lodo ativado). Após o tratamento são enviados para o sistema de disposição oceânica.

•Sistema de Disposição Oceânica (5-S.D.O.): o sistema de disposição oceânica foi construído com a finalidade de receber o efluente da Estação Central de Tratamento de Efluente. O sistema de disposição oceânica conduz, através de um emissário submarino, o efluente tratado para uma zona situada a 5 km da costa e a uma profundidade de 25 m, garantindo uma perfeita difusão do efluente final no mar;

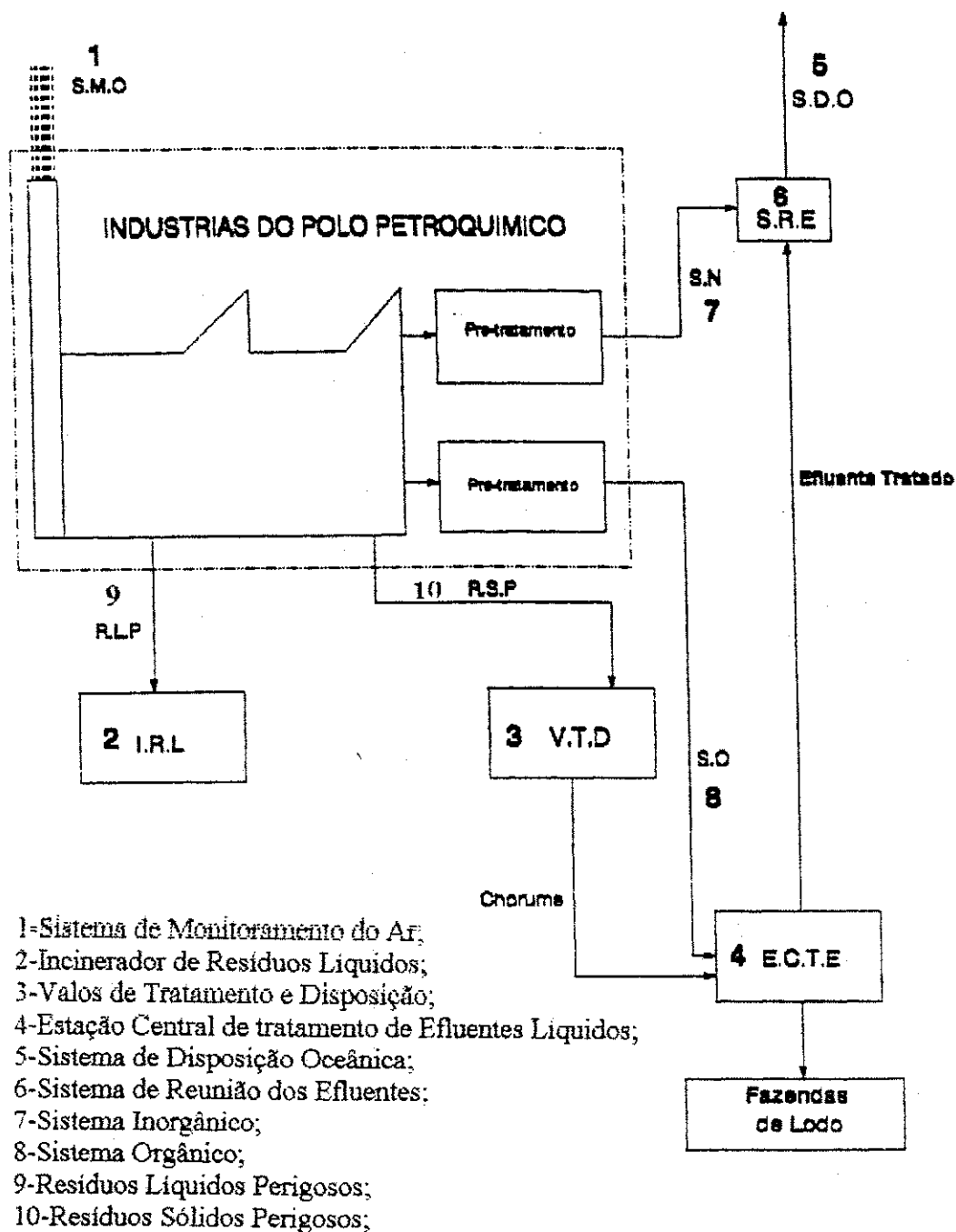


Figura 2.1 - Esquema dos resíduos produzidos no Pólo Petroquímico e os pontos onde a CETREL atua.

2.2 Estação Central de Tratamento de Efluentes

O objetivo da Estação Central de Tratamento de Efluentes - ECTE, é remover as substâncias orgânicas e sólidas em suspensão presentes nos efluentes líquidos, gerados pelas indústrias do Pólo Petroquímico de Camaçari. A ECTE tem capacidade de receber uma vazão média diária de 144.000 m³ com carga diária de 120 ton. de DBO, 360 ton. de DQO e 54 ton. de sólidos em suspensão. O efluente final é encaminhado para o oceano. A qualidade do efluente a ser lançado no oceano tem que estar dentro dos parâmetros limites estabelecidos pela resolução CEPRAM (Conselho Estadual de Proteção ao Meio Ambiente) número 619 de 12-07-92. Os padrões para disposição oceânica exigidos pelo CEPRAM são : < 40° de Temperatura, pH na faixa de 6,5 a 8,5 , Demanda Química de Oxigênio < 500 mg/L , Demanda Bioquímica de Oxigênio < 50 mg/L , e Sólidos em Suspensão < 40 mg/L. As principais unidades da ECTE estão representadas na Figura 2.2, onde estão delimitadas em zonas, designadas de diagramas. São as seguintes as unidades presentes em cada diagrama:

- diagrama I - unidade de remoção de voláteis (1) e bacia de equalização (2);
- diagrama II- tanques de aeração (3A e 3B);
- diagrama III- decantadores secundários (4) e estação elevatória de lodo ativado (5);
- diagrama IV- tanques de aeração (11A e 11B) e decantadores secundários (9);
- diagrama V- espessadores de lodo (7 e12) e digestores aeróbicos (13);
- diagrama VI- fazendas de lodo (15);
- diagrama VII- fazendas de lodo (6);

Observa-se que as lagoas de lodo (14) estão entre os diagramas (V e VI).

2.2.1 Unidade de Remoção de Voláteis (URV)

Os efluentes orgânicos entram na Estação Central de Tratamento de Efluente pela Unidade de Remoção de Voláteis, a qual tem um volume útil de 1.660 metros cúbicos (Figura 2.2 diagrama I(1)). Na URV ocorre a redução (70% a 80%) do teor de compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis. A remoção desses compostos se dá por dessorção, promovida pelo ar borbulhado de 8 aeradores com capacidade de 44 kW cada. Os compostos voláteis, ali removidos, são lançados na atmosfera, através de uma chaminé de 30 metros de altura, mediante um sistema de exaustão. A espuma produzida pela aeração é distribuída num sistema de Bicos-Spray, sendo a fase líquida conduzida para uma elevatória de onde é recalcado para o tanque de aeração, afim de ser tratado.

2.2.2 Bacia de Equalização (BEQ)

A Bacia de Equalização (BEQ), com 58.000 m³ de capacidade, recebe os efluentes da unidade de remoção de voláteis. A BEQ (Figura 2.2, diagrama I(2)), tem como objetivo promover a homogeneização dos diferentes tipos de despejos afluentes e amortizar oscilações na sua composição através de nove misturadores.

2.2.3 Tanques de Aeração (TA`S)

Os Tanques de Aeração em numero de quatro (Figura 2.2 diagramas II(3A ,3B)) e IV(11A,11B) constituem as principais unidades do processo biológico de tratamento, com uma capacidade volumétrica total de 178.700 m³. A potência total instalada é de 9.250 HP, originando um ambiente oxidativo suficiente para estabilização de 120 toneladas de DBO diariamente. Cada tanque tem um tempo médio de retenção hidráulico de 30 horas e uma idade de lodo de 18 dias.

2.2.4 Decantadores Secundários (DS`S)

Dos tanques de aeração (Figura 2.2 diagrama II (3A,3B) e (11A e11B)), o licor misto (mistura de líquido e lodo) é encaminhado para os decantadores secundários (Diagramas III (4) e IV (9). A ECTE é provida de doze decantadores secundários (clarificadores), com 4.5 m de profundidade, dos quais cinco com diâmetro de 33m e sete com diâmetro de 38m .Os clarificadores promovem a separação da biomassa (fase sólida) e do efluente tratado (fase líquida). Parte do lodo decantado no fundo do clarificador é recirculado para os TA`S e o restante é descartado como lodo de excesso para os espessadores de lodo (Figura 2.2 diagrama V(7 e 12)).

2.2.5 Espessadores (ou Adensadores) de Lodo (ADE`S)

A ECTE dispõe de cinco espessadores, sendo dois (Figura 2.2 diagrama V(12)) com 14m de diâmetro e os três restantes (Figura 2.2 diagrama V(7)) com 27m de diâmetro, todos com carregamento diário de 20 kg/m³ de lodo. Destinam-se a promover a desidratação do lodo por gravidade, aumentando o teor de sólidos de 1% para 4%. O

lodo adensado nos espessadores é estabilizado em digestores aeróbios. O sobrenadante vertido na parte superior dos espessadores, é recirculado para os tanques de aeração.

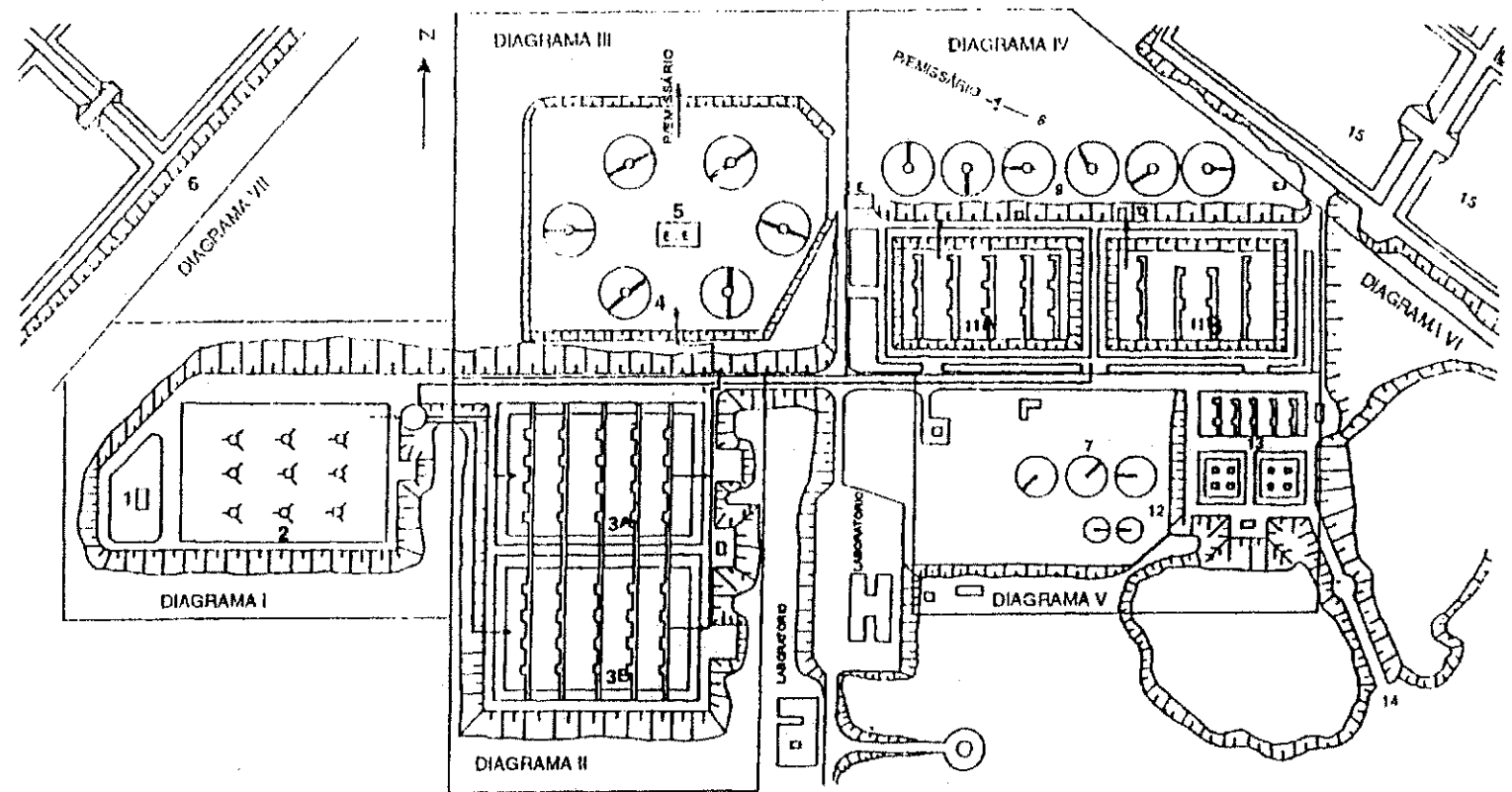
2.2.6 Digestores Aeróbios (DA`S)

A ECTE dispõe de três digestores aeróbios (Figura 2.2 diagrama V(14)), sendo dois com volume de 2.690 metros cúbicos, cada um dotado de quatro aeradores fixos de 60 CV. O terceiro digestor aeróbio é provido de dez aeradores fixos de 100 CV com uma capacidade volumétrica de 10.880 metros cúbicos

2.2.7 Fazenda de Lodo

A disposição final do lodo digerido pelos digestores é feita nas fazendas de lodo (Figura 2.2 diagramas VI(15) e VII(6)) onde, em contato com o solo, o lodo ganha mais estabilidade devido a ação dos microrganismos do próprio solo.

As águas percoladas nas fazendas de lodo são coletadas, através de um sistema de drenagem contido sob a camada de solo e, posteriormente, são retornadas aos tanques de aeração.



- | | |
|---|---|
| 01 - Unidade de Remoção de Voláteis | 08 - Saída de Efluentes Líquidos |
| 02 - Bacia de Equalização | 09 - Decantadores Secundários |
| 03 - Tanques de Aeração | 10 - Estações Elevatórias de Lodo Ativado |
| 04 - Decantadores Secundários | 11 - Tanques de Aeração |
| 05 - Estação Elevatória de Lodo Ativado | 12 - Espessadores |
| 06 - Células - Fazendas de Lodo | 13 - Digestores Aeróbicos |
| 07 - Espessadores | 14 - Lagoas de Lodo |
| | 15 - Células - Fazendas de Lodo |

Figura 2.2 - Estação Central de Tratamento de Efluente da CETREL

CAPÍTULO 3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Introdução

Sistemas de lodo ativado são constituídos de reatores biológicos aerados, seguidos de decantadores. Nos reatores biológicos, denominados de tanques de aeração, a massa de microrganismos é mantida em suspensão através da agitação provocada por aeradores. Assim, há um contato íntimo do lodo com o material orgânico na água residuária afluente. Através da separação sólido-líquido que ocorre nos decantadores, obtém-se o efluente clarificado. Esses decantadores operam em regime contínuo, descarregando o efluente, livre de sólidos, para o corpo receptor. Parte dos sólidos decantados são recalcados para o reator biológico e a outra parte é descartada como lodo de excesso. Os decantadores de lodo ativado são denominados de decantadores secundários ou decantadores finais. Esta denominação é dada para distinguí-los de decantadores primários aplicados para decantação do afluente bruto.

A Figura 3.1 é uma representação esquemática de um sistema de lodo ativado. Nesse sistema, a água residuária de vazão " Q_a ", que entra no tanque de aeração, é misturada com o licor misto ocorrendo a adsorção e o metabolismo, pela massa de lodo ativado, da matéria orgânica e dos sólidos do afluente. O metabolismo se compõe de dois processos: (1) catabolismo, que é a oxidação do material orgânico com liberação de energia e (2) anabolismo, que é a síntese de matéria celular a partir da matéria orgânica.

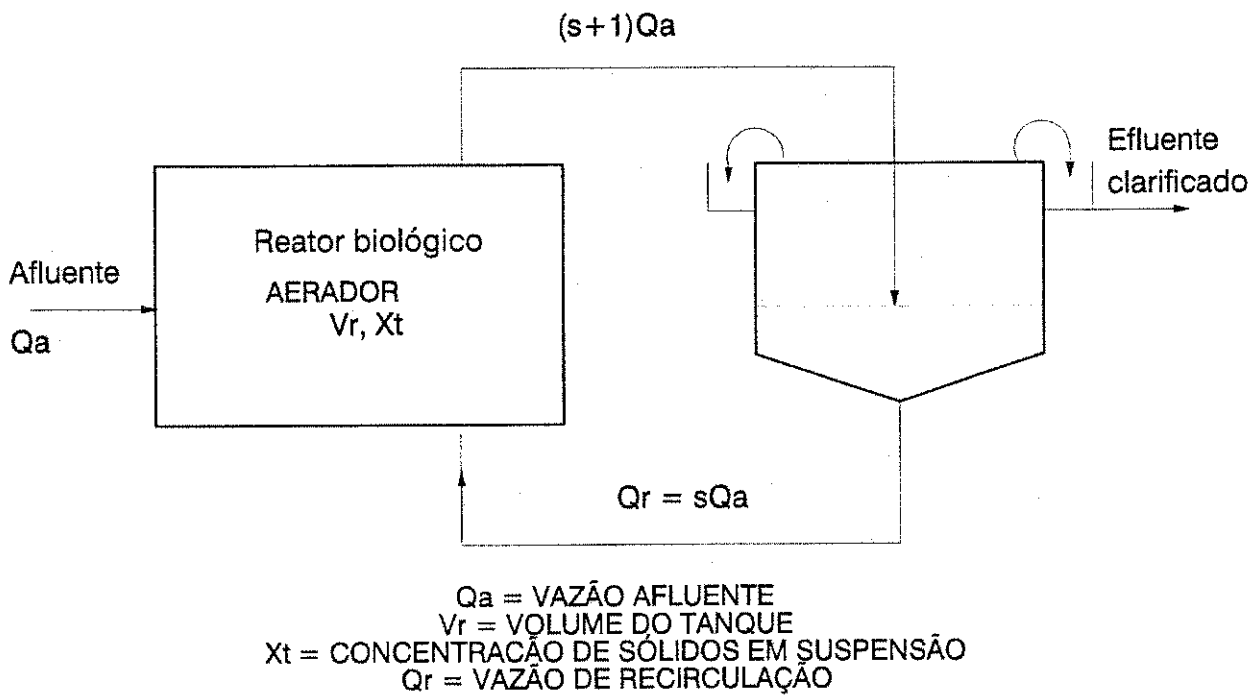


Figura 3.1 - Representação esquemática de um sistema de lodo ativado com um decantador secundário

Os processos de oxidação e síntese que ocorrem no tanque de aeração são responsáveis pela degradação da matéria orgânica e crescimento do lodo ativo. No tanque de aeração, a massa de lodo presente é dada pelo produto $V_r \times X_t$, onde V_r é o volume do reator biológico, no caso, o tanque de aeração (TA) e X_t é a concentração de sólidos totais. Continuamente uma vazão $(s + 1)Q_a$ do licor misto é descarregada no decantador secundário. O lodo decantado é recirculado para o TA numa vazão $sQ_a = Q_r$, sendo Q_a a vazão do efluente clarificado.

3.2 Tanque de Aeração em Sistema de Lodo Ativado

Os tanques de aeração em sistemas de lodo ativado se destinam a fornecer o oxigênio necessário à atividade biológica e manter a mistura do afluente com o lodo em suspensão, promovendo os processos biológicos aeróbios destinados à remoção dos compostos orgânicos das águas residuárias.

Nos tanques de aeração, a alimentação de ar deve ser suficiente para garantir em qualquer ponto do tanque um teor de oxigênio dissolvido entre 1 e 2 mg/L (Van Haandel 1992). Teores mais elevados de oxigênio são inúteis e acarretam despesas desnecessárias.

3.3 Decantadores de Sistema de Lodo Ativado

3.3.1 Descrição

A forma geométrica mais utilizada de decantadores em sistemas de lodo ativado é a circular, embora existam decantadores com forma retangular. Segundo Metcalf & Eddy (1991) a profundidade de decantadores cilíndricos normalmente varia de 3 a 5 metros, o diâmetro de 3.6 a 60 metros, e declividade do fundo de 2 a 8‰. Eckenfelder (1992), refere-se a decantadores mais profundos de 5 a 7 metros.

No esquema do decantador circular representado na Figura 3.2, distinguem-se os seguintes dispositivos:

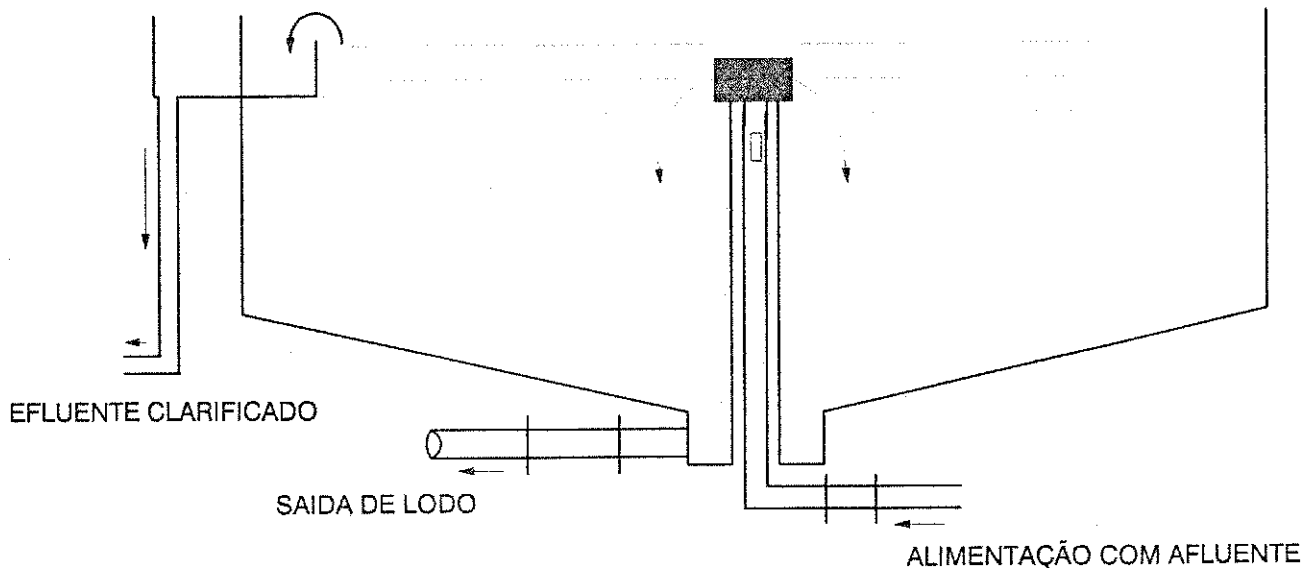


Figura 3.2- Esquema simplificado de um decantador circular, com alimentação central e fluxo radial

a) **tubo central de alimentação:** o licor misto afluyente entra no decantador através de um tubo central, sendo, na superfície, distribuído uniformemente em todas as direções;

b) **dispositivo de saída do efluente:** a saída do efluente clarificado final se dá através de uma soleira circular periférica, dotada de pequenos vertedouros triangulares. Segundo Pessoa e Jordão (1982), deverá ser mantida uma vazão média, por metro linear de vertedouro inferior, de 10 litros por segundo. Na prática, adotam-se valores compreendidos entre 3 e 10 litros por segundo e por metro linear do vertedor (Pessoa e Jordão (1982);

c) **coletores de espuma e óleo:** os coletores de espuma e óleo são constituídos de raspadores, em número de dois, acoplados à ponte metálica, que operam paralelamente, ao nível da água. Os raspadores é equipados com lâminas submersas no líquido. Essas lâminas conduzem a espuma e o óleo, até uma calha que dá acesso a uma caixa de retenção. Nessa manobra, deve-se evitar que a espuma e/ou óleo saiam com o efluente clarificado. Desse modo, costuma-se instalar anteparos, antes e ao logo dos vertedouros, com a finalidade de retê-los na superfície do líquido, para que não saiam juntos com o efluente clarificado. A descarga do líquido clarificado se dá passando por baixo do anteparo;

d) **saída de lodo decantado:** o lodo depositado no fundo do decantador é raspado e conduzido para o poço de acumulação no centro do decantador, de onde é removido por boejamento ou descarga hidráulica.

3.3.2 Operação

Em decantadores circulares, o licor misto é distribuído de forma radial e uniforme no centro e na superfície. O efluente clarificado, verte pelas bordas do decantador através de vertedores triangulares. O lodo decantado é arrastado para o poço de acumulação através de raspadores mecânicos. Alguns decantadores têm inclinação suficiente para permitir o encaminhamento natural do lodo, para o poço de acumulação. A utilização de raspadores mecânicos, torna possível a adoção de menores inclinações no fundo do decantador Pessoa e Jordão (1982).

Deve-se manter a vazão afluente com o mínimo de variação possível, a fim de garantir uma chegada e distribuição tranqüila do licor misto no decantador. Para se evitar as variações de vazões, a vazão de bombeamento deverá ser a mais constante possível. Os vertedores e as caixas de distribuição de vazão, deverão ser mantidos limpos e nivelados, de acordo com o nível correspondente as vazões afluentes.

3.3.3 Tempo de Permanência

Idealmente, em decantadores, deveria haver um regime de escoamento tipo fluxo pistão ou tubular. Teoricamente esse escoamento se caracteriza pelo fato de não haver nenhuma mistura no reator (no caso no decantador). Nesse caso, o tempo de permanência hidráulico é bem definido e é dado pela razão entre o volume do decantador e a vazão do licor misto que é aplica..

Em plantas de tratamento de águas residuárias, a eficiência do decantador é freqüentemente prejudicada por fatores como curto-circuitos e zonas mortas. No caso, de curto-circuitos, uma corrente de afluente sai do tanque muito rápida, não havendo

tempo de participar do processo. A zona morta é uma zona no decantador que não participa do processo de mistura. Esses fatores, por menores que sejam, provocam um decréscimo na eficiência do decantador.

Na prática, o tempo de permanência no decantador não corresponde ao tempo ideal dado pela razão entre o volume e a vazão de entrada. O "tempo de permanência real", corresponde ao tempo médio de percurso do líquido entre a entrada e a saída. A determinação do tempo de permanência no decantador, é feita, utilizando-se traçadores. O emprego de corantes ou de radionuclídeos como traçadores é muito comum para determinar o tempo de permanência em tanques.

Horan (1990), classifica um traçador ideal aquele que tenha as seguintes características :

- fácil detecção em concentrações baixas;
- não ser biodegradável dentro do reator;
- não reagir com o líquido dentro do reator;
- não ser tóxico e ser de fácil manuseio.

Nenhum traçador satisfaz a todas essas características. Na Tabela 3.1 estão descritos alguns traçadores mais populares, segundo Horan (1990).

Tabela 3.1- Características dos traçadores mais populares

Traçador	Concentração limite de detecção	Custo	Modelo de detecção	Vida-média no meio ambiente
Rodamina	0.01µg/L	Moderado	Simples	Alto
Azul de Bromofenol	20µg/L	Alto	Simples	Alto
82 Br ⁺	-	Alto	Complexo	36 h
<i>Bacillus globigii</i>	10 esporos/L	Moderado	Simples	9-15 meses
<i>Serratia marcescens</i>	100 partículas/L	Baixo	Simples	6h-200h

Azeredo et. alli (1985), estudaram o desempenho de traçadores fluorescentes e radioativos, para caracterizar a hidrodinâmica do decantador de uma estação de tratamento de efluente doméstico. A técnica empregada para análise da mistura do traçador no decantador foi a de estímulo-resposta. Essa técnica consiste na adição de uma batelada de traçador na corrente de entrada e da análise de sua concentração na corrente de saída do decantador.

Os traçadores testados no estudo acima referido foram Amido Rodamina G-extra, Fluoresceína sódica (uramina), Eosina, Rodamina-B, Bromo-82. O Bromo-82 é um radioisótopo de fórmula química KBr com tempo de média vida de 36 horas. As faixas de comprimento de onda para leitura espectrofotométrica dos traçadores testados estão listadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2- Faixa de comprimento de onda para leitura espectrofotométrica por

Azeredo et alli (1985)

Traçador	Comprimento de onda
Amido Rodamina G-extra	530-550
Fluoresceína Sódica (Uramina)	490-520
Eosina	517-530
Rodamina-B	555-575

No trabalho de Azeredo et alli (1985) concluíram que, nas condições prevalecentes dos quatro traçadores fluorescente empregados, os mais adequados foram o Amido Rodamina G-Extra e a Eosina. A Rodamina-B, Uramina e o traçador Radioativo Bromo-82 não se mostraram adequados tanto quanto os outros.

