



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA
DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

TRATAMENTO DE EFLUENTES DE CARVÃO ATRAVÉS DE ESPESSADOR DE LAMELAS

Série
Tecnologia Mineral

Nº 43

Seção Beneficiamento

Nº 28

Brasília

1988

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA

Antonio Aureliano Chaves de Mendonça - Ministro de Estado

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

José Belfort dos Santos Bastos - Diretor Geral

DIVISÃO DE FOMENTO DA PRODUÇÃO MINERAL

Sylvio Baeta Neves - Diretor

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Hedda Vargas Figueira - Superintendente

Autores : Francisco Wilson Hollanda Vidal *
Franz Xaver Horn Filho **

TRATAMENTO DE EFLUENTES DE CARVÃO ATRAVÉS DE ESPESSADOR DE LAMELAS

Execução e elaboração do trabalho pelo
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL - CETEM
Através do convênio DNPM/CPRM

* Engenheiro de Minas
** Engenheiro Metalúrgico

Publicação do Departamento Nacional da Produção Mineral
Setor de Autarquias Norte
Quadra 01 - Bloco B - Telex (061)1116
70.000 - Brasília (DF) - Brasil

Copyright 1988
Reservados todos os direitos
Permitida a reprodução, desde que mencionada a fonte

Depósito Legal
Biblioteca Nacional do Rio de Janeiro
Instituto Nacional do Livro

Brasil. DNPM

Tratamento de efluentes de carvão através de espes
sador de lamelas./ F.W.H. Vidal e F.X. Horn Filho.-
Brasília, 1988.

30 p. : il.- (Brasil. DNPM. Série Tecnologia Mineral,
43. Seção Beneficiamento, 28)

"Trabalho executado pelo Centro de Tecnologia Minera
l, através do Convênio DNPM/CPRM".

Inclui bibliografia

1. Tecnologia Mineral-Brasil. I. Vidal, Francisco
Wilson Hollanda. II. Horn Filho, Franz Xaver.
III. Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro.
IV. Título. V. Série.

CDD 622.7

CDU 622.8(81)

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

	Páginas
1. Introdução.....	01
2. Espessador de Lamelas.....	01
2.1 - Considerações Gerais.....	01
2.2 - Características do Espessador de Lamelas.....	02
3. Instalação da Usina Piloto.....	05
4. Estudo de Caracterização.....	07
5. Estudo em Escala de Bancada.....	11
6. Estudo em Escala Piloto.....	20
7. Conclusões e Considerações Finais.....	27
8. Bibliografia.....	30

RESUMO

O presente trabalho, executado pelo CETEM em convênio com o DNPM/FINEP, descreve o desenvolvimento de um processo de tratamento dos efluentes provenientes do Lavador de Capivari, em Tubarão-SC, através de espessador de lamelas, tendo como objetivo fundamental o controle de poluição ambiental. Para execução da pesquisa, o CETEM projetou e construiu, em escala piloto, um espessador de lamelas contracorrente, protótipo, contando com sistemas de coagulação e floculação através de adição de agentes floculantes. A etapa de desenvolvimento da pesquisa consistiu de estudos de caracterização dos efluentes e estudos em escalas de bancada e piloto. Os resultados obtidos mostraram a viabilidade técnica do circuito, eliminando a necessidade de utilização futura de bacias de decantação, as quais são altamente poluentes. Por outro lado, estudos econômicos realizados indicaram se tratar de um processo rentável, principalmente ao se considerar a recirculação de água para os "lavadores de carvão" e a posterior comercialização dos finos de carvão, tanto para usina termoelétrica como para a indústria cimenteira.

ABSTRACT

The present work, carried out by CETEM through a DNPM/FINEP agreement, outlines the development of a effluent treatment process of the tailing from Capivari Washing Plant in the city of Tubarão - Santa Catarina, utilizing a Lamella Thickener, being the fundamental objective the environmental pollution control. To perform the research, CETEM projected and built a countercurrent Lamella Thickener in pilot scale, as a prototype, with coagulation and flocculation systems with addition of flocculating agents. The research development phase consisted of effluent characterization study, bench and pilot plant scales studies. The achieved products have shown the technical viability of the circuits under study, thus permitting to eliminate in the future the utilization of decantation ponds which are highly pollutant. On the other hand, economic studies have indicated that the process is feasible, mainly when bring into consideration the recirculation of water within the Coal Washing Plants and the commercialization of the very fine coal particles, both in thermoelectrical plants and cement industry.

1. INTRODUÇÃO

Na região sul do País, principalmente em Santa Catarina, os efluentes provenientes do beneficiamento do carvão mineral são descarregados em importantes bacias hidrográficas, provocando graves problemas de poluição ambiental.

Os problemas de poluição hídrica nas regiões carboníferas são qualitativamente similares em todos os locais de mineração, colocando em destaque os "lavadores de carvão", e se devem, na maior parte, à oxidação da pirita que ocorre associada ao carvão, e que, quando exposta à água, se oxida gerando ácido sulfúrico e compostos de ferro.

A perda de produtividade do solo, bem como a da produção pesqueira, já se faz sentir há décadas.

Os tipos de poluição despejados diretamente em rios, córregos etc. são altamente prejudiciais ao sistema lagunar, que possui baixa capacidade de autodepuração devido à pouca circulação das águas.

Tendo em vista a existência desses problemas industriais, e na tentativa de solucioná-los, desenvolveu-se o projeto em questão, que teve como objetivo estudar a viabilidade de técnica do tratamento dos referidos efluentes, através de espessador de lamelas.

2. ESPESSADOR DE LAMELAS

2.1 - Considerações Gerais ⁽¹⁾

Sabe-se que um espessador circular convencional, com raspadores rotativos, é um equipamento simples e robusto, possuindo como grande desvantagem o seu tamanho excessivo.

Um espessador de lamelas, também baseado no princípio de separação por gravidade, além de possuir robustez e

simplicidade, ocupa apenas cerca de 10% do espaço ocupado por um espessador convencional correspondente, apresentando baixos custos de operação e manutenção e reduzido consumo energético.

A área de sedimentação de um espessador de lamelas é constituída pelo somatório das projeções, na horizontal, de um certo número de placas inclinadas, finas e lisas, apresentando um pequeno espaçamento entre si. Para o escoamento e retirada de polpas muito adensadas, o espessador possui um sistema de vibração em substituição aos raspadores rotativos dos espessadores convencionais.

Um espessador de lamelas pode substituir um do tipo convencional em várias aplicações, como, por exemplo, para: finos de carvão, finos de minérios de ferro, finos de minérios de ouro, concentração de diatomita, tratamento de águas etc.

2.2 - Características do Espessador de Lamelas

O espessador de lamelas, projetado e construído pelo CETEM, é do tipo contracorrente, e foi denominado "LAMELACET" (Figura 1).

Os principais itens referentes ao espessador são os seguintes:

- a) Tanque de coagulação ou de mistura rápida^(2,3,4) - tanque com capacidade para 20 litros, com agitador de velocidade variável (hélice tripla e motor de 1/4Hp) e entradas de 1/2" e 2", para solução floculante e polpa, respectivamente.
- b) Tanque de floculação ou de mistura lenta⁽⁵⁾ - tanque com capacidade para 500 litros, com agitador de palhetas para 10, 20 e 30rpm (motor de 1,5Hp).
- c) Sistema de lamelas⁽²⁾ - duplo pacote de lamelas, contendo 12 lamelas cada um. As lamelas são espaçadas de 5cm,

