

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas**

**Dissertação de Mestrado**

**“Revisão nos métodos de dimensionamento de espessadores  
e comparação dos modelos industriais”**

**Autor: Filipe Augusto Vasconcelos Guimarães**  
**Orientador: Prof. Dr. George Eduardo Sales Valadão**

**Agosto/2010**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas**

**Filipe Augusto Vasconcelos Guimarães**

**“REVISÃO NOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE ESPESSADORES E  
COMPARAÇÃO DOS MODELOS INDUSTRIAIS”**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Minas.

Área de concentração: Tecnologia Mineral.

Orientador: Prof. George Eduardo Sales Valadão

Belo Horizonte  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Escola de Engenharia  
2010

**A minha amada esposa Nívea,  
pelo auxílio neste trabalho e apoio nas horas difíceis,  
e a meus pais, Luiz e Luiza, pelo incentivo eterno.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram na realização deste trabalho e, em particular:

A meus mestres e incentivadores, Sergio Coutinho, Romel Costa e Ernandes Sávio, pelo incentivo e por entenderem o que isto significa para mim.

Ao prof.º George Valadão, por aceitar esta orientação e pela paciência..

À Delciane Porfiro, pelas análises granulométricas, Rodrigo Rocha, pela realização dos testes de sedimentação, José Maria Barbosa, pelo auxílio na coleta da amostra e ao Bernard, pelo auxílio no final deste trabalho.

Aos membros das bancas examinadoras, George Eduardo Sales Valadão, Roberto Galery, Armando Araújo Corrêa e Sergio Coutinho Amarante, pelas sugestões oferecidas nas defesas da proposta e da dissertação.

Aos professores do CPGEM/UFMG pelos ensinamentos.

## SUMÁRIO

<b>1 - Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2 – Objetivos</b>	<b>5</b>
<b>3 – Revisão Bibliográfica</b>	<b>6</b>
3.1 – Geologia e Mineralogia	6
3.1.1 – Mina do Sapecado	10
3.1.1 – Mina do Galinheiro	10
3.2 – Circuitos Típicos com a Utilização de Espessadores de Lama	11
3.3 – Descrição do Equipamento	14
3.4 – Agregação (Floculação e Coagulação)	24
3.5 – Viscosidade e Reologia	30
3.6 – Comportamento da Sedimentação	36
3.6.1 – Fatores dos quais dependem a sedimentação de uma partícula	40
3.7 – Métodos de Dimensionamento de Espessadores	44
3.7.1 – Método de Mishler	45
3.7.2 – Método de Coe e Clevenger	47
3.7.3 – Método de Kynch	48
3.7.4 – Método de Roberts	50
3.7.5 – Método de Talmadge e Fitch	51
3.7.6 – Método de Oltmann	53
3.7.7 – Método de Wilhelm e Naide	55
3.7.8 – Teste de Tempo de Compressão	56
3.7.9 – Fluxo Ascendente de Água	58
3.7.10 – Cálculo da Altura do Espessador	61
<b>4 – Metodologia</b>	<b>63</b>
4.1 – Seleção e Obtenção da Amostra	64
4.1.1 – Alimentação da Usina e coleta da Amostra	65
4.2 – Análise Química	65
4.3 – Realização dos Testes	65
4.3.1 – Critérios para a Realização dos Testes de Sedimentação	66
4.3.1.1 – Recursos Necessários	66
4.3.1.2 – Preparação das Provetas	66
4.3.1.3 – Preparação do Polímero	67
4.3.1.4 – Determinação do Percentual de Sólidos	68
4.3.1.5 – Transporte, Homogeneização e Quarteamento da Polpa	68
4.3.1.6 – Alimentação das Provetas	68
4.3.1.7 – Cálculo da massa de Polímero a ser dosada	69
4.3.1.8 – Ensaio	69
4.4 – Coleta dos Dados	71
4.5 – Aplicação dos Métodos de Dimensionamento de Espessadores	71

<b>5 – Discussão dos Resultados</b> -----	<b>72</b>
5.1 – Caracterização da Amostra-----	72
5.2 – Amostras Globais-----	76
5.3 – Dimensionamento de Espessadores -----	82
5.3.1 – Método de Coe e Clevenger -----	83
5.3.2 – Método de Talmadge e Fitch-----	85
5.3.3 – Método de Oltmann-----	87
5.3.1 – Método de Wilhelm e Naide -----	89
5.4 – Comparação entre os métodos -----	93
5.5 – Interferência da Granulometria na Sedimentação-----	96
<b>6 – Conclusões</b> -----	<b>100</b>
<b>7 – Sugestões para Trabalhos Futuros</b> -----	<b>101</b>
<b>8 – Referencias Bibliográficas</b> -----	<b>102</b>
<b>9 – Anexos</b>	
Anexo A – Caracterização das Amostras-----	106
Anexo B – Testes de Sedimentação e Análises-----	127
Anexo C – Dimensionamentos -----	148
Anexo D – Interferência da Granulometria -----	216

## Lista de Figuras

Figura 1.1: Exemplo de um espessador convencional. (Slotee, 2001).....	2
Figura 1.2: Exemplo de um espessador de pastas. (EIMCO, 2008).....	3
Figura 1.3: Evolução do desenho básico dos espessadores. (Fogwill, 2005).....	4
Figura 3.1 – Mapa das formações geológicas do Quadrilátero Ferrífero.....	7
Figura 3.2 - Técnicas de separação sólido-líquido em função do tamanho de partícula ou microorganismo (Valadão, 2007).....	11
Figura 3.3 – Fluxograma simplificado do espessamento da ITM-D do Pico.....	12
Figura 3.4 – Fluxograma simplificado do circuito de Finos da ITM-A do Pico.....	13
Figura 3.5 – Fluxo esquemático de espessadores e clarificadores.....	14
Figura 3.6 – Modelo do espessador Dorr original (Dorr, 1936).....	15
Figura 3.7 – Alimentador do tipo “FeedWell” para espessadores de alta capacidade (Valadão, 2007).....	16
Figura 3.8 – Modelo de espessador de alta capacidade (catálogo WesTech).....	18
Figura 3.9 – Efeito do torque na vida útil de um espessador.....	20
Figura 3.10 – Espessador de lamelas (Peres et al.,1981).....	22
Figura 3.11 – Área efetiva de um espessador de lamelas (Valadão, 2007).....	23
Figura 3.12 – Espessador modelo Deep Cone (Catálogo EIMCO, 2008).....	25
Figura 3.13: Conformação de um polímero sobre a superfície da partícula.....	29
Figura 3.14: Classificação do comportamento reológico de diferentes tipos de suspensões. (Bakshi, A.K.; Kawatra, S.K., 2007).....	31
Figura 3.15: Tensão de escoamento de uma amostra de alumina em função do pH para diferentes porcentagens de sólidos. (Johnson et al., 2000).....	35
Figura 3.16 – Teste para o comportamento de sedimentação (Wills, 1997).....	39
Figura 3.17 – Teste de sedimentação em batelada (Kynch, 1952).....	39
Figura 3.18 – Correntes térmicas (Millán, 2008).....	41
Figura 3.19 – Diagrama de forças na sedimentação de partículas discretas.....	44
Figura 3.20 – Modelo de Mishler para espessadores (Valadão, 2007).....	45
Figura 3.21 – Determinação gráfica de $u$ e $C$ pelo método de Kynch.....	49
Figura 3.22 – Cálculo da concentração e velocidade no modelo de Kynch.....	50
Figura 3.23 – Construção gráfica do método de Roberts.....	51
Figura 3.24 – Método gráfico de Talmadge e Fitch.....	52

Figura 3.25 – Correlação para determinação do expoente de correlação do método de Wilhelm e Naide.....	56
Figura 3.26 – Teste do tempo de compressão.....	57
Figura 3.26 – Alturas das regiões de espessamento (PAVLOV et al., 1981).....	61
Figura 3.27 – Determinação do tempo de residência na região de espessamento (PAVLOV et al., 1981).....	62
Figura 4.1 – Seqüência de Processo.....	63
Figura 4.2 – Representação esquemática da composição das amostras.....	64
Figura 4.3 – Pilha formada para alimentação da ITM-D.....	65
Figura 4.4 – Ensaio de sedimentação.....	70
Figura 4.5 – Construção gráfica dos métodos de Oltmann e Talmage e Fitch.....	71
Figura 5.1 – Distribuição granulométrica das lamas e Rejeito de Flotação no Cilas.....	72
Figura 5.2 – Análise Granulométrica no Cilas e CicloCyzer.....	73
Figura 5.3 – Microfotografia das estruturas das lamas.....	77
Figura 5.4 – Curva de sedimentação para as lamas da ITM-D.....	77
Figura 5.5 – Dados do ensaio em proveta em papel logaritmo.....	78
Figura 5.6 – Ensaio do rejeito de flotação em papel Log-Log.....	78
Figura 5.7 – Velocidade de sedimentação para as lamas da ITM-D.....	79
Figura 5.8 – Velocidade de sedimentação para o rejeito de flotação da ITM-.....	79
Figura 5.9 – Balanço de Massas com as lamas da ITM-I.....	80
Figura 5.10 – Balanço de massas do Rejeito de Flotação.....	80
Figura 5.11 – Volumes das zonas de compressão para os diferentes testes realizados..	81
Figura 5.12 – Teste em branco para as lamas da ITM-D.....	82
Figura 5.13 – Teste em branco para as lamas da ITM-I.....	82
Figura 5.14 – Gráfico de G de Coe e Clevenger para as lamas da ITM-D.....	84
Figura 5.15 – Modelo gráfico do método Talmadge e Fitch.....	86
Figura 5.16 – Método gráfico de Oltmann.....	88
Figura 5.17 – Modelo gráfico de Wilhelm e Naide.....	90
Figura 5.18 – Gráfico de Vs pela concentração Ci em papel log log.....	91
Figura 5.19 – Gráfico de Wilhelm e Naide da Razão de Espessamento pelo % sólidos no underflow.....	92
Figura 5.20 – (a) Dimensionamento para alimentação a 20% de sólidos.....	94
(b) Dimensionamento para alimentação a 30% de sólidos.....	94



(c) Dimensionamento para alimentação a 40% de sólidos.....	94
(d) Dimensionamento para alimentação a 50% de sólidos.....	94
Figura 5.21 – Diâmetros sugeridos para os espessadores industriais.....	95
Figura 5.22 – Curva granulométrica da mistura de Lamas I + Rej. de Flotação D.....	97
Figura 5.23 – (a) Dimensionamento das misturas a 20% de sólidos.....	97
(b) Dimensionamento das misturas a 30% de sólidos.....	97
(c) Dimensionamento das misturas a 40% de sólidos.....	98
(d) Dimensionamento das misturas a 50% de sólidos.....	98
Figura 5.24 – Velocidades de sedimentação com o incremento do rejeito.....	99

## Lista de Tabelas

Tabela 3.1 - Colunas estratigráficas do Quadrilátero Ferrífero (Magalhães, 2003).....	8
Tabela 3.2 – Seqüência de eventos no processo de floculação (Farinato et al., 2003)....	30
Tabela 3.3 – Classificação dos tipos de sedimentação (Spottiswood, 1989).....	36
Tabela 3.4 – Dimensões unitárias para diversos tipos de suspensões (Valadão, 2007)..	41
Tabela 4.1 – Testes em batelada.....	64
Tabela 5.1 – Resultado das Análises Químicas das Amostras Estudadas.....	74
Tabela 5.2 – Análise de Rotina da ITM-I do Pico.....	74
Tabela 5.3 – Análise de Rotina da ITM-D do Pico.....	75
Tabela 5.4 – Velocidades de sedimentação para cada amostra.....	75
Tabela 5.5 – Valores de volumes da zona de compressão.....	81
Tabela 5.6 – Valores de G e área unitária para a ITM-D.....	84
Tabela 5.7 – Valores do dimensionamento com o método Coe e Clevenger.....	85
Tabela 5.8 – Valores para construção do modelo gráfico do método de Talmadge e Fitch .....	86
Tabela 5.9 – Resultados do dimensionamento para a ITM-D a 30% de sólidos.....	86
Tabela 5.10 – Resultados de dimensionamento do método Talmadge e Fitch.....	87
Tabela 5.11 – Cálculo dos parâmetros para lamas ITM-D a 20% de sólidos.....	87
Tabela 5.12 – Dimensionamento do Espessador pelo método de Oltmann.....	88
Tabela 5.13 – Cálculo da concentração $C_i$ para cada tangente WN.....	90
Tabela 5.14 – Valores de a e b para os testes de dimensionamento.....	91
Tabela 5.15 – Valores de área de espessamento em pés <sup>3</sup> /tonelada/dia.....	92
Tabela 5.16 – Resultados de dimensionamento pelo método de Wilhelm e Naide.....	93
Tabela 5.17 – Valores de diâmetro para os quatro métodos e todos os ensaios.....	96
Tabela 5.18 – Valores de diâmetro para os testes com rejeito.....	98

## Lista de Variáveis

$T$  = torque gerado nas pás;

$\Phi$  = diâmetro do equipamento;

$K$  = constante relacionada ao tipo de material e equipamento.

$\rho_L$  = densidade ou peso específico do fluido ( $\text{ton/m}^3$ );

$\mu$  = viscosidade absoluta ou dinâmica do fluido ( $\text{m/s}$ );

$d_i$  = diâmetro da partícula(m);

$V$  = velocidade relativa partícula-fluido ( $\text{kg/m.s}$ )

$d_v$  = diâmetro volumétrico, ou seja, o diâmetro de uma esfera que tenha o mesmo volume da partícula;

$d_s$  = diâmetro de área, ou seja, o diâmetro de uma esfera que tenha a mesma área da partícula

$F_d$  = força de resistência ou arraste ( $\text{kg.m/s}^2$ );

$C_d$  = coeficiente de resistência ou arraste (adimensional);

$A$  = área projetada da partícula, normal ao seu movimento ( $\text{m}^2$ ).

$V_s$  = velocidade terminal de sedimentação ( $\text{m/s}$ );

$\rho_s$  = densidade do sólido ( $\text{t/m}^3$ );

$\rho_p$  = densidade da polpa ( $\text{t/m}^3$ ).

$F_f$  = força de fricção entre partículas e o fluido;

$F_l$  = Empuxo;

$F_g$  = Força gravitacional.

$A$  = fluxo de massa de sólido da alimentação

$D$  = fluxo de massa de sólido do underflow

$DA$  = diluição da alimentação

$DD$  = diluição do underflow

$C_0$  = concentração inicial da suspensão ( $\text{t/m}^3$ )

$Z_0$  = altura inicial da suspensão (m)

$\theta$  = Tempo

$S$  = área de decantação = seção transversal do decantador ( $\text{m}^2$ );

$u$  = velocidade de decantação na zona limite ( $\text{m/h}$ );

$Q_A$  = vazão volumétrica da suspensão alimentada ao decantador ( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$C_A$  = concentração de sólidos na suspensão alimentada ( $\text{t/m}^3$ );

$C_E$  = concentração da lama espessada ( $t/m^3$ );  
 $C$  = concentração da suspensão na zona limite ( $t/m^3$ ).  
 $C_O$  = concentração inicial de sólidos ( $kg/m^3$ );  
 $H_O$  = altura da polpa no início do teste (m);  
 $H_U$  = altura da interface para a concentração  $C_U$  (m).  
 $T_U$  = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow ( $C_U$ )  
 $H$  = altura total da zona de compressão (m)  
 $h$  = altura de sedimentação da polpa (m)  
 $\sigma$  = expoente de correlação de Wilhelm e Naide  
 $Q_S$  = toneladas de sólidos diários que alimentam o espessador ( $m^3$ );  
 $t_s$  = tempo de retenção necessário (horas);  
 $V_S$  = volume da zona de compressão no espessador contínuo ( $ft^3$ );  
 $V_b$  = variação do volume comprimido no teste (ml);  
 $w$  = massa do sólido no teste (g).  
 $V_s$  = volume da zona de compressão ( $m^3$ );  
 $\Theta_c$  = tempo de compressão (dias);  
 $\rho_s$  = densidade da fase sólida;  
 $Q$  = vazão de suspensão descendente;  
 $c^*$  = concentração volumétrica de sólidos numa seção transversal qualquer do espessador.  
 $\rho_f$  = densidade da fase fluida;  
 $Q_f$  = vazão de fluido ascendente numa seção transversal qualquer do espessador

## **Resumo**

As operações de espessamento ocorrem pela necessidade da recuperação de água e para ajustes na densidade de polpa, visando às operações subseqüentes. Vários modelos de espessadores surgiram, ao longo do tempo, para minimizar a utilização de águas nobres e de custo elevado de captação em prol da utilização de uma com menor custo operacional. Vários desenvolvimentos ocorreram ao longo da história no que diz respeito ao dimensionamento de espessadores, com a criação de uma série de ferramentas capazes de gerar projetos com baixo percentual de erros. Alguns dos mais antigos métodos, no entanto, ainda possuem seu lugar devido à simplicidade na coleta de dados e no tratamento dos números e uma grande quantidade deles possuem excelente grau de assertividade. Para um bom dimensionamento de um equipamento de separação sólido-líquido são necessários cuidados, como a utilização de mais de um dos métodos de cálculo como efeito comparativo e a introdução de efeitos operacionais que a matemática do espessamento não contempla. Neste trabalho, mostrar-se-á como os métodos de dimensionamento diferem uns dos outros para testes equivalentes de sedimentação e a influência de eventos operacionais, como o fluxo ascendente de água, a granulometria de partículas e a interferência da viscosidade do meio fluido, nos testes em batelada utilizados para o cálculo da área necessária de espessamento. Será ainda mostrada uma comparação entre os três métodos mais utilizados na prática para o dimensionamento de espessadores e suas imprecisões, devido aos diferentes níveis de compressibilidade de materiais. Os métodos de Coe e Clevenger, Talmage e Fitch e Oltmann produzem resultados consistentes, porém divergentes entre si devido a diversos fatores não considerados nos ensaios. A simplicidade de execução do teste por batelada favorece a utilização desses métodos. A viscosidade pode causar interferências no dimensionamento, pois cada polpa é diferente e seu comportamento é característico de suas propriedades físico-químicas. O fluxo ascendente de água pode fornecer um elemento importante para resolução de problemas no adensamento da polpa com lamas, pois, se o fluxo ascendente exercer uma força superior à velocidade terminal das partículas, o material flutuará, podendo até inutilizar a água de processo. Como segundo objetivo, este trabalho tem a intenção de mostrar como partículas de maior tamanho podem ou não auxiliar na sedimentação de materiais ultrafinos.