3.3.4 Manutenção

Nos decantadores a manutenção deve ser realizada para caracterizar, identificar e consertar problemas como falhas e defeitos de equipamentos e instalações permitindo, com isto, melhores condições de trabalho da unidade e do pessoal de operação. Apresenta-se a seguir algumas práticas de manutenção de rotina e manobras realizadas no sistema de decantação da CETREL:

a) verificação da vazão afluente. Em sistemas compostos de mais de um decantador, a vazão deve ser distribuída de acordo com a capacidade de cada decantador para que não haja sobrecarga ou subcarga de um individualmente;

b) verificação do nível de saída do decantador. Frequentemente deve ser feita a retirada de objetos não desejados dos vertedores, evitando, assim, a sua obstrução e, conseqüentemente, a formação de curto-circuito devido a descargas desuniformes;

c) limpeza. A limpeza é feita para remoção de material retido (lodo, óleo, etc.) indevidamente nos poços de acumulação ou nas caixas de passagem;

d) execução do plano de lubrificação de peças previamente estabelecido;

e) inspeção ou vistoria nas partes submersas (interior do decantador), pelo menos uma vez por ano com o intuito de observar se há vazamentos ou rachaduras nas paredes e fundo do decantador.

3.4 Avaliação da Eficiência de um Decantador

A eficiência de um decantador é determinado pela sua capacidade de renovar de sólidos suspensos e coloidais (turbidez). Os sólidos suspensos e sólidos sedimentáveis são, portanto, os parâmetros principais para a determinação da eficiência de um decantador secundário. Sistemas de lodo ativado quando bem operados, geralmente apresentam, no efluente teor de sólidos suspensos menor que 40 mg/L e de sólidos sedimentáveis maior que 1 mL/L van Haandel, (1992). A determinação da turbidez é feita devido a sua simplicidade e por fornecer respostas rápidas. Algumas estações de tratamento usam o sistema on-line de turbidez, que tem a capacidade de fornecer dados de turbidez quase que instantaneamente.

Outros parâmetros como DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio) determinam a eficiência do sistema (reator biológico e decantador) como um todo. Além desses parâmetros de avaliação da eficiência, a determinação do pH efluente do decantador poderá indicar zonas de degradação anaeróbia do lodo no decantador (MOP/11, 1976). A medição desse parâmetro deve ser efetuada diariamente, por ser uma análise simples e de extrema importância.

3.5 Sedimentação

Sedimentação é a separação de partículas sólidas mais densas que a água, mediante a ação da gravidade. A sedimentação é aplicada para a remoção de sólidos, como flocos biológicos formados em sistema de lodo ativado ou flocos químicos produzidos pela adição de substâncias coagulantes em águas. Segundo a concentração de partículas e a tendência delas de flocularem, a sedimentação pode ser discreta, floculenta ou zonal.

3.5.1 Sedimentação Discreta

Na sedimentação discreta (sedimentação livre), as partículas sólidas em suspensão, depositam-se individualmente não havendo interação significativa com as partículas próximas. Um exemplo típico é a sedimentação de partículas de areia.

3.5.2. Sedimentação Floculenta

As partículas em suspensão se agregam durante a sedimentação, formando flocos, que sedimentam mais rapidamente. A quantidade de flocos produzida depende das oportunidades de contato que existam entre as partículas, as quais podem variar de acordo com a carga de superfície, a profundidade do tanque no sistema, a concentração das partículas e velocidade de sedimentação diferenciada.

3.5.3 Sedimentação em Zona

Essa sedimentação é conhecida como zonal, devido a formação de uma zona de partículas interligadas que sedimentam em conjunto. Para que este tipo de zona possa se formar é necessário que exista uma concentração suficiente de partículas. Segundo Van Haandel (1992), a faixa de concentração mínima de sólidos suspensos, em licor misto de sistema de lodo ativado, para haver sedimentação em zona, está em torno de 0,5 a 1 g/L. Abaixo dessas concentrações, os flocos estão dispersos e tendem a sedimentar individualmente. Normalmente no sistema de lodo ativado a concentração de sólidos suspenso está na faixa de 2 a 5 g/L, bem superior ao limite para haver sedimentação em zona.

3.6 Determinação da Velocidade e Sedimentação em Zona, VSZ.

Segundo Catunda et alli (1986.a) White, desenvolveu um teste para a determinação da velocidade de sedimentação em zona a partir de um decantador de batelada. O teste consiste em se deixar uma batelada de lodo em repouso e medir a velocidade de descida da interface sólido-líquido. A Figura 3.3 apresenta um esquema de um sistema que permite, simultaneamente, determinar a VSZ de suspensões com diferentes concentrações. O sistema consiste de cilindros transparente, nos quais se colocam bateladas de lodo ativado. Um motor de baixa rotação gira um eixo dotado de palheta que promove, ao lodo de cada cilindro, uma suave agitação. A Figura 3.4 ilustra um teste para determinação da VSZ em uma batelada de lodo. Durante a sedimentação dos sólidos em suspensão, observa-se o seguinte comportamento:

a) pouco tempo (alguns minutos) após o lodo ser colocado, surge uma interface bem definida, separando a fase líquida, sem sólidos em suspensão - o sobrenadante - do lodo em sedimentação;

b) na região abaixo da interface, as partículas sedimentam com uma velocidade uniforme e constante, de modo que a interface se desloca descensionalmente com essa mesma velocidade;

c) simultaneamente, no fundo do decantador se acumula o lodo sedimentado com uma concentração elevada;

d) num determinado momento, a interface atinge o lodo concentrado no fundo (zona de compressão). Quando a interface se aproxima do lodo concentrado, a velocidade de deslocamento da interface começa a diminuir gradualmente.

Ainda na Figura 3.4, observa-se uma curva típica do deslocamento da interface líquido-sólido. A velocidade de sedimentação em zona, VSZ, é definida como a parte linear (ou linearizada) da curva.

Segundo Catunda et alii (1986.a) Vesilind e Dick desenvolveram expressões diferentes, relacionando a VSZ com a concentração de lodo ativado:

Equação de Vesilind

$$v = v_0 \text{EXP} (- kX_t) \quad (3.1)$$

Equação de Dick

$$v = V_0 (X_t)^K \quad (3.2)$$

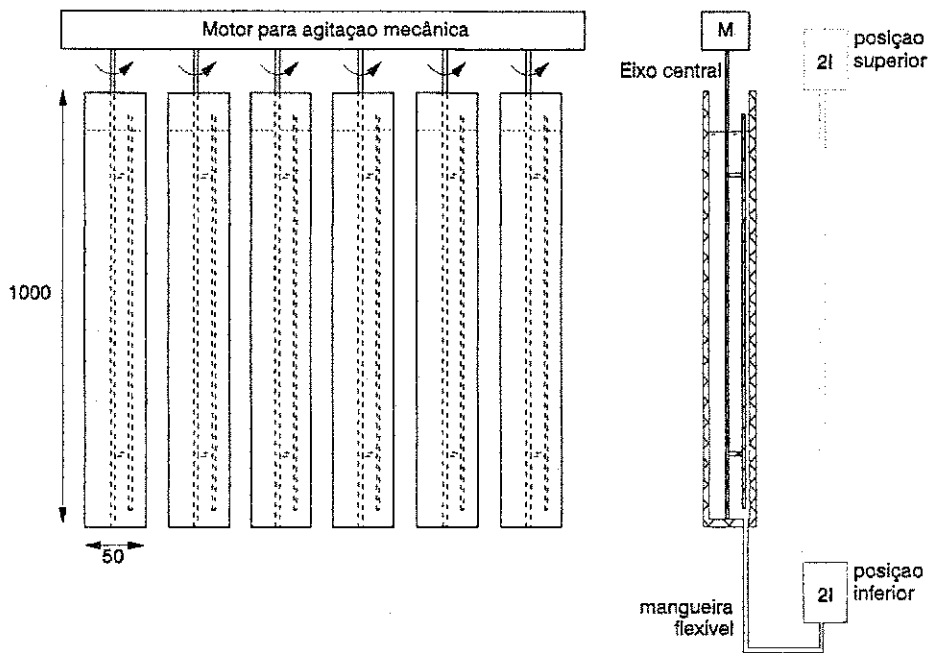


Figura 3.3 - Esquema de um equipamento para determinar os valores do IVLA, IVLD e VSZ para diferentes concentrações, Van Haandel (1992).

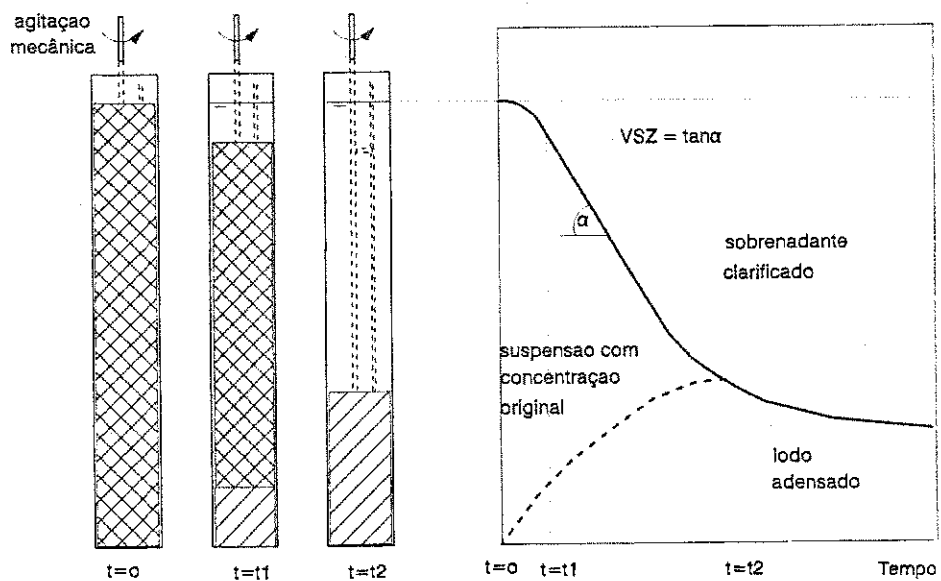


Figura 3.4 - Equipamento de White para determinar a VSZ e uma curva típica de interface sobre-nadante-lodo Van Haandel (1992).

onde:

V é velocidade de sedimentação em zona, X_t é concentração de sólidos em suspensão, v_0 , V' são as constantes de Vesilind e Dick respectivamente e k e K são as constantes de sedimentabilidade,

Segundo Catunda et alli (1989.a), Smollen e Ekama (1984) demonstraram que a equação de Vesilind é mais adequada do que a de Dick. Por essa razão, na presente monografia, utiliza-se a equação de Vesilind para descrever o processo de sedimentação em zona. Para obter os valores das constantes de sedimentação, k e v_0 , segundo a equações de Vesilind, segue-se o seguinte procedimento:

a) obter dados experimentais da VSZ para diferentes concentrações de sólidos suspensos totais (SST);

b) plotar os valores de VSZ versus X_t , com X_t (SST) num diagrama semi-log conforme a equação de Vesilind;

c) traçar a melhor reta entre os pontos obtidos. A declividade da reta será igual a k e o coeficiente linear é igual a $\log v_0$

A Figura 5.7 (a e b) mostram um exemplo da determinação gráfica das constantes de Vesilind.

A partir dos valores das constantes de sedimentação, pode-se classificar o tipo de sedimentação como sendo boa, média ou ruim. Assim, quanto maior for o valor de v_0 e menor for o valor k , melhores são as características de sedimentação do lodo. No caso de sistema de lodo ativado segundo Van Haandel (1992), classifica-se como exemplo de

sedimentação **boa** $k < 0,31 \text{ L/g}$ e $v_0 > 11 \text{ m/h}$ e sedimentação **média** $k = 0,36$ a $0,46 \text{ L/g}$ e $v_0 = 9,5$ a 6 m/h e para sedimentação **ruim** $k > 0,46 \text{ L/g}$ e $v_0 < 6 \text{ m/h}$.

O teste da VSZ não é adequado para o uso rotineiro nas estações de tratamento, pois, além de complicado, demanda bastante tempo. Por esta razão, vários pesquisadores têm se dedicado em desenvolver outros parâmetros, para quantificar a sedimentabilidade de lodo (Catunda et. alli (1989.a)).

O teste do índice volumétrico de lodo (IVL) é o mais antigo teste para determinar a sedimentabilidade. Nesse teste, determina-se o volume dos sólidos decantados, após um período de sedimentação de 30 minutos, em uma proveta graduada ou em um cone Imhoff. Tendo-se determinado a concentração inicial do lodo, calcula-se o IVL, dividindo-se o volume do lodo em mL/L pela sua concentração em mg/L, tendo-se, assim, o volume ocupado por 1 grama de lodo. O principal defeito desse teste é que seu valor depende, acentuadamente, da concentração dos sólidos em suspensão.

Segundo Catunda et. alli (1989.a) o teste do índice volumétrico de lodo diluído (IVLD), foi desenvolvido por Stobbe, na tentativa de eliminar a influência da concentração dos sólidos em suspensão. Esse teste tem como base, a observação experimental de que, quando o volume dos sólidos suspensos no teste do IVL é menor que 250 mL, no fim do teste o resultado independe praticamente da concentração inicial. Stobbe sugeriu diluir o lodo, de tal modo que, o volume da suspensão diluída no teste do IVL, desse um valor menor de 200 mL.

Segundo Catunda et alli (1986.a) por último, tem-se o teste do índice volumétrico de lodo agitado (IVLA), desenvolvido por White. O IVLA é definido como o volume de lodo decantado por unidade de massa de sólidos suspensos. O teste é feito

numa proveta de 1 litro, onde o lodo sob suave agitação, é deixado decantar por 30 minutos. White, mostra que a agitação reduz consideravelmente a influência da concentração inicial sobre o valor do IVL.

3.7 Sedimentação de Lodo em um Decantador Contínuo

Os decantadores secundários de sistemas de lodo ativado funcionam sob regime contínuo, recebendo uma vazão de licor misto, retornando parte dessa vazão como lodo de retorno e descarregando o efluente clarificado. Para modelar a sedimentação em um decantador contínuo, Van Haandel (1992), usou as seguintes suposições:

a) no decantador, a vazão de entrada é a soma da vazão afluyente Q_a , mais a vazão de lodo de retorno Q_r . Assim, a massa de sólidos que entra e sai por unidade de tempo, é dada respectivamente, por:

$$(Q_a + Q_r) \cdot X_t \text{ e,}$$

$$Q_r \cdot X_r$$

onde X_t é a concentração de sólidos no licor misto e X_r é a concentração de sólidos no lodo de retorno.

Supõe-se que a massa de sólidos que entra seja igual à massa que sai, ou seja, não há acúmulo de sólidos no decantador. Portanto tem-se:

$$(Q_a + Q_r) \cdot X_t = Q_r \cdot X_r \quad (3.3)$$

sendo $Q_r / Q_a = s$, tem-se:

$$X_r = X_l (s + 1) / s \quad (3.4)$$

onde, "s" é fator de recirculação, ou seja, é a razão entre a vazão de lodo de retorno e a vazão do afluente;

b) o decantador é de fluxo vertical. A vazão de entrada ($Q_a + Q_r$) é distribuída uniformemente numa determinada altura do decantador, onde se forma uma interface entre uma parte superior livre de sólidos em suspensão (o sobrenadante) e uma parte inferior com o lodo sedimentado. Na parte superior, acima do nível da alimentação, a velocidade ascensional do líquido é igual à taxa de escoamento superficial:

$$T_s = Q_a / A \quad (3.5)$$

onde, T_s é taxa de escoamento superficial e A é área transversal do decantador.

Na parte inferior, há uma velocidade descensional da fase líquida "u", devido à abstração do lodo de retorno no fundo do decantador:

$$u = Q_r / A = sQ_a / A \quad (3.6)$$

c) a velocidade de sedimentação do lodo isto é, a velocidade descensional dos sólidos em suspensão, em relação à fase líquida, é dada pela equação de Vesilind:

$$v = v_0 \text{EXP}(k \cdot X_l)$$

d) dentro do decantador, a velocidade de deslocamento de sólidos, é dada pela velocidade de sedimentação "v" e a velocidade descensional do líquido "u". Define-se agora, o fluxo de sólidos como a massa de lodo que passa pelo decantador por unidade de tempo e por unidade de área :

$$F = X \cdot (v + u) \quad (3.7)$$

$$F = F_v + F_u \quad (3.8)$$

$$F = X \cdot (v_o \cdot \text{EXP}(-k \cdot X) + sQ_a/A) \quad (3.9)$$

onde:

F é fluxo de sólidos que passa num determinado nível do decantador;

X é concentração dos sólidos em suspensão naquele nível;

F_v é fluxo de sólidos devido à sedimentação;

F_u é fluxo de sólidos devido à abstração de lodo de retorno.

A taxa de aplicação de sólidos (F_{sol}), é determinada como a massa de lodo aplicada no decantador por unidade de tempo e por unidade de área transversal, ou seja:

$$F_{sol} = X_t (s + l)Q_a / A \quad (3.10)$$

É essencial que a taxa de aplicação não seja superior ao fluxo de sólidos, para que não haja acumulação em nenhum nível, entre a entrada do licor misto e a saída do lodo de retorno. Se essa condição for obedecida, então os sólidos serão transportados da entrada para a saída do decantador. Entretanto, se a taxa de aplicação de sólidos for maior que o fluxo de sólidos em algum nível no decantador, então nesse nível nem todos os sólidos passarão. Neste caso haverá acumulação de sólidos no decantador, resultando eventualmente, na descarga de sólidos junto com o efluente. A condição básica para o funcionamento do decantador pode ser formulada como:

$$F = F_v + F_u \geq F_{sol} \quad \text{para } X_t < X < X_r \quad (3.11)$$

e) o decantador desempenha duas funções ao mesmo tempo:

(1) clarificação (a separação lodo de retorno e o efluente clarificado);

(2) adensamento (aumento da concentração de lodo no licor misto X_t na entrada para o lodo de retorno na saída).

Para que ocorra a clarificação é necessário que $F_{sol} \leq (F_v + F_u)_{X=X_t}$. Com auxílio das equações para F_v e F_u , usando-se a definição da taxa de escoamento superficial ($T_s=Q/A$) e rearrumando-se vem;

$$\ln T_s/v_o \leq kX_t \quad (3.12)$$

Para que se tenha o adensamento o fluxo de sólidos aplicado deve ser menor que o fluxo de sólidos limitante (Catunda et alli (1989.b)),

$$F_{sol} \leq F_l = X_r v_o (kX_l - 1) \text{EXP} (-kX_l) \quad (3.13)$$

onde;

$$X_l = [1 + (1+4(kX_r))^{1/2}] X_r / 2 \quad (3.14)$$

A condição para o adensamento pode ser escrita como;

$$\ln T_s/v_o \leq [\ln(kX_l - 1)/s] - kX_l \quad (3.15)$$

É importante que o decantador desempenhe as duas funções (clarificação e adensamento) ao mesmo tempo. Para tanto, é necessário que as duas equações sejam satisfeitas simultaneamente.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Introdução

A finalidade do presente trabalho foi melhorar as condições operacionais dos decantadores do sistema de lodo ativado da CETREL. O sistema não estava correspondendo aos padrões de eficiência, impostos pelas normas ambientais: nos decantadores secundários ocorria a perda de sólidos, aumentando, conseqüentemente, os teores da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e dos Sólidos Suspensos no efluente.

Objetivando identificar e implantar medidas que pudessem melhorar o desempenho dos decantadores e, assim, reduzir os valores de DQO, DBO e Sólidos Suspensos no efluente, fez-se a seguinte programação:

- a) verificar as condições de operação dos decantadores , identificando as causas de perda de sólidos;
- b) propor e aplicar a otimização;
- c) verificar as condições de operação dos decantadores após a otimização;

A Tabela 4.1 mostra os parâmetros que permitem verificar as condições de operação dos decantadores, avaliados antes e após a otimização.

Neste capítulo, faz-se inicialmente uma descrição detalhada dos decantadores da Ala Nova da CETREL, onde se desenvolveu o trabalho, seguindo-se com a descrição da metodologia empregada para avaliação da operação desses decantadores antes e depois da otimização.

Tabela 4.1 Parâmetros de operação dos decantadores avaliados antes e após a otimização

Parâmetros	Antes da Otimização	Após a Otimização
Vazões	X	X
Taxa de escoamento superficial	X	X
Fator de recirculação	X	X
Lençol de lodo	X	-
Distribuição do tempo de permanência	X	-
Posição da válvula telescópica	X	-
Características de sedimentabilidade	X	X
DBO	X	X
DQO	X	X
Sólidos Suspensos	X	X
Índice volumétrico de lodo	X	X

X = avaliados

4.2 O Sistema de Lodo Ativado da CETREL - Ala Nova.

A expansão do sistema de lodo ativado da CETREL - denominado de "Ala Nova" é constituída de um tanque de aeração (TA-3), seis decantadores secundários (DS-7 a DS-12), uma elevatória (ELA-3) e caixas de distribuição de vazão. A Figura 4.1 mostra um esquema das unidades que constituem a Ala Nova da CETREL como também dos fluxos dessas unidades.

4.2.1 Descrição geral

No sistema de lodo ativado da Ala Nova da CETREL, (Figura 4.1) o licor misto é descarregado continuamente do tanque de aeração TA-3, mediante um vertedor retangular, sendo conduzido por gravidade para as caixas de distribuição de vazão CDV-7 e CDV-8. As caixas de distribuição de vazão CDV-7 e CDV-8 alimentam, respectivamente, os decantadores 7, 8 e 9 e 10, 11 e 12. Dos decantadores, o efluente clarificado escoo por gravidade para o canal do efluente final. Na saída de cada decantador existe uma calha Parshall, com garganta de 2', que permite a medição da vazão do efluente clarificado. Os seis efluentes dos decantadores são reunidos numa caixa e, daí, através de uma tubulação de 1000 mm, são encaminhados para o emissário submarino.

Em cada decantador, o lodo decantado é conduzido para uma caixa de passagem, denominada de caixa da válvula telescópica CVT. Da caixa da válvula telescópica o lodo segue para a elevatória ELA-3, para ser recalcado para a caixa de distribuição de vazão

CDV-9. Da caixa de distribuição de vazão CDV-9, parte do lodo (lodo de retorno) vai para o tanque de aeração TA-3 e a outra parte para os digestores.

4.2.2 Tanque de Aeração TA-3

O tanque de aeração TA-3, em concreto armado, tem as seguintes dimensões: 5 m de profundidade, 95 m de largura, 142 m de comprimento, totalizando um volume de 67.450 m³. A vazão de alimentação é, em média, de 1.600 m³/h. A agitação e aeração do licor misto é promovida por 20 (vinte) aeradores, cada um com capacidade de transferência de oxigênio de 2.2 kgO₂/kwh, sob condições padrão.

4.2.3 Caixa de Distribuição de Vazão (CDV)

Como apresentado na Figura 4.1, são três as caixas de distribuição de vazão do sistema de lodo ativado da Ala Nova da CETREL: CDV-7, CDV-8 e CDV-9. As caixas de distribuição de vazão CDV-7 e CDV-8, Figura 4.2, distribuem o licor misto para os decantadores enquanto a caixa de distribuição de vazão CDV-9 distribui o lodo para o tanque de aeração e para os espessadores de lodo (lodo de descarte).

As caixas de distribuição de vazão CDV-7 e CDV-8 possuem uma câmara central que recebe o efluente do tanque de aeração. Da câmara central o efluente verte para três câmaras laterais que distribuem o licor misto para os decantadores (Figura 4.2). A vazão de distribuição de lodo na CDV-9, é medida por três calhas Parshall, Figura 4.3. A primeira calha Parshall mede a vazão do lodo recirculado da elevatória ELA-3 para TA-3 e a segunda

mede a vazão do lodo recirculado da ELA-3 para TA-4 (sem uso). A terceira calha Parshall mede a vazão do lodo descartado para os digestores aeróbios.

4.2.4 Decantadores (DS-7/DS-12)

São seis os decantadores do sistema de lodo ativado da Ala Nova, todos de concreto armado com diâmetro de 38 m, o que dá uma área superficial de 1150m^2 . Devido a inclinação no fundo dos decantadores, a profundidade varia entre um mínimo de 3,8 m na periferia e 4,5 m no centro. Os decantadores estão providos de uma ponte giratória que, além de permitir o acesso ao centro do decantador, tem dispositivos de raspagem de espuma e óleo (superfície) e lodo no fundo do decantador. Os raspadores de fundo conduzem o lodo para um poço no fundo do decantador, de onde o lodo verte para a caixa da válvula telescópica. Vertedores triangulares, em número de 560, situados na periferia da superfície, coletam o efluente clarificado, em um canal periférico de onde é deslocado para uma calha Parshall. Cada decantador é dotado de uma caixa de válvula telescópica que tem como função básica o controle do encaminhamento do lodo de retorno para a elevatória (ELA-3). No interior da caixa da válvula telescópica, Figura 4.5, existem três válvulas de controle de fluxo de lodo decantado: uma válvula telescópica e duas válvulas de gaveta. A válvula telescópica é a mais importante, sendo responsável pelo controle da vazão de lodo de retorno. Uma das válvulas de gaveta só é usada quando necessário ou seja, em condições não normais de operação ou quando é necessário descartar todo o lodo ou líquido do decantador com uma certa urgência. A outra válvula tem a função de controlar o fluxo de lodo da caixa da válvula telescópica para o poço de sucção da elevatória ELA-3.

4.2.5 Elevatória (ELA-3)

A Figura 4.6 mostra um esquema da elevatória ELA-3, constituída de 2 poços de sucção interligados e seis bombas centrífugas, cada uma com potência de 60 CV.

4.3 Determinação das Vazões nos Decantadores

A vazão de entrada do licor misto nos decantadores foi determinada por meio da medição da lâmina de água nos vertedores das caixas de distribuição (CDV-7 e CDV-8). As vazões do efluente em cada decantador foram determinadas na calha Parshall na saída de cada um dos decantadores. As vazões de interesse para o controle dos decantadores estão relacionadas com as vazões do licor misto ($Q_a + Q_r$), a vazão de lodo decantado (Q_r) e a vazão do efluente clarificado ($Q_e = Q_a$). As caixas de distribuição de vazão CDV-7 e CDV-8 são dotadas de vertedores retangulares de paredes delgadas sem contrações. Nesses vertedores as vazões do licor misto (Q_a), mais a de lodo de retorno (Q_r) foram calculadas pela fórmula de Francis:

$$Q_a + Q_r = 1,838 \cdot L \cdot H^{3/2},$$

sendo $Q_a + Q_r$ a vazão em m^3/s , L comprimento do vertedor em metros e H a carga em metros (Azevedo Neto, 1982).

A vazão do efluente clarificado (Q_e) determinada na calha Parshall com garganta 2', foi calculada pela fórmula:

$$Q_e = 2,2 W.H^{3/2},$$

sendo Q_e a vazão em m^3/s , W largura da garganta em metros e, H altura da lâmina líquida em metros, medida a $2/3$ da garganta.

Como não foi considerado a vazão do lodo descartado para os digestores (aproximadamente 3 % de vazão de lodo de retorno) tem-se:

$$Q_r = (Q_a + Q_r) - Q_e$$

$$s = Q_r / Q_e ,$$

onde, Q_r é vazão de lodo de retorno no decantador; $Q_a + Q_r$ é a vazão de licor misto (entrada do decantador), Q_e é vazão do efluente do decantador que é igual a Q_a , segundo a consideração acima e “s” é o fator de recirculação.

O único local onde se tinha condições de medir diretamente a vazão total de lodo de retorno era na CDV-9. No entanto, essa medição não foi possível porque o bombeamento na elevatória-3 (ELA-3) para CDV-9 não era constante (a ELA-3 as vezes funcionava com 1, ou 2 ou ainda 3 bombas, dependendo apenas do nível da lâmina líquida do poço de sucção). Por esta razão, a única possibilidade de se estimar a vazão do lodo de retorno (Q_r) era pela diferença entre ($Q_a + Q_r$) e Q_e .

4.4 Distribuição do Tempo de Permanência

Para determinar a distribuição do tempo de permanência do líquido de um dos decantadores (DS-11) da Ala Nova do sistema de lodo ativado da CETREL, utilizou-se o

traçador Rodamina-B. Tendo-se estabelecido anteriormente que é possível detectar em análise espectrofotométrica concentrações de até 0,1 mg/L, preparou-se uma solução concentrada de 2,5 kg de Rodamina em 200 litros de afluente (licor misto). A solução foi adicionada de uma só vez na câmara de alimentação do decantador DS-11, localizada na CDV-7. No caso de um regime completamente misturado do decantador, a concentração esperada de Rodamina no decantador seria de $2,5 \text{ kg} / 4500 \text{ m}^3 = 0,55 \text{ mg/L}$. Após a adição, amostras do efluente do decantador foram coletadas na calha Parshall, durante catorze horas em diferentes intervalos de tempo.

As amostras coletadas foram encaminhadas ao Laboratório de Físico-Química da CETREL, para análise espectrofotométrica. As leituras de absorbância foram efetuadas no espectrofotômetro com um comprimento de onda de 555 nm e os respectivos valores das concentrações foram determinados com auxílio da curva de calibração. Determinou-se em função do tempo, as concentrações da Rodamina-B, pelo método de integração por peso, conforme o seguinte procedimento;

a)- plotou-se os dados num diagrama e determinou-se graficamente a área da concentração de Rodamina-B em função do tempo. Esta expressão gráfica representa toda massa de traçador adicionada;

b)- dividiu-se a área do diagrama em duas partes iguais. Para dividir a área em duas partes iguais, fez-se necessário recortar o gráfico em pequenas partes e, por tentativa, pesar em uma balança analítica até achar pesos idênticos;

c)- no ponto do eixo das coordenadas de X , onde ocorreu a divisão da área , obteve-se o ponto que indica o tempo de permanência médio.