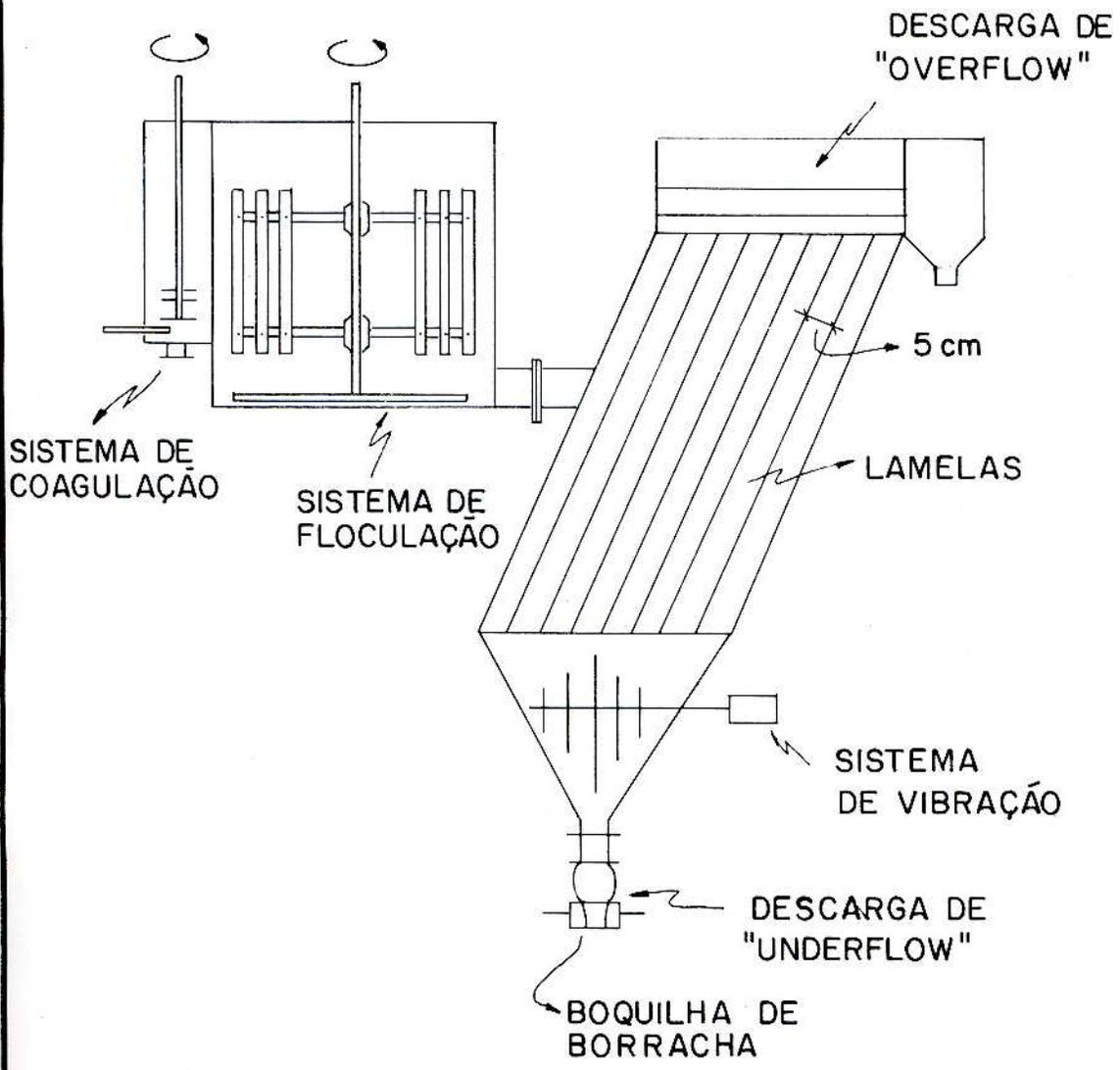


FIG. 1 - DESENHO ESQUEMÁTICO DO ESPESSADOR DE LAMELAS CONTRACORRENTE - "LAMELACET"

inclinadas de 50° , com 35cm de largura e 104cm de comprimento (comprimento útil).

- d) Sistema de retirada do "overflow" (2,6) - tubulação de 4", com orifícios de 1,5cm de diâmetro, responsável pela equalização do escoamento de polpa entre as lamelas.
- e) Sistema de retirada do "underflow" (6,7,8) - caixa piramidal contendo palhetas vibratórias (vibrador eletromagnético) e conjunto de boquilhas de borracha para regulagem de vazão ($\emptyset = 5\text{mm}$ e $7,4\text{mm}$ e $\emptyset = 1/8"$, $1/4"$, $3/8"$ e $1/2"$).

A operação de um espessador de lamelas envolve algumas expressões matemáticas específicas (9,10,11), as quais são representadas pelas equações 1 e 2, no caso do tipo contra corrente.

A equação 1 representa a velocidade ascendente máxima da polpa entre lamelas, e é expressa por:

$$V_A = \frac{V_T \cos \alpha}{\Delta} \left(L + \frac{2 \Delta}{\sin 2 \alpha} \right) \quad (1)$$

onde:

V_A = velocidade ascendente da polpa

V_T = velocidade de sedimentação dos sólidos

Δ = distância entre lamelas

α = ângulo de inclinação das lamelas

L = comprimento útil das lamelas.

A equação 2 representa a vazão de alimentação máxima para o espessador, e é expressa por:

$$Q = V_A \cdot n \cdot \Delta \cdot \ell$$

onde:

Q = vazão máxima de alimentação

V_A = velocidade ascendente da polpa

n = número de lamelas

Δ = distância entre lamelas

l = largura da lamela.

3. INSTALAÇÃO DA USINA PILOTO

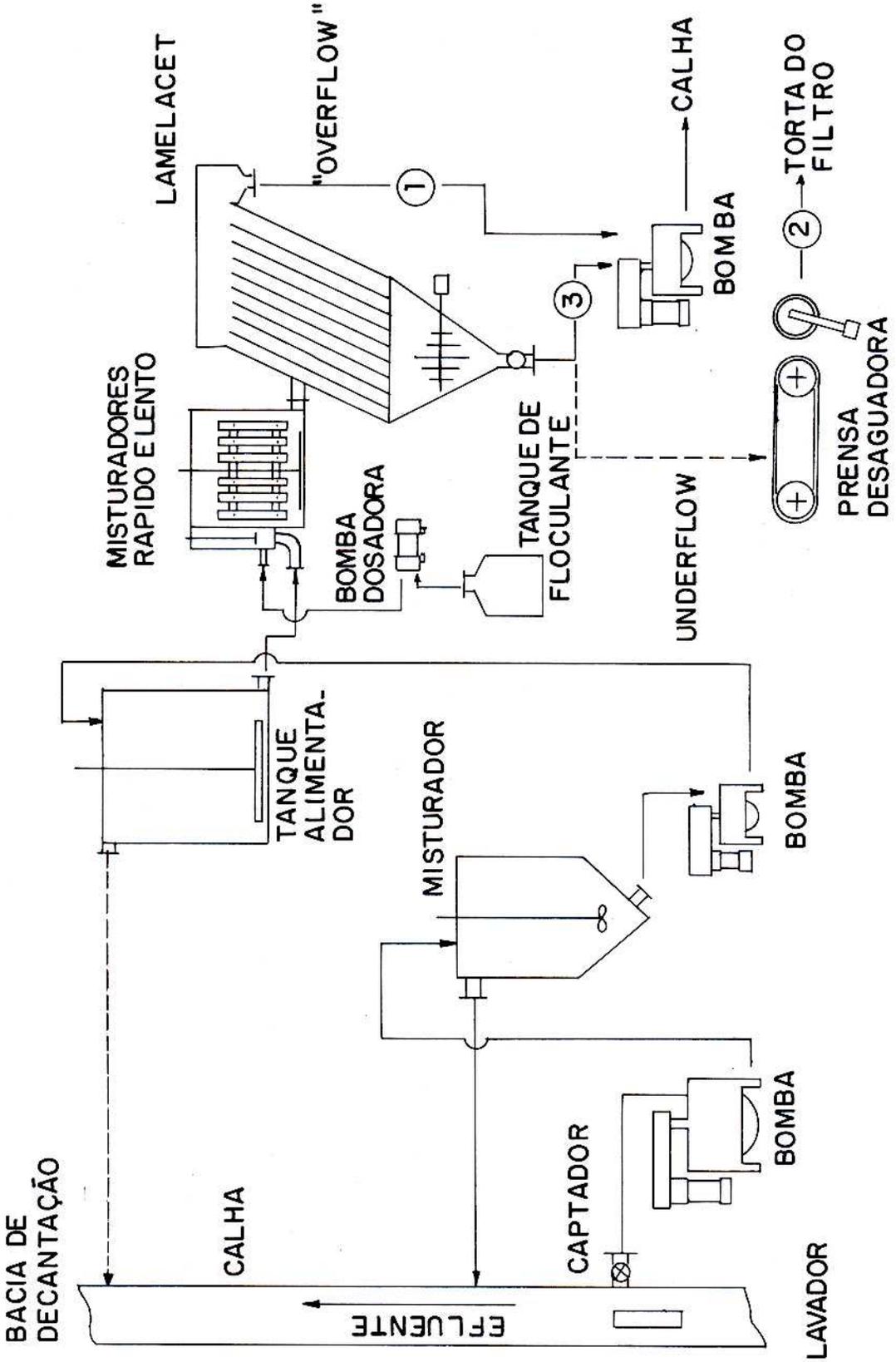
O circuito da usina piloto, implantada no Lavador de Capivarí para tratamento dos efluentes de carvão, está representado na Figura 2.

Observa-se nessa Figura que a alimentação da usina piloto foi realizada através de um captador, preso à calha do efluente. O mesmo foi projetado para descarregar cerca de $40\text{m}^3/\text{h}$ de polpa (10% da vazão da calha), para garantir representatividade.

A utilização do misturador e do tanque de alimentação, na unidade piloto, teve como objetivo reduzir o volume dos efluentes retirados das calhas, após homogeneização. Essa medida possibilitou alimentar o espessador na faixa de 1 a $2\text{m}^3/\text{h}$, sendo esta alimentação representativa do material da calha.