## **Abstract**

The operations of thickening take a place for the necessary recovery of water and for adjustments in the pulp density, aiming at the subsequent operations. Several models of thickening had appeared, throughout time, to minimize the use of noble waters and high cost capitation in favor of the use of one with less operational cost. Some developments had occurred throughout history when it comes to the sizing of thickeners, with the creation of a series of tools capable to generate projects with low percentage of errors. Some of the oldest methods, however, still have his place due to simplicity in the collecting of data and in the treatment of the numbers and a great amount of them possess excellent degree of proximity. For a good modeling of a solid-liquid separation equipment, some cares are necessary, like the use of more than one type of sizing method as a comparative effect, and the introduction of operational effects that the mathematics of the thickening does not contemplate. In this work, will be reveal the sizing methods differ from each other for equivalent tests of sedimentation and the influence of operational events, such the ascending flow of water, the particle size and the interference of the viscosity of the fluid way, used in batch tests for the calculation of thickening necessary area. Still will be shown a comparison between the three most used methods in practical for the sizing of thickeners and its impreciseness, had the compressibilities of materials. The methods of Coe and Clevenger, Talmage and Fitch and Oltmann produce consistent results, however divergent between itself because had the diverse factors there are not considered in the assays. The simplicity of execution of the batch test favors the use of these methods. Viscosity can cause interferences in the sizing, therefore each pulp is different and its behavior is characteristic of its physicist-chemistries properties. The ascending water flow can give an important element for solving the problems in the thickening the pulp with lamas, therefore, if the ascending flow to exert a superior force to the terminal speed of particles, the material will float, being make the process water becomes unusable. As a second goal, this work has the intension to show how particles of bigger size help in the sedimentation of ultra-fines materials.

## 1. Introdução

A mineração ao longo dos anos vem aprimorando os métodos de tratamento de minérios para um melhor aproveitamento das reservas minerais. Na mesma direção vem o tratamento de rejeitos e cada vez mais uma quantidade de materiais passam da qualidade de estéril para minério. Sendo assim, se fez necessário um conhecimento muito específico de cada uma das etapas do beneficiamento. Com o grande aumento da demanda e como consequência do tratamento a úmido dos minérios, surge uma crescente necessidade da utilização de água nos processos e de sua reutilização, tendo em vista a escassez a que o ser humano será submetido caso o assunto não seja tratado da forma como merece. As operações de separação sólido-líquido mostram-se eficientes métodos de reutilização da água envolvida no processo e redução da umidade dos produtos gerados nas usinas.

Dentre as operações mais importantes de separação sólido-líquido está o espessamento, visto como peça chave na recuperação da água utilizada no processo. Existem usinas de beneficiamento que recirculam até aproximadamente 90 % da água através principalmente de espessadores de vários tipos, tamanhos e formatos. As usinas de beneficiamento da Mina do Pico, da VALE, são exemplos da importância de uma operação de espessamento bem executada, pois em média cada uma das usinas utiliza em seu processo cerca de 7.000 metros cúbicos por hora de água. Operações deste porte se tornariam inviáveis do ponto de vista ambiental e operacional se não houvesse um meio de recircular pelo menos parte desta “água de processo”.

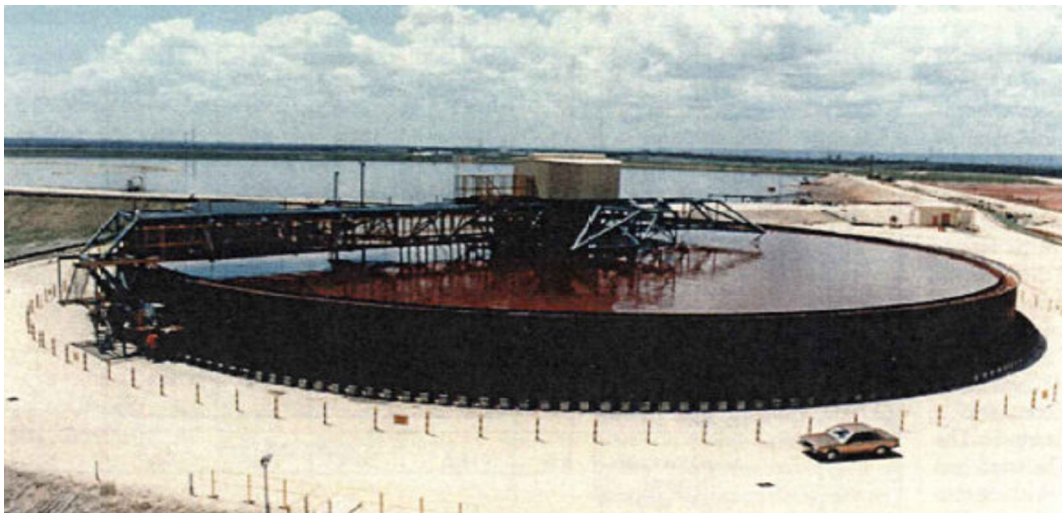
A sedimentação é um dos processos de separação sólido-fluido baseados, basicamente, na diferença entre as densidades dos constituintes de uma suspensão; a remoção das partículas sólidas presentes em uma corrente líquida se dá pela ação do campo gravitacional, o que oferece ao processo as características de baixo custo e grande simplicidade operacional. A larga utilização industrial dos sedimentadores (Figura 1.1) promove um crescente interesse no conhecimento do dimensionamento e operação desses equipamentos, com o fim de melhorar a utilização e eficiência no atendimento aos objetivos operacionais.

VALADÃO (2007) definiu o espessamento como operação de separação sólido-líquido baseada na sedimentação, utilizada para: recuperação de água de polpas contendo

rejeitos ou concentrados; preparação de lamas e rejeitos para descarte; preparação de polpas com densidades mais adequadas para operações subseqüentes e separação das espécies dissolvidas dos resíduos lixiviados.

CHAVES (2002) colocou como principal função do espessador permitir a recuperação e recirculação imediata de toda ou pelo menos parte da água de processo.

As operações com espessadores são, em sua maioria, simples e robustas, porém se não tomadas as devidas precauções podem significar uma grande perda de produção devido a paradas operacionais de longa duração, mesmo que para uma simples correção ou avaliação de um risco em potencial ao equipamento. Apesar de sua simplicidade, são equipamentos de custo de investimento alto, porém de alta confiabilidade e baixo custo operacional. Associado a espessadores de lamas estão também, na grande parte dos circuitos as barragens de rejeito, pois o “underflow” destes equipamentos normalmente destinam o material para a barragem, gerando altos impactos ambientais e enormes passivos, principalmente com “foot Print” ou o descomissionamento das áreas utilizadas para deposição de rejeitos. Além de elevar consideravelmente o custo de energia elétrica devido ao retorno da água para reutilização por meio de bombeamento.



**Figura 1.1: Exemplo de um espessador convencional. (SLOTTEE, 2001)**

Grandes avanços têm sido atingidos nos estudos do espessamento, variando desde as dimensões e formatos dos espessadores até mesmo seus mecanismos de funcionamento, exemplificados nos espessadores chamados de alta-capacidade e espessadores de pasta

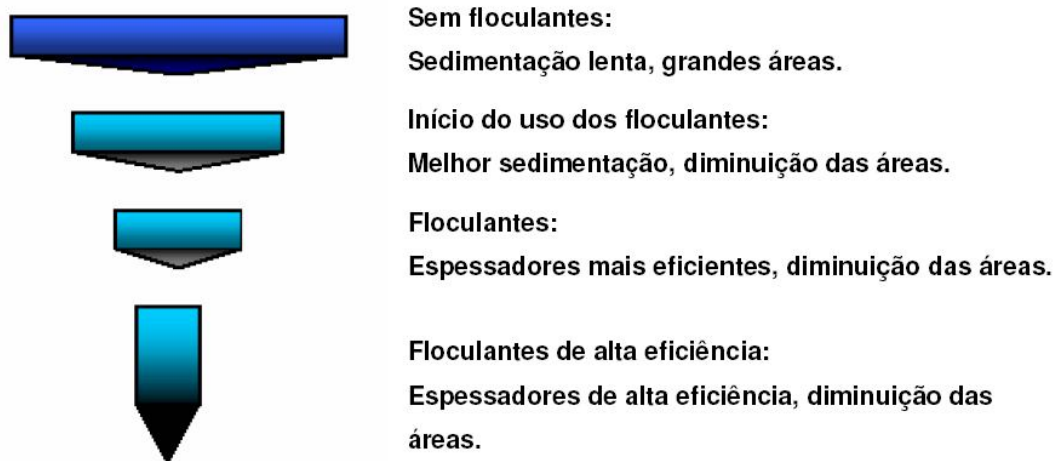


(Figura 1.2), que operam verdadeiras maravilhas na recuperação de água do sistema e na clarificação da água de processo.



**Figura 1.2: Exemplo de um espessador de pastas. (EIMCO, 2008)**

A utilização de polímeros e outros agentes químicos também é hoje uma arma no espessamento e na recuperação de água em processos minerais, causando a desestabilização das partículas e permitindo que se agreguem de forma a comporem estruturas maiores e mais densas, o que aumenta consideravelmente a velocidade de sedimentação dos sólidos do processo. Os floculantes e coagulantes, como será mostrado posteriormente, reduziram drasticamente o tamanho dos equipamentos e mostraram que ainda existe muito espaço para evolução do conceito conforme mostrado na figura 1.3.



**Figura 1.3: Evolução do desenho básico dos espessadores. (FOGWILL, 2005)**

Com tudo que se tem envolvido na operação de beneficiamento e nos dias atuais referentes ao meio-ambiente e relações com comunidade, tem de ser tratado o assunto água e por conseqüência barragem de rejeitos com toda a seriedade, pois é através de uma boa relação com sociedade, meio ambiente e parceiros que se pode suprir toda a necessidade de produção para um crescimento sustentável e correto.

## **2 - Objetivos**

### **2.1 – Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo comparativo das teorias de dimensionamento de espessadores mais utilizadas na indústria. Elaborar comparações entre os métodos de Talmage-Fitch, Coe e Clevenger e Oltmann e fornecer uma ferramenta com casos práticos e teóricos de separação sólido-líquido para pesquisas futuras.

### **2.2 – Objetivos Específicos**

Caracterizar o comportamento de sedimentação para espécies diferentes de litologias e seus contaminantes e composições de polpa diferentes.

Elaborar uma comparação nos principais métodos de dimensionamento industrial de espessadores e estabelecer um viés comparativo entre as dimensões de equipamentos geradas por cada método.

Determinar a importância do efeito granulométrico das partículas na execução dos testes de sedimentação em batelada.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Geologia e Mineralogia do Quadrilátero Ferrífero**

JAMES (1983) destacou que formações ferríferas bandadas (BIFs: banded iron formations) correspondem a intercalações de camadas centimétricas de minerais de ferro e chert ou a seu equivalente metamórfico. Já as formações ferríferas constituem um termo genérico e podem incluir fácies sem chert.

Formações ferríferas bandadas recebem diversas denominações, como itabirito, no Brasil; jaspelito, na Austrália; quartzito ferruginoso, nas antigas repúblicas soviéticas; taconitos, na América do Norte, entre outras.

Os principais depósitos de minério de ferro do mundo são originários dessas formações, principalmente daquelas do Proterozóico, denominadas tipo Superior, em alusão às fácies semelhantes descritas na região do Lago Superior, nos Estados Unidos. Essa época, aproximadamente entre 2,6-2,0 bilhões de anos, caracterizou-se por mares epicontinentais, nos quais foram depositados sedimentos ricos em minerais de ferro e em sílica, correspondendo atualmente às BIFs de Pilbara, na Austrália (Grupo Hamersley); Transvaal-Griquatown, na África do Sul; Lago Superior, nos Estados Unidos; Labrador, no Canadá; Carajás (Formação Carajás) e Quadrilátero Ferrífero (Formação Cauê), no Brasil.

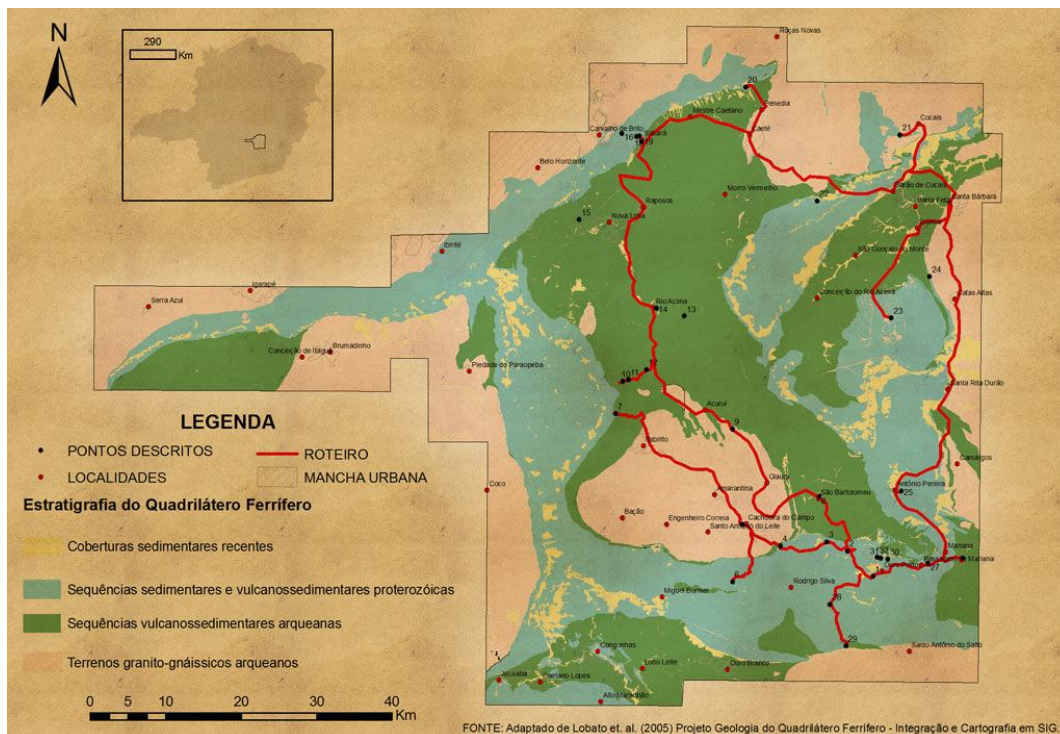
Em menor escala, mas também importantes, ocorrem as BIFs do tipo Algoma, cuja sedimentação ocorreu durante o Arqueano (Figura 3.1), aproximadamente entre 3,2 e 2,6 bilhões de anos, época caracterizada pelo crescimento continental. Destacam-se as formações de Yilgam, na Austrália; da Província de Wyoming, nos Estados Unidos e do Zimbábue, na África. As diferenças entre os dois tipos descritos ocorrem na petrografia, na distribuição faciológica e na amplitude espacial (SILVA, 2004).