4.5 Determinação da Posição da Válvula Telescópica para Controle do Fluxo de Lodo Decantado

As caixas de distribuição de vazão CDV-7 e CDV-8 fazem com que a vazão de licor misto aplicada seja igual nos seis decantadores. Para manter uma uniformidade operacional é necessário que, também, a vazão de lodo de retorno em todos os decantadores seja igual. Entretanto, como a posição das válvulas telescópicas varia de um decantador para o outro, as condições operacionais são muito diferentes. Este trabalho teve como ponto principal a determinação da vazão de lodo de retorno decantado para valores conhecidos da vazão afluyente (licor misto) e das posições da válvula telescópica. Para isto adotou-se o seguinte procedimento:

a) determinação do ponto de referência zero. Com a válvula telescópica fechada e a alimentação do decantador interrompida, esperou-se que se estabelecesse um nível constante no decantador (não mais vertia efluente clarificado nos vertedores triangulares). Abriu-se lentamente a válvula telescópica (baixando-se o êmbolo) até o momento que o lodo decantado começasse a verter. Essa posição da válvula passou a indicar o nível "zero";

b) determinação das vazões em função da posição da válvula telescópica. Para o nível zero, a vazão efluente do decantador também era zero. Com o decantador alimentado

normalmente, calculou-se a vazão de lodo decantado, para os níveis de 5, 10 e 15 cm de abertura da válvula, pela diferença entre a vazão afluyente (licor misto), medida na caixa de distribuição de vazão CDV-7 e efluente (efluente clarificado) medida na calha Parshall;

c) determinação da perda de carga. Determinou-se a perda de carga no sistema de descarga de lodo decantado para vazões afluentes conhecidas e com diferentes alturas da válvula telescópica. A perda de carga foi determinada pela seguinte expressão (ver Figura 4.8):

$$\Delta h = h_1 + h_2 - h_3$$

onde, Δh é a perda de carga (cm), h_1 é distância entre o nível da base dos vertedores triangulares e o vertedor circular (5, 10 e 15 cm), h_2 é lâmina de água nos vertedores triangulares e h_3 é lâmina do lodo decantado no vertedor circular.

Para se determinar h_2 usou-se a expressão $q_e = 1.4 h^{5/2}$ onde $q_e = (Q_e / 560)$ é a vazão efluente de cada vertedor em m^3/s e Q_e a vazão do efluente clarificado, h a altura da lâmina em metros. Como o decantador tem 560 vertedores triangulares foi necessário dividir a vazão efluente por 560 para se obter a vazão em cada vertedor triangular e ,com isso, a altura da lâmina de água nos vertedores (h_2).

Na determinação de h_3 ,usou-se a fórmula que dá a vazão de lodo de retorno $Q_r = 125 D^2 H^{1/2}$ onde Q_r é a vazão do lodo decantado, que é dada em m^3/s , H é a lâmina dada em metros, D é o diâmetro em m . Foi necessário conhecer a vazão do lodo de retorno decantado Q_r , a qual era obtida pela diferença da vazão afluyente($Q_a + Q_r$, licor misto) e a

vazão efluente (Q_e , efluente clarificado). O diâmetro da tubulação que conduz o lodo de retorno decantado é de 600 mm.

4.6 Determinação da Posição do Lençol de Lodo

Esta etapa teve como objetivo a identificação da posição do lençol de lodo no decantador para diferentes valores da vazão de lodo de retorno decantado. O experimento foi realizado no decantador secundário de número onze (DS-11), onde se coletavam amostras para análises de sólidos suspensos para diferentes valores da vazão do lodo de retorno, a qual era controlada pela posição da válvula telescópica (5 e 10 cm). Para isso, adotou-se o seguinte procedimento:

a) selecionou-se, no total, 40 pontos de coleta. Esses pontos distantes um dos outros, no sentido horizontal, de 3 m a partir da parede do decantador e, no sentido vertical, de 1m a partir da superfície do líquido. Desse modo, formaram-se 8 colunas com 5 pontos de amostragem. O último ponto da coluna ficava na parte do fundo do decantador. Com a válvula telescópica colocada na posição 10 cm e após um período de 3 horas, iniciou-se as coletas. Repetiu-se o ensaio para as posições 5 e 3 cm da válvula telescópica. As amostras coletadas foram levadas ao laboratório de físico-química da CETREL para análise de sólidos suspensos.

4.7 Unidade Experimental para Determinação da Velocidade de Sedimentação em Zona (VSZ)

Para os testes de determinação da velocidade de sedimentação em zona, foi projetada uma unidade experimental especialmente para este fim, a qual está representada na Figura 4.7. O aparelho era composto de 05 (cinco) cilindros verticais de acrílico transparente, com diâmetro interno de 50 mm e altura de 1m. Fixados em um suporte de madeira, cada cilindro tinha capacidade para 02 litros. Fitas metálicas colocadas ao longo dos tubos permitiam a leitura da posição da interface líquido-sólido durante os testes. Os cinco tubos possibilitavam a determinação simultânea da VSZ para cinco concentrações diferentes de uma mesma amostra.

Na base de cada cilindro havia uma saída conectada a um recipiente de 02 litros através de mangueiras flexíveis. O recipiente podia ser posicionado de 02 maneiras em relação ao cilindro: acima do topo do equipamento, quando havia o escoamento de todo o lodo para dentro do cilindro e abaixo de seu nível inferior, quando todo lodo do cilindro se acumulava no recipiente.

Para determinar a sedimentabilidade do lodo do tanque de aeração TA-3, seguiu-se o seguinte procedimento:

- a) tomava-se amostra do lodo decantado na elevatória ELA-3;
- b) deixava-se o lodo em repouso durante 30 minutos, para se obter lodo mais concentrado;

c) com o lodo decantado (mais concentrado), fazia-se 05 (cinco) diluições. Estas diluições eram feitas em uma proveta graduada de 2 litros. Na primeira diluição colocava-se 200 ml de lodo concentrado e completava-se o volume para 2000 ml com o sobrenadante do lodo decantado, repetia-se este procedimento para volumes de lodo de 400, 600, 800 e 1000 mL;

d) antes do início do teste, tomava-se amostras de (50 mL) de cada diluição para determinar sólidos suspensos;

e) elevava-se as amostras no equipamento do teste, deixando-as escoar para os cilindros;

f) durante a decantação, anotava-se a altura da interface líquida-sólido de cada cilindro, a intervalos de tempo regulares, durante 30 minutos.

4.8 Procedimento Analítico

4.8.1 Determinação do Índice Volumétrico de Lodo, IVL.

O Índice Volumétrico de Lodo, IVL, é um teste de rotina da CETREL. Ele é feito diariamente com o licor misto coletado no tanque de aeração. O IVL é determinado segundo a técnica padronizada pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1991).

4.8.2 Outras Determinações

As análises de sólidos suspensos, Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio seguiram os procedimentos descritos pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater(1991).

4.8.3 Determinação da Rodamina-B

As análises de Rodamina-B foram realizadas com um espectrofotômetro ultravioleta-visível, modelo micronal B-280, utilizando-se um comprimento de onda de 550 nm.

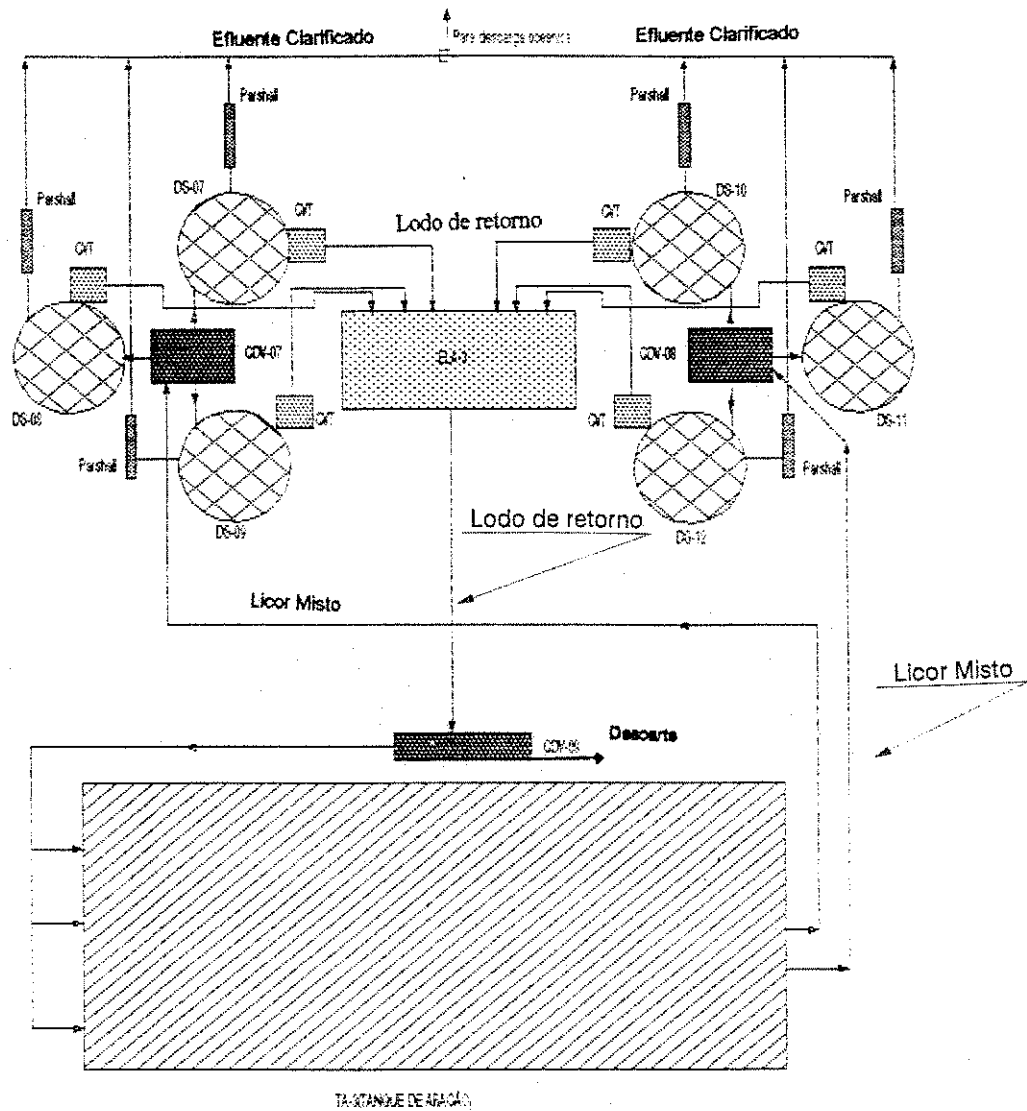


Figura 4.1 - Esquema do sistema de lodo ativado da Ala Nova da CETREL, onde se vê o tanque de aeração (TA-3) e os decantadores (DS-7 a DS-12) e os fluxos de licor misto, lodo, efluente clarificado.

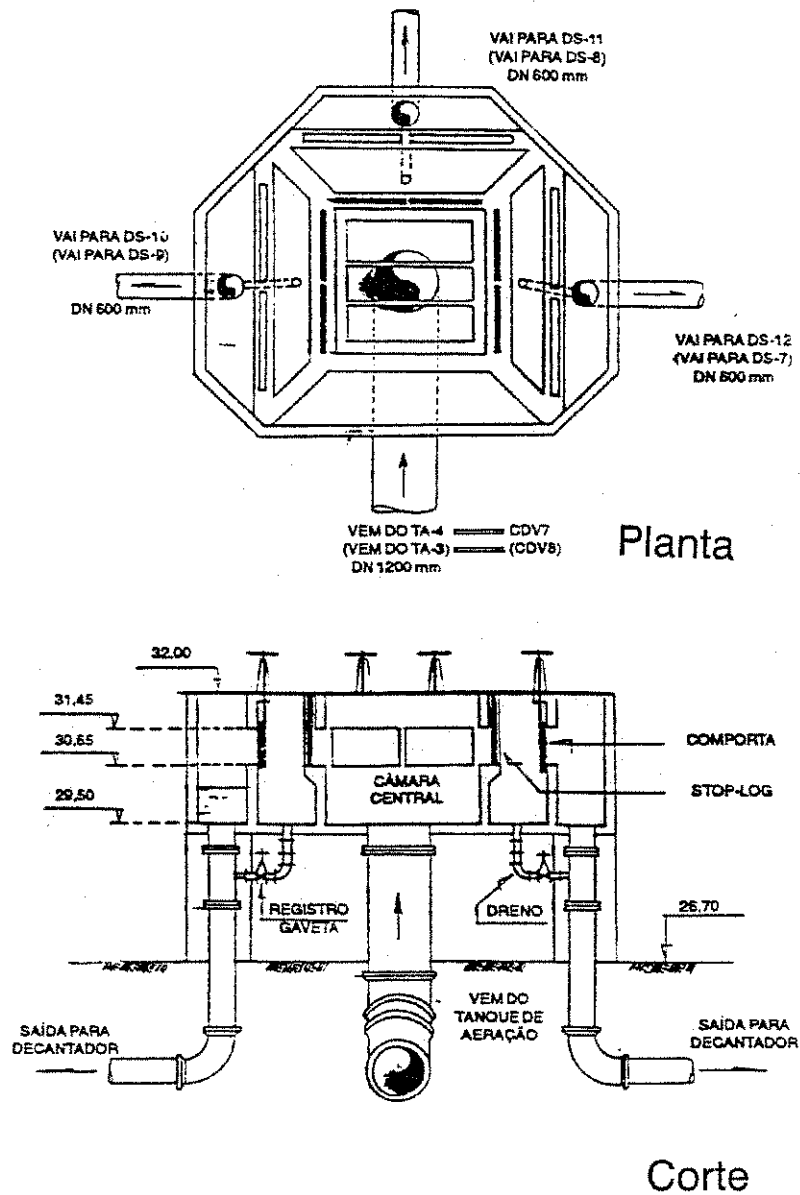


Figura 4.2 - Detalhe das caixas de distribuição de vazão do licor misto CDV-7 e CDV-8, vendo-se, na parte superior, a caixa de distribuição de vazão em planta e, na parte inferior, em corte.

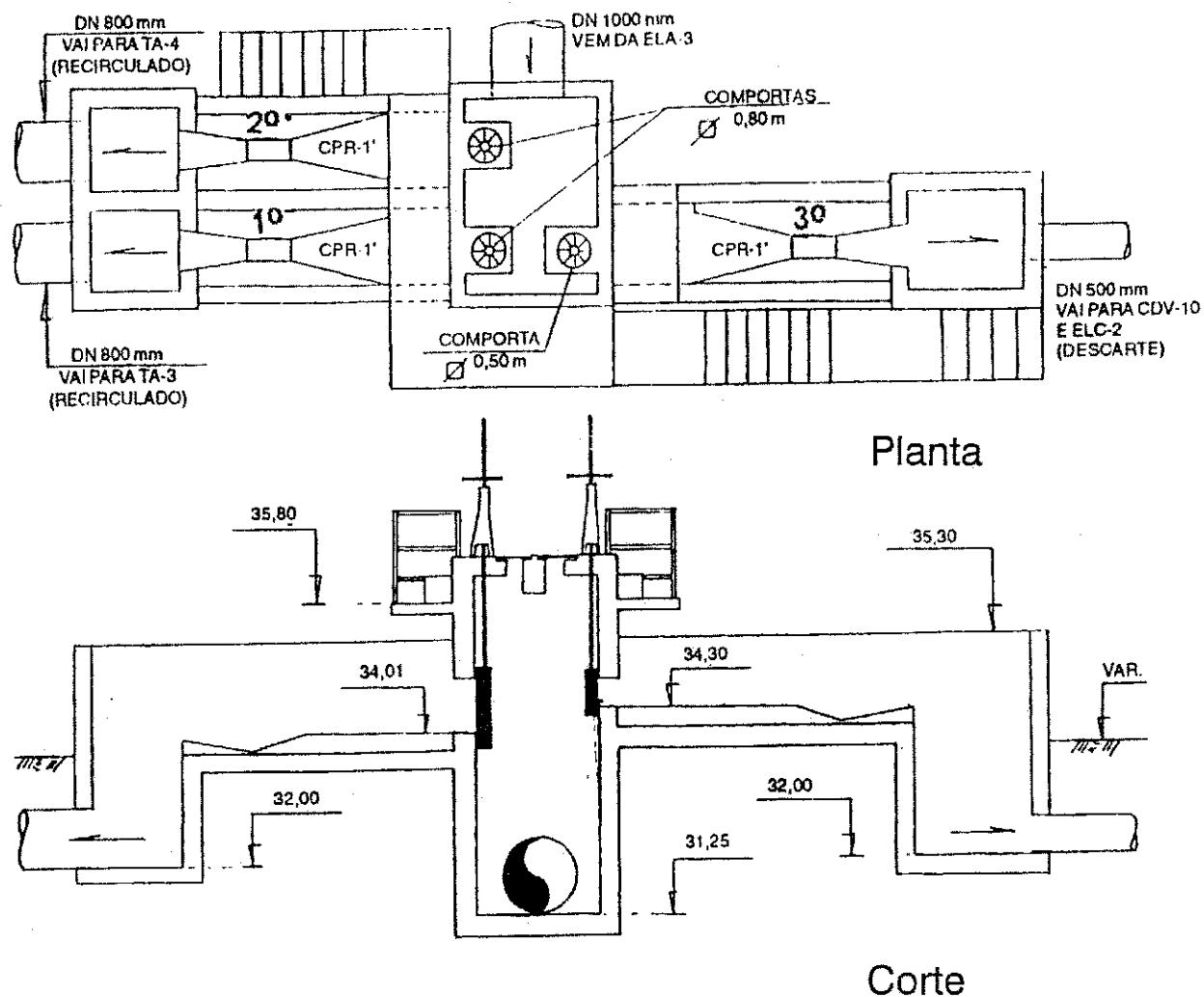


Figura 4.3 -Detalhe em planta (parte superior) e corte (parte inferior) da caixa de distribuição de vazão de lodo de retorno CDV-9, vendo-se ainda as três calhas Parshall.

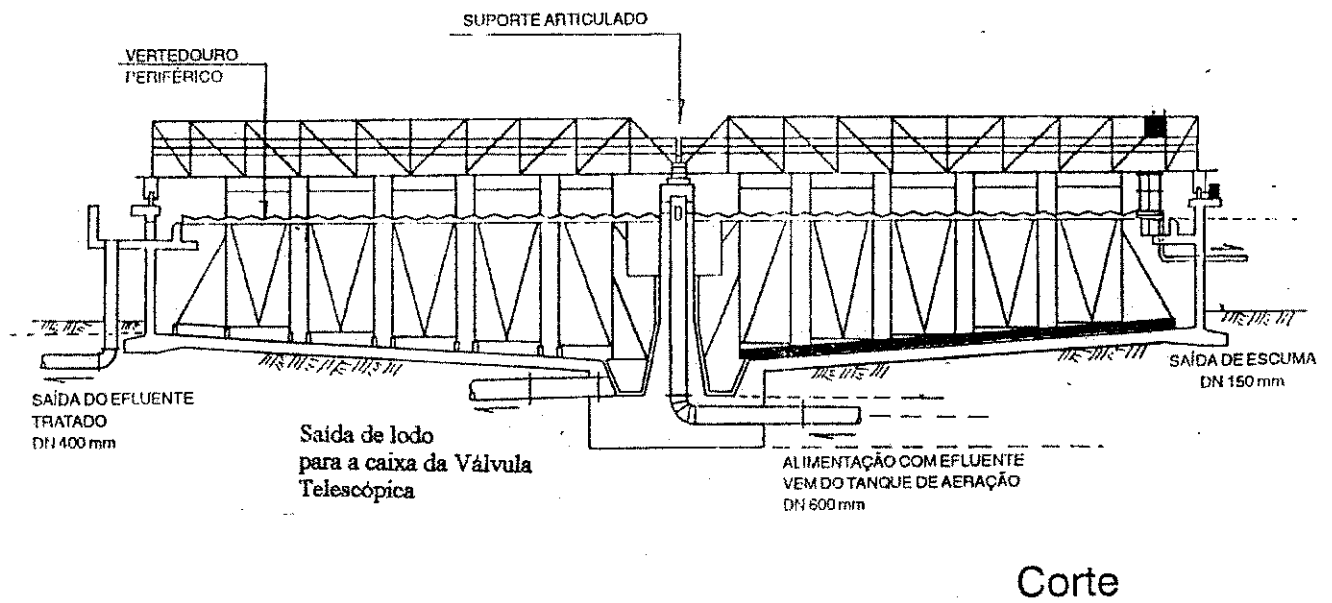
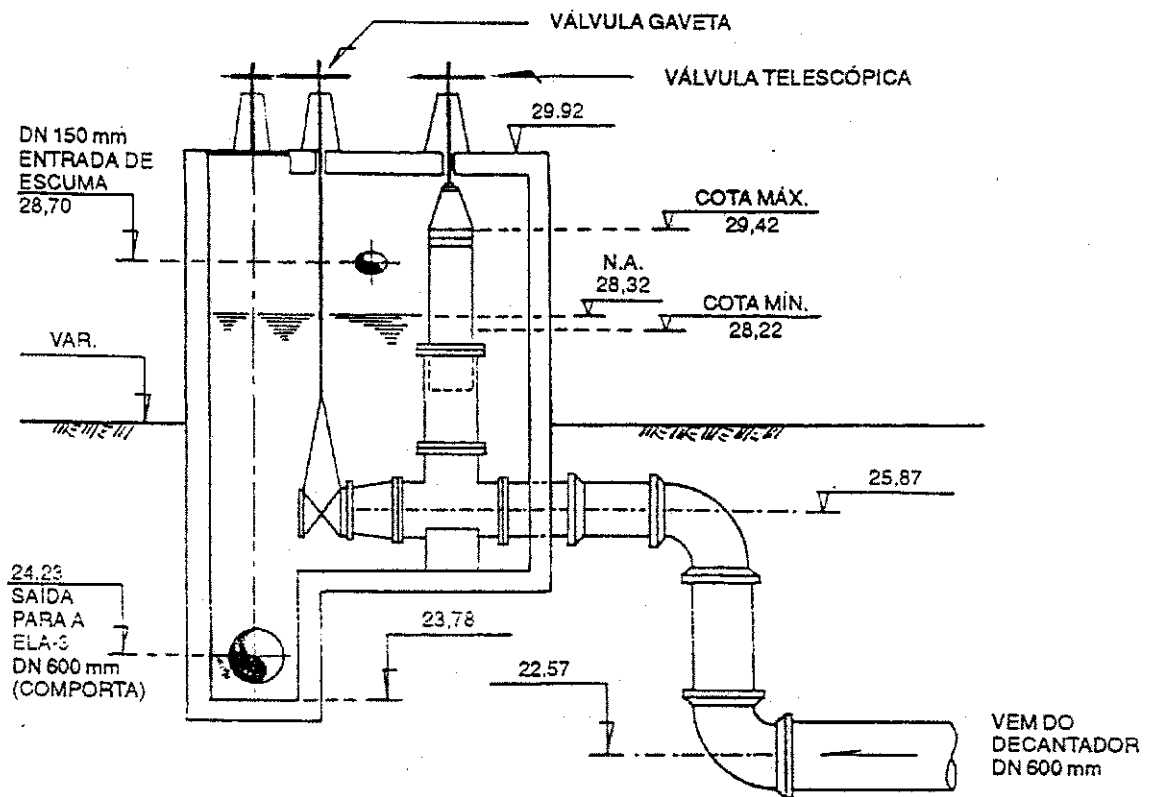
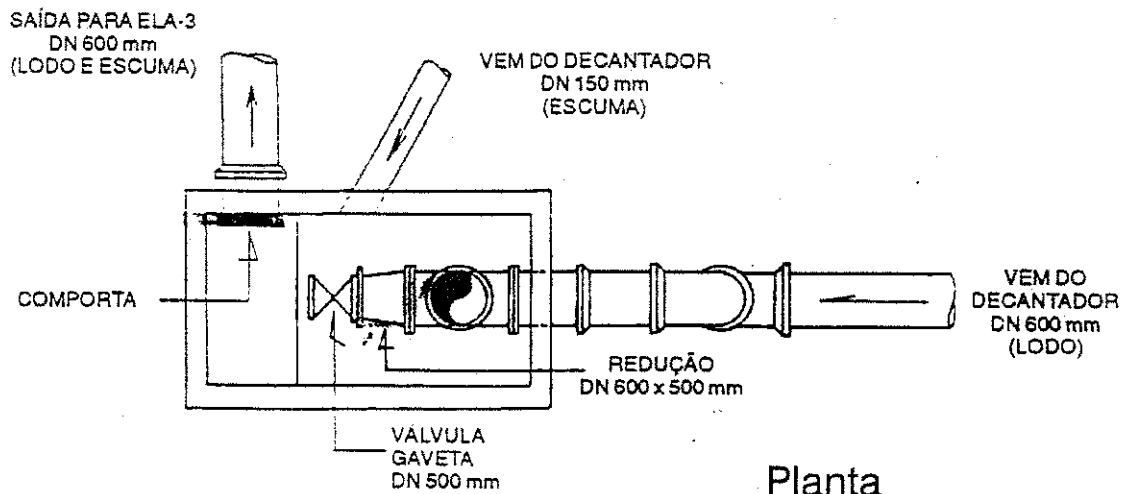


Figura 4.4 - Apresentação de um corte transversal dos decantadores DS-7 a DS-12.



Corte



Planta

Figura 4.5 -Detalhes da Caixa da Válvula Telescópica, vendo-se na parte superior em corte e na parte inferior em planta.

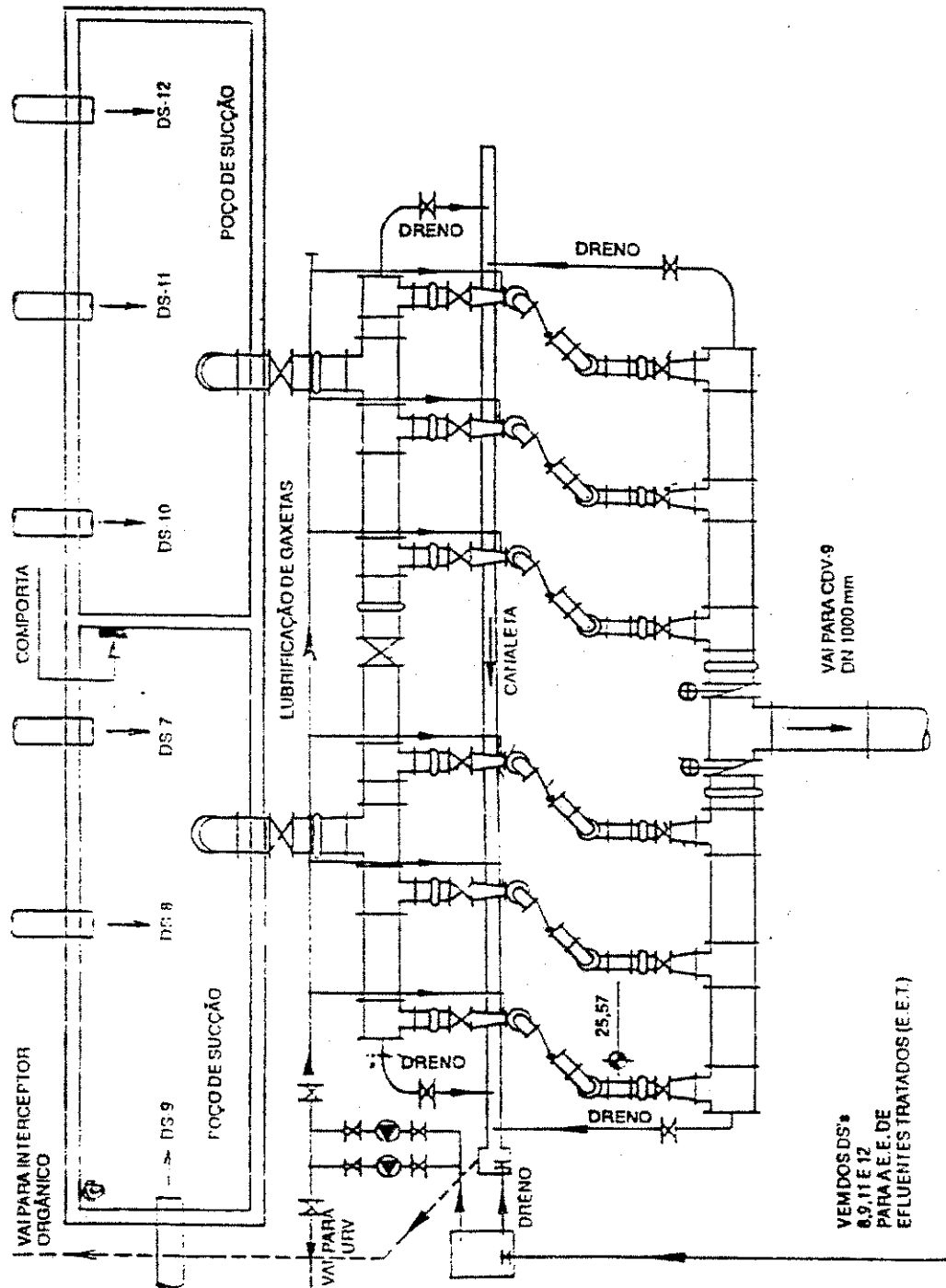


Figura 4.6 - Esquema da elevatória (ELA-3) do Lodo de Retorno, vendo-se os dois poços de sucção e as seis bombas centrífugas.