A alimentação do espessador de lamelas foi realizada por gravidade, havendo um sistema de válvulas para controle de vazão. Para a dosagem do floculante, no espessador, utilizou-se uma bomba dosadora, com capacidade máxima de cerca de $50\text{l}/\text{h}$.

A unidade piloto foi projetada para operar continuamente; porém, para a etapa de filtração, foi instalada uma prensa desaguadora, para testes em batelada, com condições de



- 1 - Para futura recirculação de água
- 2 - Para futuro aproveitamento de finos
- 3 - Linha a ser eliminada posteriormente

FIG. 2 - CIRCUITO DA USINA PILOTO

simular operações contínuas.

4. ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO

O estudo de caracterização do efluente foi realizado sobre 4 amostras coletadas em períodos de 4 horas, perfazendo um tempo total de amostragem de 16 horas. O volume de cada amostra foi de 36 litros, obtidos de coletas de 1,5 litros de efluente, em intervalos de 10 minutos. O mesmo estudo de caracterização foi realizado sobre a amostra representativa de 16 horas de amostragem (amostra composta), obtida através do quarteamento e homogeneização das 4 amostras anteriores.

Comparando-se os dados obtidos das 4 amostras estudadas com os apresentados pela amostra composta, verificou-se que, no período de amostragem de 16 horas, não houve oscilações substanciais nas características do efluente. Dessa forma, a amostra composta foi considerada como representativa do efluente - "Head Sample". Porém, para a obtenção do pH e da vazão média do efluente, foram realizadas medições em períodos mais prolongados (medições diárias). O resultado obtido para o pH foi de 7,1, sendo a vazão média de $370\text{m}^3/\text{h}$.

Na amostra "Head Sample", apresentada na Tabela 1, observa-se um percentual muito elevado (75,12%) de sólidos abaixo de 400 malhas. Foi realizada uma análise microgranulométrica dessa fração, em Pipeta de Adreasen, para se verificar a distribuição desses ultrafinos, apresentada na Tabela 2. Observa-se que 22,78% (em peso) da fração abaixo de 400 malhas cabem a partículas de dimensões inferiores a $1\mu\text{m}$, o que representa 17,11% (em peso) do efluente total. A Tabela 3 apresenta o resumo das principais características do efluente estudado.

Observa-se na Tabela 3 que o Lavador de Capivarí despeja, através de seu efluente, cerca de 32t/h de finos de carvão em sua bacia de decantação. Esse efluente, a uma percentagem média de sólidos de 9%, apresentou pH próximo a neutrali

dade (pH = 7). A baixa densidade dos sólidos ($d = 1,6$), associada à granulometria extremamente fina (88% < 200 malhas), indicou a necessidade de estudos de floculação para o tratamento do efluente por sedimentação. Os valores obtidos para cinzas (35%), enxofre (1,1%) e PCS (5.200kcal/kg), bem como a granulometria, possibilitaram visualizar prováveis aplicações para os finos de carvão, após tratamento. A primeira seria o emprego em usina termoelétrica, após a mistura com carvão de teor de cinzas superior a 42%, de forma que o produto resultante apresentasse 42% de cinzas. A segunda envolveria a utilização dos finos na indústria cimenteira.

Tabela 1 - Análise granulométrica da amostra "Head Sample"

MALHA (TYLER)	RETIDA (%)	ACUMULADA (%)	PASSANTE (%)
+ 100	3,68	3,68	96,32
- 100 + 150	3,00	6,68	93,32
- 150 + 200	5,03	11,71	88,29
- 200 + 270	5,52	17,23	82,77
- 270 + 325	3,87	21,10	78,90
- 325 + 400	3,78	24,88	75,12
- 400	75,12	100,00	—

Tabela 2 - Análise microgranulométrica da fração abaixo de 400 malhas (75,12% em peso)

DIMENSÃO (μm)	RETIDA (%)	ACUMULADA (%)	PASSANTE (%)
30	4,59	4,59	95,41
25	0,33	4,92	95,08
20	4,41	9,33	90,67
15	10,97	20,30	79,70
10	10,14	30,44	69,56
5	20,60	51,04	48,96
2	18,93	69,97	30,03
1	7,25	77,22	22,78
- 1	22,78	100,00	—

Tabela 3 - Principais características do efluente do Lavador de Capivarí (Valores arredondados)

VAZÃO DE POLPA (m ³ /h)		370
Vazão de sólidos (t/h) (base seca)		32
Concentração (g/l)		86
Sólidos (%)		9
pH		7
Densidade dos sólidos		1,6
GRANULOMETRIA	- 200 malhas	88
	- 400 malhas	75
	- 1µm	17
Cinzas (%)		35
C Fixo (%)		40
Enxofre (%)		1,1
Voláteis (%)		24
PCS (kcal/kg)		5.200

5. ESTUDO EM ESCALA DE BANCADA

O estudo em bancada, realizado no laboratório do Lavador de Capivarí, constou basicamente de ensaios de floculação/sedimentação em provetas. Procurou-se com esse estudo determinar os floculantes a serem utilizados em escala piloto, levando-se em consideração as quantidades adicionais e, consequentemente, os custos envolvidos. Tais floculantes deveriam promover a formação de flocos, que gerassem a clarificação da água e atingissem velocidades de sedimentação compatíveis com a taxa de alimentação do espessador. Por outro lado, esperava-se alcançar um adensamento da polpa da ordem de 25% de sólidos, partindo-se de um valor inicial de, aproximadamente, 9%. Esse adensamento viabilizaria a utilização do filtro tipo pressa desaguadora, para desaguamento do "underflow" do espessador (filtro sugerido para o processo).

Para a realização dos trabalhos de bancada, utilizou-se uma amostra de 40 litros do efluente de carvão, cujas características foram apresentadas na Tabela 3, exceto para a concentração de sólidos, onde, por segurança, deu-se um acréscimo de 10% (95g/l).

Como o espessador de lamelas ("LAMELACET") foi projetado e construído visando também futuros empregos em outros bens minerais, ou seja, não somente para o tratamento de finos de carvão, algumas variáveis operacionais tiveram que ser adaptadas, objetivando o melhor desempenho do referido equipamento no projeto em questão.

Para o início da adequação do espessador ao tratamento do efluente de carvão, houve a necessidade, durante os ensaios de bancada, de se estabelecer a velocidade de sedimentação (velocidade terminal) que os sólidos deveriam atingir, após floculação.

Foi então estimada, inicialmente, a vazão da ordem de $2\text{m}^3/\text{h}$, para alimentação do espessador. Sendo a vazão de

12.

$2\text{m}^3/\text{h}$, a velocidade de sedimentação dos sólidos (velocidade terminal - V_T) deveria atingir, no mínimo, $60\text{cm}/\text{h}$, pois:

$$V_T = \frac{Q}{n\ell \cos \alpha \left(L + \frac{2\Delta}{\sin 2\alpha} \right)}$$

onde:

Q (vazão de alimentação) = $2 \times 10^6 \text{cm}^3/\text{h}$

n (número de lamelas) = 12

ℓ (largura das lamelas) = $35 \times 2 = 70\text{cm}$

α (ângulo de inclinação das lamelas) = 50°

L (comprimento das lamelas) = $104 \times 0,5 = 52\text{cm}$

Δ (distância entre as lamelas) = 5cm

Cabe ressaltar que para o comprimento das lamelas (L) foi considerado um fator de segurança de 50%, ou seja, supondo que as partículas atingissem, no máximo, a metade das mesmas. Essa medida teve como objetivo não permitir que as partículas tocassem as lamelas em seus pontos críticos (topo e base).

A área de sedimentação do espessador "LAMELACET" é da ordem de $5,62\text{m}^2$, o que equivale, aproximadamente, a um espessador circular convencional de $2,7\text{m}$ de diâmetro. Considerando-se um fator de segurança de 50%, a área de sedimentação, para efeito de cálculo, seria de $2,81\text{m}^2$. Por outro lado, para a velocidade de sedimentação de $60\text{cm}/\text{h}$ e percentagens de sólidos da polpa, inicial e final, de 9% (diluição = 10) e 25% (diluição = 3), respectivamente, a área unitária de espessamento (A) seria de $0,45\text{m}^2/\text{t}/24\text{h}$ ($4,81 \text{pés}^2/\text{t}/24\text{h}$), pois:

$$A = \frac{1,333 (d_i - d_f)}{R} \quad (\text{método Coe \& Clevenger})$$

onde:

A área necessária em pés² para tratar 1t/24h

d_i (diluição inicial) = 10

d_f (diluição final) = 3

R (velocidade de sedimentação) = 60cm/h (1,97 pés/h)

Considerando-se a área de sedimentação do espessador de 2,81m², e sendo a área unitária calculada de 0,45m²/t/24h, verificou-se que o espessador teria capacidade máxima para tratar 260kg/h de sólidos, o que representaria aproximadamente 2,7m³/h de polpa, e uma concentração de sólidos de 95g/l. Logo, para uma alimentação de 2m³/h, sendo a concentração de sólidos na polpa de 95g/l, o espessador seria alimentado por uma vazão de sólidos de 190kg/h, o que estaria dentro da capacidade do mesmo. Dessa forma, os ensaios de bancada foram conduzidos tendo como base a alimentação do espessador de 2m³/h; porém, para evitar possíveis problemas gerados por turbulências no escoamento e dificuldades de deslizamento das partículas sobre as lamelas, optou-se por acrescentar um fator de segurança de 50% à velocidade de sedimentação, a ser alcançada após floculação, a qual passou a ser de 90cm/h.