O Quadrilátero Ferrífero situa-se na porção meridional do Cráton de São Francisco, sendo um núcleo cratônico que data do proterozóico inferior. Faixas de dobramento geradas no evento brasileiro definiram a forma do Cráton de São Francisco, que é dividido em dois domínios principais: um ocidental de baixa deformação (DBD) e um

oriental, de alta deformação (DAD), ambos os casos com predominância de hematitas (ZANETTI, 2008).

As diversas unidades geológicas que compõem o Quadrilátero Ferrífero começaram a ser definidas com os trabalhos de HARDER & CHAMBERLIN (1915 apud DORR & BARBOSA, 1963). Em 1969, Dorr propôs a divisão das estruturas geológicas do Quadrilátero Ferrífero bem próxima da estratigrafia definida atualmente para a região (Tabela 3.1).

Os depósitos de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero (Formação Cauê) constituem um clássico exemplo de formação ferrífera do tipo Lago Superior, correlata tanto em relação ao tempo geológico quanto ao estilo deposicional com outras formações ferríferas nos quatro outros continentes atuais. Esses depósitos do Quadrilátero podem ser individualizados em dois grupos principais: depósitos de minério de ferro de alto teor e depósitos de minério de ferro itabiríticos (AMARANTE, 2002).



**Figura 3.1 – Mapa das formações geológicas do Quadrilátero Ferrífero**

Minérios homogêneos de alto teor e com pequenas concentrações de magnetita, quartzo e carbonatos apresentam concentrações de até 68% de Ferro e são subdivididos em grupos de compactos e friáveis, basicamente devido às proporções de geração de produtos. Os minérios de ferro de alto teor ocorrem na forma de corpos compactos ou maciços, sem condicionamento estrutural, considerados não tectônicos. Os corpos xistosos, com claro controle estrutural, são considerados sintectônicos e minérios supergênicos são considerados friáveis.

**Tabela 3.1** Colunas estratigráficas do Quadrilátero Ferrífero (MAGALHÃES, 2003).

Unidades Estratigráficas			Litologias	
Região Leste*		Regiões Oeste e Central**		
Sem correspondente		Grupo Itacolomi		Quartzito e conglomerado com clastos de <i>BIF</i>
SUPERGRUPO MINAS	Formação Elefante	Gnaiss Bicas	Grupo Sabará	Xisto, quartzito, filito, grauvasca, conglomerado e <i>BIF</i>
			Grupo Piracicaba	Formação Barreiro
		Formação Taboões		Ortoquartzito
		Formação Fecho do Funil		Filito e dolomito
	Formação Cercadinho	Quartzito ferruginoso, filito, conglomerado e dolomito		
	Anfibolito Sítio Largo	Grupo Itabira	Formação Gandarela	Dolomito, calcário, itabirito dolomítico, itabirito e filito dolomítico
	Itabirito Cauê		Formação Cauê	Itabirito, itabirito dolomítico, filito e dolomito
	Formação Batatal	Grupo Caraça	Formação Batatal	Filito, <i>metachert</i> e <i>BIF</i>
	Formação Moeda		Formação Moeda	Quartzito, conglomerado e filito
	Gnaiss Monlevade		Grupo Tamanduá	
Grupo Maquiné				Filito, quartzito, conglomerado, grauvasca
Grupo Nova Lima				Filito, conglomerado, grauvasca, dolomito, <i>metavulcânicas</i> , <i>BIF</i>
-----		Embasamento		Gnaisses, migmatitos e granitóides

A gênese dos minérios de ferro de alto teor, classificados como “hematita compacta”, permaneceu, durante anos, motivo de grande controvérsia. DORR (1964) postulou para esses corpos uma origem metassomática, diversos autores, no entanto, descreveram evidências de controles sedimentares, baseados na forma lenticular. O consenso atual é de que os corpos de “hematita compacta” foram depositados em ambientes redutores e apresentam a magnetita como principal componente. A oxidação da magnetita e dos silicatos de ferro resultou na formação da martita e hematita, esta última sendo recristalizada ao longo de diversas gerações.

Os itabiritos são definidos pela intercalação de camadas ricas em óxidos de ferro e camadas ricas em sílica, carbonatos e silicatos. A concentração primária desses elementos é extremamente variável e intensamente afetada por efeitos secundários supergênicos. Podem se distinguir três diferentes tipos de itabiritos no Quadrilátero Ferrífero (Formação Cauê): i) itabiritos normais ou silicosos: intercalam camadas mais e menos ricas em óxidos de ferro e  $\text{SiO}_2$ ; ii) itabiritos dolomíticos: itabiritos anfibolíticos, compostos por camadas que intercalam maiores e menores concentrações de óxidos de ferro e anfibólios; iii) itabiritos manganésíferos e filíticos: tipos subordinados são ocasionalmente encontrados nas bordas em contato com carbonatos da seqüência superior (Formação Gandarela) e dos filitos da seqüência inferior (Formação Batatal) (AMARANTE, 2002).

O termo minério de ferro é utilizado, por vezes, com significados variados, os quais podem extrapolar o sentido econômico (MORRIS, 1985). No entanto, este deve ser o preponderante na definição de um minério, que corresponde a um mineral ou, mais comumente, a um agregado de minerais a partir do qual a exploração comercial de um metal seja possível. A exploração é controlada por questões econômicas, políticas, tecnológicas, de infra-estrutura, entre outras, as quais sofrem variações ocasionais.

Em termos das jazidas do Quadrilátero Ferrífero, os principais minerais-minérios são as hematitas e a magnetitas com amplo predomínio de dos minérios hematíticos. Entre os minerais de ganga têm-se, principalmente, o quartzo, as goethitas (de baixo teor de Fe) e, subordinadamente, caulinita, gibbsita, dolomita e mica (clorita, sericita, entre elas).

Calcitas e apatitas são mais raramente observadas e silicatos de ferro não ocorrem comumente (AMARANTE, 2002).

A goethita está mais concentrada nos níveis superiores mais afetados pelo intemperismo. Essa mineralogia é encontrada nos itabiritos e, na citada rocha, há predomínio relativo do quartzo sobre os outros minerais. Os minerais goethita, caulinita e gibbsita são os responsáveis pela presença de alumina no minério, podendo ocorrer na forma de partículas livres ou associadas. A goethita é um hidróxido de ferro, produto de intemperismo dos minerais portadores de ferro, sob condições de oxidação. Pode apresentar conteúdos significativos de alumina e fósforo em sua rede cristalina. O termo limonita não é mais considerado como o nome de um mineral, e sim um termo de campo para descrever óxidos hidratados de ferro pobremente cristalinos e de identidade desconhecida (AMARANTE, 2002).

Em resumo, uma característica importante no Brasil é a avançada idade geológica de suas estruturas. Devido ao clima tropical, boa parte dessas formações foram constituídas por imensas camadas intemperizadas, em que algumas acabaram por transformar-se em jazidas minerais. A característica comum na maioria dessas jazidas é a apresentação de grande quantidade de lamelas, constituídas principalmente de argilo-minerais ou de outros minerais provenientes de processos genéticos de alteração, apresentando tamanhos variados que vão de finos, passando por ultrafinos e até coloidais (Figura 3.2).

### **3.1.1 – Mina do Sapecado**

A mina do Sapecado se localiza na fronteira sul do Pico do Itabirito, e se caracteriza pela presença de lentes de hematita que variam de metros até dezenas de metros de espessura e lentes de hematitas macias de tamanho irregular, gradacionais a itabiritos ricos e silicosos. Na porção sul da mina, diques máficos concordantes com as foliações, ao contrário da parte norte, que possui estruturas discordantes da estrutura principal. A oeste, lentes métricas de itabiritos manganésíferos, derivados de carbonatos e localmente chamados de ferro-manganês, pelo alto teor de óxido de manganês.

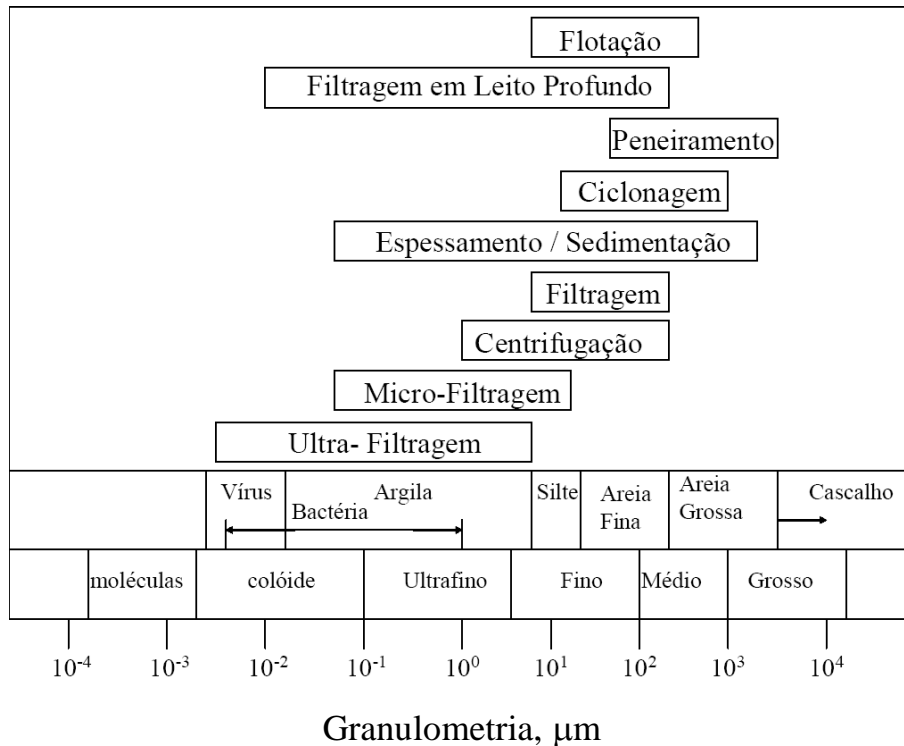
### **3.1.2 – Mina do Galinheiro**



A Mina do Galinheiro está situada cerca de 4 km ao norte da Mina do Pico, sendo composta por lentes métricas de minérios hematíticos compactos de alto teor e, subordinadamente, lentes irregulares de hematitas macias, gradacionais a itabiritos ricos. Os itabiritos ricos encontram-se associados a itabiritos silicosos friáveis, médios e compactos, com passagens gradacionais e abruptas.

### 3.2 Circuitos típicos com a utilização de espessadores

O beneficiamento de partículas finas vem se constituindo em um grande desafio para os tratamentistas de minérios (Figura 3.2), uma vez que, com o decréscimo do tamanho das partículas, começa a diminuir a ação das forças de caráter mecânico sobre as mesmas. Com isso, as forças referentes aos fenômenos eletrostáticos e a descontinuidade do meio (viscosidade) tornam-se significativas.

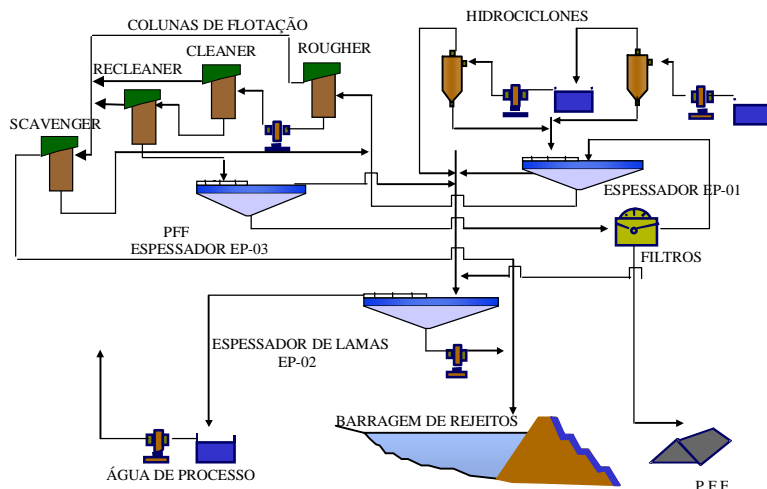


**Figura 3.2 - Técnicas de separação sólido-líquido em função do tamanho de partícula ou microorganismo (VALADÃO, 2007)**

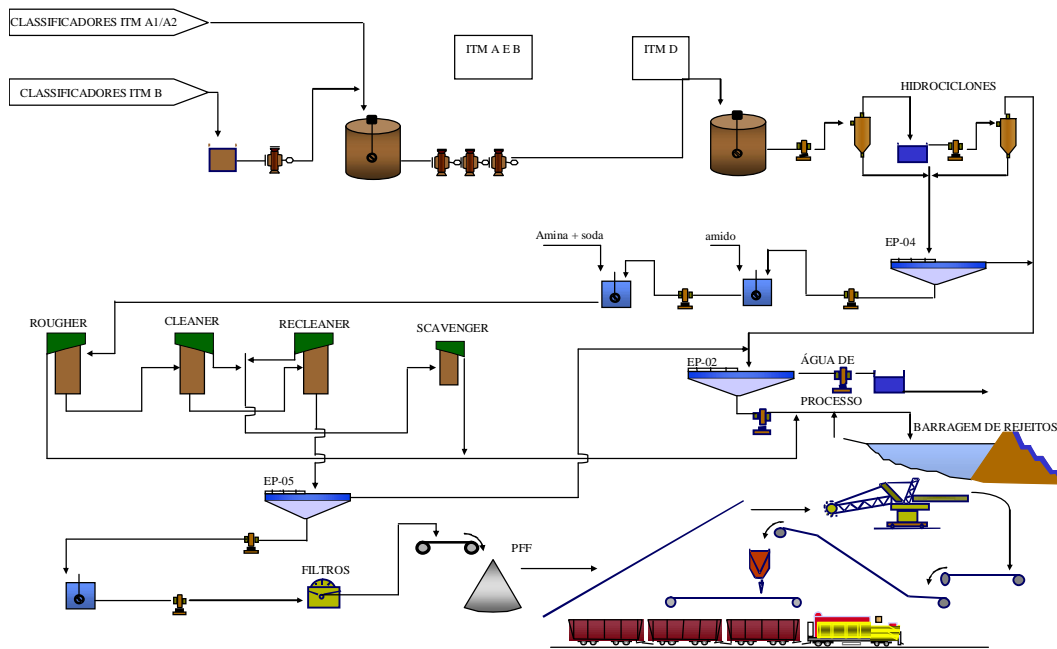
Os circuitos industriais que contêm a operação de espessamento normalmente incluem os processos de deslamagem e flotação, mas qualquer instalação que tenha produção de

materiais abaixo de 0,150 mm é uma séria candidata à separação sólido-líquido por meio de espessadores de lama (materiais com granulometria abaixo de 0,010 mm) e de preparação do material para uma etapa subsequente, como bombeamento, concentração ou filtragem.

Um exemplo típico seria a mina do Pico, da Vale (Figuras 3.3 e 3.4), onde existem sete espessadores dos mais diversos tamanhos e funções. Dois deles funcionam como preparadores da alimentação da operação de concentração, três operam como reguladores do percentual de sólidos para o bombeamento e filtragem e dois funcionam como espessadores de lama, recuperando a água de processo e ajustando o percentual de sólidos para a disposição em barragem de rejeitos. Todos - mesmo que funcionem como um deslamador, já que é possível aumentar o pH da polpa de forma a promover a dispersão das lamas e a diminuir a quantidade de contaminantes na operação de flotação - são importantes para a recuperação de água e funcionam como um sistema de homogeneização para se manter a alimentação do processo posterior o mais estável possível. É usual a correção do pH anteriormente ao processo de filtragem, pois o mesmo pode ser extremamente prejudicado por uma dispersão ocasionada pelo meio básico. O mesmo aplica-se aos espessadores de lama, pois a lama dispersa impossibilitaria a floculação, inutilizaria a água de processo, bombeando muita água para a barragem e colocando em risco os equipamentos.