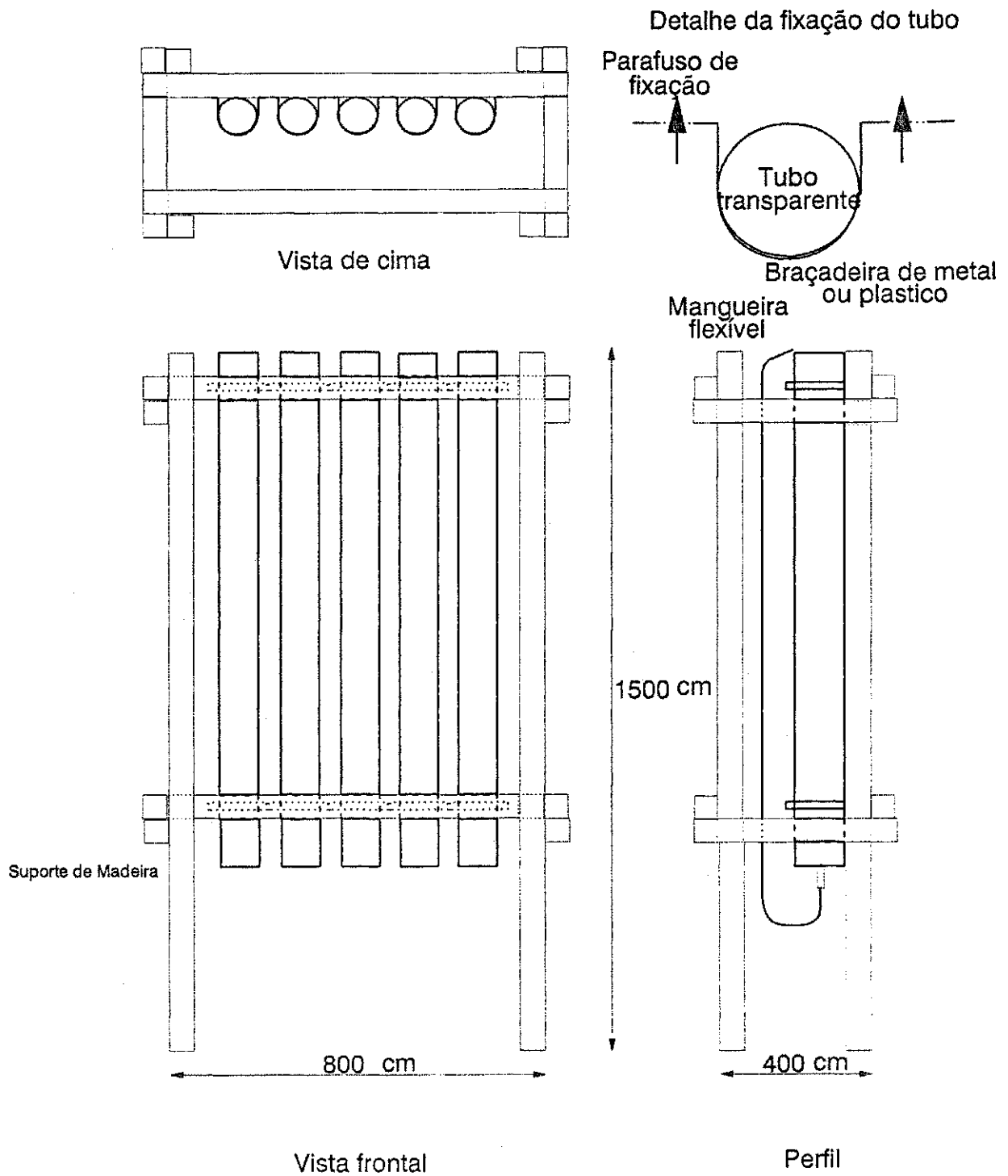


Figura 4.7 - Esquema de uma unidade experimental para a determinação da velocidade de sedimentação em zona.

CAPÍTULO 5

Apresentação e Discussão dos Resultados

5.1 Introdução

Apesar de se ter realizado investimentos vultosos nos últimos anos no sistema de tratamento, a CETREL produz um efluente que ocasionalmente está fora dos padrões de qualidade estabelecidos pelo resolução do CEPRAM. Em particular, a concentração de sólidos em suspensão freqüentemente está mais alta que o valor desejado de 40 mg/L. Em geral, os decantadores da Ala Nova produzem um efluente com maior teor de SST do que os da Ala Velha. Por esta razão, a CETREL resolveu realizar uma investigação visando a minimização da concentração de sólidos suspensos no efluente final, através da otimização da operação dos decantadores.

O primeiro aspecto pesquisado está relacionado com as vazões de entrada do licor misto e de saída do efluente clarificado. Na secção 5.2 mostra-se que, embora a vazão de licor misto aplicada nos decantadores fosse uniforme, inicialmente havia grandes diferenças nas vazões do efluente e do lodo de retorno. Tomou-se então as medidas necessárias para uniformizar essas vazões. Tendo-se a certeza que todos os decantadores tinham basicamente a mesma vazão, prosseguiu-se com a segunda fase da investigação: a análise da capacidade de separação das fases sólido-líquido em cada decantador.

Na operação cotidiana dos decantadores de lodo ativado, é importante que se tenha um meio para avaliar se as condições operacionais são adequadas para as características do lodo ou se existe sobrecarga com o perigo de haver descarga de sólidos em suspensão junto com o efluente. A sobrecarga pode ser de natureza hidráulica ou devido a uma carga excessiva de sólidos em suspensão. O parâmetro adequado para avaliar a carga hidráulica é a taxa de escoamento superficial. A carga de sólidos em suspensão é determinada pelo fluxo de sólidos que entra no decantador que, por sua vez, depende da taxa de escoamento superficial, da concentração de lodo no licor misto e da magnitude do fator de recirculação. Desse modo, desenvolve-se um diagrama que permite estabelecer se existe sobrecarga no decantador e, se o caso for, como devem ser modificados os valores operacionais (taxa de escoamento superficial, concentração de lodo e o fator de recirculação) para que a condição de sobrecarga deixe de existir. O diagrama oferece a possibilidade de incorporação da sedimentabilidade de lodo e do regime hidráulico no decantador. Procurou-se verificar experimentalmente a validade do diagrama.

5.2 Determinação de Vazões nos Decantadores

Iniciou-se a investigação sobre a operação dos decantadores com a determinação das vazões de entrada e de saída de cada um dos decantadores em função do tempo. O objetivo desta determinação era de verificar se havia grandes diferenças na carga hidráulica (taxa de escoamento superficial) e no fator de recirculação nos diferentes decantadores. Por se ter caixas de distribuição de vazão (CDV-7 e CDV-8), que encaminham o afluente (licor misto) para os decantadores respectivamente 7, 8 e 9 e 10, 11 e 12, em princípio a vazão de licor misto deveria ser distribuída igualmente sobre os

decantadores. Efetivamente na Tabela 5.1.a e Figura 5.1.a, observa-se que os valores das vazões de entrada (medidos no vertedor das CDV-7 e CDV-8) não exibem diferenças consideráveis. Os valores da vazão distribuída para os DS-10 e DS-11 eram maiores porque o DS-12 estava fora de operação. Por outro lado, a Tabela 5.2.a e Figura 5.2.a mostram vazões do efluente clarificado muito diferentes para os diferentes decantadores. Semelhantemente, a vazão de lodo de retorno, calculada como a diferença entre a vazão de licor misto na entrada e do efluente clarificado na saída, também exibe diferenças nos vários decantadores como mostram a Tabela 5.3.a e Figura 5.3.a. Essas diferenças levam a valores desiguais para o fator de recirculação de lodo de retorno (Tabela 5.4.a e Figura 5.4.a) e para taxa de escoamento superficial (Tabela 5.5.a e Figura 5.5.a). Os dados mostram que os valores do fator de recirculação variam muito nos diferentes decantadores, tendo-se um mínimo de $s=0,18$ médio de $s=0,82$ e um máximo de $s=1,43$. Da mesma forma, variam os valores da taxa de escoamento superficial (Tabela 5.5.a) tendo-se um mínimo de $T_s=0,21$ e um máximo de $T_s=0,41$, quase o dobro. As diferenças do fator de recirculação e da taxa de escoamento superficial se deve a posição inadequada da válvula telescópica nos decantadores.

A válvula telescópica era operada aleatoriamente ou seja, por intuição do operador, não havendo, portanto, valores fixos do fator de recirculação do lodo e da taxa de escoamento superficial. A vazão de lodo de retorno era controlado pelo aspecto visual do lodo e do efluente. Os operadores se baseavam em fatores como cor, odor e viscosidade do lodo (lodo “ralo” ou “grosso”) e pela quantidade de sólidos sedimentáveis no efluente clarificado, para diminuir ou aumentar a vazão de lodo de retorno, sem que houvesse claramente critérios operacionais. Para evitar manobras intuitivas que mudam de operador para operador e para saber quais os valores

adequados do fator de recirculação e taxa de escoamento superficial, fez-se necessário desenvolver um programa para sanar este problema. Para tal definiu-se experimentalmente um desnível de 10 cm entre o topo do vertedor circular da válvula telescópica e a base dos vertedores triangulares de saída do efluente. Após a definição de uma posição adequada da válvula telescópica (secção 5.2.1), foi realizado um novo perfil para observar se o desempenho do fator de recirculação do lodo de retorno e da taxa de escoamento superficial estava correspondendo ao programado. Os dados das vazões de entrada, do lodo de retorno e da vazão de efluente clarificado não exibiam grande diferenças como mostram as Tabelas 5.1.b, 5.2.b e 5.3.b, bem como as Figuras 5.1.b, 5.2.b e 5.3.b.

As vazões médias do lodo de retorno foram as seguintes: para os decantadores DS-7, 196 m³/h, DS-8, 195 m³/h, DS-9, 194 m³/h, DS-10, 250 m³/h, DS-11, 250 m³/h. Novamente os decantadores 10 e 11 apresentaram maiores valores de vazão, porque o decantador de número 12 continuava fora de operação. Os dados das Tabelas 5.4.b e 5.5.b. mostram claramente que, após a padronização da posição da válvula telescópica, os valores do fator de recirculação e taxa de escoamento superficial nos diferentes decantadores eram quase iguais

5.2.1 Determinação da Relação entre a Posição da Válvula Telescópica e a Vazão do Lodo de Retorno

Para saber exatamente a posição da válvula telescópica, a fim de manter uma vazão adequada de lodo de retorno, procurou-se estabelecer para diferentes vazões de entrada do licor misto, uma relação entre as vazões do efluente e de lodo de retorno em função da posição da válvula telescópica.

Realizou-se 3 experimentos com vazões diferentes de entrada, tendo-se em cada experimento 4 posições diferentes da válvula telescópica. Pesquisou-se desníveis de 5, 10, 15 e 20 cm entre a base dos vertedores de saída do efluente clarificado e o vertedor circular, estabelecidos conforme o método apresentado no Capítulo 4. A Tabela 5.6 apresenta os valores da vazão do efluente clarificado para os três valores da vazão de licor misto pesquisados. A Tabela 5.7 mostra os valores da vazão de lodo de retorno para as 4 posições da válvula telescópica nos três experimentos. Na Tabela 5.8, vê-se os valores da altura da lâmina do vertedor triangular (borda do decantador) e na Tabela 5.9 os valores da altura da lâmina no vertedor circular (lodo de retorno). De posse dos números das Tabelas 5.8 e 5.9, calcula-se a perda de carga (Tabela 5.10). A perda de carga foi definida como a soma do nível da posição da válvula telescópica (5, 10, e 15 cm) mais a altura da lâmina nos vertedores triangulares menos a altura da lâmina no vertedor circular. A taxa de escoamento superficial e o fator de recirculação foram calculados a partir da área do decantador (1156 m^2) e das Tabelas 5.6 e 5.7, respectivamente. Os valores do fator da recirculação e da taxa de escoamento superficial estão mostrados nas Tabelas 5.11 e 5.12 respectivamente.

Os valores nas Tabelas 5.6, 5.7, 5.10, 5.11 e 5.12 mostram que a faixa adequada da posição da válvula telescópica é aquela que deixa uma distância de 10 a 15 cm entre a base dos vertedores do efluente e o vertedor circular do lodo de retorno. Uma distância menor tende a resultar em uma vazão muito pequena do lodo de retorno, levando inevitavelmente a problemas operacionais (entupimento da linha de lodo de retorno). Por outro lado uma distância de 20 cm leva a uma vazão de lodo de retorno maior que a vazão do afluente. Assim, não somente ter-se-ia custos elevados de bombeamento, mas também, a vazão de licor misto de entrada se tornaria tão grande que

causaria turbulência excessiva. Dessa forma, acabou-se escolhendo uma distância de 10 cm por uma razão de ordem prática: a recirculação do lodo de retorno para o tanque de aeração se torna mais simples, podendo-se operar quase continuamente com duas das seis bombas instaladas. A posição de 15 cm, escolhida inicialmente, requeria atenção contínua, precisando-se ligar e desligar repetidamente a terceira bomba.

5.3 Estimativa da Capacidade dos Decantadores Finais da CETREL.

5.3.1 Diagrama geral da capacidade dos decantadores

Como ficou estabelecido na revisão bibliográfica, o decantador de lodo desempenha duas funções simultaneamente: clarificação e adensamento. Também no Capítulo 3, demonstra-se a condição geral para o funcionamento de um decantador: a carga de sólidos não pode exceder o fluxo de sólidos que pode ser transmitido no decantador, seja no processo de clarificação ou adensamento. Essa condição foi traduzida em expressões que mostram as condições operacionais necessárias para que haja possibilidade de clarificação e de adensamento, em função das constantes que caracterizam a sedimentabilidade, k e v_0 , e das condições operacionais caracterizadas por T_s , X_t e s . No Capítulo 3 derivou-se as seguintes equações:

(a) para clarificação

$$\ln(T_s/v_0) \leq -kX_t \quad (5.1)$$

ou

$$T_s \leq v_0 \text{Exp}(-kX_t);$$

(b) para adensamento

$$\ln(T_s/v_o) \leq \ln((kX_t-1)/s) - kX_t \quad (5.2)$$

ou

$$T_s \leq [v_o.(kX_t-1)/s] \exp (-kX_t).$$

As equações acima permitem compor um diagrama no qual se pode observar se as condições operacionais de um decantador resultam em sobrecarga ou não. Para tanto, analisa-se a variação de uma grandeza adimensional kX_t em função de outra: a razão T_s/v_o . Na Figura 5.6, observa-se uma representação gráfica da equação de clarificação, Equação (5.1). Usando-se uma escala logarítmica como abscissa, a equação de clarificação é representada por uma reta. Esta reta separa duas regiões: a primeira onde o decantador não pode funcionar porque não há condições de clarificação (sobrecarga) e segunda onde há possibilidade do decantador funcionar. Na segunda região para que o decantador funcione realmente, é preciso que se escolha um fator de recirculação de lodo suficientemente grande para que o processo de adensamento também seja possível no decantador. Para tanto, plota-se a Equação 5.2 de adensamento para diferentes valores do fator de recirculação, s , da maneira indicada na Figura 5.6 (linhas transparentes). Para qualquer valor dos pares de coordenadas T_s/v_o e kX_t , tem-se um valor mínimo do fator de recirculação para que além da clarificação o adensamento também ocorra.

Como exemplo, observa-se na Figura 5.6 os pontos A e B. O ponto A se caracteriza pelo fato que se encontra na região de sobrecarga, isto é na região onde a clarificação não é possível. Portanto, para a condição operacional do ponto A, caracterizada pela concentração X_A e uma taxa de escoamento superficial T_{sA} , o

decantador fatalmente falhará. Por outro lado, o ponto B (com X_B e T_{sB}) se caracteriza pelo fato que a clarificação é viável. No caso do ponto B, haverá também adensamento se o valor mínimo do fator de recirculação for 0,7, aproximadamente (Vide Figura 5.6)

Na prática, a aplicabilidade do diagrama da Figura 5.6 é limitada porque não se sabe *a priori* os valores das coordenadas: além das variáveis operacionais X_t e T_s , é preciso que se conheçam as constantes de Vesilind que determinam a sedimentabilidade do lodo, k e v_o . No item 5.3.2. a seguir, discute-se os métodos para se determinar experimentalmente as constantes de sedimentabilidade. Outro problema é que na derivação das equações que definem a taxa de escoamento superficial T_s , Equação 5.1 e 5.2 partiu-se da pressuposição que esta variável fosse dada pela razão do volume do decantador e a vazão do afluente (ou efluente). Esta pressuposição só é válida, num decantador ideal isto é, num decantador que funciona conforme o modelo que se apresentou na Capítulo 3. Entretanto, na prática, o regime de escoamento pode se desviar muito do ideal porque há zonas estagnadas no decantador isto é, nem todo o volume do decantador é efetivamente utilizado para a sedimentação: parte do volume não tem função no decantador, sendo denominado de volume morto. Para calcular o valor real da taxa de escoamento superficial em um decantador, é necessário que se conheça o valor da fração morta do seu volume.

Portanto, para melhorar a aplicabilidade do diagrama da capacidade de sedimentação de um decantador é preciso que se determine, experimentalmente, a sedimentabilidade do lodo e a fração morta do volume do decantador. Nas próximas seções aborda-se estes dois problemas.

5.3.2 Determinação da Sedimentabilidade de Lodo

O teste mais indicado para determinar as constantes de sedimentabilidade k e v_0 é o teste de White, conforme descrito no Capítulo 3. Neste experimento, realizou-se determinações das constantes antes e depois da otimização dos decantadores. Com os resultados desses testes, apresentado nas Tabelas 5.13 e 5.14 e Figuras 5.7 e 5.8 e com os dados da Tabela 5.13 e 5.14, determinou-se a velocidade de sedimentação em zona VSZ para diferentes concentrações, a partir da declividade da parte linear da curva de deslocamento da interface sólido-líquido com o tempo, Figura 5.7.a. De posse da equação da Vesilind ($v=v_0 \exp(-kX_t)$) e dos valores determinados experimentalmente a velocidade de sedimentação em zona (VSZ) para várias concentrações do lodo (X_t), construiu-se um segundo diagrama, Figura 5.7.b, tendo-se a velocidade de sedimentação em zona em função da concentração, usando-se uma escala semi log. Segundo a teoria, os pontos experimentais determinados estão numa reta. Assim, após marcar os pontos experimentais no diagrama definiu-se a melhor reta, usando-se um programa de gráficos (Freelance 3.1). Uma vez determinada a reta, determinou-se as constantes k e v_0 como a declividade da reta e a interseção com o eixo das ordenadas, respectivamente. Dos dados dos testes apresentados, os valores determinados para as constantes antes e após da otimização foram $k = 0,14 \text{ L/g}$ e $v_0 = 31,3 \text{ m/h}$ (Figura 5.7.b) e $k = 0,21 \text{ L/g}$ e $v_0 = 32,1 \text{ m/h}$ (Figura 5.8.b)

A vantagem do teste de White é que se determina diretamente os valores de k e v_0 . Uma grande desvantagem do teste é que envolve muito trabalho: para se obter valores confiáveis das constantes k e v_0 é necessário a dedicação de um trabalhador durante um dia todo. Naturalmente o custo deste teste é altíssimo. Para se evitar o uso

rotineiro do teste da sedimentabilidade para a determinação das constantes, procurou-se correlacionar os valores destas ao índice volumétrico de lodo, um teste muito simples que é aplicado rotineiramente na CETREL. As pesquisas de Anita van Langerak (1993) e Laurindo Alves Jr (não publicada), mostram que existe uma correlação entre estes parâmetros. A partir de 32 testes de determinação das constantes k em L/g e v_0 em m/h e o índice volumétrico correspondente, chegou-se a seguinte expressão empírica:

$$k = 0,09 + 0,003IVL \quad (5.3)$$

e

$$v_0 = 20 - 0,1IVL \quad (5.4)$$

O coeficiente de correlação foi de 0,92 para k e de 0,94 para v_0 , indicando uma boa correlação. Em todas as determinações da sedimentabilidade do lodo, o valor do IVL sempre foi menor que e 150 mL/g, (Figuras 5.12.a e 5.12.b) sendo que nos teste do IVL o volume final do lodo nunca superou 500 mL/L.. Desse modo, a validade das equações acima, correlacionando os valores de k e v_0 ao IVL, limita-se a essa faixa. Entretanto, na prática, dificilmente ter-se-ás um IVL e um volume de lodo fora da faixa estabelecida.

Para facilitar o uso rotineiro do diagrama da capacidade dos decantadores, preparou-se vários gráficos para diferentes valores da sedimentabilidade pelo seguinte procedimento:

(1) determinou-se as constantes k e v_0 para diferentes valores de IVL, usando-se as equações acima;

(2) para os valores calculados de k e v_0 , representou-se graficamente as equações de clarificação e de adensamento (a última para vários valores do fator de recirculação)

Nas Figuras 5.10.a a 5.10.e, observa-se diagramas da capacidade dos decantadores para diferentes valores do IVL. Essas figuras serão discutida no item 5.3.4.

5.3.3 Determinação da distribuição do tempo de permanência nos decantadores

Ao se realizar o teste da distribuição do tempo de permanência no decantador, objetivou-se determinar dois aspectos do regime de escoamento:

(a) a fração do volume que efetivamente é utilizado para efetuar a separação dos sólidos e do líquido, no decantador e

(b) o grau de mistura que há no decantador.

Para tal, realizou-se um teste da distribuição do tempo de permanência, usando-se Rodamina-B como traçador. O teste foi realizado no decantador DS-11, aplicando-se 2,5 kg de Rodamina-B. Na Tabela 5.15, observa-se os valores da concentração da Rodamina-B no efluente do decantador e da vazão de licor misto que foi medida durante o teste. Para determinar a concentração, usou-se um espectrofotômetro: com auxílio de uma curva de calibração, calculou-se a concentração em função da absorbância observada nas diferentes amostras.

A Figura 5.9 mostra graficamente o perfil da concentração do traçador em função do tempo percorrido após o momento da introdução do traçador no licor misto

afluente do decantador. O tempo médio de permanência foi determinado graficamente conforme a técnica descrita na Capítulo 4 . O valor experimental do tempo de permanência médio foi de 3,5 hs. Entretanto, para um volume de 4.636 m³ no decantador e uma vazão média de 655 m³/h, calcula-se um tempo de permanência hidráulico de $4.636/655 = 7,0$ horas. Desse modo, o tempo de permanência real é somente metade do tempo de permanência hidráulico, ou seja a fração do volume morto no decantado DS-11 era de 50 por cento, no dia do teste. Portanto, o volume efetivo que é a diferença entre o volume total e o volume morto também era metade do volume total.

O fato de se ter somente metade do volume do decantador realmente disponível para a sedimentação do lodo, leva a uma reformulação do valor da taxa de escoamento superficial. O taxa efetiva de escoamento superficial pode ser definida como se segue:

$$T_{\text{sef}} = Q/A_{\text{ef}} = QH/V_{\text{ef}} = S_fQH/V = S_fT_s \quad (5.5)$$

onde

$$T_s = Q/A_{\text{ef}}$$

T_s = taxa de escoamento superficial;

T_{sef} = taxa efetiva de escoamento superficial;

A_{ef} = área efetiva do decantador;

H = profundidade do decantador;

V_{ef} = volume efetivo do decantador;

V = volume do decantador;

S_f = fator de segurança.

Q = vazão afluyente

O fator de segurança definida na equação 5.5 acima é aplicado para corrigir o escoamento não ideal no decantador. No caso da CETREL onde se encontrou um volume efetivo igual a metade do volume nominal, o fator de segurança é dada por $S_f = V/V_{ef} = 2$.

5.3.4 Diagrama específico da capacidade de um decantador

Com auxílio dos dados de sedimentabilidade e do fator de segurança e as definições escritas nos itens 5.3.2 e 5.3.3, pode-se construir diagramas específicos da capacidade de um decantador de acordo com o seguinte roteiro:

(a) tendo-se os valores das constantes de sedimentabilidade k e v_o , constrói-se o diagrama específico da capacidade do decantador, tendo-se X_t nas ordenadas e T_s na abcissa (escala logarítmica);

(a) sabendo-se o valor do fator de segurança (no caso $S_f = 2$), transforma-se a abcissa correspondente: $T_{sef} = S_f T_s$ de tal modo que T_{sef} reflita a taxa de escoamento efetiva no decantador.

Nas Figuras 5.10.a a 5.10.e, observa-se os diagramas de capacidade do decantador DS-11 da Ala Nova da CETREL, para diferentes valores da sedimentabilidade do lodo, caracterizada pelo valor do IVL, tendo-se um fator de segurança $S_f = 2$. Os diagramas são feitos para IVL = 50 (Figura 5.10.a); 75 (Figura 5.10.b); 100 (Figura 5.10.c); 125 (Figura 5.10.d); e 150 mL/L (Figura 5.10.e). Nas figuras indica-se também a faixa de valores das variáveis operacionais comumente

encontradas na CETREL. Normalmente a concentração de lodo na CETREL se situa entre um mínimo de 3 g/L e um máximo de 6 g/L. Quanto à taxa de escoamento superficial, a mínima se dá quando todos os decantadores estão em operação, tendo-se uma área total de 6950 m² e a vazão de entrada mínima 2000 m³/h, o valor de $T_s = 0,3$ m/h. O valor máximo se dá pela condição prática que uma vazão muito grande causa uma séria turbulência na entrada do decantador, prejudicando o seu funcionamento. Na CETREL, a prática tem demonstrado que a taxa de escoamento superficial máxima que se pode aplicar é de 0,6 m/h aproximadamente. Conclui-se que, na faixa usual de operação, a taxa de escoamento superficial se encontra entre 0,3 e 0,6 m/h e a concentração do licor misto entre 3 e 6 g/L. Nos diagramas das Figuras 5.10.a a 5.10.e área hachuriada indica a faixa usual de operação dos decantadores da CETREL.

Ao se analisar os diagrama da capacidade do decantador DS-11 para sedimentabilidade muito boa (IVL = 50 mL/g), boa (IVL = 75 mL/g) e regular (IVL = 100 mL/g), observa-se que a faixa usual de operação está inteiramente dentro da área do diagrama onde o decantador pode funcionar. Isto significa que, para o bom funcionamento do decantador, basta aplicar o fator de recirculação de lodo que se pode determinar graficamente no diagrama para valores específicos de X_t e T_s .

Todavia, no caso da sedimentabilidade ser fraca (IVL = 125 mL/g) ou muito fraca (150 mL/g), é preciso restringir as condições operacionais para garantir o funcionamento apropriado dos decantadores. Como mostram as Figura 5.10.d e 5.10.e, para valores elevados da taxa de escoamento superficial e da concentração de licor misto, o ponto operacional se encontra na zona de sobrecarga, onde o decantador falhará. Para uma sedimentabilidade muito fraca (IVL = 150 mL/g) é difícil operar os

decantadores: a faixa de valores da taxa de escoamento superficial e da concentração de licor misto que, levam a uma condição operacional adequado, é muito estreita, como pode se ver Figura 5.10.e . No caso da CETREL a concentração de licor misto precisa ser menor que 4 g/L e, precisa-se de todos os decantadores em funcionamento, para manter uma taxa de escoamento superficial tão baixa quanto possível.

É importante observar que a previsão de dificuldades operacionais dos decantadores para sedimentabilidade muito fraca corresponde a experiência prática que se tem na CETREL: sempre que a sedimentabilidade do lodo da CETREL se torna muito fraca, encontra-se grandes dificuldades em evitar que haja descarga de lodo junto com o efluente. Conclui-se que, pelo menos neste caso, o diagrama prevê adequadamente quando o decantador tende a falhar.

5.3.5 Verificação Experimental

Para testar a validade do diagrama da capacidade dos decantadores na previsão de falha operacional, procurou-se estabelecer propositalmente situações em que o diagrama identificasse sobrecarga dos decantadores. Assim, partindo-se de um decantador funcionando bem, procurou-se modificar as condições operacionais de tal modo que o decantador passasse a funcionar mal (o que deveria estar previsto no diagrama).

Na época dos testes, a sedimentabilidade era muito boa, com valores do IVL sempre inferiores a 50 mL/g. Portanto, como se observa na Figura 5.10.a, a condição do decantador em condições operacionais normais está muito longe de sobrecarga, não sendo possível provocar falha através de aumento da concentração de licor misto ou da taxa de escoamento superficial. Entretanto, existe a possibilidade de se fazer o

decantador falhar através de uma redução do fator de recirculação de lodo. Como mostra a Figura 5.10.a, para uma fator de recirculação menor que $s=0,1$, prevê-se falha do decantador. Assim, resolveu-se testar a validade do diagrama, através de sucessivas reduções do fator de recirculação, observado-se eventuais modificações no perfil de concentração de lodo no decantador, notadamente da posição do lençol de lodo, que separa o lodo concentrado e o sobrenadante. Estas reduções do fator de recirculação de lodo podem ser provocadas por modificações da posição da válvula telescópica (vide Capítulo 4).