Estipulada a velocidade de sedimentação mínima que os sólidos deveriam atingir, após floculação, iniciaram-se os ensaios de bancada, onde foram testados os flocculantes apresentados na Tabela 4.

As curvas de sedimentação relativas aos ensaios de proveta estão apresentadas nas Figuras 3, 4, 5 e 6. Verifica-se na Figura 3 que, sem adição de agente flocculante, a velocidade de sedimentação dos sólidos é extremamente baixa (11,76cm/h).

Tabela 4 - Floculantes utilizados nos ensaios de bancada.

FLOCULANTE (TIPO)	FABRICANTE	CARÁTER IÔNICO	CUSTO P/KG (US\$)
NALCO 7871	NALCO	não iônico	1,9
NALCO 8867	NALCO	aniônico	2,1
NALCO 8872	NALCO	aniônico	2,0
SUPERFLOC A-100	CYANAMID	aniônico	11,2
SUPERFLOC A-120	CYANAMID	aniônico	11,2
SUPERFLOC A-130	CYANAMID	aniônico	11,2
SUPERFLOC A-137	CYANAMID	aniônico	11,2
SUPERFLOC A-150	CYANAMID	aniônico	11,2
BOSEFLOC A-41 (A61BC)	HOECHST	aniônico	7,2
BUFLOC 4AI	BUKMAN	aniônico	0,8

Obs.: Dólar de set./86 - (1 US\$ = 13,84).

Comparando-se as curvas de sedimentação obtidas, foram escolhidos, para serem testados em escala piloto, os floculantes apresentados na Tabela 5. Todos esses floculantes proporcionaram clarificação da água a nível desejável (máximo de 0,01g de sólidos suspensos/litro), gerando a formação de flocos bem definidos.

Durante os estudos de bancada, foram também rea

lizados alguns ensaios exploratórios com floculantes que estavam sendo desenvolvidos pela Cia. Catarinense de Álcool-C.C.A., localizada em Laguna - SC. Esses floculantes, todos a base de amido de mandioca, apresentaram bons resultados, em termos de clarificação da água e velocidade de sedimentação imprimida aos sólidos (100 a 115cm/h). Porém, apesar do baixo preço (US\$ 0,07/kg), os consumos foram bastante elevados (10 a 30kg/m³).

Atualmente, através de esforços realizados pela C.C.A., a mesma atingiu o desenvolvimento final de um floculante para finos de carvão, tendo reduzido substancialmente o consumo para 0,5kg/m³, o que representaria somente um custo de US\$ 0,03/m³ de polpa ou US\$ 0,42/t de sólidos (base seca).

Tabela 5 - Floculantes escolhidos e condições de floculação

FLOCULANTE (TIPO)	D O S A G E M		CONC. DA SOLUÇÃO FLOCULANTE (%)	CUSTO/m ³ (US\$)	CUSTO/t (US\$)	VELOCIDADE DE SEDIMENTA ÇÃO IMPRIMIDA AOS SÓL. (cm/h)
	g/m ³ DE POLPA	g/t DE SÓLIDOS				
NALCO 8867	15	173	0,15	0,03	0,36	98
SUPERFLOC A - 150	4	46	0,04	0,04	0,52	97
BOSEFLOC A - 41	5	56	0,05	0,03	0,42	114

Obs.: Velocidade de sedimentação sem floculante = 11,76cm/h

Dólar de setembro/86 (1 US\$ = 13,84)

FIG. 3 - TESTE DE SEDIMENTAÇÃO COM BOSEFLOC - A 41 (HOECHST)