**Figura 3.3 – Fluxograma simplificado do espessamento da ITM-D do Pico**



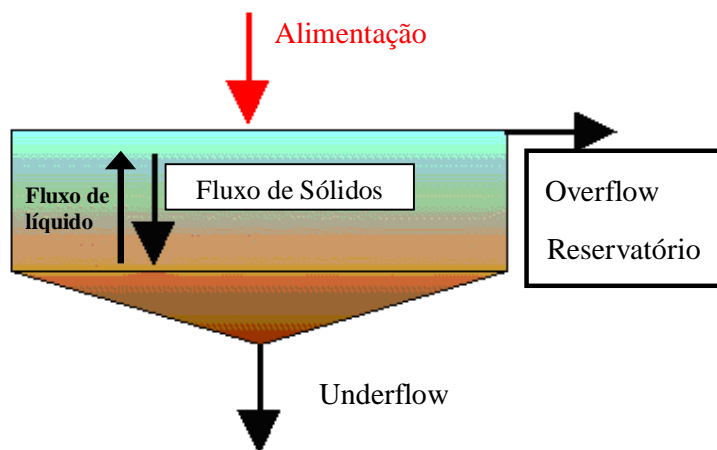
**Figura 3.4 – Fluxograma simplificado do circuito de finos da ITM-A do Pico**

Nos circuitos mostrados nas figuras 3.3 e 3.4, têm-se aplicações de espessadores para as diversas funções. Encontram-se *espessadores de preparação para a flotação*, que recebem o material advindo da deslamagem; *espessadores de concentrado*, que preparam o material para a filtragem e garantem o percentual de sólidos de forma a permitir um melhor rendimento operacional dos filtros e *espessadores de lamas*, que trabalham como clarificadores de água e adensam o material de forma a permitir um melhor bombeamento. O espessador de lamas é único para os dois circuitos.

Circuitos que utilizam o espessamento aproveitam a chamada água de processo, reutilizada para operações mais básicas e que não necessitam de líquidos isentos de particulados finos ou de água nova. Operações como peneiramento e determinados tipos de concentração podem utilizar a água de processo sem danos maiores ao sistema. Já sistemas que demandam um pouco mais de cuidado com relação a contaminantes, como, por exemplo, a flotação, que devido a quantidade de argilo-minerais presentes, devem usar a água proveniente do espessador criteriosamente. Deve-se evitar a utilização de água de processo para a selagem de bombas de polpa e de vácuo, pois dependendo das quantidades de particulados na água, existe uma possibilidade de dano à gaxeta das bombas.

### 3.3 – Descrição do Equipamento

Os espessadores industriais são, usualmente, equipamentos grandes e caros. Constituem-se por uma parte cilíndrica e uma parte cônica de baixa inclinação de fundo. Alimentam-se pelo centro, onde as partículas mais densas sedimentam mais rapidamente e as menos densas, mais lentamente. As partículas sedimentadas são recolhidas no ápice da parte cônica e são chamadas de “underflow”, enquanto o líquido clarificado é chamado de “overflow”. Esse último transborda através de calhas que circundam o equipamento e direcionam o líquido sobrenadante até um reservatório de bombeamento de água de reutilização (Figura 3.5).

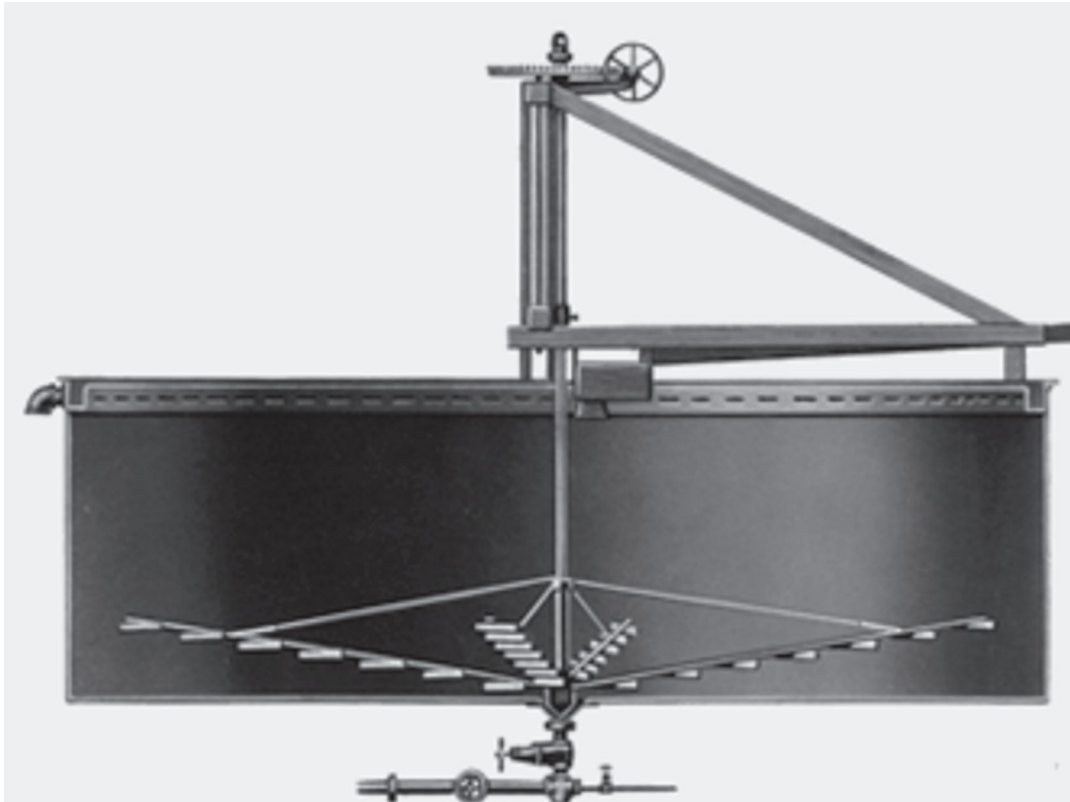


**Figura 3.5 – Fluxo esquemático de espessadores e clarificadores**

Há uma sutil diferença entre clarificadores e espessadores, principalmente quanto ao resultado esperado e ao objetivo da operação. CONCHA (2003) definiu que, enquanto os clarificadores lidam com suspensões extremamente diluídas, o espessamento atua de forma a produzir polpas muito concentradas para o bombeamento.

Essa diferença permitiu que, matematicamente, fosse possível modelar primeiramente clarificadores. Apenas posteriormente, com o desenvolvimento do espessador DORR, em 1905 (figura 3.6), iniciou-se a era do espessamento. Simploriamente, esse espessador era um tanque de clarificação com pás de raspagem, ou “rakes”, operadas com um mecanismo de lenta rotação sobre o fundo que suavemente arrastava o material

para o ponto de coleta com a mesma velocidade em que as partículas sedimentavam, porém sem agitação suficiente para causar interferência.



**Figura 3.6 – Modelo do espessador Dorr original (DORR, 1936)**

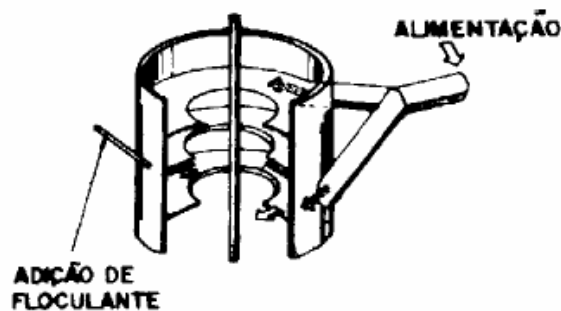
A construção do espessador pode ser feita com a utilização de aço ou concreto armado. Segundo CHAVES (2002), a relação de custo vem do tamanho: à medida que o diâmetro aumenta, a estrutura de concreto vai se tornando mais barata. Normalmente, o equipamento tem alto valor de investimento e baixo custo operacional.

Os espessadores podem receber polpas bastante diluídas e bombear pelo underflow polpas bastante densas, o que só depende da capacidade da bomba em manusear a polpa, com atenção para a reologia e a distância de sucção do bombeamento. Grandes distâncias e tubulações horizontais podem significar uma perda considerável de vazão, o que obrigaria a operação a trabalhar com percentual de sólidos menores e, por consequência, obter-se-ia uma menor recuperação de água no processo.

O percentual de sólido a ser obtido depende da operação subsequente. Deve ser uma polpa mais densa, podendo atingir até 70% de sólidos, para a filtragem e com menor densidade para a flotação, com aproximadamente 55% de sólidos, por exemplo. Em alguns casos, o espessador serve de preparo para a lixiviação, mantendo o minério em suspensão pelo tempo necessário para que ocorram as reações químicas e aconteça a separação da fase sólida da solução.

No fundo do tanque gira lentamente um rastelo cuja função é arrastar o material sedimentado para o ponto de coleta no ápice do cone de sedimentação, exatamente como no modelo original de DORR, de onde será retirado pelas bombas. O rastelo, ou “rake”, ainda tem a função de promover a compactação do material, arrumar as partículas sólidas de forma a ocupar o mínimo volume, auxiliar no desprendimento de bolhas de ar e bolsas d’água que por ventura estiverem encarceradas pelas camadas de sedimentos e manter os sólidos em suspensão para prevenir o aterramento do equipamento.

A alimentação chega através de uma tubulação ao centro do espessador, onde pode ser utilizada uma peça importante do equipamento chamada poço de alimentação (Draft) ou “FeedWell” (Figura 3.7). Essa peça divide o fluxo em dois, para diminuir a turbulência e a velocidade, direcionando um de encontro ao outro de forma a promover o choque de partículas e facilitar a sedimentação. Ainda no “FeedWell”, para espessadores que utilizam polímeros, encontra-se o melhor ponto de adição do floculante, para uma melhor diluição na polpa e melhor floculação. Pode-se ter dois ou mais pontos de adição de floculante, dosado em soluções diluídas em concentrações de até 0,05%.

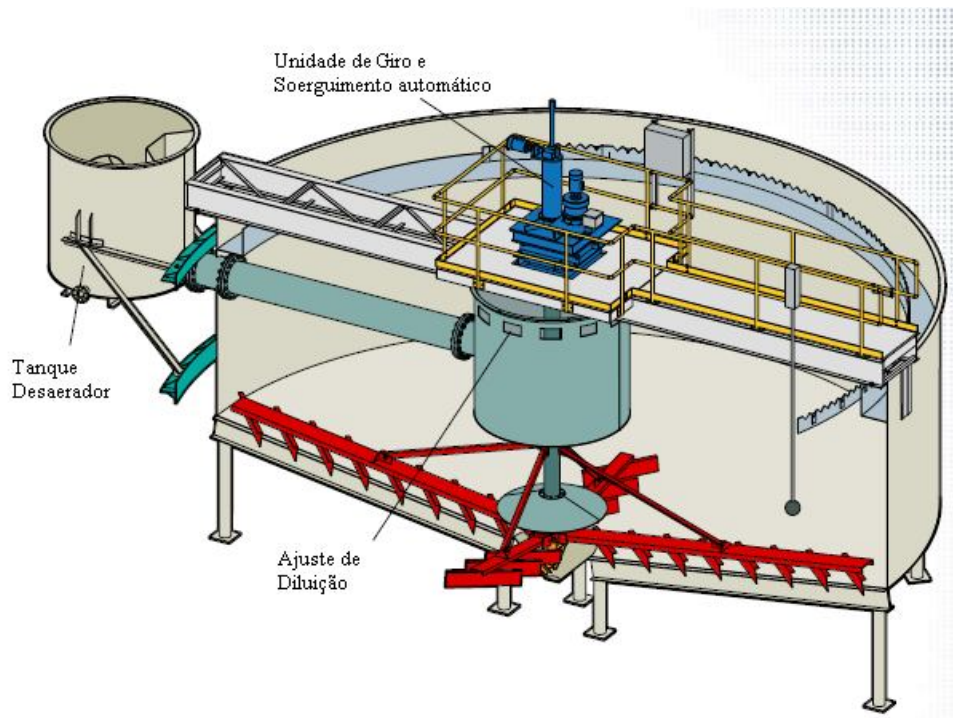


**Figura 3.7 – Alimentador do tipo “FeedWell” para espessadores de alta capacidade (VALADÃO, 2007)**

A resistência ao movimento do rastelo pode atingir valores significativos para espessadores de diâmetros maiores, elevando de forma considerável o torque do rastelo, o que pode gerar um risco a integridade física do equipamento. O mesmo pode ocorrer para materiais de alta densidade que sedimentam com velocidade considerável ou quando há contaminação de particulados grosseiros formando barricadas prejudiciais ao movimento circular. Assim sendo, os equipamentos mais modernos são dotados de sistemas para elevação do “rake” até uma altura de menor resistência e, juntamente com a diminuição da alimentação, é feita a correção gradual do nível de material depositado no fundo. Uma vez restabelecido o valor de torque seguro para o equipamento, se dá o processo de lenta redução da altura até os valores aceitáveis.

O overflow transborda por uma calha adjacente ao tanque de sedimentação, com a face interna serrilhada (Figura 3.8). Esse formato provê certa resistência ao vento e também previne contra pequenos desníveis devido à acomodação do terreno onde foi feita a construção do equipamento, mas, principalmente, possibilita a medição da vazão de overflow, que é diretamente proporcional à altura da descarga do líquido no “dente” em V. A água proveniente do overflow é bombeada e reutilizada imediatamente no processo, por isso a importância de uma boa sedimentação e clarificação, pois um excesso de particulados sólidos em suspensão pode prejudicar os equipamentos de bombeamento e causar distúrbios no sistema, uma vez que estará recirculando contaminantes que provavelmente serão prejudiciais aos processos de concentração. Atualmente, o grande volume de água utilizada no beneficiamento provém da operação de espessamento e não da captação de água nova, porém, como mencionado anteriormente, são águas de características diferentes e sua utilização deve ser feita com cuidado.

Os mecanismos de giro de braços e pás podem estar apoiados em uma viga ou em uma ponte. Quando os espessadores são de diâmetros maiores, esse mecanismo é suportado por uma coluna central e possui um sistema de cabos de aço, capazes de fornecer rotação aos braços e pás e ainda de realizar a elevação desse conjunto, que, quando necessário, pode ser utilizado.



**Figura 3.8 – Modelo de espessador de alta capacidade (WesTech)**

Do ponto de vista prático, os espessadores circulares modernos e equipados com “rake” são extremamente robustos e de simples operação, mas tem que se cuidar para que sua atividade transcorra sem acidentes. Para isso, nos espessadores que possuem o mecanismo de rotação com rastelo, deve-se: i) nivelar o acionamento e o mecanismo; ii) verificar o nível de óleo da base da coroa principal e dos alojamentos dos rolamentos superiores; iii) observar a rotação e a folga dos braços; iv) verificar se há contato com o fundo do tanque; v) caso exista mecanismo de levantamento, verificar as folgas na posição alta e baixa dos braços raspadores; vi) checar o sistema de controle de torque e sua calibração; vii) verificar se todas as proteções estão instaladas.

É preciso também verificar o processo no qual o espessador está inserido e suas condições em geral. Parâmetros importantes: concentração de sólidos na alimentação, concentração desejada de sólidos underflow do espessador, análise granulométrica da polpa de alimentação, capacidade prevista de sólidos secos na alimentação, propriedades químicas da alimentação (alcalinidade, acidez etc), taxa de sedimentação considerada, em ton/m<sup>2</sup>/dia (ton/pés quadrados/24 horas) ou quaisquer outras características de sedimentação, claridade desejada do líquido (overflow) e o tipo e a dosagem prevista dos floculantes e/ou coagulantes, quando utilizados.



Levando-se em consideração o ponto de vista operacional nos circuitos de espessamento, faz-se necessária uma boa familiarização do arranjo das tubulações de alimentação do espessador, da descarga do underflow, dos pontos de dosagem e diluição, no caso da utilização de polímeros para aglomeração de partículas.

Os espessadores têm que ser checados com certa periodicidade, inclusive nas linhas de adição de água, para uma eventual limpeza no sistema de coleta do overflow. A lubrificação, as células de carga e os instrumentos de medição de torque também devem ser submetidos a uma análise criteriosa.

Normalmente associados ao espessador, principalmente ao de lamas, que é mais utilizado para retorno da água ao circuito, encontram-se vários instrumentos que permitem um melhor controle das condições operacionais e do funcionamento do sistema. Entre eles existem, os *densímetros*, para controle da densidade do underflow, o que permite uma análise do percentual de sólidos da descarga e da quantidade de água retida na camada de espessado; os *medidores de fluxo e vazão*, que, associados ao densímetro, permitem o cálculo da massa de sólido no underflow; os *turbidímetros*, que podem ser utilizados para uma melhor visualização e controle da interface de clarificação da água; *sondas de nível e detectores de interface*, que fazem a leitura da zona de compressão e podem estar associados a programas de otimização para uma melhor dosagem de floculante.