Durante os três testes do perfil de sólidos suspensos no decantador, observou-se a concentração em um grande número de pontos. Tomou-se amostras a diversas profundidades e a diversas distâncias do centro do decantador com relação a três níveis da válvula telescópica e, conseqüentemente, a três recirculações diferentes. Nas Tabelas 5.16 e 5.17, observa-se os valores dos dados experimentais

No dia 10/08/94 iniciou-se os testes, usando-se o decantador DS-11, tendo-se uma condição operacional normal, com a posição da válvula telescópica a 10 cm abaixo da base dos vertedores de saída do efluente. Neste dia, a concentração de licor misto na Ala Nova era de 4,2 g/L, a vazão média de licor misto de 534 m³/h, a vazão média do efluente clarificado de 368 m³/h, e vazão do lodo de retorno de 165 m³/h (portanto $T_s = 0,32$ m/h) e o fator de recirculação de lodo era de $s=0,45$. Na Figura 5.11 observa-se o ponto operacional P1 dado pelas coordenadas $T_s = 0,32$ e $X_t = 4,2$. Observa-se na Figura 5.11 que o fator de recirculação mínimo é de 0,15. Portanto, prevê-se que o decantador operando com $s = 0,45$ funcionará perfeitamente. De fato, os dados experimentais obtidos corroboram com esta previsão. Na Tabela 5.16, observa-se que a concentração

de lodo em diferentes pontos do decantador é muito baixa. Somente no fundo do decantador há uma concentração elevada.

Tendo-se provado o funcionamento adequado do decantador para um fator de recirculação de $s = 0,45$, reduziu-se a posição da válvula telescópica, mantendo-se uma diferença de 5 cm entre o vertedor circular e a base dos vertedores de saída do efluente. No dia, 11/08/94, mediu-se uma vazão média do licor misto como $426 \text{ m}^3/\text{h}$, vazão média do efluente clarificado de $352 \text{ m}^3/\text{h}$ e uma vazão média de lodo de retorno de $73,9 \text{ m}^3/\text{h}$, que dá uma taxa de escoamento superficial de $0,31 \text{ m/h}$ e um fator de recirculação de $s = 0,21$. A concentração do lodo era de $X_1 = 4,4 \text{ g/L}$, definindo-se, assim, o ponto P2 (Figura 5.11). Novamente determinou-se o perfil da concentração de lodo no decantador em função da posição. A Tabela 5.17 mostra os resultados experimentais. Esses resultados mostram claramente que o decantador ainda estava funcionando adequadamente: somente no fundo do decantador havia uma concentração considerável de lodo.

No terceiro dia (12/08/94) de experimentos, decidiu-se diminuir ainda mais o fator de recirculação para provocar falha operacional do decantador. Para tanto, deixou-se a diferença entre o nível do vertedor da válvula telescópica e os vertedores de saída do efluente em 3 cm. Inicialmente o fator de recirculação ficou em $0,12$ o que, em princípio, seria um valor adequado para provocar a falha operacional (vide Figura 5.11). Entretanto, depois de algumas horas de operação a tubulação de descarga do lodo decantado até a válvula telescópica entupiu, provavelmente devido a combinação de uma diferença de pressão muito pequena e uma concentração elevada de lodo de retorno (alta

viscosidade). Por esta razão não foi possível estabelecer efetivamente se o decantador iria falhar caso continuasse a operar normalmente.

5.3.6 Limitação Imposta do Diagrama pelas Condições Operacionais de um Decantador.

O desenvolvimento do diagrama da capacidade de decantadores, Figuras 5.10.a a 5.10.e, foi possível graças a considerações teóricas sobre a clarificação e o adensamento de lodo. Naturalmente limites impostos pela realidade física nos decantadores restringem a validade do diagrama. Assim, precisa-se considerar os seguintes aspectos práticos no decantador:

- a) estrutura de entrada do licor misto;
- b) estrutura de saída do efluente clarificado;
- c) estrutura de saída do lodo de excesso;
- d) natureza do lodo e
- e) relação entre IVL e as constantes k e v_0 .

a) Estrutura de entrada do licor misto

Na CETREL, um aspecto que prejudica visivelmente a eficiência dos decantadores é o fato que há uma tendência de sucção de ar no tubo de entrada de licor misto. Este ar entra no tubo de entrada, via a caixa de alimentação CDV- 7 e CDV-8, acumula-se no tubo formando uma grande bolha. Essa bolha de ar cria uma resistência a entrada do licor misto, reduzindo, assim, a vazão do licor misto afluente. Quando a bolha no tubo de entrada atinge um determinado volume, ela sai da tubulação e entra no

decantador onde causa forte agitação. Logo depois da saída da bolha de ar, o tubo está desimpedido, aumentando, a vazão do afluente, mas isto leva novamente a acumulação de ar no tubo e todo o processo se repete. Assim, observa-se um comportamento cíclico com uma frequência de mais ou menos 30 segundos a 1 minuto, havendo escapamento de uma grande quantidade de ar pelo tubo, acompanhado por agitação do conteúdo do decantador. O problema se agrava na medida em que aumenta a vazão de entrada no decantador e pode ser resolvido, evitando-se a entrada de ar no tubo através do estrangulamento de passagem da caixa de distribuição para o tubo. Isso fará com que o nível d'água na caixa de distribuição aumente permitindo o escapamento de ar antes da sua entrada no tubo. A alternativa seria baixar o nível do fundo da caixa de distribuição, uma providência que certamente resolveria, mas que tem custo elevado.

Devido a esse problema na estrutura de entrada, é muito difícil operar o decantador com uma vazão de entrada maior que $1000 \text{ m}^3/\text{h}$. Com um fator de recirculação em torno de $s=0,5$ estima-se um valor máximo para taxa de escoamento superficial de $670/1150 = 0,6 \text{ m/h}$. Para o conjunto dos seis decantadores, a capacidade máxima seria de $6000 \text{ m}^3/\text{h}$ ou quase $100.000 \text{ m}^3/\text{d}$, o que é mais que a maior vazão que se prevê na CETREL. Conclui-se que a capacidade instalada dos decantadores é suficiente para a situação existente.

b) Vertedor de saída

Um segundo aspecto está relacionado à vazão de saída que limita a vazão que pode ser aplicada. A experiência mostra que a vazão de saída não deve exceder $3 \text{ a } 5 \text{ m}^3/\text{h}$ por metro de vertedor (Pessoa e Jordão). Vazões maiores tendem a resultar em arraste

dos sólidos decantados. Para o perímetro dos decantadores de 120 m (diâmetro de 38 m) isto significa uma vazão afluyente de 1200 a 1800 m³/h ou seja uma taxa de escoamento superficial de 0,7 a 1,0 m/h, portanto mais que o limite que se impõe na estrutura de entrada do decantador.

c) Estrutura de saída do decantador

A experiência mostra que o fator de recirculação tem um mínimo de 0,2 aproximadamente: valores menores tendem a causar entupimento na tubulação do poço de coleta de lodo até a válvula telescópica. Por outro lado, quando a vazão do afluyente é grande, o fator de recirculação não pode exceder um valor de 0,5, para não causar uma agitação exagerada na descarga do licor misto. Há considerações econômicas que limitam o fator de recirculação ao menor valor que permite uma boa estabilidade operacional. Neste caso, os custos de bombeamento do lodo de retorno para o tanque de aeração são mínimos. Na CETREL um fator de recirculação de 0,4, aproximadamente, correspondente a um desnível de 10 cm entre o vertedor circular da válvula telescópica e a base dos vertedores de saída do efluente.

d) Tempo de permanência

Além das restrições hidráulicas, existe o limite do tempo de permanência dos sólidos no decantador, para evitar que um período excessivo sem aeração prejudique as propriedades biológicas (atividade) e mecânicas (sedimentabilidade, resistência dos flocos) do lodo. Para a maioria de sistemas de lodo ativado, este período é de 3 a 4 h mas, na CETREL, desenvolveu-se um lodo que pode ser exposto a prolongados

períodos sem aeração (6 a 8 horas), sem que haja danos aparentes na qualidade do lodo. Por esta razão, no caso específico da CETREL, o tempo de permanência do lodo no decantador não é um fator limitante.

e) Natureza do lodo

Certos lodos possuem flocos fracos o que resulta na formação de partículas sólidas minutas que praticamente não sedimentam (flocos cabeça-de-alfinete). Esses flocos tendem a aparecer no efluente, prejudicando a sua qualidade. Na CETREL, a forte agitação na entrada do decantador pode causar o aparecimento de pequenos flocos, mesmo quando o lodo tem boas características de floculação. Uma vez rompido, o floco tem relativamente pouca chance de se recompor no decantador.

f) Relação entre IVL e as constantes k e v_0

As relações empíricas encontradas entre o IVL e as constantes k e v_0 se restringem ao lodo da CETREL. Portanto, em princípio, é necessário que se determine experimentalmente os valores das constantes k e v_0 (ou a faixa de valores destas) para que se possa então construir o(s) diagrama(s) pertinente(s).

5.3.7 Procedimento operacional para avaliar a condição de um decantador.

Propõe-se no presente trabalho, para verificar se as condições operacionais dos decantadores da Ala Nova da CETREL estão adequadas, o seguinte procedimento para o uso rotineiro do Diagrama da Capacidade de um Decantador.

a) determinar o índice volumétrico do lodo, isto é, a razão entre o volume de lodo numa proveta de 1L, após 30 min de decantação e a massa de lodo presente na batelada;

b) selecionar o diagrama que correspondente ao valor do IVL, segundo quadro abaixo:

Faixa do IVL (mg/L)	Diagrama
$<IVL < 50$	Sedimentabilidade muito boa (Figura 5.10.a)
$50 < IVL < 75$	Sedimentabilidade boa (Figura 5.10.b)
$75 < IVL < 100$	Sedimentabilidade regular (Figura 5.10.c)
$100 < IVL < 125$	Sedimentabilidade fraca (Figura 5.10.d)
$125 < IVL < 150$	Sedimentabilidade muito fraca (Figura 5.10.e)

c) determinar experimentalmente a vazão de licor misto afluente do decantador, $Q_a + Q_r$, no vertedor da caixa de distribuição e a vazão do efluente clarificado, Q_e , na calha Parshall de saída. Calcular a vazão de lodo de retorno, Q_r , pela diferença entre as duas determinações;

d) com auxílio dos valores das vazões, determinar a taxa de escoamento superficial $T_s = Q_e/A$ e o fator de recirculação $s = Q_r/Q_a$;

e) plotar o ponto operacional P com coordenadas T_s (abscissa) e X_t (ordenada);

f) se o ponto operacional no gráfico se encontra na região de operação viável, determinar o valor mínimo do fator de recirculação para o decantador poder funcionar. Se o fator de recirculação calculado no item (d) for maior que o mínimo, a condição operacional do decantador é satisfatória e não há necessidade de se modificar os valores das variáveis operacionais. Se o fator de recirculação for menor que o mínimo, então é necessário que se aumente e/ou se diminua os valores de X_t e/ou T_s ;

g) se o ponto operacional se encontrar na região de sobrecarga, não adianta modificar o fator de recirculação. Neste caso é preciso que se reduza o valor de X_t e/ou T_s . A magnitude da redução necessária pode ser determinada graficamente no próprio diagrama da capacidade do decantador.

Esse procedimento pode ser repetido para os outros decantadores da CETREL desde que se faça um teste de distribuição do tempo permanência e se determine o fator de segurança.

5.5 Avaliação dos resultados obtidos

Comparou-se o desempenho dos decantadores da Ala Nova, antes e depois da otimização, a partir da qualidade do efluente final. Na Tabela 5.18.a observa-se os valores da concentração da DBO, DQO e SST bem como do IVL no efluente da Ala Nova, durante o período de 14-12-94 a 13-01-94, portanto antes da otimização. Na Figura 5.12 a, b c e d encontram-se as representações gráficas da Tabela 5.18.a Os valores máximos da DBO, DQO e SST especificados pelo CEPRAM também estão indicados nas Figuras 13 a, b, e c. Observa-se que os valores médios da DBO e da DQO (26 e 478 mg/L respectivamente) são menores que as especificações pelo CEPRAM (50

e 500 mg/L) mas no caso dos SST, a concentração no efluente (156 mg/L) está acima da máximo permitido pelo CEPRAM (40 mg/L)

A Tabela 5.18.b e as Figuras 5.13 a, b, c e d mostram os mesmos parâmetros no período de 19-04-94 a 25-05-94 quando a otimização já tinha sido efetuada. Observa-se que as concentrações da DBO, DQO e SST diminuíram significativamente, em particular a concentração dos SST. Todavia o seu valor médios (53 mg/L) ainda se situa marginalmente acima do valor especificado (40 mg/L).

O diagrama da capacidade dos decantadores para a sedimentabilidade muito boa, correspondendo a uma IVL abaixo dos 50 mL/g, indica que as condições operacionais no decantador no período depois da otimização estão perfeitamente adequados, como pode-se observar na Figura 5,10.a. Por esta razão não é de se esperar que uma modificação das variáveis operacionais X_s , T_s ou s pudesse resultar em um desempenho melhor do decantador. O teor relativamente alto dos sólidos em suspensão no decantador deve ser atribuído à presença de flocos muito finos quase sem velocidade de sedimentação (flocos carbeça-de-alfinete) no efluente. A presença destes flocos, minúsculos não se deve somente à fraqueza mecânica dos flocos mas, também, (e talvez principalmente) a uma turbulência intensa na entrada do decantador. Desse modo, só se pode esperar que a concentração dos SST no efluente diminua sensivelmente depois de se melhorar a entrada dos decantadores.

Tabela 5.1.a: Perfil diário de vazão do licor misto (m^3/h). Medições tomadas nos vertedores da caixa de distribuição de vazão de licor misto (CDV-7 e CDV-8) dos diferentes decantadores antes da otimização.

TEMPO	DECANTADORES						
	7	8	9	10	11	SOMA	MÉDIA
09:00	577	504	439	572	690	2782	556
11:00	514	560	429	600	628	2731	546
13:20	576	520	460	652	634	2842	568
15:00	600	532	493	732	732	3089	618
17:45	517	515	515	582	640	2769	553
20:00	683	675	514	704	740	3316	663
22:00	622	517	548	690	764	3141	639
24:00	617	632	514	677	802	3242	648
02:00	545	633	750	605	560	3093	619
04:00	488	504	408	572	672	2644	529
06:00	509	515	408	600	600	2632	526
MÉDIA	573	551	498	635	678	2935	587

Tabela 5.1.b: Perfil diário de vazão do licor misto (m^3/h). Medições nos vertedores da caixa de distribuição de vazão de licor misto (CDV-7 e CDV-8) dos diferentes decantadores após a otimização.

TEMPO	DECANTADORES						
	7	8	9	10	11	SOMA	MÉDIA
09:00	628	570	571	768	763	3300	660
11:00	652	576	556	701	750	3235	648
13:20	628	542	514	764	738	3186	637
15:00	553	517	514	664	628	2876	586
17:45	628	525	460	702	750	3065	613
20:00	617	548	429	707	775	3076	615
22:00	487	368	339	503	514	2213	442
24:00	599	487	514	646	737	2983	597
02:00	634	571	514	765	756	3240	648
04:00	652	514	605	701	744	3216	643
06:00	605	531	460	641	682	2919	584
MÉDIA	607	523	498	687	712	3028	605

Tabela 5.2.a : Perfil diário de vazão do efluente clarificado (m^3/h). Medições tomadas na saída (calha parshall) de cada decantador antes da otimização.

TEMPO	DECANTADORES						SOMA	MÉDIA
	7	8	9	10	11			
09:00	253	400	253	464	416	1786	357	
11:00	164	368	213	368	338	1451	290	
13:20	226	498	266	432	354	1776	355	
15:00	400	498	354	640	678	2570	514	
17:45	226	465	266	432	400	1789	358	
20:00	240	500	214	400	465	1819	364	
22:00	226	448	253	464	586	1977	395	
24:00	253	465	280	432	432	1862	372	
02:00	152	482	153	309	354	1450	290	
04:00	353	499	226	353	368	1799	340	
06:00	201	499	120	432	499	1751	350	
MÉDIA	236	466	236	430	445	1813	363	

Tabela 5.2.b : Perfil diário de vazão do efluente clarificado (m^3/h). Medições tomadas nas saídas (calha parshall) de cada decantador após a otimização.

TEMPO	DECANTADORES						SOMA	MÉDIA
	7	8	9	10	11			
09:00	432	368	338	498	532	2168	434	
11:00	464	368	338	498	532	2200	440	
13:20	432	356	338	515	512	2153	431	
15:00	359	400	338	416	409	1922	384	
17:45	432	353	323	498	498	2104	421	
20:00	390	309	280	400	498	1877	375	
22:00	280	188	164	253	253	1138	228	
24:00	425	323	309	406	464	1927	385	
02:00	448	338	320	464	481	2051	410	
04:00	432	338	315	432	364	1881	396	
06:00	432	309	275	422	432	1870	374	
MÉDIA	411	332	303	436	452	1934	386	

Tabela 5.3.a: Perfil diário de vazão do lodo de retorno (m^3/h). Valores determinados pela diferença entre a vazão do licor misto e efluente clarificado nos diferentes decantadores, antes da otimização.

TEMPO	DECANTADORES						
	7	8	9	10	11	SOMA	MÉDIA
09:00	324	104	186	108	274	996	199
11:00	350	92	216	232	290	1180	236
13:20	350	22	194	220	280	1066	213
15:00	200	34	139	92	54	519	103
17:45	345	50	249	150	240	1034	206
20:00	443	175	300	304	275	1497	299
22:00	396	123	295	226	176	1216	243
24:00	364	167	234	245	370	1380	276
02:00	393	151	597	296	206	1643	328
04:00	235	5	182	216	304	942	189
06:00	308	16	288	168	101	881	176
MÉDIA	337	85	262	205	234	1123	225

Tabela 5.3.b: Perfil diário de vazão do lodo de retorno (m^3/h). Valores determinados pela diferença entre a vazão do licor misto e efluente clarificado, nos diferentes decantadores, após a otimização.

TEMPO	DECANTADORES						
	7	8	9	10	11	SOMA	MÉDIA
09:00	196	201	233	270	230	1130	226
11:00	187	207	220	202	217	1026	207
13:20	196	185	176	248	226	1031	206
15:00	194	171	176	248	219	1008	201
17:45	196	172	136	203	251	958	192
20:00	226	239	148	306	277	1196	239
22:00	206	179	174	250	261	1070	214
24:00	174	163	205	240	272	1054	211
02:00	186	233	193	300	274	1186	237
04:00	221	176	290	269	279	1135	247
06:00	173	223	185	219	250	1050	210
MÉDIA	196	195	194	250	250	1089	217

Tabela 5.4.a : Perfil diário do fator de recirculação do lodo de retorno decantado nos diferentes decantadores, antes da otimização.

TEMPO	DECANTADORES					
	7	8	9	10	11	MÉDIA
09:00	1,28	0,26	0,74	0,23	0,66	0,63
11:00	2,13	0,25	1,01	0,63	0,86	0,97
13:20	1,55	0,04	0,73	0,51	0,79	0,72
15:00	0,50	0,07	0,39	0,14	0,08	0,23
17:45	1,53	0,11	0,94	0,35	0,60	0,70
20:00	1,85	0,35	1,40	0,76	0,59	0,99
22:00	1,75	0,27	1,17	0,49	0,30	0,79
24:00	1,44	0,36	0,84	0,57	0,86	0,81
02:00	2,59	0,31	3,90	0,96	0,56	1,66
04:00	0,93	0,01	0,81	0,62	0,83	0,64
06:00	1,53	0,03	2,40	0,39	0,20	0,91
MÉDIA	1,55	0,19	1,30	0,51	0,57	0,82

Tabela 5.4.b: Perfil diário do fator de recirculação do lodo de retorno decantado nos diferentes decantadores, após a otimização.

TEMPO	DECANTADORES					
	7	8	9	10	11	MÉDIA
09:00	0,46	0,55	0,68	0,54	0,43	0,53
11:00	0,40	0,56	0,65	0,40	0,40	0,48
13:20	0,46	0,52	0,52	0,48	0,44	0,48
15:00	0,54	0,43	0,52	0,59	0,53	0,52
17:45	0,46	0,48	0,42	0,40	0,50	0,45
20:00	0,57	0,77	0,52	0,76	0,55	0,63
22:00	0,73	0,95	1,0	0,9	1,0	0,91
24:00	0,41	0,5	0,66	0,59	0,59	0,55
02:00	0,41	0,68	0,60	0,64	0,57	0,58
04:00	0,51	0,51	0,92	0,62	0,60	0,63
06:00	0,40	0,71	0,67	0,51	0,57	0,57
MÉDIA	0,48	0,60	0,65	0,58	0,56	0,57

Tabela 5.5.a : Perfil diário da taxa de escoamento superficial (m/h) nos diferentes decantadores, antes da otimização.

TEMPO	DECANTADORES					MÉDIA
	7	8	9	10	11	
09:00	0,22	0,35	0,22	0,41	0,37	0,32
11:00	0,14	0,32	0,19	0,32	0,30	0,26
13:20	0,20	0,44	0,23	0,38	0,31	0,31
15:00	0,35	0,44	0,31	0,56	0,60	0,45
17:45	0,20	0,41	0,23	0,38	0,35	0,32
20:00	0,21	0,44	0,19	0,35	0,41	0,32
22:00	0,20	0,40	0,22	0,41	0,52	0,35
24:00	0,22	0,41	0,25	0,38	0,38	0,33
02:00	0,13	0,43	0,14	0,27	0,31	0,26
04:00	0,22	0,44	0,20	0,31	0,32	0,30
06:00	0,18	0,44	0,11	0,38	0,44	0,31
MÉDIA	0,21	0,41	0,21	0,38	0,39	0,32

Tabela 5.5.b : Perfil diário da taxa de escoamento superficial (m/h) nos diferentes decantadores, após a otimização.

TEMPO	DECANTADORES					MÉDIA
	7	8	9	10	11	
09:00	0,37	0,32	0,29	0,43	0,46	0,37
11:00	0,40	0,32	0,29	0,43	0,46	0,38
13:20	0,37	0,31	0,29	0,44	0,44	0,37
15:00	0,31	0,34	0,29	0,36	0,35	0,33
17:45	0,37	0,30	0,28	0,43	0,43	0,36
20:00	0,33	0,26	0,24	0,34	0,43	0,32
22:00	0,24	0,16	0,14	0,22	0,22	0,20
24:00	0,37	0,28	0,26	0,35	0,40	0,33
02:00	0,38	0,29	0,27	0,40	0,41	0,35
04:00	0,37	0,29	0,27	0,37	0,40	0,34
06:00	0,37	0,26	0,23	0,36	0,37	0,32
MÉDIA	0,35	0,28	0,25	0,37	0,39	0,33

Tabela 5.6: Vazão afluyente (licor misto) e a vazão do efluente clarificado do DS-11 para diferentes posições da válvula telescópica.

EXPERIMENTO		VAZÃO DO EFLUENTE PARA DIF. VAZÕES DE ENTRADA			
Número	Vazão afluyente	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
1	945,54	874,54	696,71	603,90	498,52
2	688,69	677,79	532,90	368,94	280,66
3	408,43	400,11	226,44	109,31	54,01

Tabela 5.7: Vazão afluyente (licor misto) e vazão do lodo de retorno do DS-11 para diferentes posições da válvula telescópica

EXPERIMENTO		VAZÃO DO RETORNO PARA DIF. VAZÕES DE ENTRADA			
Número	Vazão afluyente	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
1	945,54	71,00	248,82	341,64	447,01
2	688,69	10,89	155,79	319,74	408,02
3	408,43	8,32	181,98	299,11	354,42

Tabela 5.8: Valores da altura da lâmina líquida (cm) do vertedor triangular de saída do efluente do DS-11 para diferentes posições da válvula telescópica

EXPERIMENTO NÚMERO	LÂMINA DO VERTEDOR TRIANGULAR			
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
1	1,05	0,95	0,90	0,83
2	0,94	0,86	0,74	0,66
3	0,76	0,61	0,45	0,34

Tabela 5.9: Valores da altura da lâmina no vertedor circular (cm) (lodo de retorno decantado) na válvula telescópica do DS-11 para diferentes posições da válvula telescópica

EXPERIMENTO NÚMERO	LÂMINA DO VERTEDOR CIRCULAR(D=600 mm)			
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
1	0,30	3,6	6,7	11
2	0,00	1,4	5,8	9,5
3	0,00	1,9	5,2	7,2

Tabela 5.10: Valores da perda de carga na tubulação (decantador válvula telescópica) do DS-11 para diferentes posições da válvula telescópica

EXPERIMENTO NÚMERO	PERDA DE CARGA NA LINHA			
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
1	5,7	7,4	9,1	9,3
2	5,9	9,4	9,8	11
3	5,7	8,7	10,3	13,1

Tabela 5.11: Valores do Fator de recirculação

EXPERIMENTO NÚMERO	VALOR DE "s" PARA DIFERENTES. VAZÕES DE ENTRADA			
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
1	0,081	0,357	0,565	0,896
2	0,016	0,292	0,866	1,453
3	0,020	0,803	2,732	6,561

Tabela 5.12: Valores da taxa de escoamento superficial (m/h)

EXPERIMENTO NÚMERO	VALOR DE Ts PARA DIFERENTES. VAZÕES DE ENTRADA			
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
1	0,760	0,605	0,525	0,433
2	0,589	0,463	0,320	0,244
3	0,347	0,196	0,095	0,046

Tabela 5.13: Teste de sedimentabilidade realizado com lodo de retorno antes da otimização

TEMPO (MIN)	coluna 1 (cm)	coluna 2 (cm)	coluna 3 (cm)	coluna 4 (cm)	coluna 5 (cm)
0	0	0	0	0	0
1	5.5	10	6	7.5	6
2	7	15	7.5	7.5	6.5
3	19	22	10	8	6.5
4	32	28	13.5	8	6.5
5	42	34	17.5	9	7
10	52	44	25.5	18	8.5
15	80.5	61	39.5	29	9.5
20	83	67.5	50	39.5	16.5
25	84.5	71	55.5	46	25.5
30	86	73.5	59.5	50.5	33.5
SST (mg/L)	2720	5064	7500	11360	12160

Tabela 5.14: Teste de sedimentabilidade realizado com o lodo de retorno após a otimização

TEMPO (MIN)	coluna 1 (cm)	coluna 2 (cm)	coluna 3 (cm)	coluna 4 (cm)
0	0	0	0	0
1	6	5	5	5
2	8	8	8	7
3	24	20	13	7
4	31	40	15	7,5
5	43	48	16	8
10	50	68	20	9
15	78	71	25	16
20	80	72	29	16
25	85	72	50	21
30	86	73	60	31
SST (mg/L)	2700	4580	6980	10140

Tabela 5.15 - Dados da concentração de Rodamina em função do tempo no efluente do decantador DS-11 (teste da distribuição do tempo de permanência)

TEMPO (h)	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	vazão m ³ /h
8:30	0,000	719.5
8:54	0,292	-
9:00	0,509	719.5
9:20	0,317	-
9:40	0,313	-
10:00	0,294	542
10:20	0,294	-
10:40	0,289	-
11:00	0,236	750.3
11:20	0,233	-
11:40	0,219	-
12:00	0,214	670.9
12:20	0,214	-
12:40	0,189	-
13:00	0,175	750.3
13:20	0,175	-
14:00	0,170	719.5
14:30	0,156	-
15:00	0,145	570.8
15:30	0,137	-
16:00	0,132	750.3
16:30	0,118	-
17:00	0,118	782.0
17:30	0,085	-
18:00	0,085	525.7
19:00	0,082	737.9
20:00	0,038	737.9
21:00	0,022	482.1
22:00	0,015	514.6
23:00	0,015	503.7
24:00	0,000	500.8
MÉDIA	-	655

Tabela 5.16: Perfil de sólidos no decantador com a válvula telescópica posicionada a 10 cm

PROFUNDIDA DE EM METROS (m)	Distância ate o centro (m)							
	16	12	8	4	4	8	12	16
1 m	46,8	49,0	46,5	47,3	47,8	46,2	48,1	46,6
2 m	147,3	150,0	147,0	153,1	148,2	147,0	148,3	148,3
3 m	250,0	251,3	247,1	253,6	248,5	247,5	248,5	248,7
4 m	351,0	353,6	349,5	354,0	356,1	347,7	349,0	350,7
FUNDO	19.833	17.073	19.910	19.250	21.213	20.413	17.343	20.593

Tabela 5.17: Perfil de sólidos suspensos no decantador com a válvula telescópica posicionada a 5 cm

PROFUNDIDA DE EM METROS (m)	Distância ate o centro (m)							
	16	12	8	4	4	8	12	16
1 m	50,0	47,0	48,2	43,1	46,0	49,6	46,5	46,9
2 m	151,8	148,2	148,2	150,7	147,0	146,8	149,9	150,3
3 m	252,3	251,0	250,0	255,8	254,0	251,1	250,3	214,0
4 m	355,4	353,0	353,2	364,8	363,7	354,8	351,1	352,3
FUNDO	22.290	21.633	16.693	23.913	25.363	21.763	24.083	25.763

Tabela 5.18.a : Valores de DQO, SST, e IVL antes da otimização do sistema de lodo ativado da CETREL

DATAS	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	IVL(mL/g)
14-12-93	28	440	185	14
15-12-93	31	860	203	10
16-12-93	33	900	206	11
17-12-93	59	490	235	10
18-12-93	16	440	240	7.5
20-12-93	42	480	243	12.7
21-12-93	31	570	135	20
22-12-93	14	380	123	24
23-12-93	21	350	136	19
24-12-93	14	440	60	20
25-12-93	14	440	155	21
26-12-93	16	445	113	20
27-12-93	15	410	112	19
28-12-93	16	390	113	22
29-12-94	40	500	192	21
30-12-94	15	400	128	23
05-01-94	16	440	86	20
06-01-94	21	500	84	21
13-01-94	25	440	208	20
18-01-94	-	-	190	24
MÁXIMA	59	900	243	24
MÉDIA	26	478	156	17.6
MÍNIMA	14	350	60	7.5

Tabela 5.18.b: Valores de DBO, DQO, SST, e IVL após a otimização do sistema de lodo ativado da CETREL

DATAS	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	IVL (mL/g)
19-04-94	18	433	60	38
25-05-94	-	-	38	43
27-04-94	46	400	26	38
30-04-94	22	517	62	39
02-05-94	14	333	76	42
07-05-94	20	467	67	35
08-05-94	14	333	54	36
11-05-94	44	453	60	31
12-05-94	31	333	32	32
13-05-94	17	433	60	30
14-05-94	16	383	62	32
15-05-94	17	400	54	32
16-05-94	15	350	49	33
17-05-94	16	380	62	33
18-05-94	14	410	64	33
19-05-94	14	385	48	34
20-05-94	16	370	26	36
21-05-94	14	350	47	40
22-05-94	16	370	50	34
25-05-94	14	400	60	43
MÁXIMA	46	583	76	43
MÉDIA	21	408	53	38
MÍNIMA	14	333	26	30

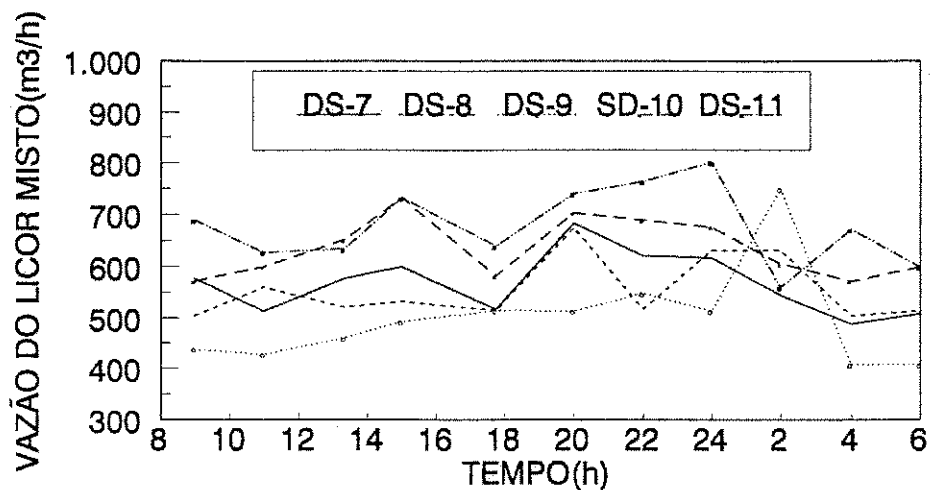


Figura 5.1.a - Perfil da vazão do licor misto em função do tempo nos diferentes decantadores, antes da otimização.