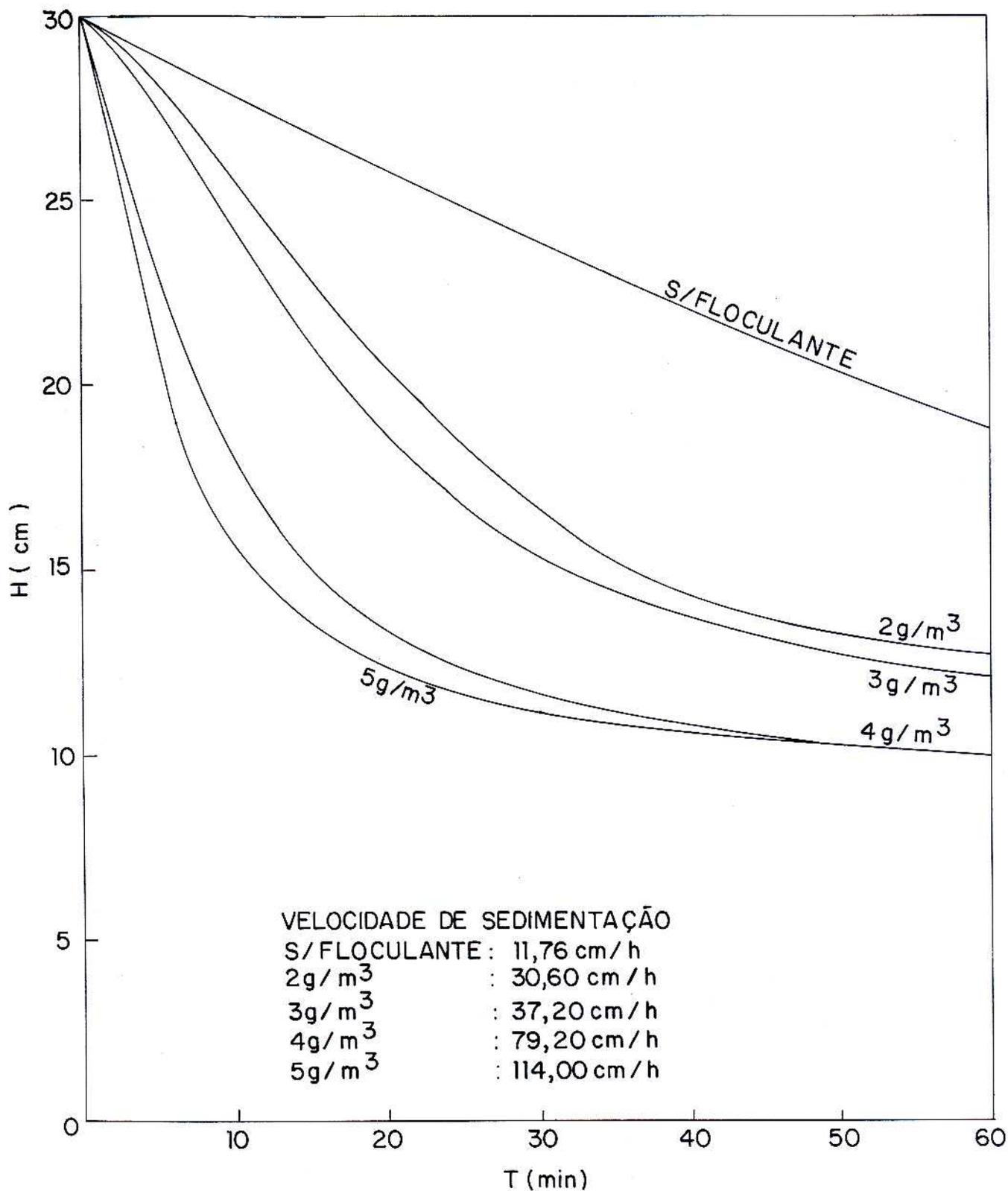


FIG.4 - TESTE DE SEDIMENTAÇÃO COM NALCO 7871 / 8867 / 8872

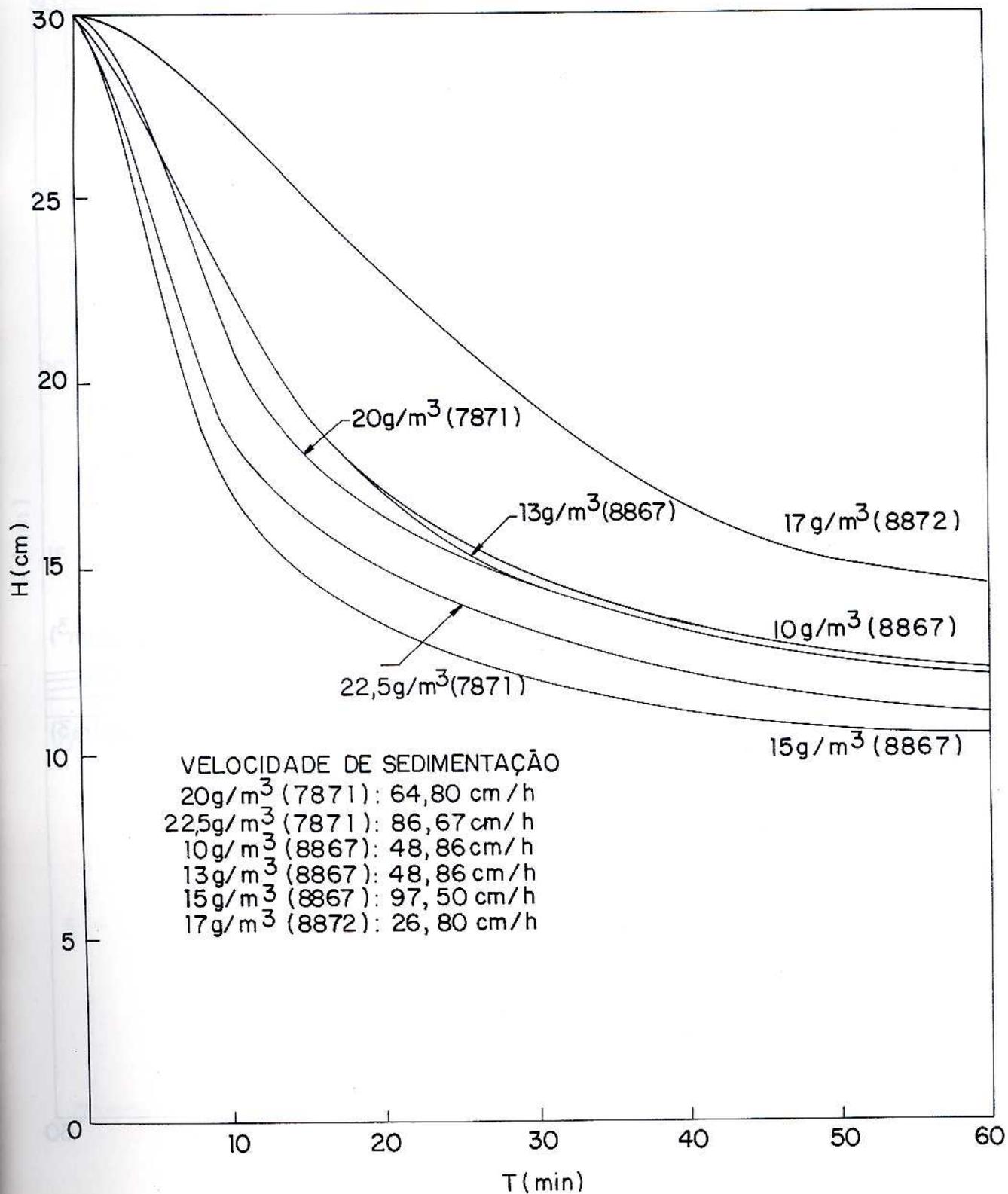


FIG.5 - TESTE DE SEDIMENTAÇÃO COM SUPERFLOC A-100/A-120/A-130
A-137 / A-150 (CYANAMID)

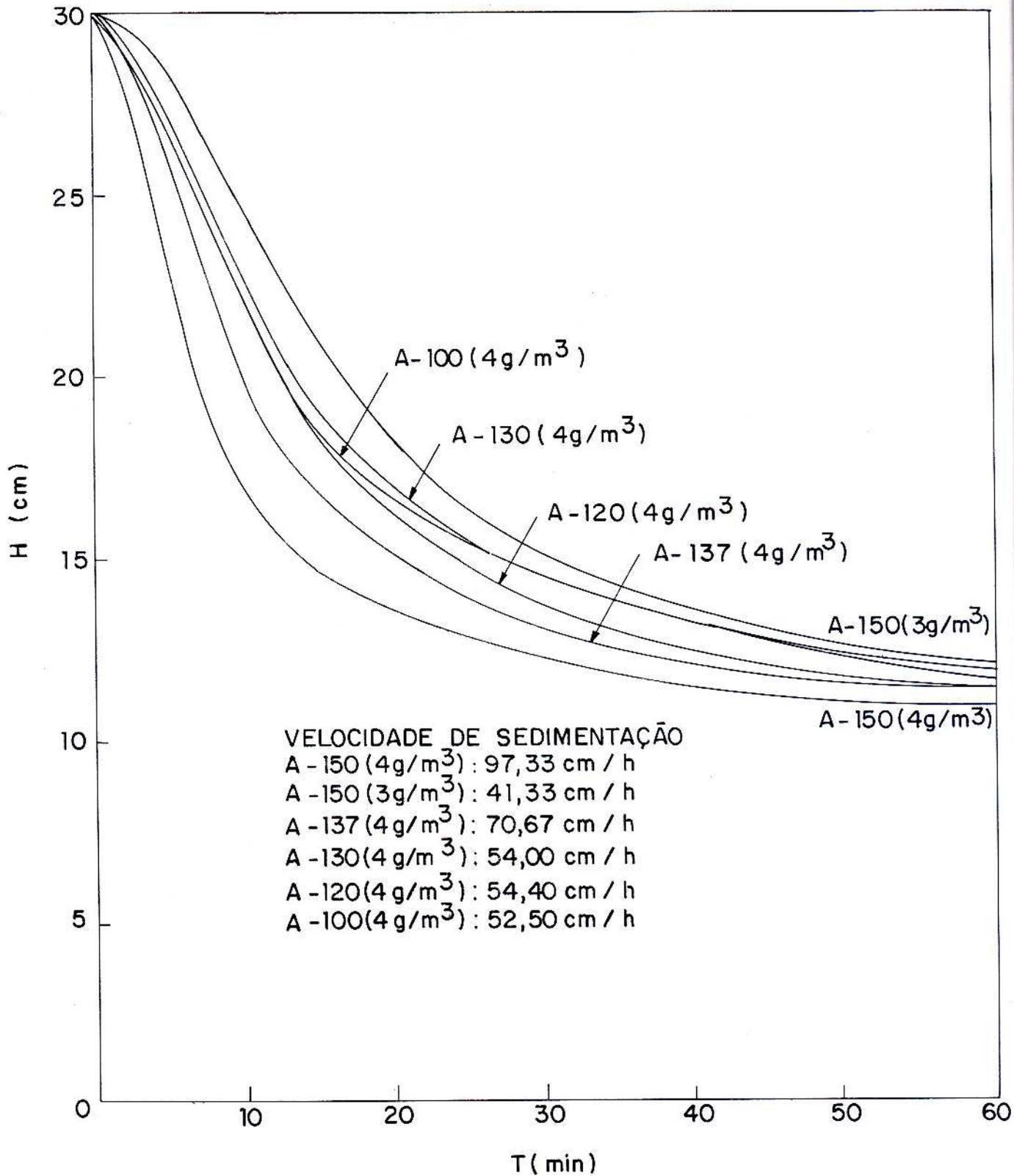
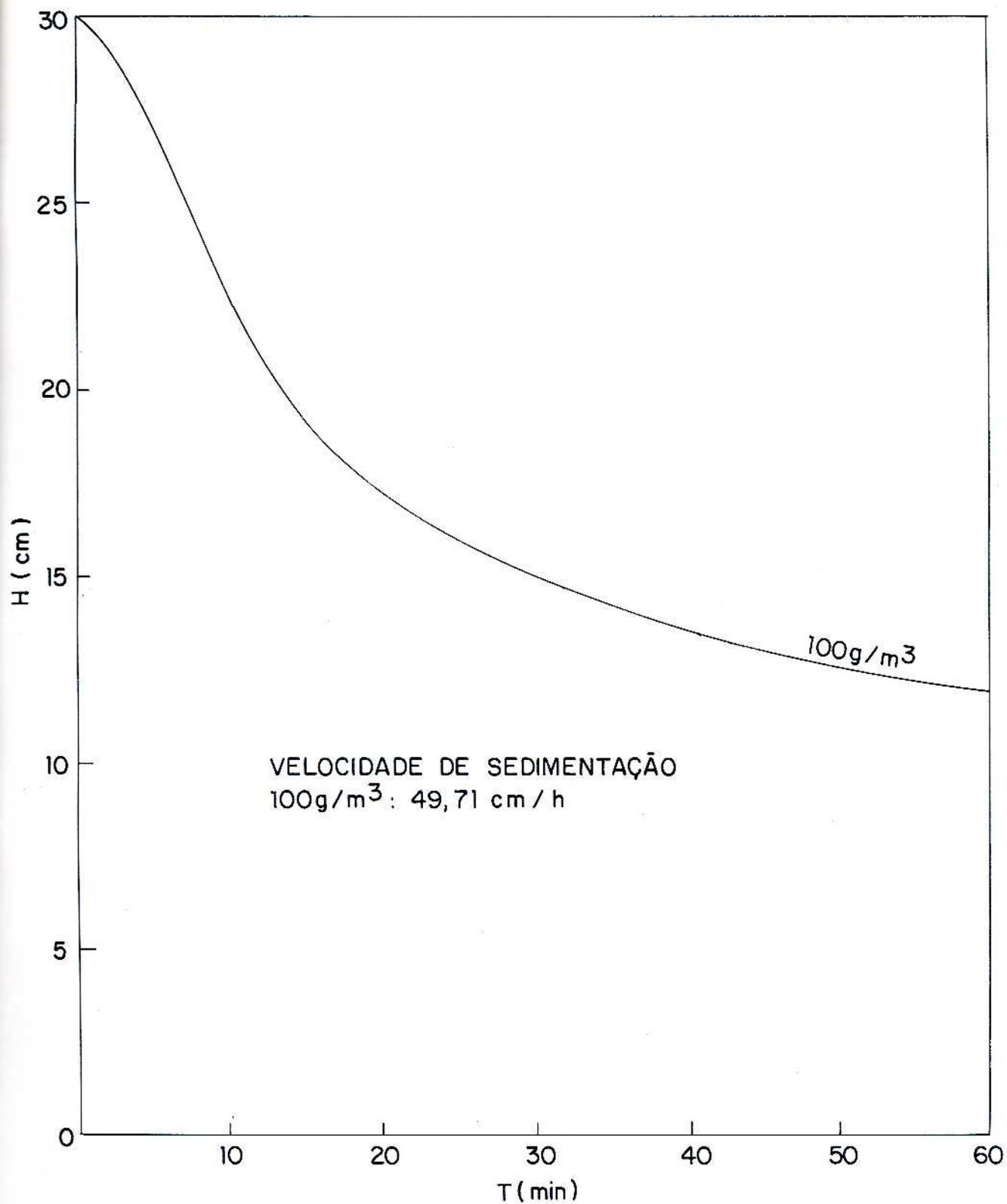