Efeitos nocivos ao equipamento podem ser evitados com a utilização da instrumentação e de uma boa operação. Partículas extremamente grosseiras, aterramentos e má utilização de agentes químicos que contribuem na formação de pequenas ilhas de espessado certamente contribuirão para a redução da vida útil do equipamento (Figura 3.9). Alarmes de torque elevado são normalmente o primeiro indício de uma má operação do equipamento.

O torque é um elemento importante na operação de um espessador. Praticamente todos os parâmetros e “set-points” operacionais são definidos a partir da elevação do valor do torque. A figura 3.9 mostra como o trabalho em torques elevados pode ser danoso ao equipamento e gerar transtornos e manutenções não programadas. O torque é calculado de forma empírica e os parâmetros gerados a partir do valor obtido na fórmula:

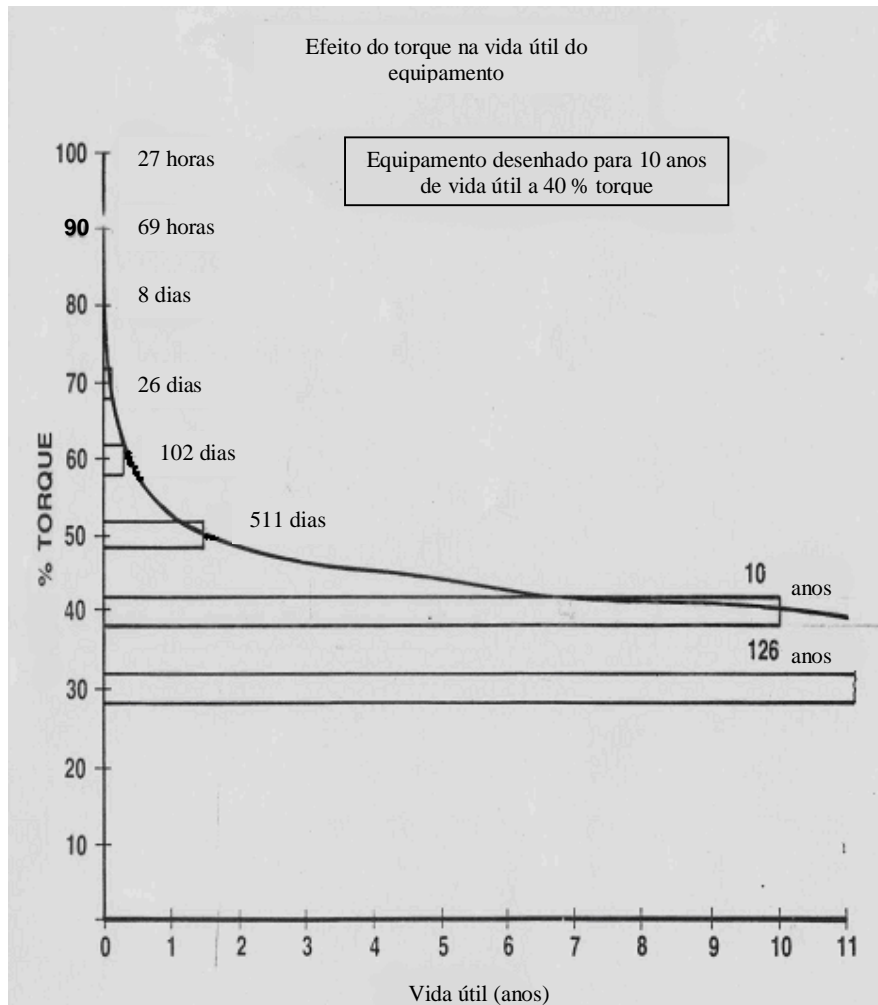
$$T = K \times \Phi^2 \quad (3.1)$$

Onde:

T = torque gerado nas pás;

$\Phi$  = diâmetro do equipamento;

K = constante relacionada ao tipo de material e equipamento.



**Figura 3.9 – Efeito do torque na vida útil de um espessador  
(DORR-OLIVER EIMCO, 2008)**

O torque está em boa parte ligada a uma queda de potência de acordo com a rotação, neste caso, pode ser resumido em algo do tipo: força x eficiência. A constante K determina que cada tipo de material exerça uma resistência diferente ao movimento circular (levando-se em consideração sua taxa de sedimentação, densidade, volume,

massa, etc.), sendo então assumido que cada tipo de material necessita de um determinado tipo de equipamento.

Outro tipo de espessador também conhecido como de alta capacidade, de fabricação da Flsmidth ou similar, difere do primeiro por possuir uma câmara de mistura e floculação antes da alimentação da suspensão, que é feita na parte superior do equipamento, como no sedimentador convencional. A literatura também cita aumentos de capacidade na ordem de 50% para essa configuração (DORR-OLIVER, 1991).

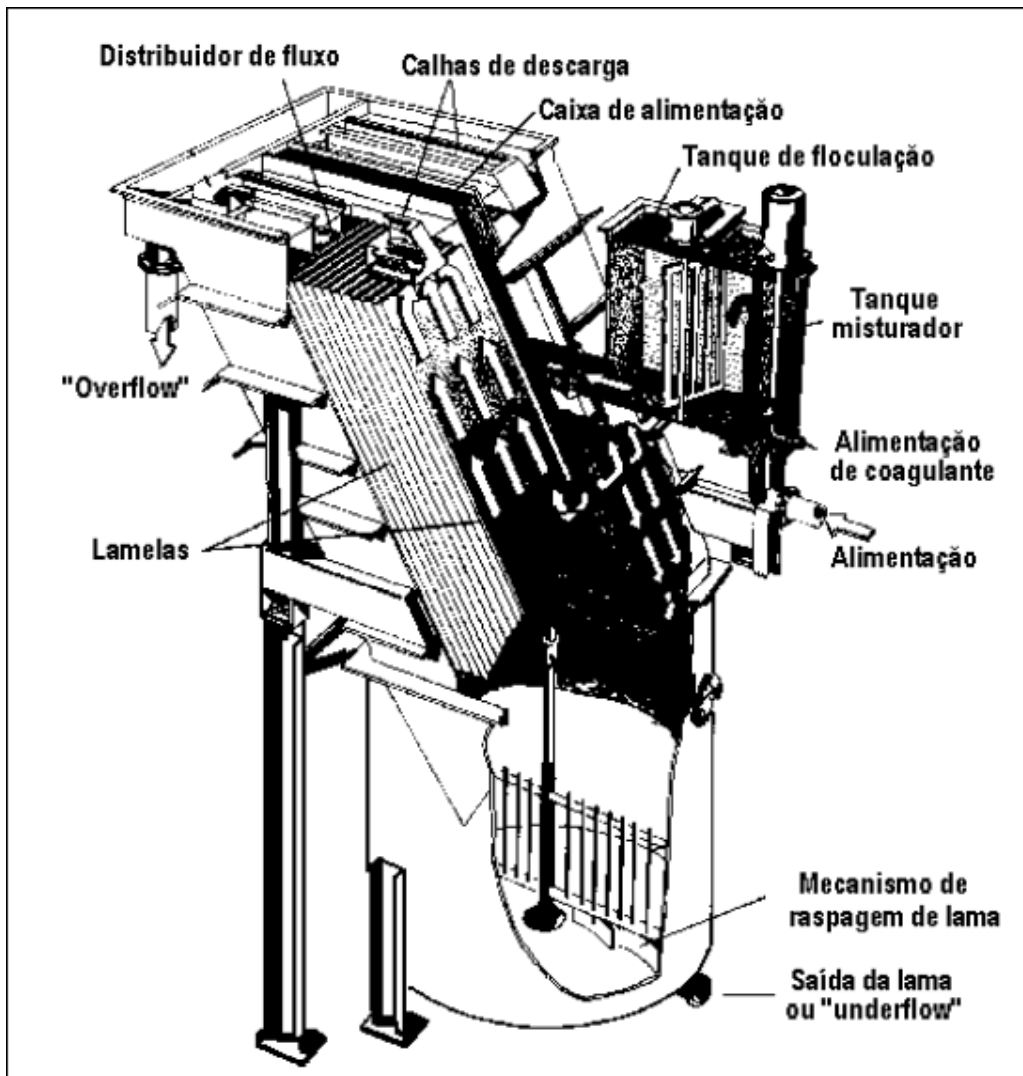
Tem-se ainda os espessadores de lamelas (Figura 3.10). Esses espessadores são constituídos de placas inclinadas, dispostas em paralelo e colocadas na região de sedimentação de tal maneira a reduzir drasticamente a altura e a induzir a queda do material. A partícula sedimenta até encontrar a superfície da placa, passando a movimentar-se sobre ela. O modelo de lamelas segue o princípio de sedimentação de partículas e agregados de Stokes, em que a partícula sólida só sedimenta se a componente de sedimentação for mais efetiva que a componente do fluxo que atravessa as placas, relacionando a distância entre as mesmas, a velocidade de sedimentação das partículas, o fluxo de polpa e o comprimento das placas.

No espessador convencional, a partícula, para espessar, tem que percorrer todo caminho entre o feedwell e o fundo do tanque. No espessador de lamelas, o princípio operacional é totalmente diferente.

Nesses espessadores, a suspensão pode ser introduzida diretamente no compartimento de alimentação ou numa câmara de mistura e floculação. Os sólidos sedimentam sobre as lamelas e deslizam até o fundo do equipamento, formando o espessado. Devido ao tempo de residência e à baixa vibração mecânica no fundo do sedimentador, o material sedimentado sofre um adensamento e é, em seguida, bombeado.

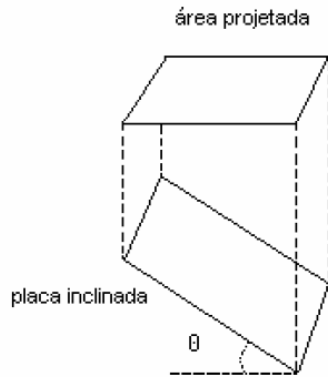
A vantagem dessa configuração é a economia de espaço, uma vez que a capacidade de sedimentação nesses equipamentos é bem maior que no espessador convencional, pois a área efetiva de sedimentação é dada pela soma das áreas projetadas de cada lamela. Outra vantagem da configuração lamelar está na rápida sedimentação, uma vez que o

tempo de sedimentação das partículas sólidas é proporcional à altura de queda vertical, o qual pode ser reduzido, diminuindo-se o espaçamento entre as lamelas.



**Figura 3.10 – Espessador de lamelas (Peres et al.,1981)**

O espessador de lamelas trabalha com a redução da aceleração do fluxo de polpa de forma a fazer com que a componente sedimentação fique maior do que a componente velocidade do fluxo. Como a sedimentação é em função da área e as placas são inclinadas, a área efetiva de sedimentação é menor do que o tamanho das placas (Figura 3.11). Na Prática, utilizam-se placas com inclinação entre  $45^\circ$  e  $55^\circ$  sendo normalmente separadas por uma distância de 50 mm (VALADÃO, 2007).



**Figura 3.11 – Área efetiva de um espessador de lamelas (VALADÃO, 2007)**

Existem espessadores cilíndricos fabricados pela EIMCO nos dias atuais que trabalham com a alimentação abaixo do leito de lama, fazendo com que as lamelas sejam aprisionadas pela camada eliminando a necessidade da sedimentação livre das partículas enquanto o fluido percola o leito ascencionalmente em direção ao líquido clarificado. Essa simples modificação de projeto promove um aumento na capacidade do equipamento em cerca de 30% para suspensões de partículas (FRANÇA, 1996) e de até uma ordem de grandeza para suspensões flocculentas (CONCHA et al., 1994).

Uma nova vertente na área de espessamento são os espessadores de pastas (Figura 3.12). São constituídos por uma área menor quando comparados a espessadores usuais, porém com uma seção cônica muito maior, o que faz com que o desaguamento através da compactação das partículas em função da pressão hidrostática seja bem mais eficiente do que a sedimentação livre ou perturbada de um espessador convencional. Espessadores de pastas podem chegar a densidades de polpas altíssimas, reduzindo drasticamente o volume de barragem requerida para deposição de rejeitos. A pasta mineral é um sistema coloidal que se apresenta como um fluido homogêneo, não apresentando drenagem significativa de água (VALADÃO, 2007).

O método de dimensionamento do espessador de lamelas do tipo “deep cone” ou espessador de pasta é não convencional e passa por alguns detalhes, tais como testes de vazão, que devem ser considerados dentro da teoria de Kynch para sedimentadores. Estes equipamentos transpõe a teoria comum, pois atravessam o percentual de sólidos crítico da teoria de Coe e Clevenger em algum momento, caracterizado por testes de decantação em que a polpa pode variar de 8% a 70% de sólidos. Sendo assim, em algum

momento ela passará pelo G crítico, o que demonstra que espessadores de pasta não podem ser considerados pela teoria tradicional de sedimentação.

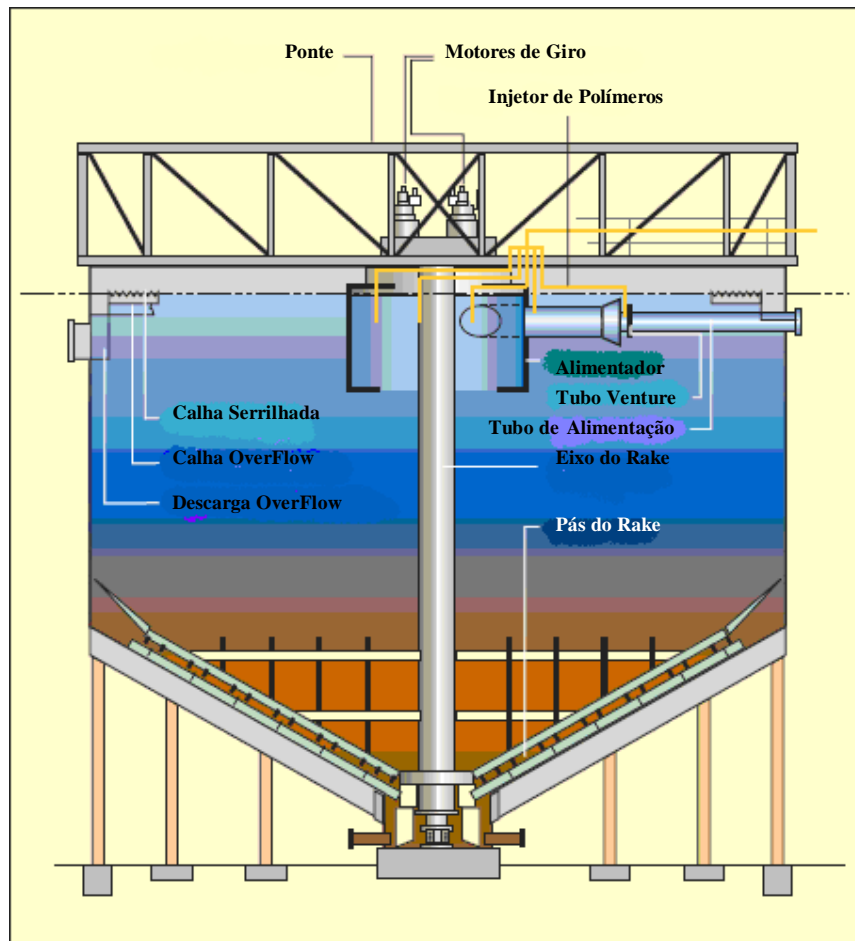
SLOTEE (2005) enumera diversos benefícios para o uso de pastas minerais, tais como uma maior recuperação de água no espessamento, redução do risco de rompimento de barragens e redução de tempo e custo para recuperação das áreas de deposição de rejeitos, além de promover a composição com o estéril para a recuperação da topografia das áreas degradadas. Outras aplicações também podem ser enumeradas para a pasta mineral, tais como “Back fill”, para preenchimento das cavidades deixadas pelo corte em minerações subterrâneas, uma vez que o custo de bombeamento é muito menor que o custo de remoção e deposição de rochas via caminhão.

Os cones de sedimentação ou de desaguamento são equipamentos com forma cônica que se caracterizam por ângulo de ápex de 60° para materiais mais grosseiros e 40° para materiais mais finos (CHAVES, 1996). Atualmente sua aplicação está mais restrita na indústria mineral, inclusive no preenchimento de escavações subterrâneas.