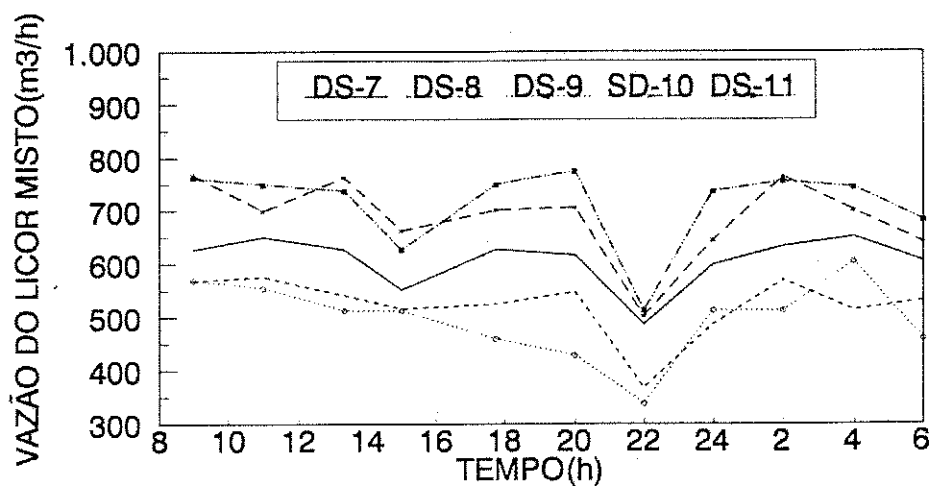


Figura 5.1.b - Perfil da vazão do licor misto em função do tempo nos diferentes decantadores, após da otimização.

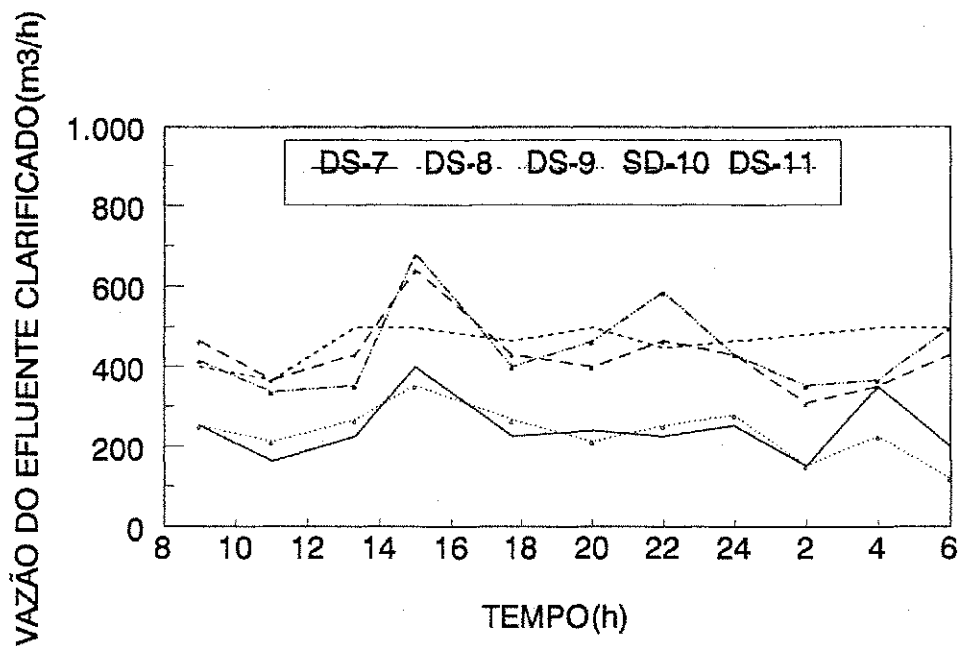


Figura 5.2.a - Perfil da vazão do efluente clarificado em função do tempo nos diferentes decantadores antes da otimização.

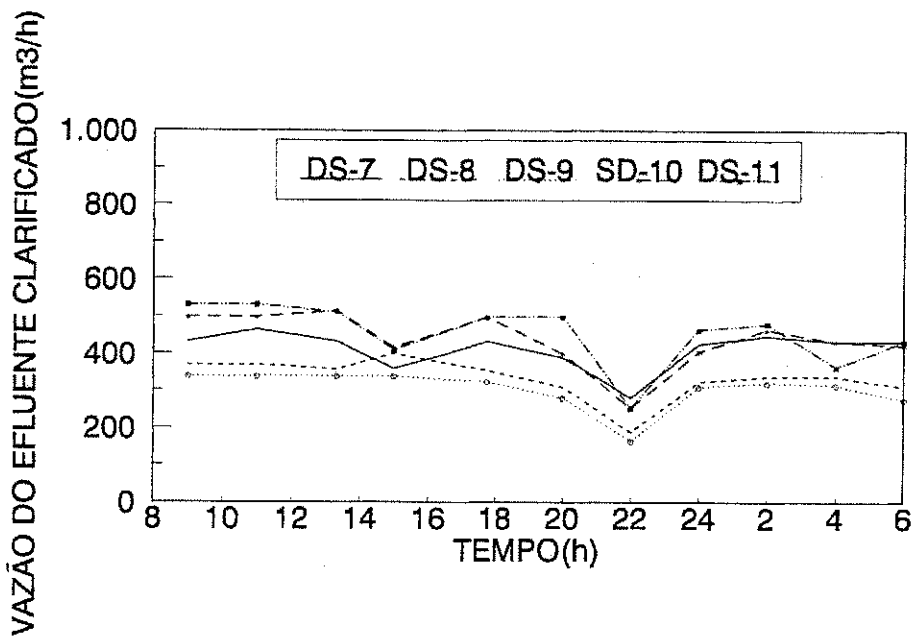


Figura 5.2.b - Perfil da vazão do efluente clarificado em função do tempo nos diferentes decantadores após a otimização.

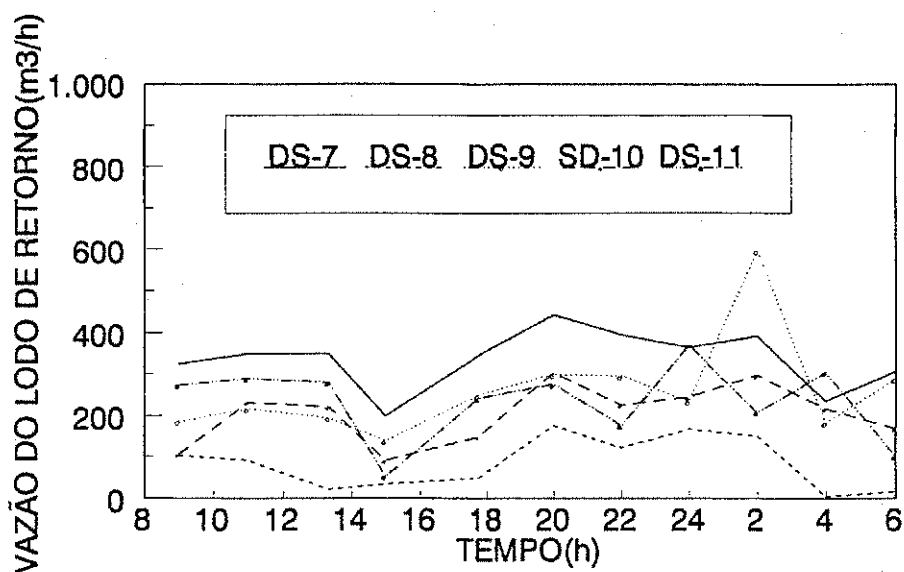


Figura 5.3.a - Perfil da vazão de lodo de retorno em função do tempo nos diferentes decantadores antes da otimização.

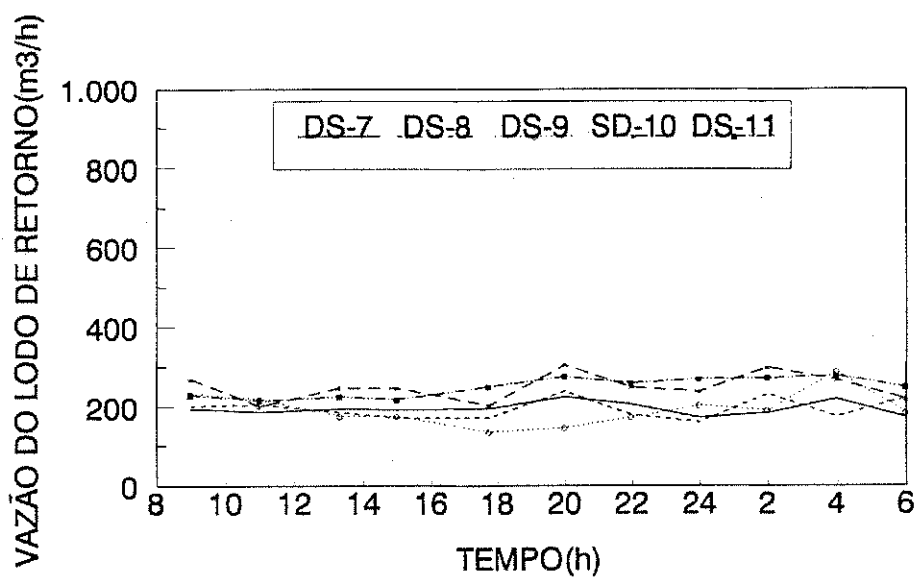


Figura 5.3.b - Perfil da vazão do lodo de retorno em função do tempo nos diferentes decantadores após a otimização.

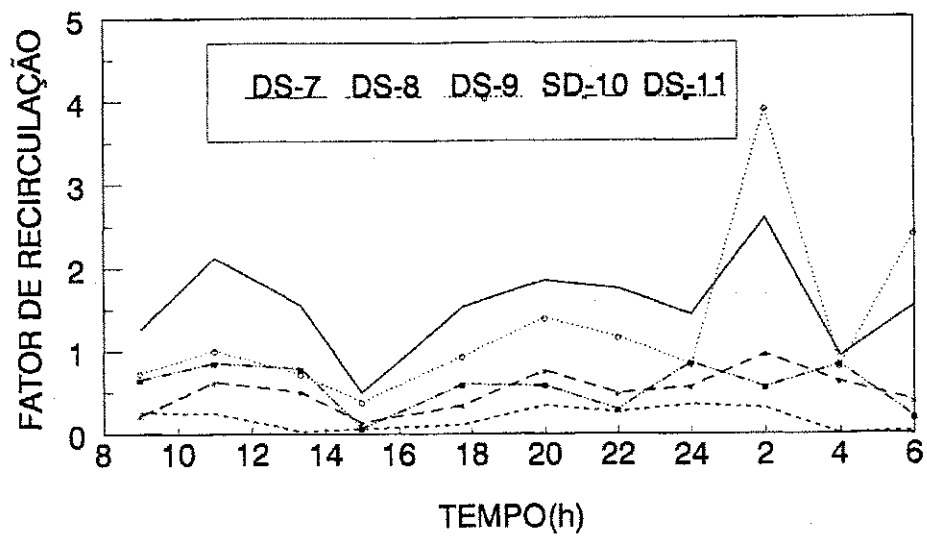


Figura 5.4.a - Perfil do fator de recirculação do lodo de retorno em função do tempo nos diferentes decantadores antes da otimização.

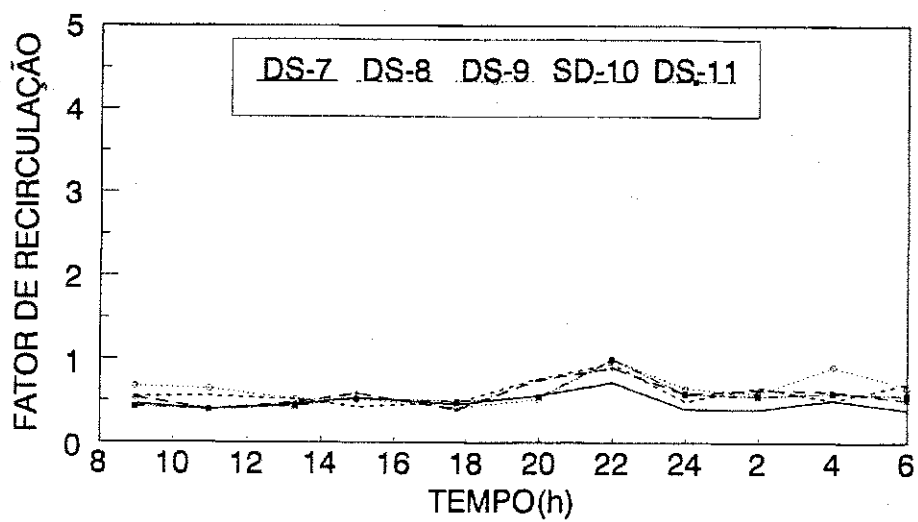


Figura 5.4.b - Perfil do fator de recirculação do lodo de retorno em função do tempo nos diferentes decantadores após a otimização.

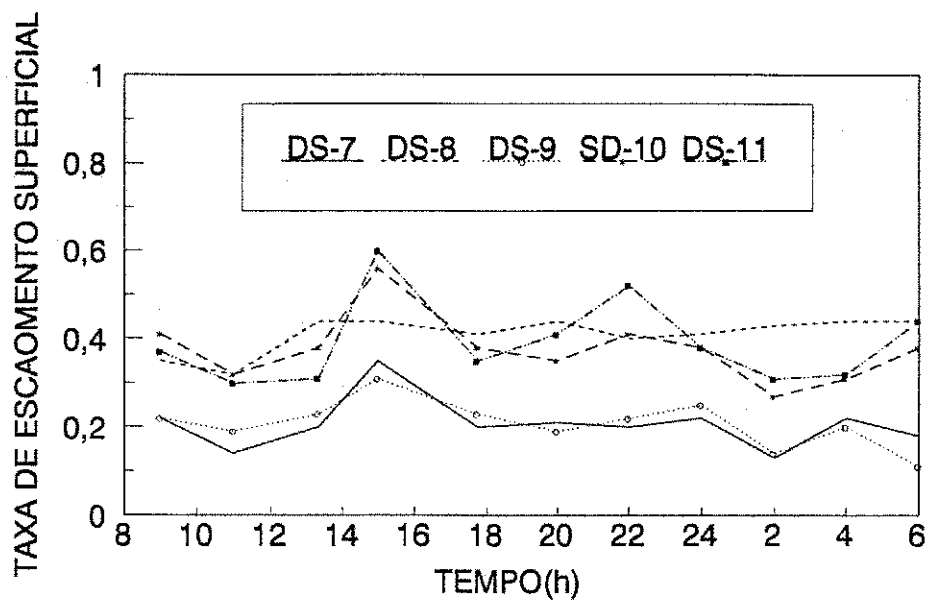


Figura 5.5.a - Perfil da taxa de escoamento superficial em função do tempo nos diferentes decantadores antes da otimização.

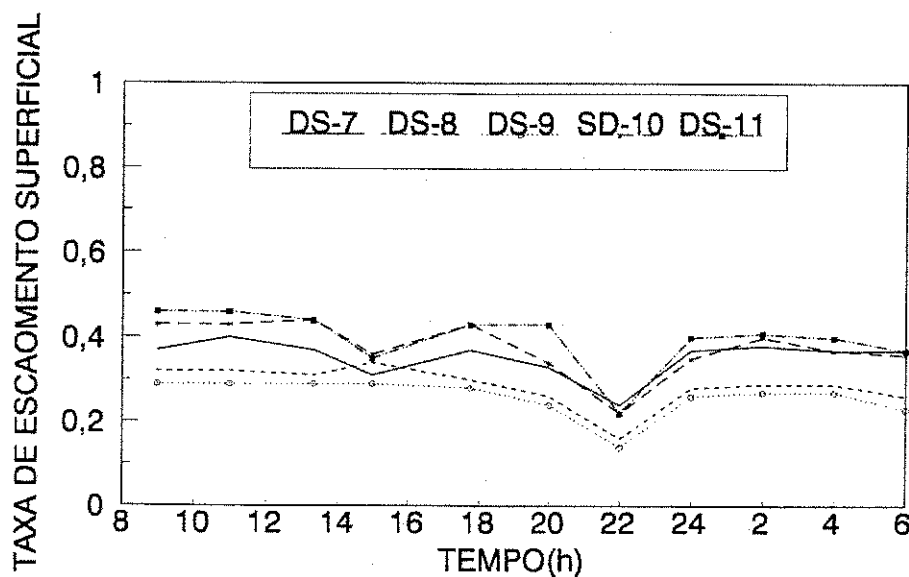


Figura 5.5.b - Perfil da taxa de escoamento superficial em função do tempo nos diferentes decantadores após a otimização.

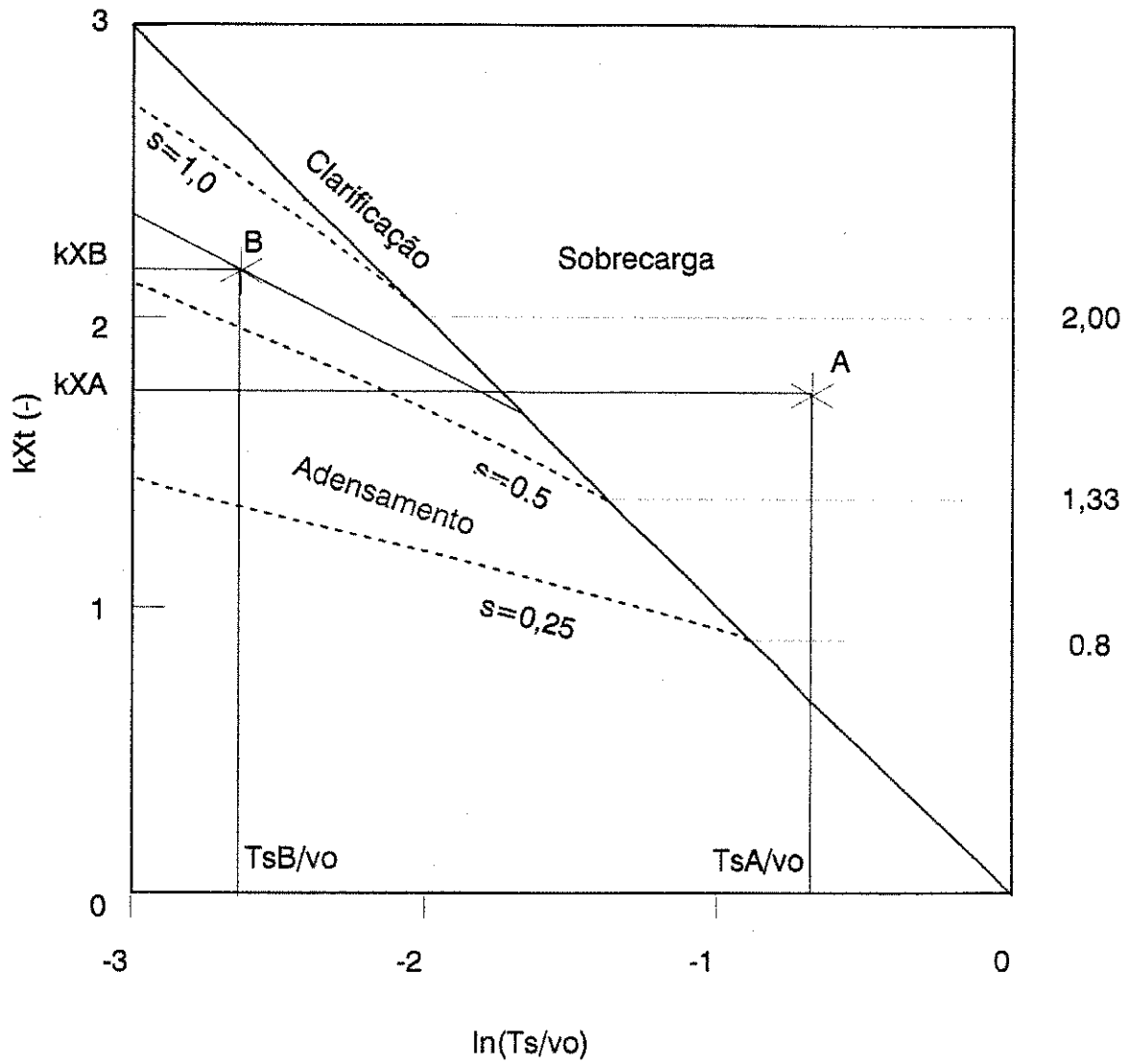


Figura 5.6 - Diagrama da capacidade de um decantador.

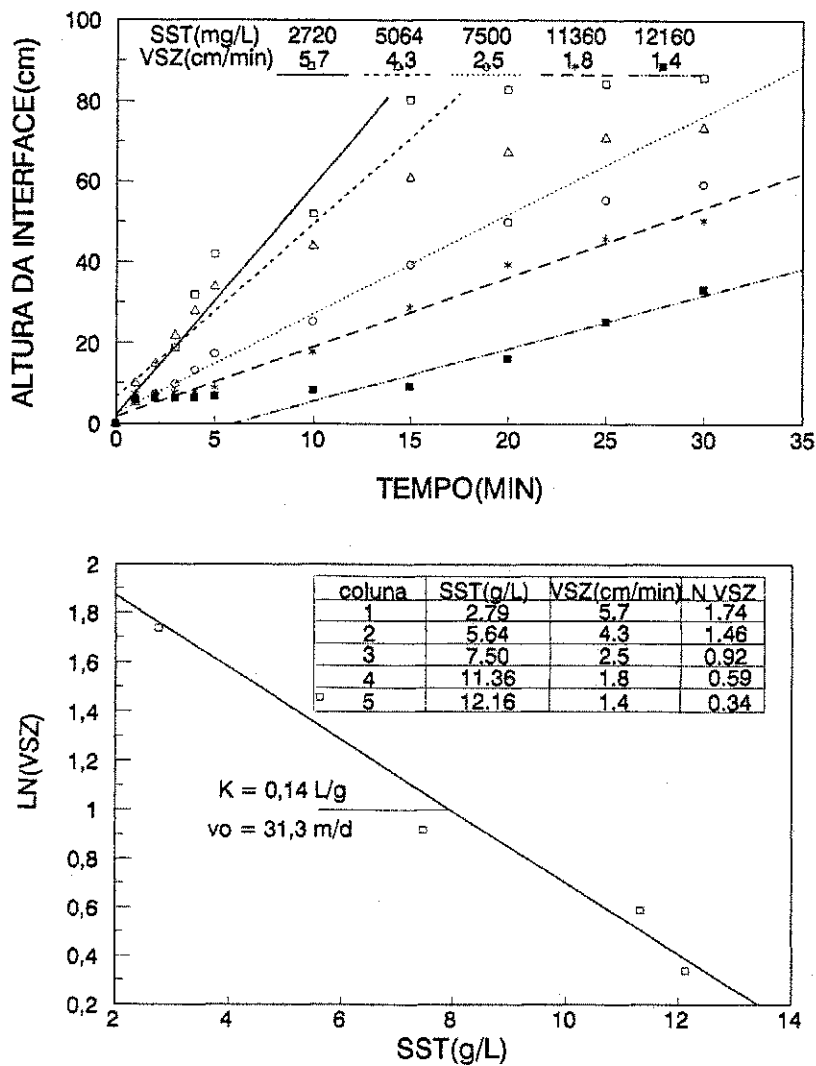


Figura 5.7 (a e b) - Teste de sedimentação realizada com lodo de retorno antes da otimização, vendo-se em (a) a expressão gráfica da descida da interface com o tempo para cada uma das cinco colunas e em (b) a determinação gráfica das constantes de Vesilind, k e v_0 .

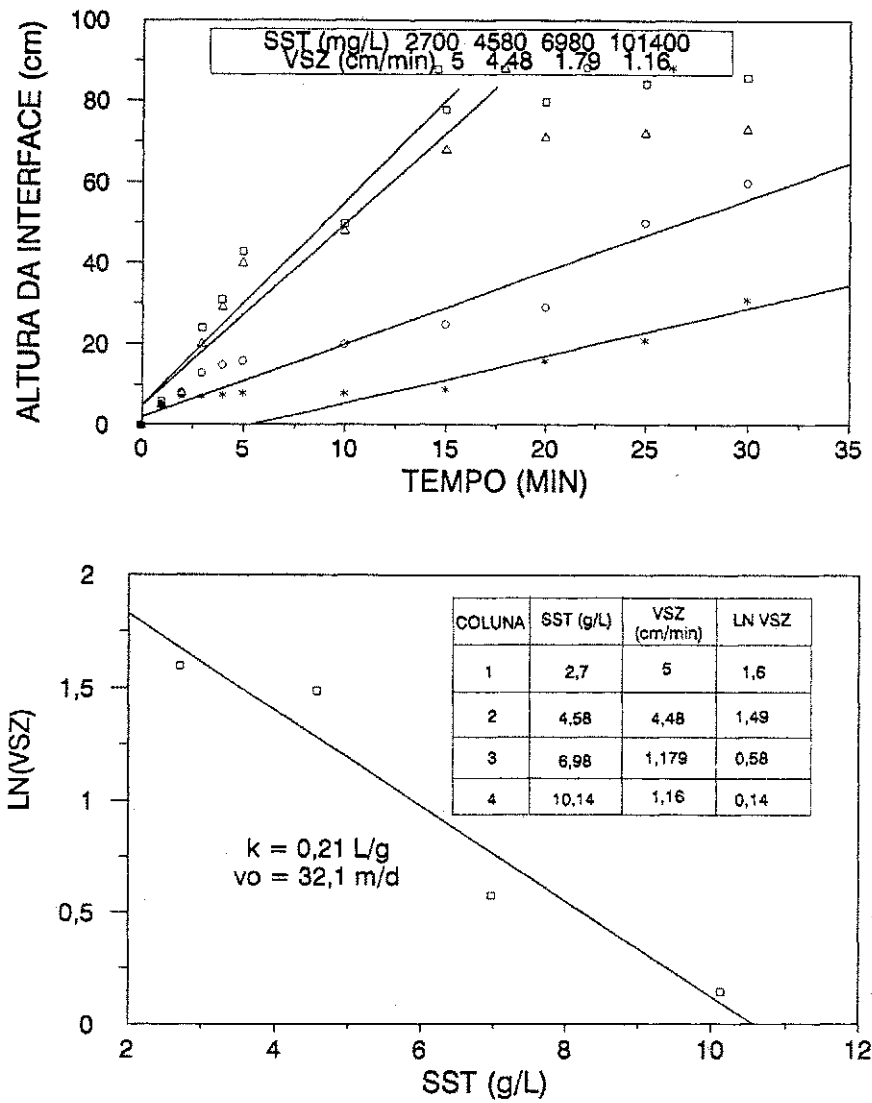


Figura 5.8 (a e b) - Teste de sedimentabilidade realizado com lodo de retorno após a otimização vendo-se em (a) a expressão gráfica da descida da interface com o tempo para cada uma das quatro colunas e em (b) a determinação gráfica das constantes de Vesilind, k e v_0 .