FIG.6- TESTE DE SEDIMENTAÇÃO COM BUFLOC - 4AI (BUKMAN)



6. ESTUDO EM ESCALA PILOTO

Os trabalhos em escala piloto foram realizados com base no circuito apresentado na Figura 2.

Inicialmente, as atenções foram voltadas somente para o espessador de lamelas, objetivando-se a definição de suas condições operacionais. Quando da conclusão dessa etapa, deu-se início ao estudo de desaguamento, por filtração, da polpa de carvão adensada ("underflow" do espessador).

Foram testados os floculantes NALCO 8867, SUPERFLOC A-150 e BOSEFLOC A-41, os quais foram escolhidos no estudo de bancada.

No início dos trabalhos realizaram-se ensaios preliminares com a utilização do agente floculante NALCO 8867. Nesta oportunidade foram observadas as seguintes situações:

- a) Eliminou-se o sistema de vibração da caixa de lodo, pois o emprego do mesmo não foi necessário ao escoamento do "underflow" do espessador.
- b) Houve a necessidade de troca das boquilhas referentes à descarga do "underflow" do espessador. Inicialmente operou-se com a boquilha 1/4" de diâmetro, e em seguida optou-se pela de 1/8". A boquilha de 1/4" gerou "underflow" bastante diluído (11 a 13% de sólidos). Somente com a boquilha de 1/8" atingiu-se um percentual de sólidos de 23% próximo a meta prevista (25%). Contudo, a troca para a boquilha de 1/8" causou a queda na capacidade do espessador de $2\text{m}^3/\text{h}$ para $1\text{m}^3/\text{h}$.
- c) Verificou-se a necessidade do aumento na dosagem de floculante para $30\text{g}/\text{m}^3$ ($346\text{g}/\text{t}$ de sólidos), sendo este valor o dobro do obtido em bancada. Essa modificação foi realizada, devido ao arraste de ultrafinos e pequenos flocos, através do "overflow" do espessador. Esse arraste, pela corrente ascendente, possivelmente foi gerado

pela queda de flocos, dificuldades de deslizamento de algumas partículas sobre as lamelas e formação de algumas zonas de turbulência no escoamento. Por outro lado, o aumento na dosagem do floculante também pode ser atribuído ao fato do lavador ter operado com grande volume de "overflow" do seu espessador. Essa manobra, evitando bombeamento de água limpa do Rio Capivarí, gerou uma contaminação do circuito de lavagem e, conseqüentemente, um aumento de ultrafinos no efluente.

- d) Verificou-se que, para o melhor desempenho de coagulação e floculação, o agitador do tanque de mistura rápida deveria operar com 750rpm, sendo de 10rpm a rotação das paletas do tanque de mistura lenta.
- e) Teoricamente, o efluente da usina de lavagem de carvão deveria estar a uma granulometria inferior a 28 malhas. Porém, devido a ocorrência de algumas partículas grosseiras, além de detritos, verificou-se a necessidade de colocação de uma tela de 1/8" na entrada do sistema de captação da calha (alimentação da usina piloto). A ausência dessa tela causou entupimento das boquilhas de descarga do "underflow" do espessador.
- f) O sistema de raspagem desenvolvido para o tanque de mistura lenta operou com plena eficiência, pois permitiu a formação de camadas de sólidos por sedimentação.
- g) Uma das preocupações sobre o desempenho do circuito implantado era se ter representatividade na alimentação do espessador, haja vista que a mesma seria, em termos de vazão, extremamente inferior ao efluente da calha. Análises granulométricas, químicas e de densidade, mostraram que o sistema de alimentação adotado, envolvendo o captador da calha, misturador primário e secundário, foi suficiente para gerar tal representatividade. Amostras coletadas diretamente da alimentação do tanque de coagulação apresentaram as seguintes características:

- . passante em 200 malhas: 87%
- . passante em 325 malhas: 74%
- . densidade: 1,6
- . cinza: 37%
- . enxofre: 1,2%
- . PCS (kcal/kg): 5.073kcal/kg

Após terem sido realizados os ensaios piloto preliminares e modificações no circuito, foi executada uma bateria de novos ensaios, objetivando a otimização dos parâmetros operacionais, a qual envolveu tanto o floculante NALCO 8867 como os floculantes BOSEFLOC A-41 e SUPERFLOC A-150. Como o ocorrido quando da utilização do floculante NALCO 8867 (ensaios preliminares), também foi necessária a duplicação nas dosagens dos floculantes BOSEFLOC A-41 e SUPERFLOC A-150. Os melhores resultados obtidos estão apresentados na Tabela 6, sendo que as Figuras 7, 8 e 9 apresentam os balanços finais referentes ao processo.

Observa-se na Tabela 6 que foram utilizadas soluções mais diluídas para os floculantes NALCO e SUPERFLOC, em comparação com os dados de bancada. Essa alteração teve como objetivo reduzir a viscosidade das soluções, o que, conseqüentemente, facilitou a operação.

Observa-se nas Figuras 7, 8 e 9 que o espesador de lamelas apresentou "overflow", com concentração de sôlidos, em suspensão, extremamente reduzida (0,01g/l a 0,22g/l). Desta forma, o mesmo poderia ser considerado como "água nova", a ser recirculada para o sistema de lavagem de carvão do Lavador de Capivarí, não causando problemas de contaminação do circuito, por partículas finas.

A concentração de 23% de sólidos, obtida no "underflow" do espessador, foi próxima à meta prevista (25%). Como dito anteriormente, essa percentagem de sólidos foi solu

citada como sendo a mínima, para alimentação do filtro tipo prensa desaguadora.

Tabela 6 - Melhores resultados obtidos em planta piloto.

T I P O		NALCO 8867	SUPERFLOC A-150	BOSEFLOC A-41
	g/m ³ DE POLPA	30	8	10
	g/t DE CARVÃO	346	92	112
	CONC. DA SOLUÇÃO (%)	0,075	0,02	0,05
	VAZÃO DA SOLUÇÃO (1/h)	40	40	40
ROTAÇÃO NO TANQUE DE MISTURA LENTA (rpm)		10	10	10
ROTAÇÃO NO TANQUE DE MISTURA RÁPIDA (rpm)		750	750	750
VAZÃO DA ALIMENTAÇÃO DO ESPESSADOR (m ³ /h)		0,810	1,005	1,014
CONC. DE SÓLIDOS NA ALIMENTAÇÃO (g/l)		85	66	69
CONC. DE SÓLIDOS NO "UNDERFLOW" (%)		23	23	23
DIÂMETRO DA BOQUILHA DO "UNDERFLOW" (pol.)		1/8	1/8	1/8
CONC. DE SÓLIDOS NO "OVERFLOW" (g/l)		0,22	0,06	0,01
pH DO "OVERFLOW"		7,4	7,6	7,4
CUSTO/m ³ DE POLPA (US\$)		0,06	0,09	1,04
CUSTO/t DE SÓLIDOS (US\$)		0,74	1,04	0,84

OBS.: Dólar de setembro /86 (1 US\$ = Cz\$ 13,84).