Como se pode observar, existem vários tipos de espessadores e clarificadores. Cada um possui uma função e uma característica que se encaixa na utilização industrial. Pode-se citar na indústria a utilização de espessadores: no tratamento de efluentes industriais e urbanos; no espessamento do concentrado de flotação; na recuperação de água no rejeito; Processo de lixiviação de cobre, urânio e alumina onde os espessadores são utilizados como reatores; utilizado como hidroseparador para classificação no processo de Caulim; produção de pastas de consistência para aterramento de minerações subterrâneas; para a caustificação no processo de celulose e vários outros.

### **3.4 – Agregação (Floculação e coagulação)**

Em muitos casos, mesmo com toda a evolução na tecnologia de espessamento, os volumes a serem espessados e as características do minério levam ao dimensionamento de espessadores com imensas áreas para uma sedimentação eficiente, tornando os equipamentos gigantescos e até perigosos do ponto de vista operacional. Sendo assim, se viu a necessidade da utilização de novos recursos até então desconhecidos.



**Figura 3.12 – Espessador modelo Deep Cone (Catálogo EIMCO, 2008)**

Os reagentes químicos apresentaram grande contribuição no dimensionamento de espessadores. Os reagentes utilizados na floculação e coagulação de sedimentos aumentaram a velocidade de sedimentação, por consequência diminuíram drasticamente as áreas requeridas para o espessamento de grandes volumes de material. TADROS (1989) descreveu os floculantes e coagulantes como agentes químicos capazes de alterar certas propriedades da partícula, promovendo uma estabilização do sistema de forma que partículas se agreguem, aumentando a densidade e por consequência a velocidade de sedimentação.

Os sólidos particulados apresentam certas propriedades específicas que se tornam mais nítidas à medida que sua finura aumenta. A área superficial aumenta de forma considerável, em consequência, as quantidades de cargas elétricas superficiais também são enormes. WILLS (1979) explica o movimento das partículas mais finas como

resultado do aumento da repulsão eletrostática, que além de impedir a agregação natural das partículas, ainda às mantém em constante movimento, impedindo a sedimentação, e como o peso da partícula é desprezível, tem-se um “movimento browniano”. A difusão browniana está relacionada com a tendência apresentada pelas partículas em migrar de uma região mais concentrada para outra, de baixa concentração, sendo uma consequência direta do movimento browniano, com trajetórias irregulares, em ziguezague, devido a colisões ao acaso com as moléculas do meio de suspensão, com outras partículas ou com as paredes do equipamento. Quanto menor for a partícula, mais nítido será o movimento browniano.

Muitas lamas minerais abrangem uma grande faixa granulométrica, como consequência, não sedimentam com uma interface clara. A coagulação atua em partículas de tamanhos diminutos e formam coágulos também de tamanhos reduzidos. Para particulados maiores, é utilizado outro auxiliar de sedimentação, chamado floculante. Suspensões formadas com partículas muito finas geralmente apresentam resistência à floculação devido às forças resultantes das interações entre as partículas em suspensão, o primeiro passo no processo de floculação é a desestabilização destas partículas com a eliminação destas forças.

Em qualquer sistema proposto, as cargas elétricas de partículas semelhantes terão o mesmo sinal, e usualmente, em suspensões com pH acima de 4,0, o valor da carga da superfície do material será negativo. Superfícies positivamente carregadas geralmente ocorrem em soluções fortemente ácidas. O controle de pH também é amplamente utilizado para o controle de cargas de superfície, pois o  $H^+$  e o  $OH^-$  são os íons determinadores de potencial para a maioria das espécies minerais. Ao adicionarmos estes íons, atingem-se os pontos isoelétricos (PIE), em que as cargas das superfícies são nulas, fazendo cessar assim a repulsão eletrostática.

Qualquer partícula exerce uma força molecular natural de atração, chamada de forças de London ou forças de Van der Waals. Porém tais forças só se tornam efetivas a distâncias extremamente curtas e são de intensidades muito menores que as forças eletrostáticas. Em todo sistema conhecido existe um balanço específico entre as forças moleculares atrativas e as forças de repulsão elétrica presentes em uma interface sólido-líquido. À



medida que a distância aumenta, diminui a intensidade das forças de Van der Waals e começa a haver maior ação das forças de repulsão eletrostática.

Para casos de espessamento uma desestabilização do sistema é necessária para a formação de flóculos. Preferencialmente uma desestabilização irreversível é melhor para que aconteça a agregação.

O fenômeno de agregação acontece quando partículas entram em contato e conseguem permanecer juntas. A massa do agregado é maior e sua superfície menor. A partir de certo tamanho crítico, a agregação torna-se mais fácil e mais rápida, criando condições para a partícula deixar de estar sujeita ao movimento browniano e passar a sedimentar. A agitação no meio, em princípio suficiente para fazer as partículas colidirem ou pelo menos chegarem tão próximas umas das outras para que as forças moleculares passem a atuar, funciona apenas em alguns casos especiais.

A dispersão de um sistema de partículas pode ser estabilizada por dois mecanismos básicos: estabilização elétrica e ação de um colóide protetor. A desestabilização da dispersão é o fenômeno inverso, obtido através da inibição desses dois conjuntos de mecanismos. A desestabilização elétrica pode ser obtida através da adição de coagulantes e reguladores de pH, genericamente designados como “eletrólitos”.

Para se agregar as partículas, usam-se eletrólitos cujas cargas sejam de sinal oposto ao da superfície da partícula, neutralizando parte da carga e diminuindo a repulsão eletrostática, permitindo que as forças de Van Der Waals atuem e dando início ao fenômeno de coagulação. Sais inorgânicos têm sido usados para este propósito, e como contra-íons em soluções aquosas são mais frequentemente carregados positivamente, possuindo cátions fortemente carregados, como  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$  e  $Ca^{2+}$ . O resultado é a neutralização elétrica da superfície, aproximação das partículas, sua agregação e a formação de um coágulo de densidade superior a das partículas individuais.

A maioria dos polímeros sintéticos utilizados no processamento mineral e hidrometalurgia são baseados na química do acrílico. Floculantes baseados em poliacrilamidas representam a maior classe de reagentes orgânicos. A floculação é a agregação obtida por intermédio de polímeros orgânicos que possuem normalmente

elevado peso molecular, realizando ligações entre partículas, servindo como pontes e originando agregados denominados flóculos ou flocos.

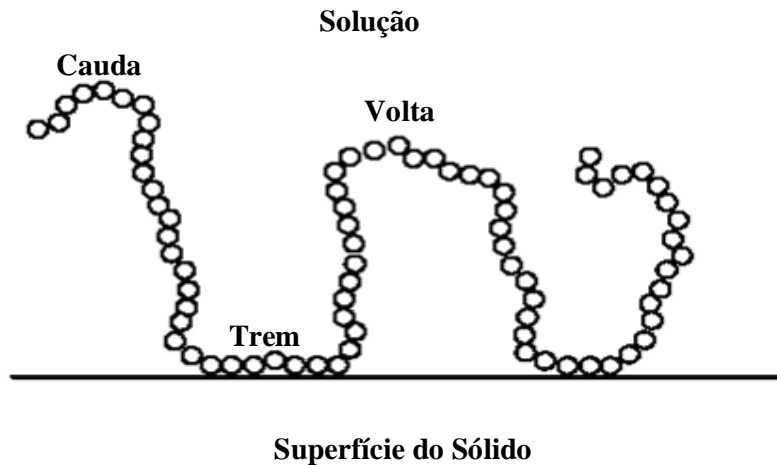
A primeira utilização conhecida de flocculantes orgânicos em mineração ocorreu em 1931, com a dosagem de amido para clarificar efluentes em lavadores de carvão, porém, os polieletrólitos, como são conhecidos os flocculantes, são utilizados para clarificar a água há muito mais tempo.

Polieletrólitos são polímeros orgânicos de cadeia linear e peso molecular elevado devido a suas longas cadeias. O peso molecular apresenta-se um fator importante se for considerado que em baixos valores a flocculação pode ficar prejudicada pela falta de capacidade do polímero em formar ligações. Caso contrário, se o peso for alto pode significar problemas na solubilidade. Possuem radicais eletricamente ativos. ADAMSON(1981) designou o termo flocculante com uma descrição mais usual de moléculas de alto peso molecular, solúveis em água e geralmente conhecidas como poliacrilamidas.

Sua ação é diferente dos coagulantes e varia de acordo com o comprimento da cadeia. Um flocculante catiônico pode ser adsorvido numa área restrita de sua superfície neutralizando as cargas negativas destas localidades, mas deixando “ilhas” de cargas positivas cercada de cargas negativas. Pode ocorrer então a atração de cargas positivas pela carga negativa de outra ou vice-versa, dando início a formação de um floco.

Outro mecanismo da flocculação é a formação de pontes. O polímero é adsorvido pela partícula apenas em alguns pontos da cadeia molecular, o resto da cadeia fica livre para se adsorver a outras partículas (Figura 3.13). Conforme o peso molecular aumenta, os flocos tendem a um tamanho maior e por conseqüência a uma sedimentação mais rápida, contudo também tendem a uma maior sensibilidade às tensões de cisalhamento e a maior retenção de líquidos no interior do floco.

Para duas partículas virem a se separar, alguma perturbação na estrutura das duas regiões de interface deve ocorrer, levando a uma interação repulsiva. Essa é a razão, por exemplo, porque partículas de sílica em água são difíceis de coagular com a adição de eletrólitos.



**Figura 3.13: Conformação de um polímero sobre a superfície da partícula. (HOGG, 2004)**

A capacidade do polímero de adsorver sobre a superfície da partícula pode tornar-se nociva em termos de floculação se o polímero ocupar toda a superfície da partícula. Nesta condição ele passa a comportar-se como um colóide protetor e anula completamente o efeito floculante. Isso acontece quando não se respeita o limite de adição do polímero e dosa-se em excesso ou quando a cadeia do polímero é quebrada por uma ação de cisalhamento.

Ao superdosar o floculante o reagente pode envolver toda a área superficial e neutralizar toda a carga de superfície da partícula levando a eliminação do efeito agregador do polímero. Uma vez que o reagente se adsorve em toda a superfície da partícula é novamente necessária a atuação das forças de London para que ocorra a aglomeração. Este efeito também ocorre ao se romper a estrutura do polímero, reduzindo o tamanho da cadeia e fazendo com que ele se adsorva completamente na superfície da partícula.

A presença de polímeros pode modificar as forças de Van der Waals e as forças eletrostáticas no caso de partículas carregadas, ambos os casos são muito difíceis de serem modelados.

Com a adsorção dos polímeros e contato entre as partículas começa a formação dos flocos e o processo de sedimentação começa a tomar forma e rapidez, como descrito na tabela 3.2. Através do tanque começa a formação de uma extensa rede que ao se deslocar para baixo captura outras partículas em processo de descida mais lenta ou até mesmo de ascensão, devido a fluxo de líquido que se desloca para cima e carrega partículas menores, fenômeno que é conhecido como “Rise Rattling” e representa uma importante variável a ser considerada no dimensionamento de espessadores.

**Tabela 3.2 – Seqüência de eventos no processo de floculação  
(FARINATO et al., 2003)**

Dispersão e transporte	
Colisão polímero-partícula	
Adsorção	
Reconformação	
Colisão partícula-partícula	
Desestabilização da partícula	<b>Floculação</b>
Agregação partícula-partícula	
Estrutura agregada e crescimento do floco	
Sedimentação / Espessamento	
Desaguamento	

### 3.5 – Viscosidade e reologia

A viscosidade de um fluido pode ser definida como sendo propriedade que o mesmo apresenta em oferecer uma maior ou menor resistência à deformação, quando sujeito aos esforços de escorregamento. O fluido, em tratamento de minérios, é constituído pelo sistema água/sólido, ou seja, a polpa.

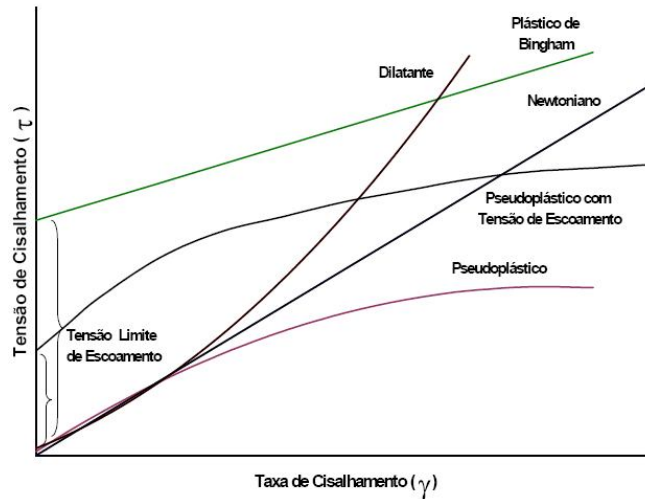
Isaac Newton realizou um dos primeiros estudos de fluxo de um fluido. Um fluido Newtoniano caracteriza-se por possuir viscosidade constante, independente da variação da taxa de cisalhamento. Outros fluidos podem apresentar uma viscosidade dependente da taxa de cisalhamento. Estes são os fluidos não-newtonianos e podem ser classificados em pseudoplástico com tensão de escoamento, plástico de Bingham, pseudoplástico e dilatante. Todos estes tipos de escoamento são independentes do tempo de atuação de uma taxa de cisalhamento constante. Há casos de escoamento de

fluidos dependentes do tempo de aplicação de uma força de cisalhamento, eles são classificados como tixotrópicos ou reopéticos.

Os tixotrópicos apresentam uma diminuição da viscosidade aparente com o tempo de atuação do cisalhamento até alcançar um equilíbrio, podemos citar como exemplo a bentonita, que dependendo do estado de agitação se “liquefaz” e quando em repouso se solidifica. Os reopéticos são raros e apresentam o comportamento oposto aos dos tixotrópicos. A figura 3.14 mostra um gráfico do comportamento de cada material para diferentes tensões de cisalhamento.

A reologia de suspensões compreende o estudo do comportamento de fluxo de suspensões de sólidos, utilizando principalmente, a determinação da viscosidade aparente e a tensão de escoamento. Segundo BARNES et al. (1989) o estudo da deformação e fluxo da matéria, os quais envolvem fenômenos de elasticidade, plasticidade e viscosidade, constitui-se no principal objetivo da reologia. (FERREIRA et al., 2005).

Partículas esféricas ou com forma aproximada à esférica têm uma maior facilidade de sedimentar do que partículas de mesmo peso com formato irregular. Comportamento semelhante é observado na sedimentação de partículas de maior diâmetro, diante das muito finas. Uma alternativa à irregularidade e ao pequeno diâmetro de partículas é a floculação, que promove a aglomeração das partículas resultando em unidades maiores e com forma mais aproximada da esférica, conferindo melhorias às características de sedimentação da suspensão.



**Figura 3.14: Classificação do comportamento reológico de diferentes tipos de suspensões. (BAKSHI, A.K.; KAWATRA, S.K., 2007)**

Podemos caracterizar a turbulência a que uma partícula em movimento está submetida pelo número de Reynolds:

$$Re_p = \frac{\rho_L \cdot V \cdot d_i}{\mu} \quad (3.2)$$

Onde:

$\rho_L$  = densidade ou peso específico do fluido ( $\text{ton/m}^3$ );

$\mu$  = viscosidade absoluta ou dinâmica do fluido (m/s);

$d_i$  = diâmetro da partícula(m);

$V$  = velocidade relativa partícula-fluido (kg/m.s)

Não há limites bem definidos para este número na caracterização dos tipos de regime: Laminar, turbulento e intermediário. Para partículas esféricas o regime laminar (Lei de Stokes) pode ser verificado para Reynolds menor ou igual a 0,1 podendo chegar a 2,0 em condições bem controladas. O regime turbulento (Lei de Newton) estaria compreendido na faixa de valores de 500 a 1000 até 150.000 e o regime intermediário entre eles.

Para partículas irregulares, torna-se necessário realizar uma correção no número de Reynolds mediante o cálculo do fator de esfericidade da partícula, que leva em consideração o diâmetro volumétrico e o diâmetro de área da partícula.

$$\varphi = \left( \frac{d_v}{d_s} \right)^2 \quad (3.3)$$

Onde:

$d_v$  = diâmetro volumétrico, ou seja, o diâmetro de uma esfera que tenha o mesmo volume da partícula;

$d_s$  = diâmetro de área, ou seja, o diâmetro de uma esfera que tenha a mesma área da partícula.