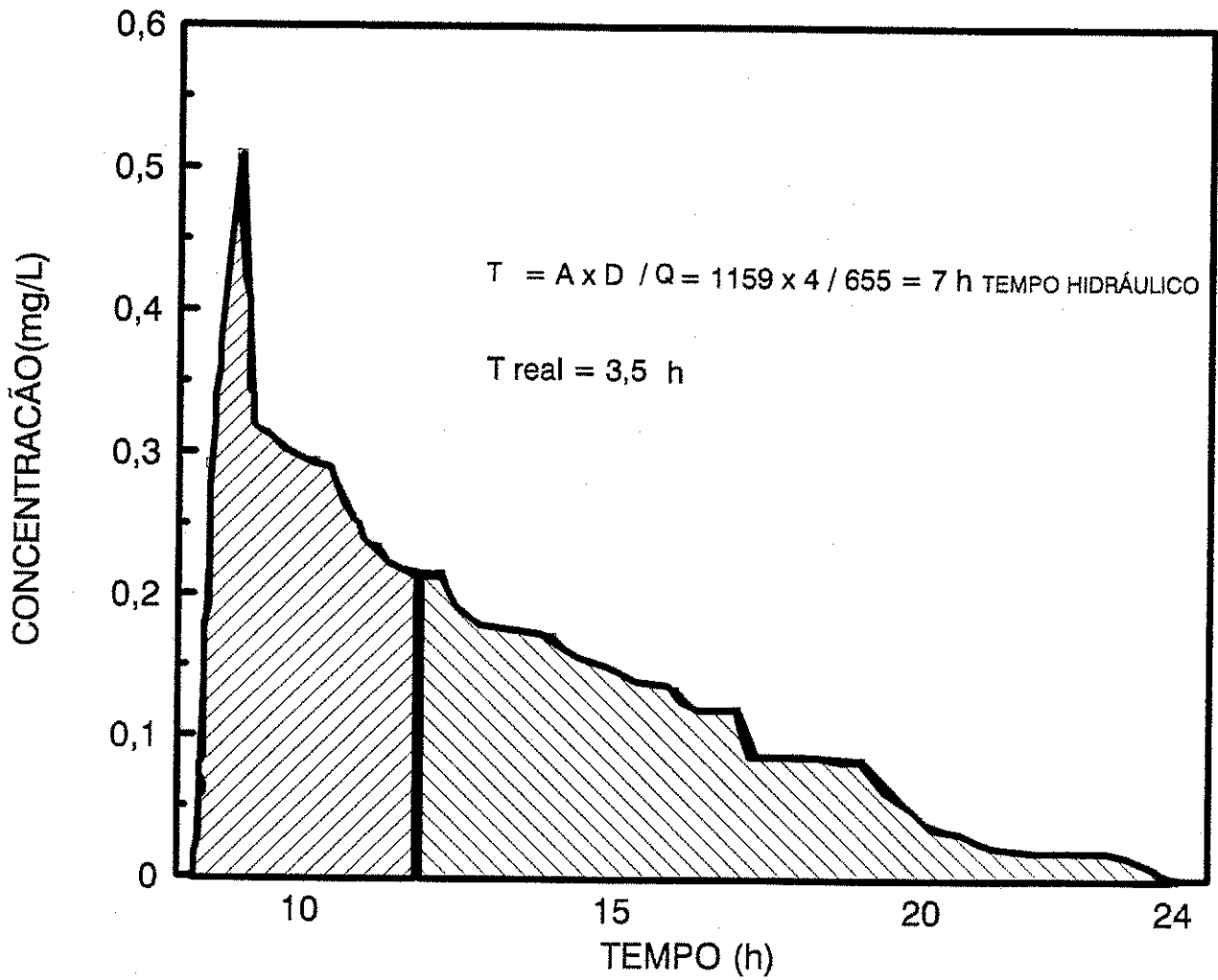


Figura 5.9 - Distribuição da concentração do traçador Rodamina-B em função do tempo, num teste para determinar o tempo de permanência num decantador.

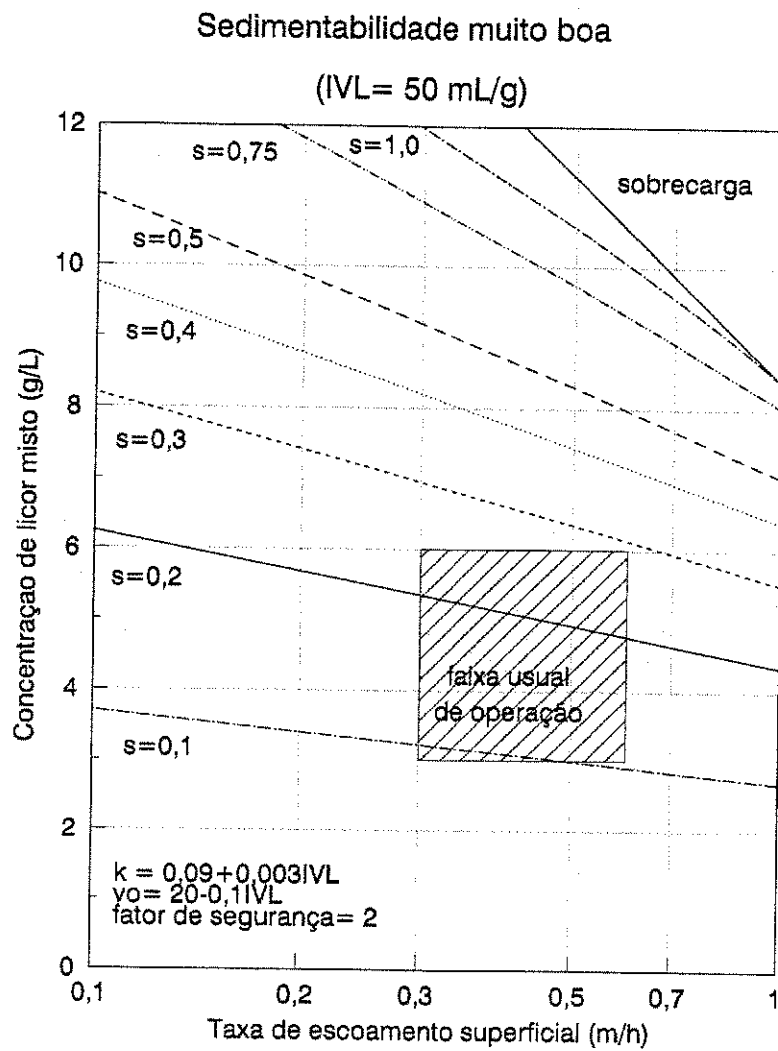


Figura 5.10.a - Diagrama da capacidade do decantador DS-11 para IVL = 50 mL/g e um fator de segurança de 2.

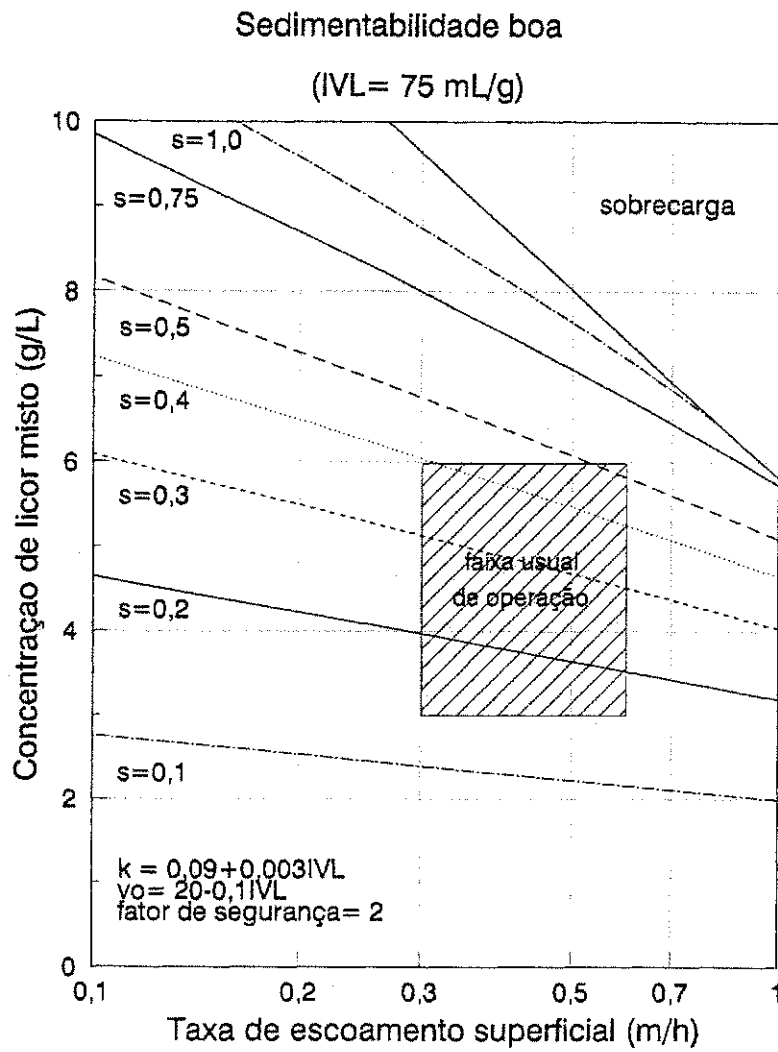


Figura 5.10.b - Diagrama da capacidade do decantador DS-11 para IVL = 75 mL/g e

um fator de segurança de 2.

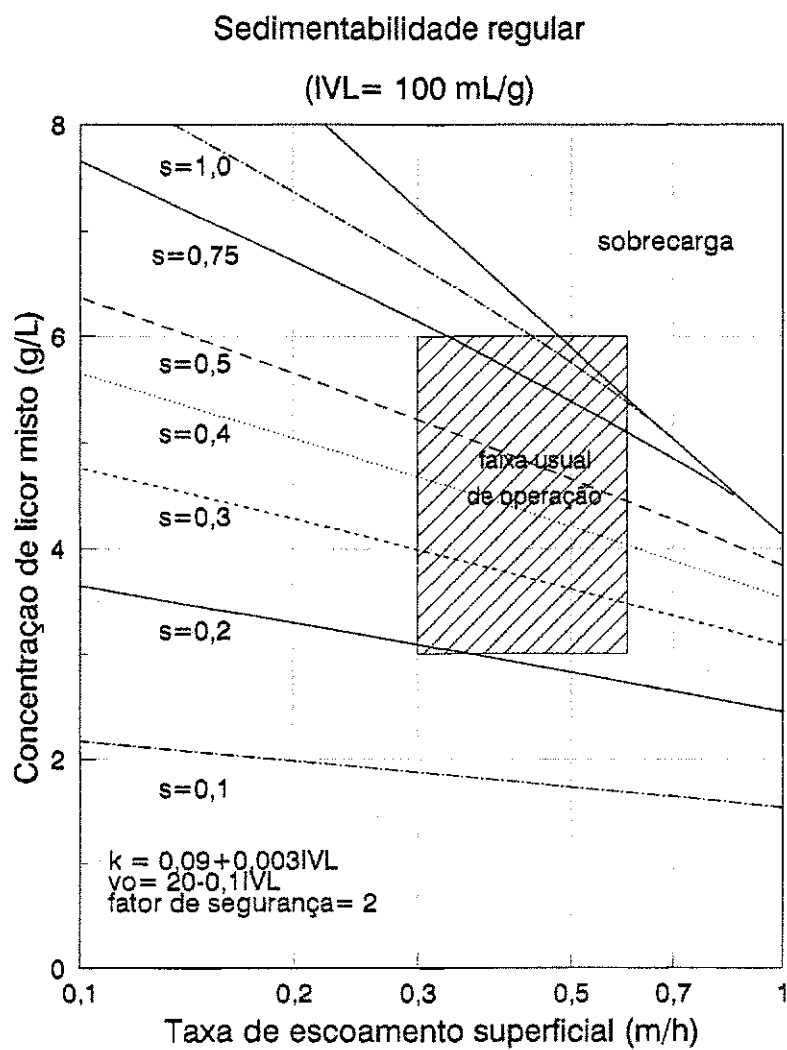


Figura 5.10.c - Diagrama da capacidade do decantador DS-11 para IVL = 100 mL/g e um fator de segurança de 2.

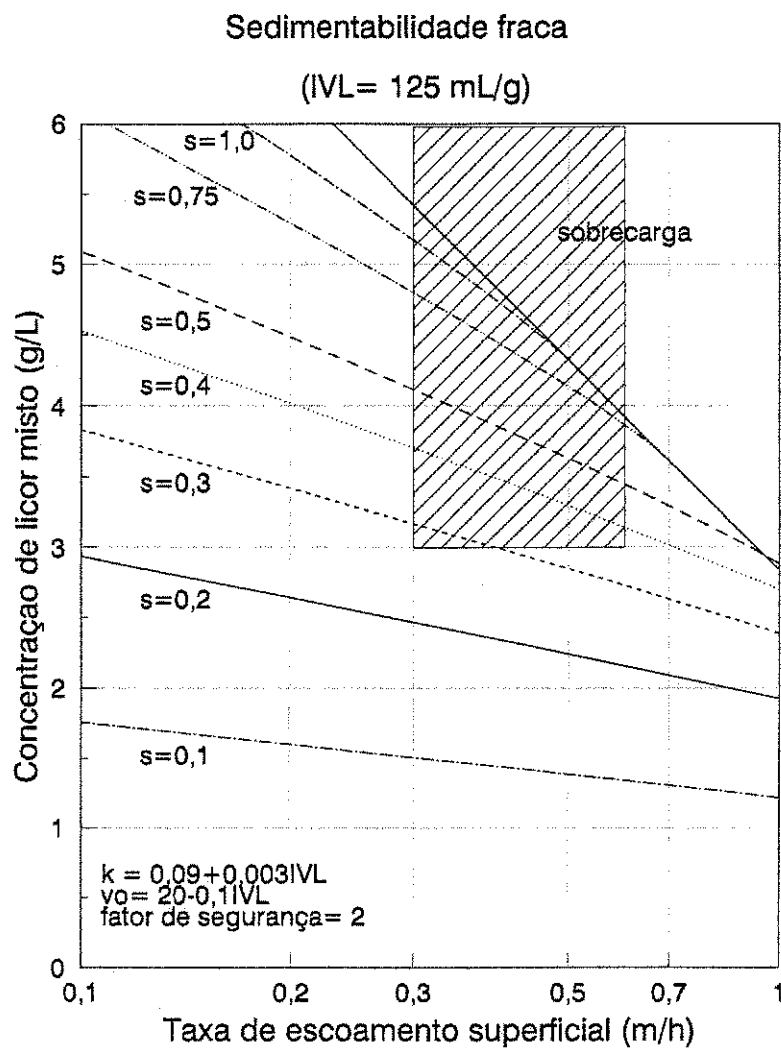


Figura 5.10.d - Diagrama da capacidade do decantador DS-11 para IVL = 125 mL/g e

um fator de segurança de 2.

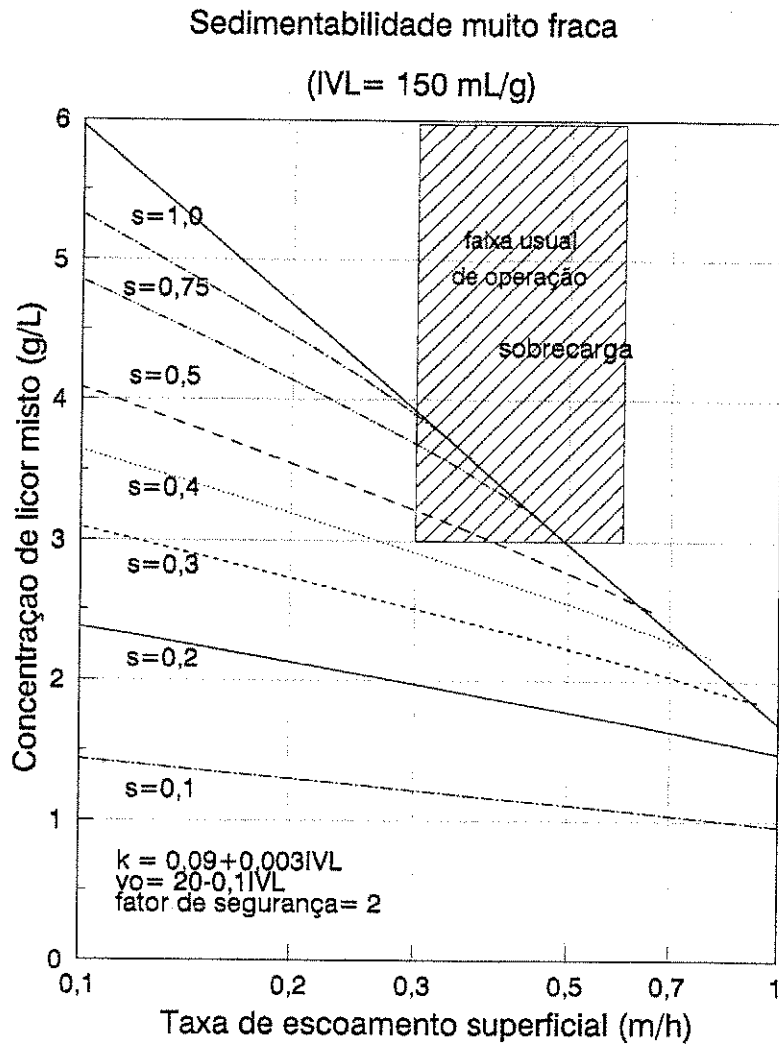


Figura 5.10.e - Diagrama da capacidade do decantador DS-11 para IVL = 150 mL/g e

um fator de segurança de 2.

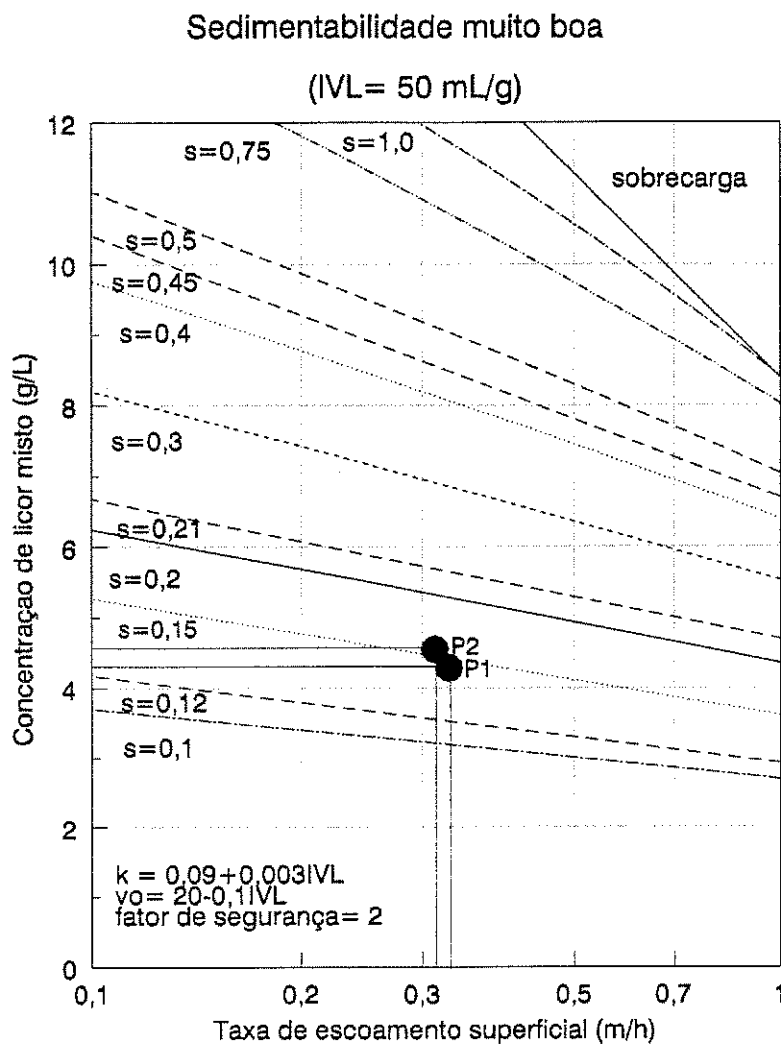


Figura 5.11 - Verificação experimental da viabilidade do diagrama para situação de sobrecarga.

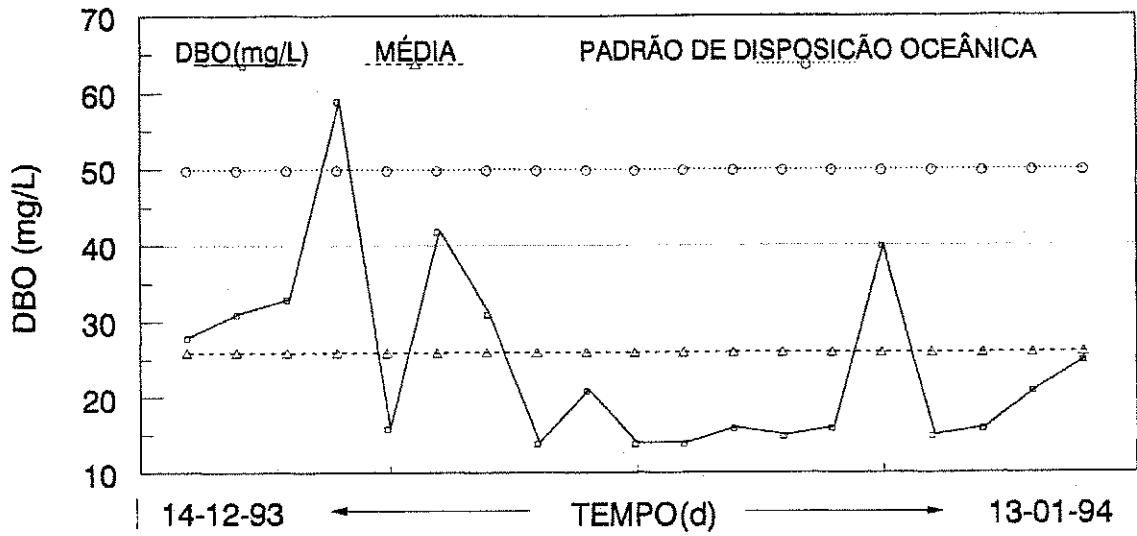


Figura 5.12.a - Variação da DBO do efluente clarificado DS-7 a DS-12 antes da otimização

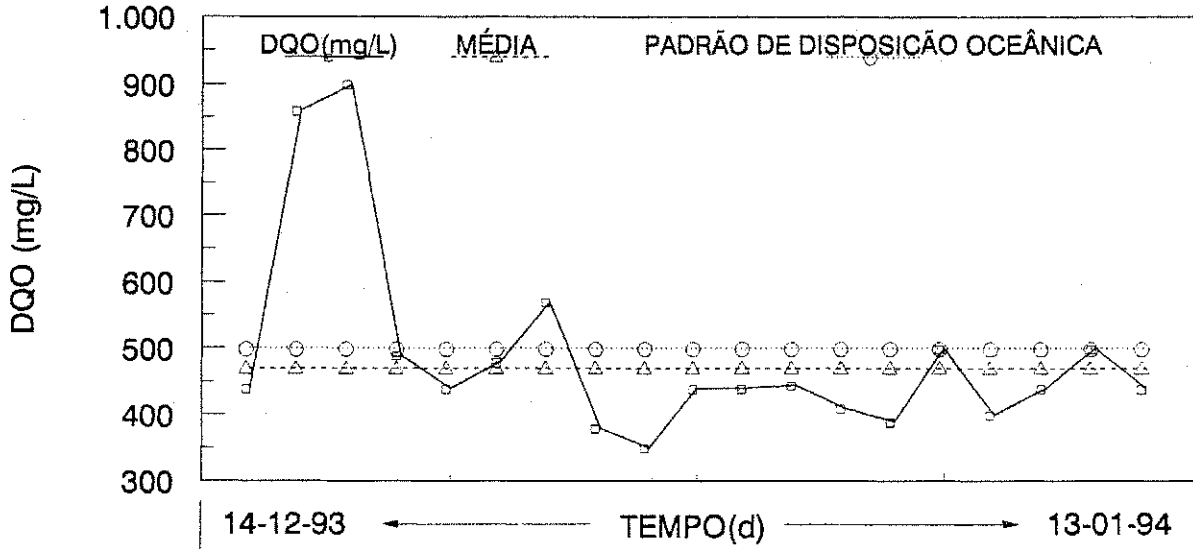


Figura 5.12.b - Variação da DQO do efluente clarificado DS-7 a DS-12 antes da otimização.

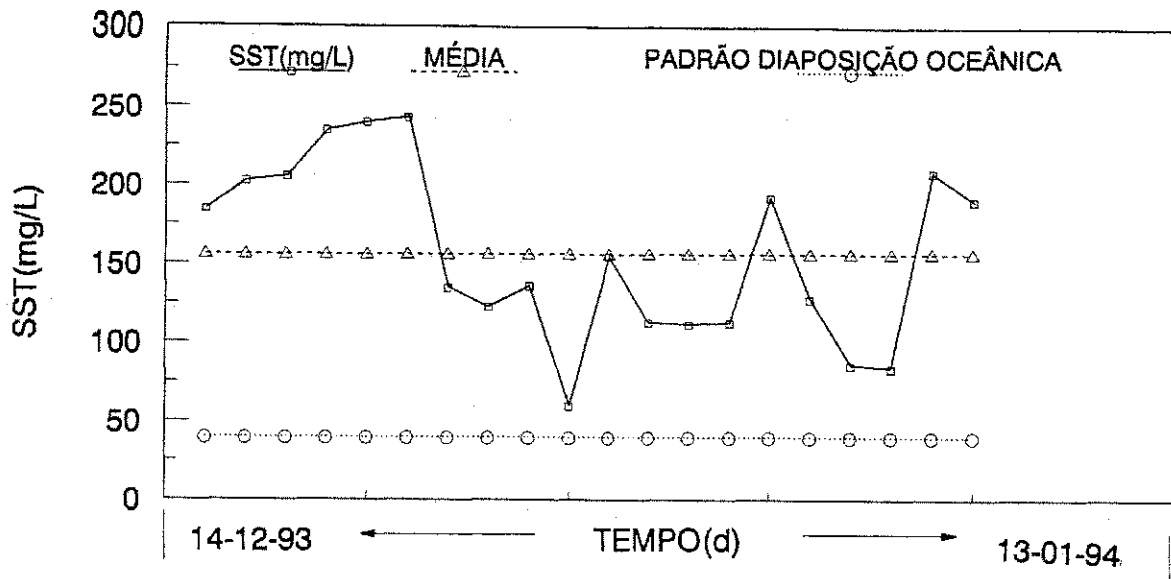


Figura 5.12.c - Variação do Sólidos Suspensos do efluente clarificado DS-7 a DS-12 antes da otimização.

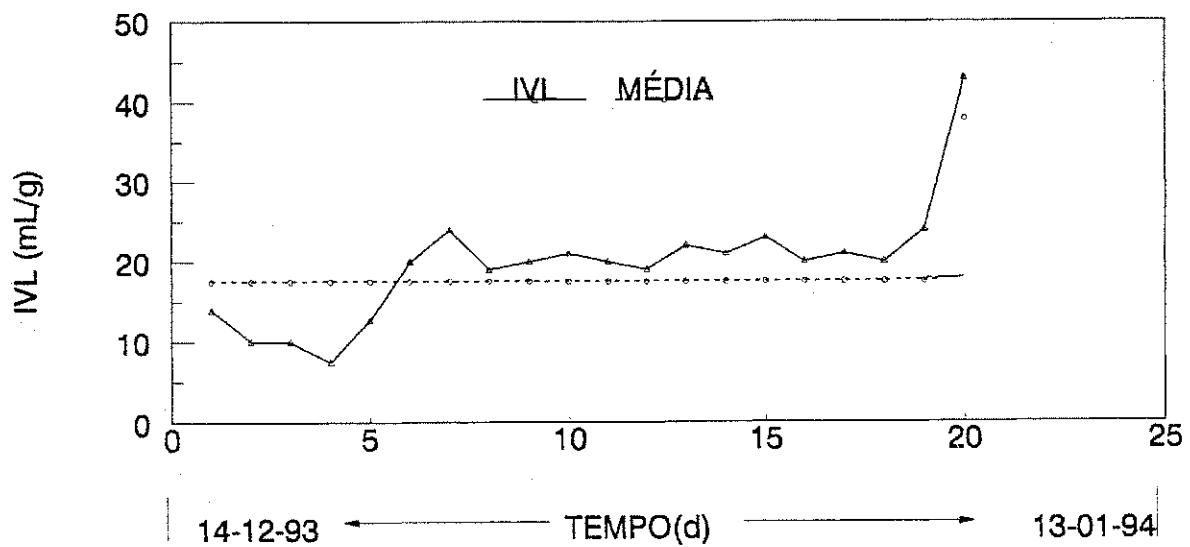


Figura 5.12.d - Variação do IVL artes da otimização.