FIG. 7 - ENSAIO FINAL COM FLOCULANTE NALCO 8867 (BALANÇO)

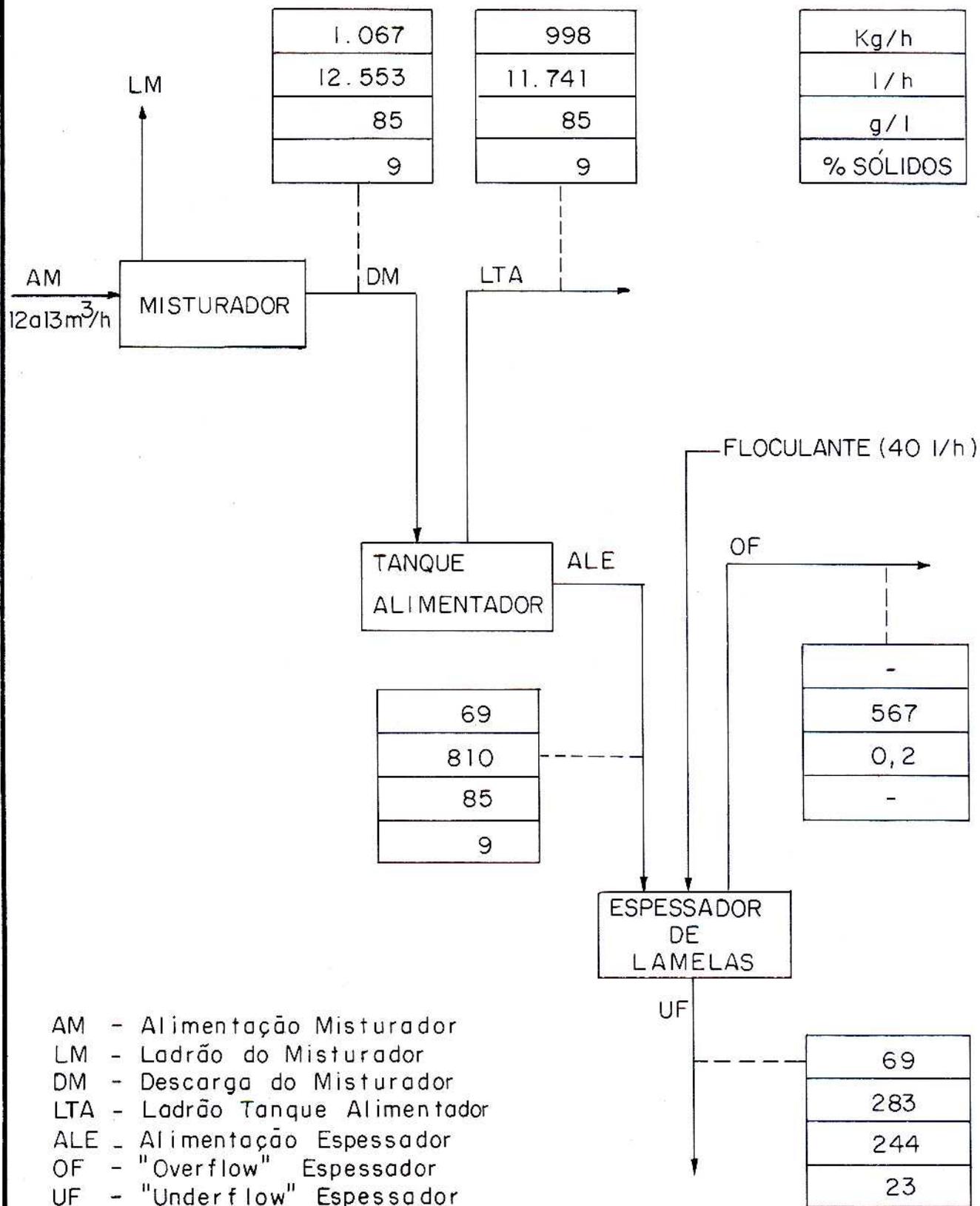


FIG. 8 - ENSAIO FINAL COM FLOCULANTE SUPERFLOC A-150 (BALANÇO)

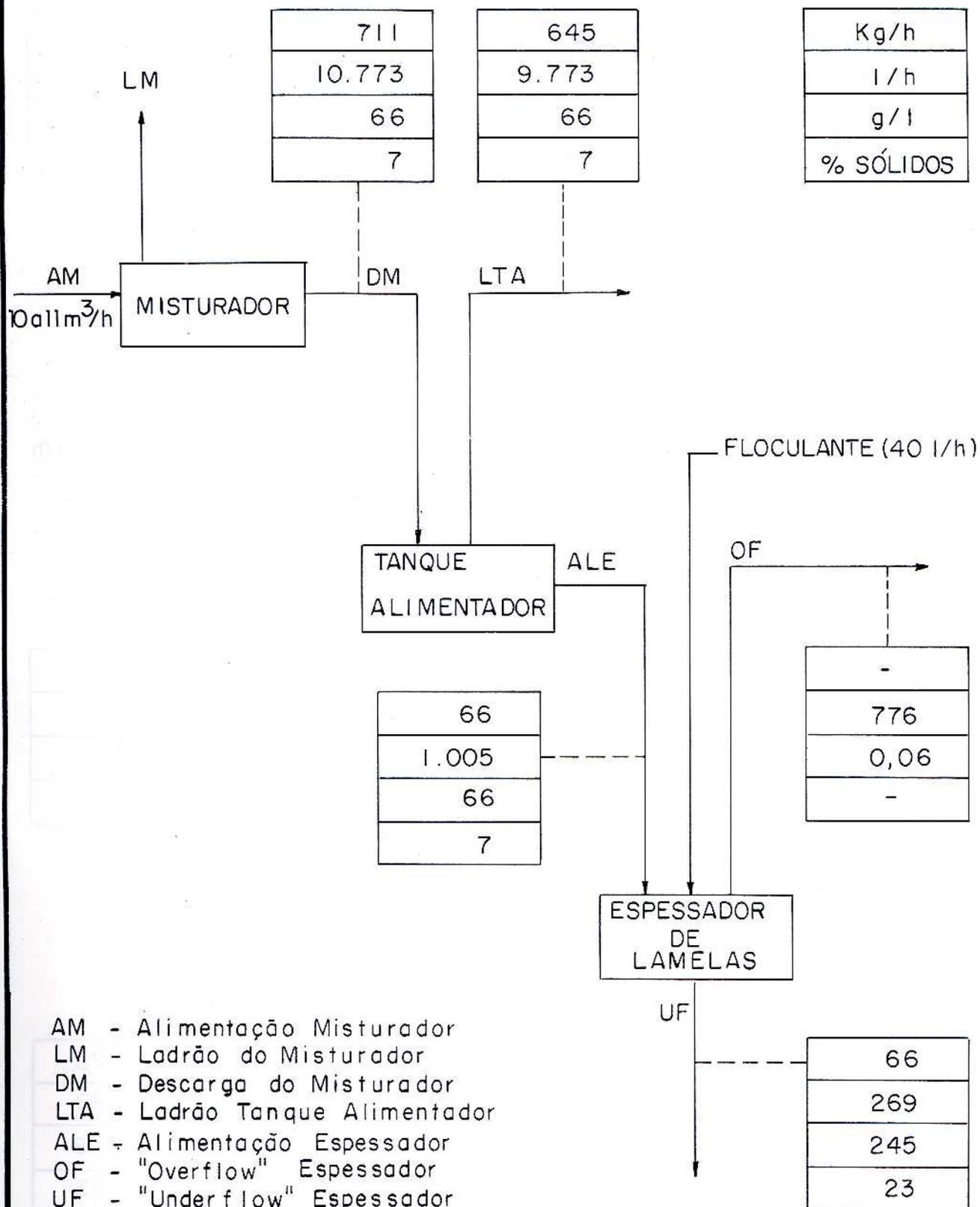
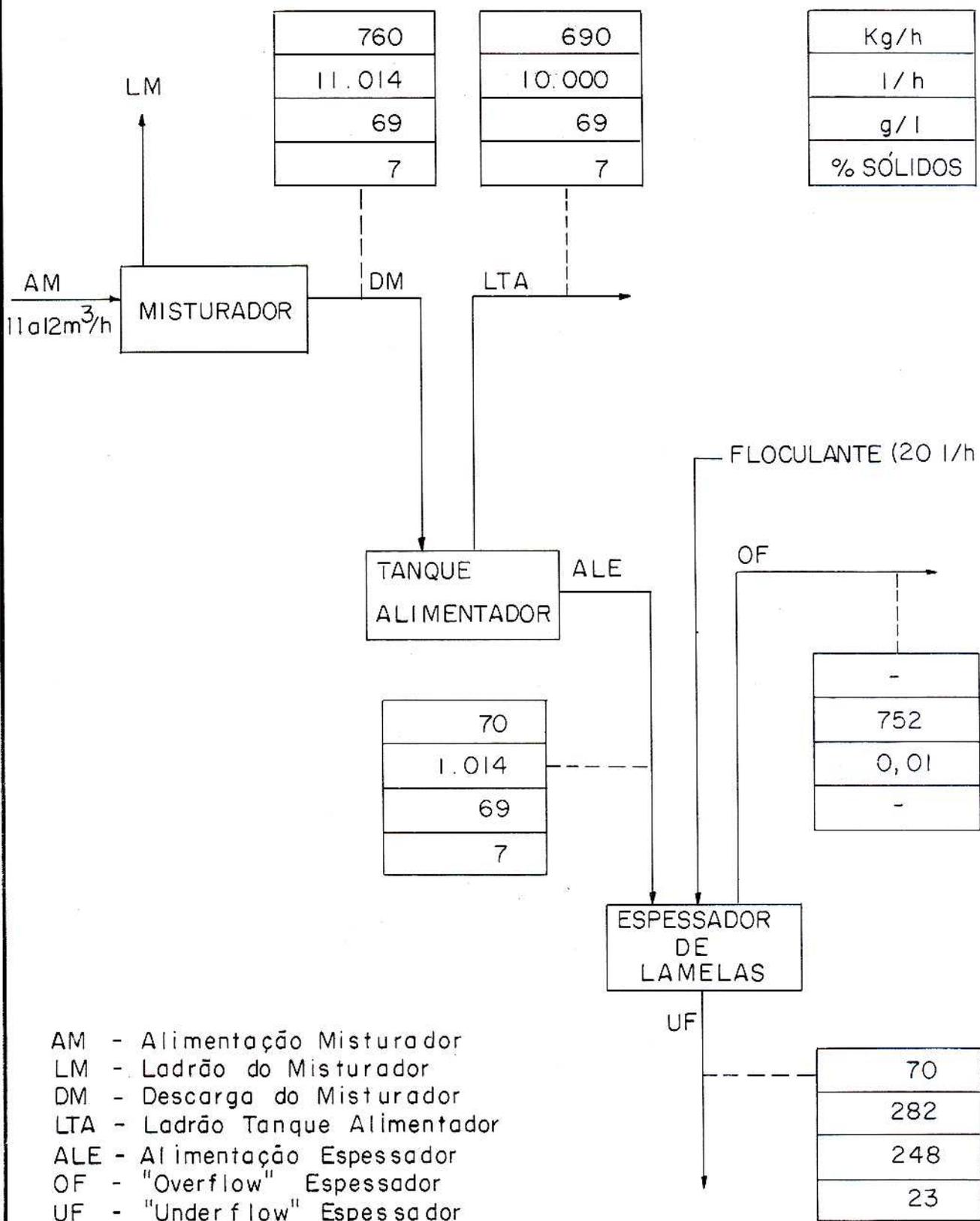