Considerando uma partícula esférica em queda livre, grande parte dos mecanismos que a governam pode ser descrito pelas leis de Newton e Stokes.

Newton concluiu que a força de resistência exercida pelo fluido ao movimento de uma partícula varia com o quadrado de sua velocidade, porém, leva em consideração apenas o aspecto dinâmico da força de resistência do fluido à partícula, não considerando aspectos de turbulência e da viscosidade, razão pela qual foi inserido um coeficiente de correção na equação denominado de coeficiente de resistência ou arraste para determinação da força  $F_d$ :

$$F_d = \frac{1}{2} A \cdot \rho_L \cdot V^2 \cdot C_d \quad (3.4)$$

Onde:

$F_d$  = força de resistência ou arraste ( $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$ );

$C_d$  = coeficiente de resistência ou arraste (adimensional);

$A$  = área projetada da partícula, normal ao seu movimento ( $\text{m}^2$ ).

No regime turbulento, nota-se que a viscosidade não apresenta um papel importante na magnitude da força de resistência. Em uma sedimentação, o balanço das forças atuantes na partícula envolverá a força peso no sentido da sedimentação, e no sentido contrário o

empuxo e a força de arraste. Quando houver igualdade na intensidade dessas forças de forma que a resultante seja zero, sua aceleração será nula e conferirá à partícula uma velocidade constante denominada velocidade terminal de queda ou sedimentação. Para partículas esféricas, a velocidade terminal será dada pela equação baseada na lei de Newton e na lei de Stokes:

Lei de Newton (regime turbulento)

$$V_s = \sqrt{\frac{4 \cdot d_i \cdot (\rho_s - \rho_p) \cdot g}{3 \cdot \rho_L \cdot C_d}} \quad (3.5)$$

Onde:

$V_s$  = velocidade terminal de sedimentação (m/s);

$\rho_s$  = densidade do sólido ( $t/m^3$ );

$\rho_p$  = densidade da polpa ( $t/m^3$ ).

Lei de Stokes (regime laminar)

$$V_s = \frac{d_i^2 \cdot (\rho_s - \rho_p) \cdot g}{18 \cdot \mu} \quad (3.6)$$

$$F_d = 3 \cdot \pi \cdot d_i \cdot \mu \cdot V \quad (3.7)$$

As polpas de minério podem apresentar um comportamento reológico newtoniano ou não, de acordo com sua relação de dependência com a viscosidade. No caso de independência, a viscosidade medida em qualquer ponto será a mesma, desde que não adicionado nenhum agente modificador, e o movimento será newtoniano. Quando for dependente a viscosidade será modificada constantemente dependendo do grau de agitação da polpa e o movimento será não-newtoniano.

Uma polpa, formada principalmente por partículas de tamanho extremamente reduzido e com superfícies imensamente carregadas, pode ser descrita como um sistema no qual a

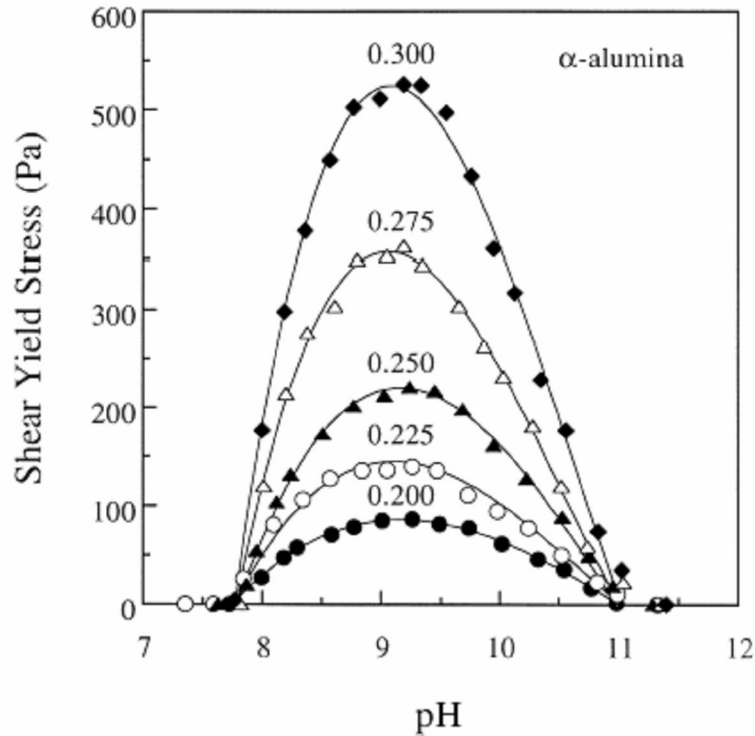


fase sólida encontra-se dispersa na fase líquida. Devido à carga superficial apresentada pelas partículas, forças atrativas de Van der Waals e forças repulsivas de caráter eletrostático dominam as interações entre partículas. A resultante destas interações irá determinar a natureza da reologia da polpa.

Outros tipos de fluidos não-newtonianos são fluidos plásticos. Estes fluidos necessitam de uma tensão finita, conhecida como tensão de escoamento, para que ocorra o movimento das partículas. Esse comportamento é característico de suspensões pseudo-homogêneas de partículas finas ou ultrafinas. Segundo NGUYEN e BOGER (1992), o valor da tensão de escoamento denota a transição entre o comportamento de um sólido e um líquido. Uma das principais aplicações desse parâmetro tem sido no projeto e monitoramento do transporte de suspensões através de bombeamento, onde se deseja um valor da tensão de escoamento que possibilite o transporte de suspensões sem a ocorrência de sedimentação de partículas.

A reologia de polpa desempenha um papel muito importante na sedimentação, principalmente no transporte de polpas ao longo de dutos em usinas e minerodutos. A influência da reologia não é bem compreendida e, em vista disso ela raramente é incorporada como uma variável de projeto, principalmente em função da dificuldade de se estudar a reologia de suspensões instáveis. Com o auxílio de instrumentos mais modernos, novas variáveis foram incorporadas ao efeito na viscosidade da polpa, tais como a temperaturas e distribuição granulométrica das partículas.

Quando JOHNSON et al.(2000) realizaram estudos e mostraram que as tensões de cisalhamento aumentam no ponto de carga zero, creditaram o achado ao fato de existir um menor grau de repulsão entre as partículas, permitindo uma maior agregação e por consequência aumentando a tensão de cisalhamento (figura 3.15).



**Figura 3.15: Tensão de escoamento de uma amostra de alumina em função do pH para diferentes porcentagens de sólidos. (JOHNSON et al., 2000)**

### 3.6 – Comportamento da Sedimentação

A separação de sólidos grosseiros de uma suspensão é uma operação mais simples de conduzir do que a de partículas finas. Essa separação pode ser realizada em tanques de decantação operando em batelada ou em processo contínuo. As partículas podem ser retiradas pelo fundo do decantador e o fluido um pouco acima, ou ambos pelo fundo, através de manobras adequadas. Esses equipamentos, entretanto, não permitem a classificação dos sólidos pelo tamanho.

A sedimentação de sólidos finos pode ser feita sem interferência mútua das partículas (sedimentação livre) ou com interferência (sedimentação retardada). O tipo de sedimentação, de modo geral, depende da concentração de sólidos na suspensão, como visto na tabela 3.3. A velocidade de sedimentação pode ser calculada através de correlações empíricas para a decantação retardada e pelas leis de Stokes e Newton, como visto anteriormente.

**Tabela 3.3 – Classificação dos tipos de sedimentação (SPOTTISWOOD, 1989).**

Descrição da Polpa	Descrição da Sedimentação	Exemplos	Métodos de Teste
Diluída (clarificação)	Partículas ou flocos inicialmente sedimentam independentemente, sem interface. A sedimentação depende muito do tamanho da partícula ou floco, mas também da concentração.	Água turva, silte e rejeito tratado	Proveta
Intermediário (clarificação)	Acima da zona de subsidência, independente da partícula e abaixo da zona de subsidência coletiva. Não existe interface clara neste caso.	Lamas de tratamentos químicos e metalúrgicos, sedimentos brutos	Proveta e curvas de fluxo de Kynch
Concentrado (espessamento)	O material sedimenta com interface clara. A taxa de sedimentação é função somente da concentração. Na prática, a taxa inicial de sedimentação pode aumentar segundo a formação do flóculo e decair à medida que atravessa a interface.	Lamas de tratamentos químicos e metalúrgicos, lamas ativadas.	Curvas de fluxo de Kynch.
Compressíveis (espessamento)	Sedimentação inicialmente com interface clara. Camada de lama não ideal. Depende da espessura da camada.	Particularmente suspensões floculadas	Curvas de fluxo de Kynch.

De forma geral, utilizam-se dois critérios para especificar um equipamento de sedimentação: área de superfície e profundidade (embora seja motivo de controvérsia se o último precisa ou não ser avaliado com critério). Como já mencionado, a área de superfície precisa ser determinada e necessita ser grande o suficiente para garantir que a velocidade ascendente do líquido não seja maior que a velocidade de sedimentação da partícula mais lenta a ser recuperada.

Fluidização e sedimentação podem ser tratadas juntamente como uma extensão de uma camada estacionária de sólidos. A diferença é que, neste caso, as partículas estão pressionadas umas contra as outras, enquanto na fluidização e na sedimentação isso não é verdade. Hidrodinamicamente existe pouca diferença entre as duas e ambas podem ser consideradas camadas estacionárias em que as partículas são livres para se movimentarem para camadas diferentes. Fluidização e sedimentação são distinguíveis na forma que se dá essa movimentação do sólido ou do fluido.

Sedimentação, ou afundamento conturbado, essencialmente representa o oposto da fluidização. Geralmente as partículas são pequenas o suficiente para acelerarem

rapidamente, igualando as forças ascensionais, e se depositarem ao fundo com a chamada velocidade terminal, porém podem existir casos de clarificação em que o sólido apresenta fases diferentes e produz interfaces importantes na determinação da velocidade de sedimentação, conforme mostrado na figura 3.16.

A velocidade terminal é a velocidade em que as forças que atuam sobre a partícula atingem um equilíbrio e a mesma começa a sedimentar com velocidade constante. O comportamento de um sólido se movendo por fluido pode ser analisado levando em consideração a massa e a componente aceleração da partícula. O produto dessas duas variáveis será a somatória das forças existentes no sistema, ou seja, se a componente aceleração for nula, a somatória de forças será zero e a partícula terá atingido sua velocidade terminal. Isso quer dizer que, se uma partícula estiver se movendo sobre a ação de uma força externa, como a gravitacional, existirão forças como o empuxo e a força exercida pelo líquido ascendente que irão contrabalancear a resultante.

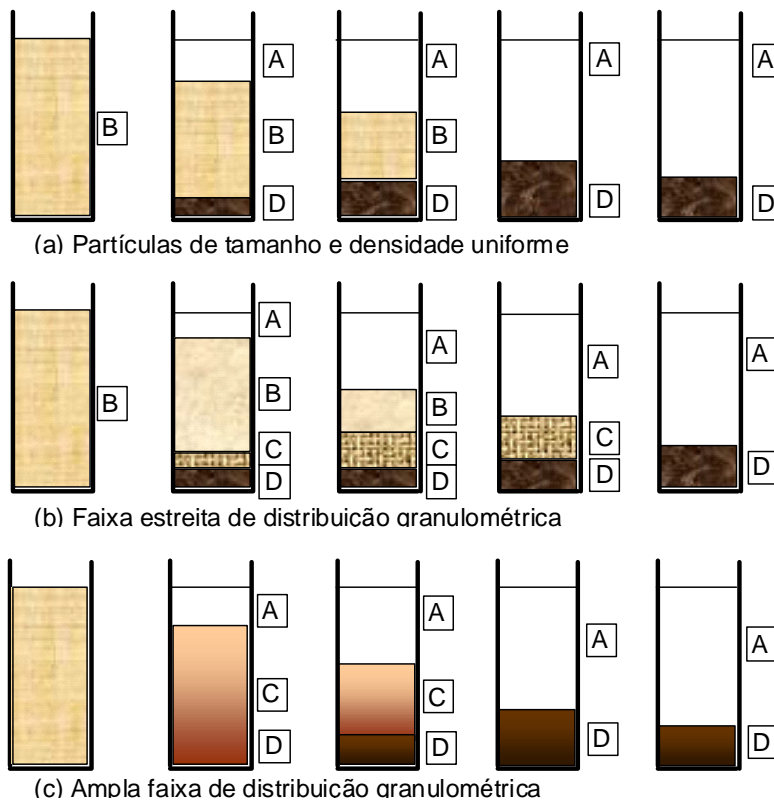
Se uma polpa composta por partículas de mesmo tamanho e densidade for colocada em um cilindro e deixada para sedimentar, como ilustrado na figura 3.16a, essas partículas provavelmente serão pequenas o suficiente para atingirem a velocidade terminal, produzindo uma interface descendente entre o líquido clarificado A e a polpa. Enquanto as partículas chegam ao fundo, surge uma interface entre o sólido sedimentado e os em processo de sedimentação. É importante ressaltar que, durante o processo, a concentração de sólidos na fase B permanece inalterada. Eventualmente, as duas interfaces se encontrarão no ponto crítico e depois a fase D passará a sofrer os efeitos da compressão.

Se uma pequena distribuição de partículas estiver presente, o processo será descrito pela figura 3.16b, a fase D terá uma alta proporção e uma alta taxa de crescimento enquanto a zona C é uma fase de variada distribuição granulométrica e concentração de sólidos, porém de difícil visualização.

Quando se tem uma alta variedade de tamanhos, o comportamento da sedimentação é descrito na figura 3.16c, em que a zona C forma-se imediatamente, sem que, para isso, a zona B precise existir. No entanto, para altas concentrações de sólidos, presumindo que tenham a mesma densidade, os espaços deixados entre as partículas maiores podem ser

muito pequenos, o suficiente para formar uma camada que previne a sedimentação das partículas menores e o comportamento é semelhante ao primeiro caso. Geralmente, quanto mais irregular o formato das partículas, menor a densidade da polpa e maior a probabilidade desse evento ocorrer. É chamado de travamento interno e estudos mais recentes indicam que é causado por fatores mecânicos, mas regidos por hidrodinâmicos.

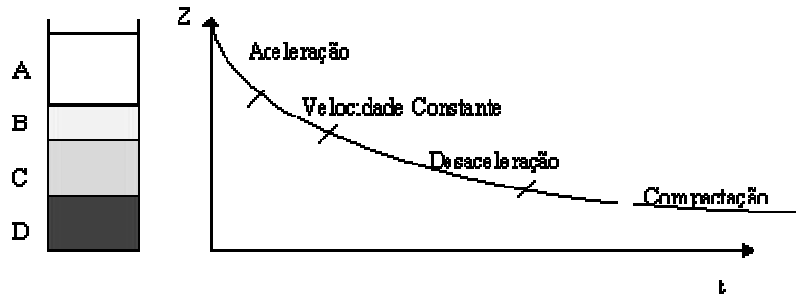
Na prática, esse teste não fornece uma indicação muito precisa para o dimensionamento de espessadores, nem mesmo para seu desempenho, uma vez que falha ao não considerar a distribuição granulométrica das partículas. Uma das dificuldades encontradas no projeto de sedimentadores contínuos é a determinação da velocidade de sedimentação das partículas. KYNCH (1952) apresentou uma teoria da sedimentação, até hoje utilizada para o projeto de sedimentadores, principalmente para sedimentos pouco compressíveis.



**Figura 3.16 – Teste para o comportamento de sedimentação (WILLS, 1997)**

A simplicidade desse método (Figura 3.17) tem induzido pesquisadores a encontrar um método similar, baseado na teoria de Kynch, adaptando-o a sedimentos compressíveis, como é a maioria dos sedimentos encontrados industrialmente. Por outro lado, na

maioria das vezes a taxa de sedimentação obtida no ensaio de sedimentação em batelada é inferior à obtida no sedimentador contínuo. Faz-se necessário, portanto, identificar as variáveis que afetam a velocidade de sedimentação nos ensaios de sedimentação em batelada.



**Figura 3.17 – Teste de sedimentação em batelada (KYNCH, 1952)**

A teoria de sedimentação é baseada na teoria das misturas, que assume que o sistema particulado é composto por duas médias contínuas e sobrepostas, obedecendo às seguintes restrições:

- a partícula sólida é pequena e possui a mesma densidade, formato e tamanho;
- o sólido e o fluido são incompressíveis;
- não há transferência de massa entre componente;
- a gravidade não é a única força atuante.