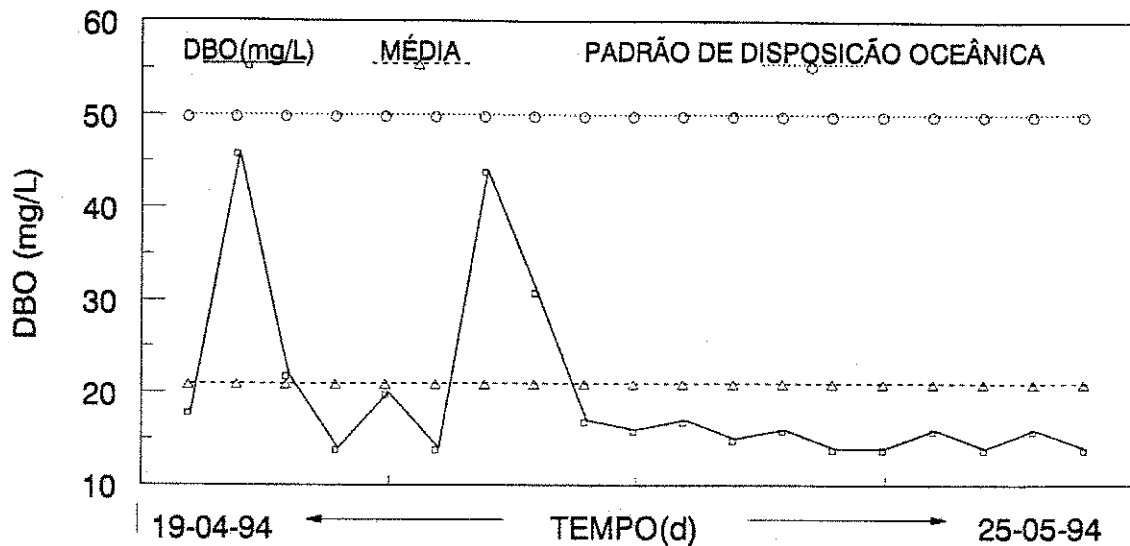


Figura 5.13.a - Variação do DBO do efluente clarificado DS-7 a DS-12 após da otimização.

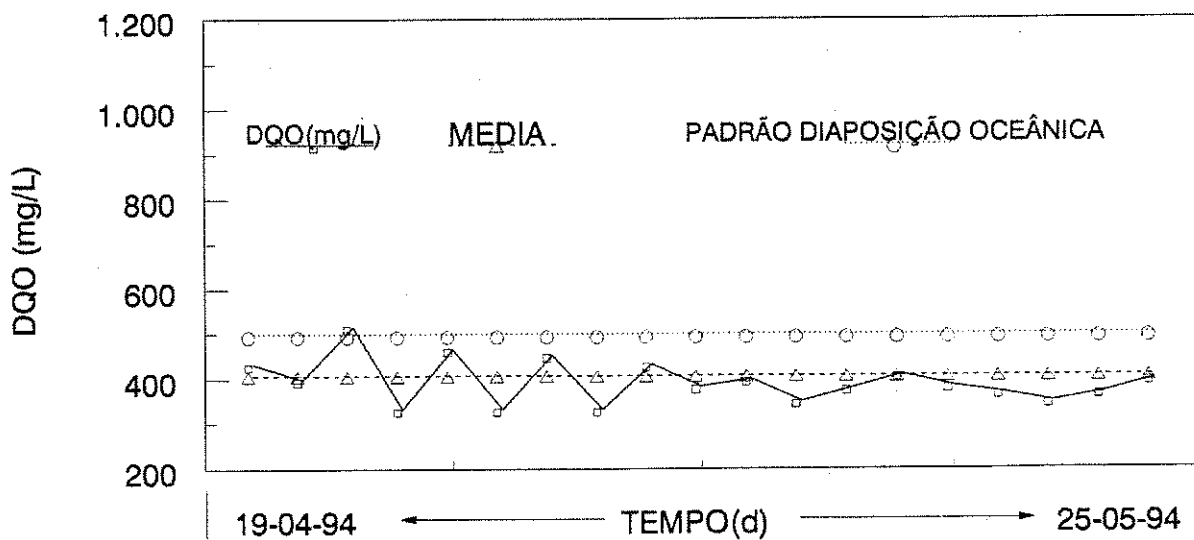


Figura 5.13.b - Variação da DQO do efluente clarificado DS-7 a DS-12 após da otimização.

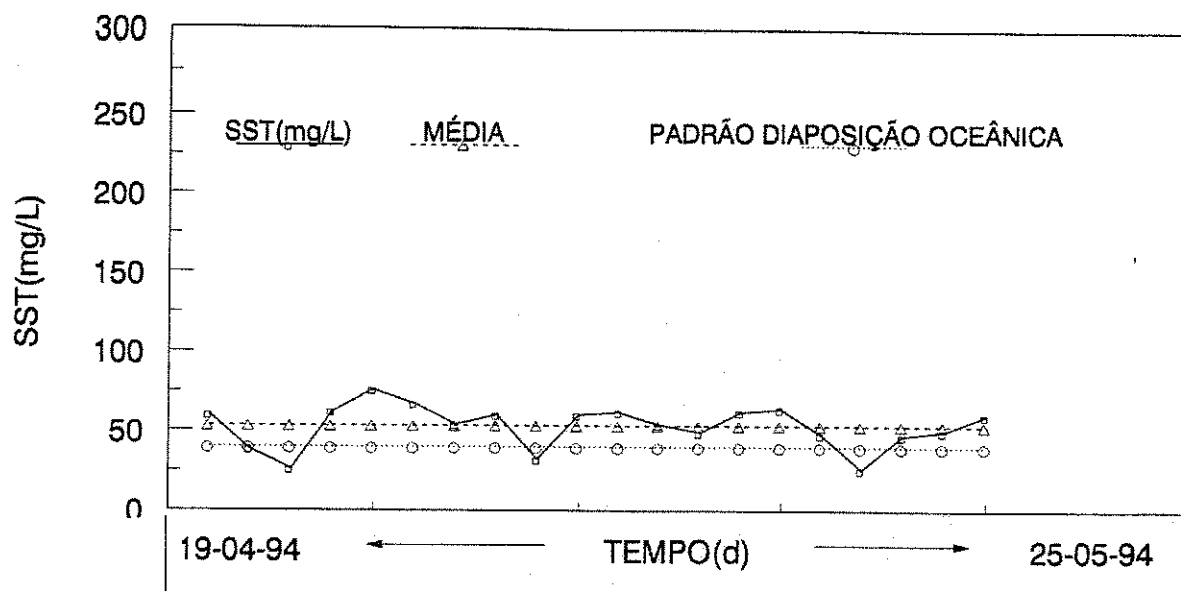


Figura 5.13.c - Variação do Sólidos Suspensos do efluente clarificado DS-7 a DS-12 após a otimização.

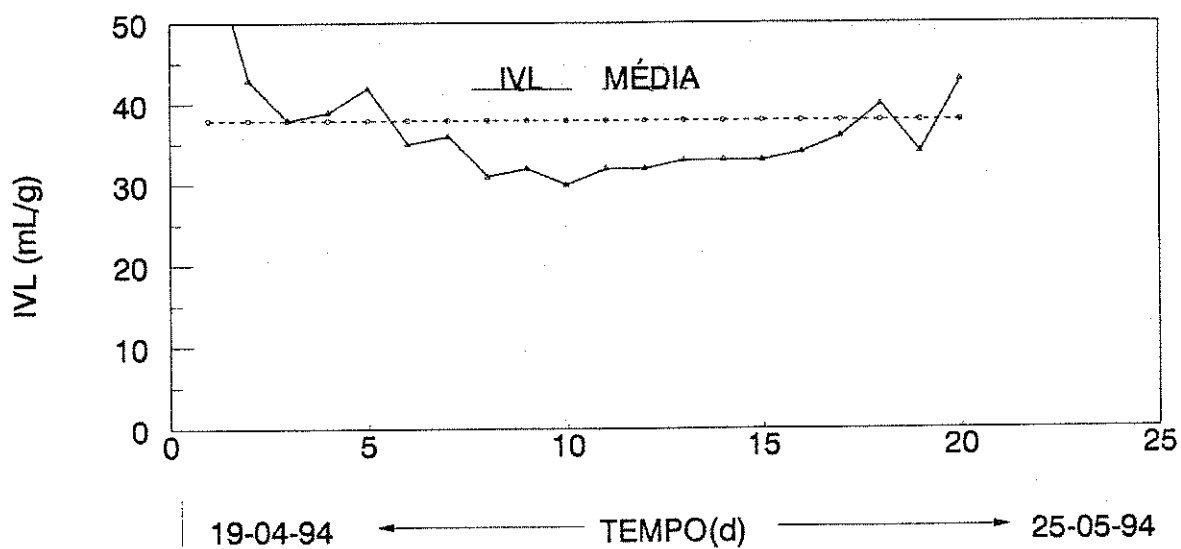


Figura 5.13.d - Variação do IVL após a otimização.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

(1) A implantação de um procedimento garantindo condições operacionais uniformes e adequadas nos seis decantadores finais da Ala Nova do Sistema de Tratamento de Efluentes da CETREL, resultou numa diminuição sensível da concentração de sólidos em suspensão no efluente clarificado.

(2) A partir da teoria básica de sedimentação de lodo, é possível estimar a capacidade de um decantador em função da sedimentabilidade do lodo e de três variáveis operacionais: a concentração do lodo no licor misto, a taxa de escoamento superficial e o fator de recirculação de lodo.

(3) A sedimentabilidade do lodo é caracterizada pela equação de Vesilind que relaciona a velocidade de sedimentação em zona à concentração de lodo:

$$v = v_0 \exp(-kX_t)$$

As constantes de Vesilind (v_0 e k) podem ser determinadas experimentalmente. No caso do lodo da CETREL, notou-se relações empíricas entre as constantes e o índice volumétrico de lodo (IVL):

$$k = 0,09 + 0,003IVL$$

$$v_0 = 20 - 0,11IVL$$

(4) O teste da distribuição do tempo de permanência em um dos decantadores permitiu que se estabelecesse a fração de volume morto em 50 por cento do volume total

da unidade, indicando que somente metade do volume do decantador está sendo utilizada efetivamente para a decantação do lodo.

(5) A partir da fração de lodo morto, pode se determinar o fator de segurança, um fator que, multiplicado pelo valor da razão Q_s/A dá o valor da taxa de escoamento superficial real em um decantador.

(6) Para valores conhecidos das constantes de Vesilind, k e v_o , e do fator de segurança de um decantador, é possível construir um diagrama da capacidade de separação das fases sólida e líquida para um decantador específico. Esse diagrama permite estabelecer imediatamente se o decantador está sobrecarregado e, se o caso for, identificar as modificações necessárias das variáveis operacionais, para que o decantador possa funcionar adequadamente.

CAPÍTULO 7

SUGESTÕES

(1) desenvolver um estudo de comparação do desempenho das Alas Nova e Velha do sistema de lodo ativado da CETREL.

(2) construir diagrama específico da capacidade dos decantadores da Ala Velha da CETREL a parte de determinações das constantes de sedimentação k e v_0 e da taxa de escoamento superficial efetiva.

(3) desenvolver um estudo para evitar a formação de flocos cabeça de alfinete.

(4) modificar a estrutura de distribuição do licor misto no decantador objetivando evitar curto-circuito no decantador.

CAPÍTULO 8

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18 th Edition,

Washington: American Public Health Association, (1991).

AZEREDO S. V., SANT'ANNA Jr G. L. e ROLDÃO J. S. F. "Teste com traçadores e estudos de macromistura em um decantador primário de esgoto. In: 13.º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Maceió (1985), 10p.

AZEVEDO NETTO J.M, e VILLELA S.M. Manual de Hidráulica 5.º ed. Edigar Blücher Ltda, Volume I, São Paulo. (1969).

CATUNDA P.F.C, VAN HAANDEL A. C, ARAÚJO L. S. e VILAR A. "Determinação da Sedimentabilidade do Lodo Ativado". In: 15.º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL." Volume 2, Tomo 1, 15p Belém, (1989.a).

CATUNDA P.F.C, VAN HAANDEL A.C e SOUSA J. T. " Dimensionamento e Otimização de Decantadores de Lodo Ativado". In: 15.º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL "Volume 2, Tomo 1, 19p Belém, (1989.b).

- ECKENFELDER, W. W. GRAU, Petr. Activated Sludge Process Design and Control: Theory and Practice. Water Quality Management Library. Lancaster: Technomic Publishing Company, INC. , (1992), Volume 1, 267p.
- HORAN , N. J. Biological Wastewater Theory and Operation Treatment Systems, John Wiley & Sons, Chichester England (1990), 310 p.
- METCALF & EDDY, INC. Wastewater Engineering Treatment, Disposal Reuse. 3ed. New York: McGraw-Hill (1991), 1334 P.
- MOP/11 Operation of Wastewater Treatment Plants: Manual of practice n° 11, Washington Lancaster Press (1976), 536 p.
- PESSOA C. & JORDÃO E. P. A. Tratamento de Esgoto Domestico: Concepções Clássicas de tratamento de Esgotos 2 ed. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental BNH (1982), 535 p
- SALVADOR, Decreto-Lei número 619, de Julho de (1992) CEPRAM, Conselho Estadual de Proteção ao Ambiente.
- VAN HAANDEL A. C. "Sistema de Lodo Ativado-Modulo de sala de aula" (1992)
- VAN LANGERAK, A. "Analysis and Optimization of Operation and Performance of the Activated Sludge System at CETREL", CETREL Salvador (1993), 34 p.
- VESILIND, P. A. Treatment and Disposal of Wastewater Sludges. 2° ed. Ann Arbor Science, North Carolina (1979), 323 p.
- WATER AND THE ENVIRONMENTE, Water Treatment Handbook, Sixth Edition Volume - I, Degremont France (1991), 592 p.

APÊNDICE

A1. - Introdução

Esse apêndice tem como objetivo rever a teoria de sedimentação no sentido de facilitar o entendimento sobre a construção do diagrama geral da capacidade de um decantador, enfocando-se o desenvolvimento da derivação das equações de clarificação e adensamento.

A2. - Sedimentabilidade em Decantador Contínuo

Para poder descrever a sedimentação de um decantador contínuo as suposições do item 3,7 Capítulo 3, que resultam na condição que para funcionamento, adequado do decantador é essencial que aplicação de sólidos " F_{sol} " não seja superior ao fluxo de sólidos " F ", para nenhum nível entre entrada e saída do decantador portanto, a condição básica para o funcionamento do decantador é formulada de acordo como a equação (3.11) pag. 30 Capítulo 3. Para avaliar F calcula-se os seus componentes F_v e F_u . Na Figura 1a, observa-se o fluxo de sólidos devido à sedimentação " F_v " em função da concentração de sólidos suspensos, pressupondo-se a validade da equação de Vesilind. A Figura 1b mostra o fluxo de sólidos devido à velocidade da fase líquida " F_u " também em função da concentração de sólidos suspensos. Na Figura 1c, observa-se o fluxo total " F ".

Para valores escolhidos da concentração de sólidos na entrada e na saída do decantador (X_t e X_r , respectivamente Figura 1c), observa-se que a curva F existe um mínimo relativo, F_l , para a concentração X_l entre X_t e X_r . Esse fluxo F_l limita o transporte de sólidos da entrada para saída do decantador e por essa razão, se chama o fluxo limitante.

A Figura 1c também mostra como se pode determinar o fluxo limitante para qualquer concentração de sólidos na saída " X_r " quando se dispõe da curva de fluxo devido à sedimentação F_v (Figura 1a): pela geometria da Figura 1c apresenta-se o seguinte método, desenvolvido por Yoshioka et alli (1957):

(1) traça uma reta tangente à curva F_v que na abscissa passa pela concentração X_r desejada;

(2) o fluxo limitante é encontrado no eixo das ordenadas, no ponto de intersecção desse eixo com a reta.

Observa-se claramente na figura 1c que o fluxo limitante depende diretamente da concentração do lodo adensado X_r . Portanto, o fluxo limitante e o maior fluxo que pode ser transportado no decantador, depende diretamente da concentração de lodo adensado e nesse caso, a função limitante do decantador é o adensamento.

Entretanto, ainda na Figura 1c, nota-se que o fluxo limitante não é um mínimo absoluto da curva F : quando a concentração na entrada X_t é maior que F_l , a curva do fluxo é uma função que aumenta monotadamente quando a concentração aumenta de X_t para X_r .

Portanto, nesse caso o maior fluxo que pode ser transportado no decantador é igual ao fluxo relativo à concentração de entrada X_t . Também quando a concentração de entrada é menor que um determinado valor X_m (Figura 1c) então o fluxo relativo à concentração de entrada será menor que o fluxo limitante e, portanto, aquele determinará o maior fluxo que pode ser transportado. O fluxo relativo à concentração de sólidos na entrada é intimamente ligado a função de clarificação do decantador.

A Figura 1c mostra ainda que o método de Yoshioka para encontrar o fluxo limitante é aplicado somente quando é possível traçar uma reta tangencial a parte côncava da curva de fluxo de sedimentação, F_v . Existe uma concentração crítica " X_c " tal que para uma concentração $X_r < X_c$ não é possível traçar essa reta. A reta tangente a curva F_v que passa pela concentração crítica " X_c ", tem seu ponto tangencial à curva quando essa tem sua maior declividade, o que acontece no ponto de inflexão (F_i, X_i). Esta situação é representada na Figura 2a. Observa-se ainda que o fluxo limitante é máximo quando $X_r = X_c$ e que a velocidade descensional " u " também é máxima.

Resumido-se as observações anteriores, conclui-se que maior fluxo de sólidos que pode ser transmitido em um decantador depende da concentração de entrada ou da concentração de saída. No primeiro caso a clarificação é a função do decantador, que é mais difícil, no segundo caso o adensamento é que limita a capacidade do decantador. Adensamento é um processo limitante quando a concentração na saída X_r é maior que a concentração crítica X_c e a concentração de entrada está na faixa a concentração mínima

X_m e a concentração limitante X_l . Em todos os outros casos a clarificação é processo limitante.

Para estabelecer se a sedimentação de um decantador é determinada pela clarificação ou pelo adensamento é preciso derivar expressões as concentrações X_m , X_l , e X_c . A derivação dessas expressões é feita a seguir, na suposição que a equação de Vesilind determina a sedimentação é válida.

A2.1. - Determinação da Concentração Limitante “ X_l ”

Na Figura 1c a reta tangente a F_v , passando por X_r , é dada por :

$$F = m (x - x_r) \quad (A1)$$

onde:

m = declividade da reta.

$$= (dF_v/dx)_{x=x_l}$$

$$= v_o (1 - kX_l) \text{EXP} (-kX_l)$$

No ponto tangente e ordenada da curva é igual à ordenada da reta. Agora determina-se o valor do fluxo limitante (F_l), igualando-se a ordenada da curva F_v em X_l à ordenada da reta:

$$F = (X_l - X_r) v_o (1 - kX_l) \text{EXP} (-kX_l) = X_l v_o \text{EXP} (-kX_l)$$

$$X_i = X_r (1 + (1 - 4/(kX_r)^{1/2})/2) \quad (A2)$$

O fluxo limitante agora pode ser calculado facilmente como a ordenada da reta para $X = 0$:

$$F_i = m X_r$$

$$F_i = X_r v_o (kX_i - 1) \text{EXP}(-kX_i) \quad (A3)$$

A2.2. - Determinação da Concentração Crítica " X_c "

A reta tangencial a " F_v " que passa pelo ponto " X_c " na abcissa também é descrita pela equação A1, só que a declividade de reta é máxima Figura 2a. Portanto:

$$(d m/dx) = (d^2 F_v/dx^2)_{x=X_i} = 0 \quad (A4)$$

ou

$$X_i = 2/k \text{ e}$$

$$F_i = 2 v_o/(k^2)$$

onde:

F_i = fluxo no ponto de inflexão de F_v .

X_i = concentração X no ponto de inflexão de F_v .

A declividade da reta que passa por (X_i, F_i) e por $(X_c, 0)$ é igual à derivada de F_v em (X_i, F_i) :

$$m = (dFv/dx)_{x=2/k} = (-v_0/e^2) \quad (A5)$$

portanto a reta é dada por:

$$F = -(v_0/e^2) (x-2/k)$$

Agora determina-se a concentração crítica, sabendo-se que $F = 0$ $X = X_c$: $X_c = 4$.

A2.3. - Determinação da Concentração Mínima " X_m "

A concentração X_m é determinada pela condição de que para esta concentração o fluxo F é igual ao fluxo limitante F_l . Portanto:

$$F_x = X_m = (F_v + F_u)_{X=X_m} = F_l \quad (A6)$$

substituindo as equações 3,1, 3,5 e 3,6 do Capítulo 3 pág 24 e 29 e a equação (A3) tem-se:

$$X_m \text{EXP}(-kX_m) = (X_r - X_m) (kX_l - 1) \text{EXP}(-kX_l) \quad (A7)$$

A equação A7 não pode ser resolvida analiticamente mas, o valor X_m pode ser calculado em função de X_r para qualquer valor de k por métodos numéricos.

Para representar graficamente os valores X_l e X_m é conveniente construir o diagrama dimensional, usando-se kX_r na abcissa e kX_l ou kX_r na ordenada. A Figura 2b mostra os valores de kX_l e kX_m em função de kX_r usando-se as equações (A2 e A7), respectivamente. O valor da concentração $kX_c = 4$ também está indicando na abcissa. A Figura 2b define-se, para um "par" de valores de concentração de sólidos na entrada X_l e na

saída X_r de um decantador, o processo limitante é clarificação ou adensamento: para $kX_r > kX_c = 4$ e $kX_m < kX_t < kX_l$ o processo limitante será o adensamento. Para todos os outros casos o processo limitante será a clarificação.

A partir da equação (3.11) deriva-se expressões para taxa de escoamento superficial para os casos de clarificação e de adensamento.

A2.4. - Clarificação

A equação (3.11) no caso de clarificação é escrita como $F_{sol} \leq (Fv + Fu)_{X=X_t}$ e com auxílio da equações (3.9) tem-se:

$$X_t (v_o \text{EXP}(-kX_t) + s Q_a / A) = X_t (s + 1) Q_a / A$$

Usando a definição da taxa de escoamento superficial ($T_s = Q_a / A$) e rearrumando-se tem-se:

$$\ln T_s / v_o \leq kX_t \quad (A8)$$

ou

$$T_s = Q_a / A = v_o \text{EXP}(-kX_t) \quad \text{onde,}$$

T_s = taxa de escoamento superficial.

A = área transversal do decantador.

A equação de clarificação mostra que a taxa de escoamento superficial de um decantador é proporcional a constante v_o tem uma relação inversamente exponencial com a constante k e a concentração de sólidos suspensos no licor misto X_1 .

A2.5. - Adensamento

Aplica-se novamente a equação (3.11) para o adensamento, mas o fluxo de sólidos aplicado deve ser menor que o fluxo de sólidos limitante, tem-se:

$$F_{sol} \leq F_1 = X_r v_o (kX_1 - 1) \text{EXP} (-kX_1) = F_{sol} = (s + 1) Q_a / A \quad (A9)$$

onde ;

$$X_1 = [1 + (1 + 4(kX_r))^{1/2}] X_r / 2 \quad (A10)$$

A condição para o adensamento pode ser escrita como;

$$\ln T_s / v_o \leq [\ln(kX_1 - 1) / s] - kX_1 \quad (A11)$$

A equação do adensamento mostra que a taxa de escoamento superficial é proporcional á constante v_o e é uma função complexa da constante k e do fator de recirculação s . É importante que o decantador desempenhe as duas funções (clarificação e adensamento) ao mesmo tempo. Para tanto, é necessário que as duas equações sejam satisfeitas simultâneamente.

As equações de clarificação e adensamento permitem compor um diagrama no qual se pode observar se as condições operacionais de um decantador resultam em sobrecarga ou não. Para tanto, analisa-se a variação de uma grandeza adimensional kX_1 em função de

outra: a razão T_s/v_0 . Na Figura 5.6, Capítulo 5, observa-se uma representação gráfica da equação de clarificação, Equação (A8). Usando-se uma escala logarítmica como abcissa, a equação de clarificação é representada por uma reta. Esta reta separa duas regiões: a primeira onde o decantador não pode funcionar porque não há condições de clarificação (sobrecarga) e segunda onde há possibilidade do decantador funcionar. Na segunda região para que o decantador funcione realmente, é preciso que se escolha um fator de recirculação de lodo suficientemente grande para que o processo de adensamento também seja possível no decantador. Para tanto, plota-se a Equação (A11) de adensamento para diferentes valores do fator de recirculação, s , da maneira indicada na Figura 5.6, pág. 95 Capítulo 5. Para qualquer valor dos pares de coordenadas T_s/v_0 e kX_t , tem-se um valor mínimo do fator de recirculação para que além da clarificação o adensamento também ocorra.

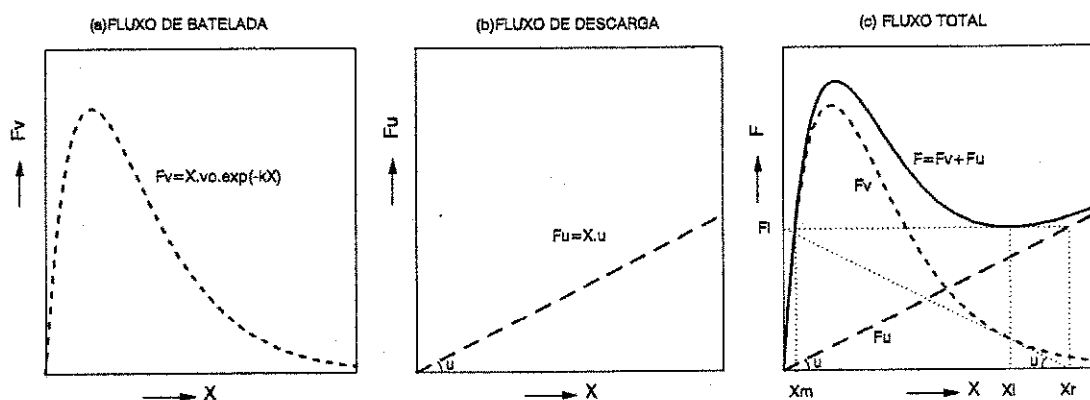


Figura 1-Fluxo de sólidos em um decantador (A) fluxo de batelada (B) fluxo de descarga (C) fluxo total em função da concentração de sólidos em suspensão.

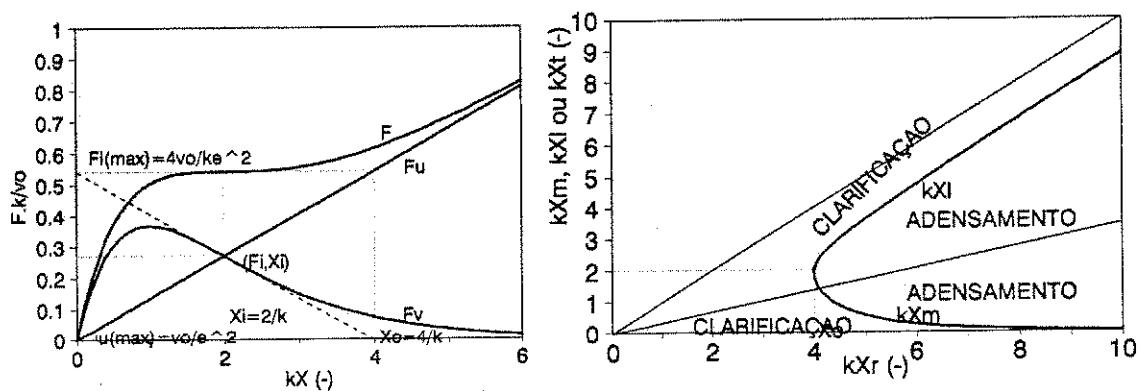


Figura 2- (A) fluxo de batelada F_v , fluxo de descarga F_u e fluxo total como função da concentração para uma concentração de lodo de retorno de $X_r = X_c = 4/k$. As coordenadas são adimensionais. (B) valores de kX_m e kX_l como função de kX_r , mostrando as faixas de concentrações onde clarificação e adensamento são determinantes.