FIG. 9 - ENSAIO FINAL COM FLOCULANTE BOSEFLOC A-41 (BALANÇO)



Após o término dos ensaios com o espessador de lamelas, deu-se início ao estudo de desaguamento, através de filtração. Nessa etapa, teve-se como meta a obtenção de uma torta com máximo de 25% de umidade, o que facilitaria o seu transporte para posterior comercialização.

Mesmo tendo sido indicado o filtro tipo prensa desaguadora como equipamento adequado para a realização do desaguamento, foram executados alguns ensaios simulando a utilização de um filtro de tambor a vácuo ("Leaf-Test"). Os resultados desses ensaios não foram satisfatórios, pois as tortas obtidas apresentaram umidade de 40%.

Os ensaios simulando a utilização do filtro tipo prensa desaguadora foram realizados por técnicos da Feba Indústria Mecânica Ltda., com acompanhamento da equipe técnica do CETEM. Como já era esperado, os resultados obtidos mostraram a viabilidade técnica de utilização do filtro em questão, para o desaguamento do "underflow" do espessador. Foi obtida uma torta final com aproximadamente 25% de umidade, sendo consumidos 227g de floculante por tonelada de carvão (base seca) na alimentação do filtro (faixa ideal: 200 a 400g/t). Foram testados pela Feba os floculantes: MAGNAFLOC M351, da Allied Colloids - Inglaterra, e AF 400, da BASF - Alemanha. A título exploratório, realizaram-se alguns ensaios com o floculante BOSEFLOC A-41 da HOECHST, onde foram verificados resultados semelhantes, sendo o consumo médio de 250g/t.

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, concluiu-se que:

a) O processo envolvendo espessador de lamelas contracorrente é tecnicamente viável para o tratamento de efluentes do Lavador de Capivarí, tendo em vista que obteve-se a clarificação

da água visando recirculação (máximo de 0,22g de sólidos suspensos/litro) e adensamento do lodo na faixa operacional do filtro tipo prensa desaguadora (\approx 25% de sólidos).

b) O desaguamento indicado para o "underflow" do espessador deverá ser realizado através de filtro tipo prensa desaguadora, no qual atingiu-se umidade final da torta (finos de carvão) de 25%.

c) As operações de espessamento/clarificação e filtração apresentaram baixo consumo de agentes flocculantes. No espessador o consumo foi na faixa de 92 a 346g por tonelada de carvão (base seca), sendo que na filtração consumiu-se cerca de 250g/t de carvão (base seca).

d) O custo de flocculação apresentou-se reduzido, sendo que no espessamento o valor médio foi de US\$ 0,86 por tonelada de carvão (base seca), e na etapa de filtração o mesmo foi de aproximadamente US\$ 1,88 (teste com BOSEFLOC A-41). Cabe salientar que o flocculante recentemente desenvolvido pela Cia. Catarinense de Álcool deve ser testado futuramente, devido a sua boa eficiência obtida em ensaios exploratórios e, principalmente, ao seu baixo custo (\approx US\$ 0,07/kg).

e) Em termos de uma unidade industrial, considerando-se um circuito para tratar todo o efluente (\approx 370m³/h), o processo em questão possibilitaria, ao Lavador de Capivarí, o aproveitamento de aproximadamente 300m³/h de água de recirculação (água do espessador e do filtro), o que representaria uma economia de cerca de 46% no bombeamento de água do Rio Capivarí, o qual é atualmente de 650m³/h. Por outro lado, o mesmo processo daria margem para a recuperação de cerca de 32t/h de finos de carvão, considerado como energético, que atualmente são despejados em bacias de decantação, gerando poluição ao meio ambiente.

f) Através de estudos econômicos realizados pela Hidroquímica Engenharia, o processo em questão apresentou-se viável, considerando-se a futura comercialização dos finos de carvão e a

recirculação de água. O investimento total para implantação do processo seria da ordem de US\$ 1,734,104 com amortização pre vista para 7,5 meses (lavador operando com 800t/h) ou de US\$ 3,034,682, com amortização em 11,5 mese, caso o Lavador de Capivarí aumentasse a sua capacidade de processamento para 1,250t/h de carvão (CPL).

8. BIBLIOGRAFIA

01. BO FORSELL. Aplicação do comportador de lamelas no processamento de minérios. [s.l]
Instituto de Pesquisa Industrial Axel Johnson [s.d]
02. SEDIMENTADOR y Clarificador por sistema de lâminas. [s.l]
Keranchemie Engenharia [s.d]
03. McCABE, W.L. & SMITH, J.C. Unit operations of chemical engineering. 3 ed. [s.l] McGraw-Hill Hogakusha, 1976. sec. 9, p. 221-265
04. VALENCIA, J.A. Teoria, diseño y control de los procesos de clarificación del Agua [s.l] Centro Panamericano de Ingeniería y Ciencias de Ambiente, 1973 (série técnica, 13)
05. FLOCULADORES mecânicos de eixo vertical do tipo Palhetas. 1 ed. [s.l] CETESB, 1977 (normas técnicas, E7.401)
06. VENNARD, J.K. Elementary fluid mechanics. 4 ed., New York, John Wiley and Sons, 1961. cap. 3, p. 19-147
07. HUGHES, W.F. & BRIGHTON, J.A. Theory and problems of-fluid dynamics. New York, Shaun Publishing Co., 1976. cap.3-4, p. 56-74
08. SEZEMSKI, H. & MARKL, W. Espessadores de lamelas Rheax en la Técnica de Processos, Rheax.
09. SCHULITTER, W.E & MARK, W. Cross-flow Lamella Thickeners. Mining magazine, London, Apr. 1976. p. 291-297
10. GARTH, A.M. & DOUGLAS, M.S. Lamella Thicker performance in potash refining. CIM Bulletin, Montreal, 76: 57-62, 1983
11. RUSSELL, I.C. & JOHN, J.C. Performance of Lamella Thicker in coal preparations plants. Mining engineering, 1978. p. 568-571