A teoria de misturas colocou uma fronteira de atuação entre os testes de batelada e sedimentação contínua. THACKER e LAVELLE (1977) usaram a mesma teoria para as soluções incompressíveis. Após este limite, os testes de batelada passam a fornecer valores sempre maiores que os dos equipamentos industriais. Sendo assim, respeitando essa fronteira, passamos a utilizar as curvas de fluxo de Kynch para determinação da área do espessador. Na tabela 3.4, têm-se diversos valores de áreas unitárias para um grande número de materiais diferentes.

### **3.6.1 – Fatores dos quais dependem a sedimentação de uma partícula.**

Existem diversos aspectos a serem considerados quando se estuda o comportamento de materiais diversos durante o processo de deposição. Vários estudos sugerem fatores

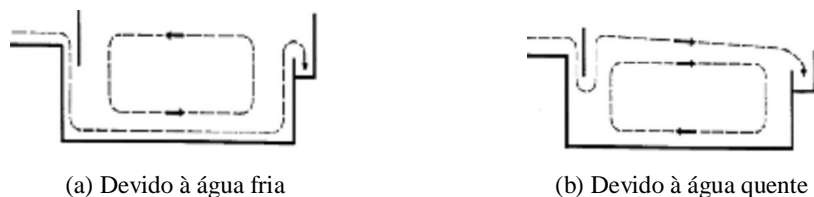
como concentração de sólidos em suspensão ou a temperatura da água (ou qualquer meio nos quais os particulados sólidos estejam em suspensão) como condições de extrema importância na sedimentação ou decantação.

Variações de concentração de particulados modificam, em primeiro lugar, a forma de sedimentação das partículas. Com uma concentração mais baixa na solução tem-se uma sedimentação livre, ou seja, poucos obstáculos se interpõe ao movimento das partículas e poucas interações acontecem, deixando o regime mais estável. Assim como as propriedades das partículas modificam a forma de deposição (sedimentação para partículas livres ou decantação para partículas floculadas).

Tabela 3.4 – Dimensões unitárias para diversos tipos de suspensões (VALADÃO, 2007)

Valores estimados para projeto	% sólidos alimentação	% sólidos UF	área unitária m <sup>2</sup> /t.dia
alumina,lama vermelha-Bayer			
Primário	3 - 4	10 - 25	2 - 5
Lavadores	6 - 8	15 - 25	1 - 4
Final	6 - 8	20 - 35	1 - 3
Hidrato			
Finos	2 - 10	30 - 50	1 - 3
cimento, processo úmido	16 - 20	60 - 70	-
Carvão			
Rejeito	0,5 - 6	20 - 40	-
finos-carvão limpo	-	20 - 50	-
meio denso(magnesita0	20 - 30	60 - 70	-
pó de aciaria			
alto forno	0,2 - 2	40 - 60	-
BOF	0,2 - 2	30 - 70	-
hidróxido de mg de salmoura	8 - 10	25 - 50	6 - 10
hidróxido de mg de água do mar			
Primário	2 - 3	15 - 20	10 - 26
Lavadores	5 - 10	20 - 30	10 - 15
Metalúrgicos			
concentrados de cobre	15 - 30	50 - 75	0,2 - 0,6
rejeitos de cobre	10 - 30	45 - 65	0,04 - 1
minério de ferro			
concentrados finos	20 - 35	60 - 70	0,004 - 0,008
concentrados grossos	25 - 50	65 - 80	0,002 - 0,005
Rejeitos	1 - 10	40 - 60	0,4 - 1
concentrados de chumbo	20 - 25	60 - 80	0,2 - 0,6
Manganês			
resíduo de lixiviação	0,5 - 2	5 - 9	10 - 20
Molibidênio			
Concentrado	10	30	1 - 1,5
concentrado scavenger	8	40	0,5
Lamas	-	50 - 60	1 - 1,5
Níquel			
resíduo de lixiviação	10 - 25	50 - 60	0,5 - 1,5
concentrados de sulfetos	3 - 5	65	0,5 - 2
concentrados de zinco	10 - 20	50 - 60	0,3 - 0,7
Potássio			
sais de cristalização	10 - 25	35 - 50	-
Lamas	1 - 5	6 - 25	4 - 20
Urânio			
minério lixiviado em ácido	10 - 30	45 - 65	0,15 - 0,6
minério lixiviado em álcalis	20	60	1
Precipitado	1 - 2	10 - 25	5 - 12,7

Adicionalmente, mudanças de temperatura ou concentração produzem variações de densidade na água e geram corrente cinéticas ou térmicas que podem gerar curtos-circuitos hidráulicos nas unidades de sedimentação. Ao se entrar com água mais fria, a massa de água se desloca pelo fundo (figura 3.18a), o inverso acontecendo ao se introduzir água mais quente ao processo (Figura 3.18b).



(a) Devido à água fria

(b) Devido à água quente

Figura 3.18 – Correntes térmicas (MILLÁN, 2008)

No caso de se variar as concentrações, se produzem correntes de densidade devido a diferença da massa de água que adentra ao equipamento e que podem criar forças de maior interferência do que as térmicas. Afortunadamente, as maiores concentrações devem estar ao fundo, no entanto, qualquer perturbação do fluxo, seja pela temperatura, obstrução ou até mesmo o simples movimento do rake pode provocar alterações no equilíbrio e produzir um fluxo sinuoso ou envolvente sobre si mesmo, muito diferente do teórico calculado, mesmo nos sedimentadores mais bem desenhados.

Os critérios e parâmetros hidráulicos do sedimentador são responsáveis por grandes interferências nos equipamentos industriais.

Na zona de entrada do sedimentador, deve-se tomar cuidado para não gerar uma turbulência excessiva, uma vez que a mesma pode se transferir para outras zonas do equipamento, pois as massas de polpa entram com velocidades diferentes. Muitas vezes convém se colocar dissipadores de energia para se garantir que a turbulência não ultrapasse o limite desejado a floculação. Além disso, a caixa de recebimento, ou “Feed Well” deve promover uma distribuição igualitária da massa recebida em todo o sedimentador para que se evitem as correntes cinéticas formadas pela diferença de densidade nas diversas regiões do sistema.

Na zona de sedimentação deve haver o menor número de interferências possível. Determinado pelo número de Reynolds, que deve ser o mais baixo possível, caracterizando um regime lamelar, as linhas de fluxos geradas pelo descenso do material e pela ascensão da água não deve encontrar nenhuma obstrução que altere seu comportamento.



A zona de saída se caracteriza pela coleta uniforme da água clarificada por toda a extensão do clarificador. Uma canaleta mal projetada, bem como calhas mal dimensionadas pode inutilizar grandes áreas do espessador.

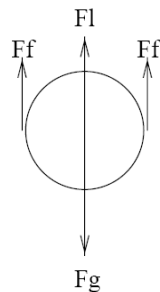
Paradoxalmente, os fatores externos ao processo de sedimentação, como mau acondicionamento da polpa, práticas operacionais e condições ambientais são os que têm mais influência sobre o desempenho de um decantador ou espessador. Até mesmo o vento forte pode alterar as correntes na superfície de decantação e prejudicar o delicado equilíbrio entre as massas de água.

As partículas em suspensão se sedimentam de diferentes formas, de acordo com sua concentração ou suas características físico-químicas, assim podemos nos referir a sedimentação de partículas discretas, sedimentação de partículas floculadas ou sedimentação livre ou interferida.

Partículas discretas são aquelas que não se alteram durante a queda (formato, tamanho ou densidade), ao contrário de partículas floculadas, que como visto, é resultado da aglomeração de partículas desestabilizadas pela ação de agentes químicos. É denominada sedimentação ou sedimentação simples aquela que ocorre com a sua totalidade de partículas discretas.

Quando existe uma baixa concentração de material, as partículas se depositam sem interferência, a este evento dá-se o nome de sedimentação livre. Em contrapartida, quando existem grandes concentrações de partículas na água, se produzem colisões que as mantêm unidas, fazendo que se depositem massivamente em um lugar único. A este processo dá-se o nome de sedimentação interferida ou sedimentação por zona. Quando temos uma sedimentação livre com partículas discretas, pode-se descrevê-la levando em consideração somente a mecânica clássica (figura 3.19), pois temos apenas as características físico-químicas da partícula como agentes na sedimentação tendo como base o princípio de Arquimedes, em que o empuxo é igual à massa de água deslocada pela partícula e a força gravitacional que age sobre a partícula. Quando uma partícula discreta sedimenta livremente, a água deslocada pelo seu movimento desloca-se para cima sem causar interferências, no entanto, na sedimentação interferida, a distância entre as partículas é tão pequena que o líquido deslocado pelas partículas formam linhas

ascendentes de fluxos que aumentam de velocidade a medida que o número de partículas aumenta e se interferem nos campos situados ao redor de partículas individuais. Estes fluxos não seguem linhas paralelas, sendo sua trajetória irregular o principal responsável por sua interferência na sedimentação.



**Figura 3.19 – Diagrama de forças na sedimentação de partículas discretas**

Onde:

$F_f$  = força de fricção entre partículas e o fluido;

$F_l$  = Empuxo;

$F_g$  = Força gravitacional.

### **3.7 – Métodos de Dimensionamento de Espessadores**

A tecnologia de sedimentação começou a ser utilizada com a invenção do espessador Dorr, em 1905. Com o tempo, aprimoraram-se as técnicas de dimensionamento e modelos matemáticos cada vez mais precisos permitiram maior assertividade na construção de novas metodologias e processos de modelamento de espessadores. Os trabalhos de Kynch, Coe e Clevenger, Talmage e Fitch, Oltmann e outros de grande importância representam a evolução da indústria mineral na busca de tecnologia.

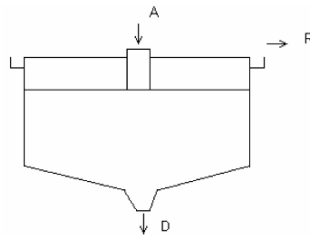
Em 1952, KYNCH propôs um modelo cinemático da sedimentação baseado apenas no desenvolvimento da equação da continuidade para a fase sólida. A publicação de Kynch motivou a indústria mineral a explorar essa teoria para o projeto de sedimentadores. Esse método, apresentado pela primeira vez por Talmage e Fitch, em 1955, recebeu o nome de método de Kynch. Consiste em realizar apenas um ensaio de sedimentação em batelada e, utilizando a teoria de Kynch, deduzir a área mínima necessária de um

sedimentador para se processar uma suspensão. A partir desse trabalho, houve um avanço significativo no entendimento do processo de sedimentação e, apesar de existirem teorias mais elaboradas, o método de Kynch é utilizado até os dias de hoje pela simplicidade de execução.

### 3.7.1 – Método de Mishler

Mishler propôs, em 1912, que se calculasse a área da seção transversal do equipamento pela velocidade ascensional do líquido, supostamente igual à velocidade de sedimentação da partícula.

O modelo de Mishler, conforme mostrado na Figura 3.20, considera que o fluxo de sólidos no espessador é influenciado, principalmente, pela velocidade de sedimentação do sólido e pela concentração de sólidos na polpa.



**Figura 3.20 – Modelo de Mishler para espessadores (VALADÃO, 2007)**

O fluxo de massa que passa através do sistema é deduzido assim:

$$A=D \quad (3.8)$$

$$A \cdot D_A = A \cdot D_D \quad (3.9)$$

$$R = A \cdot D_A - A \cdot D_D = A \cdot (D_A - D_D) \quad (3.10)$$

Onde:

A = fluxo de massa de sólido da alimentação

D = fluxo de massa de sólido do underflow

$D_A$  = diluição da alimentação

$D_D$  = diluição do underflow

Sendo assim, o fluxo volumétrico de água eliminada pelo espessador é:

$$O_R = \frac{R}{\rho} = \frac{A \cdot (D_A - D_D)}{\rho} \quad (3.11)$$

Onde:  $\rho$  = massa específica do líquido

Podemos considerar pelo modelo que a velocidade ( $V_f$ ) do fluxo de água ascendente seja igual à velocidade de sedimentação ( $V_s$ ) da partícula e que S seja a área transversal ao fluxo. Assim, temos:

$$V_s = V_f = \frac{O_R}{S} = \frac{A \cdot (D_A - D_D)}{S \cdot \rho} \quad (3.12)$$

$$S = \frac{A \cdot (D_A - D_D)}{V_s \cdot \rho} \quad (3.13)$$

O fluxo de massa de sólido na unidade de área (G) é dado por:

$$G = \frac{A}{S} = \frac{V_s \cdot \rho}{D_A - D_D} \quad (3.14)$$

Para obter-se a área unitária de espessamento, basta fazer o inverso de G e, para a área total, multiplica-se pela massa em tonelada seca da alimentação.

O modelo de Mishler para dimensionamento de espessadores foi o início dos trabalhos que levaram ao modelamento matemático do sistema. Como se pode observar, porém, é carente de alguns elementos essenciais para uma modelagem realista e concreta do fenômeno de sedimentação; o máximo que se obtém é um balanço de água do sistema.

### 3.7.2 – Método de Coe e Clevenger

O modelo de Coe e Clevenger seguiu o modelo de Mishler, porém introduziu o volume de controle e o nível de interface. Essas alterações permitiram a introdução de novas e importantes variáveis de controle para o espessamento.

Baseados na descrição do fenômeno de espessamento, conforme dados obtidos através de ensaios de batelada em provetas, Coe e Clevenger desenvolveram um método de dimensionamento que postula que a razão de espessamento é função exclusivamente da velocidade da partícula na zona de sedimentação livre. A velocidade de sedimentação, portanto, terá o mesmo valor no ensaio descontínuo e na operação contínua.

Dentro do espessador contínuo, a densidade da polpa aumentará continuamente com a profundidade, até atingir um valor crítico, que limita a vazão dos sólidos por unidade de área através desta zona de concentração crítica. Se a área do espessador for insuficiente, os sólidos afundarão até alcançar essa zona e as partículas que não conseguirem ultrapassá-la vão se acumular até transbordarem pelo overflow.

O método consiste na construção de curvas de sedimentação a partir dos ensaios de batelada em diversas concentrações, variando entre alimentação e concentração das lamelas de underflow. A partir da determinação das velocidades de sedimentação, calcula-se a área unitária de espessamento através da fórmula:

$$q_s = \frac{v_{so}}{\frac{1}{\epsilon_{so}} - \frac{1}{\epsilon_{su}}} \quad (3.15)$$

Sendo  $q_s$  o fluxo de sólidos no sedimentador,  $v_{so}$  a velocidade inicial de sedimentação em um teste em batelada com concentração volumétrica de sólidos inicial  $\epsilon_{so}$  e  $\epsilon_{su}$  a concentração de lamelas desejada. A capacidade do sistema será o menor valor encontrado para cada concentração testada.

Para o cálculo da área unitária, faz-se o inverso do valor de  $q_s$ , e a partir daí determina-se a área total do espessador com a tonelagem de massa a ser espessado.

Pode-se calcular a razão de espessamento utilizando as velocidades de sedimentação com a equação:

$$\text{Razão de espessamento} = 1,33 \times \frac{\% \text{ sól. da alim.} - \% \text{ sól. do UF}}{\text{Vel. de sedimentação} \times \text{dens. da polpa}} \quad (3.17)$$

Razão de espessamento em ton/m<sup>2</sup>/hora.

Tabulando-se a razão de espessamento em função da diluição inicial para os vários ensaios, identifica-se a menor razão de espessamento, ou seja, a razão crítica. Esse parâmetro será adotado no dimensionamento como pior caso a que o equipamento poderá ser submetido.

Para esse método é necessária uma escala para correções no dimensionamento, uma vez que esse dimensionamento tende a superestimar a capacidade de compressão do sólido, subestimando o tempo de sedimentação e, por conseqüência, subestimando também o valor da área total do espessador.

### 3.7.3 – Método de Kynch

Kynch desenvolveu, em 1952, um modelo matemático para o espessamento descontínuo, em que postulava que a razão de espessamento é função única da diluição da polpa.

Kynch desenvolveu um método de dimensionamento de decantadores que requer apenas um ensaio que forneça a curva de decantação ( $Z$  versus  $\theta$ ) mostrada na Figura 3.21. Tanto  $C$  como  $u$  podem ser retirados diretamente da curva. Traçam-se tangentes em diversos pontos da curva e determinam-se os valores de  $\theta$ ,  $Z$  e  $Z_i$ . Abaixo estão as equações para o cálculo da velocidade ( $u$ ) e da concentração ( $C$ ):

$$u = \frac{Z_i - Z}{\theta} \quad (3.17)$$

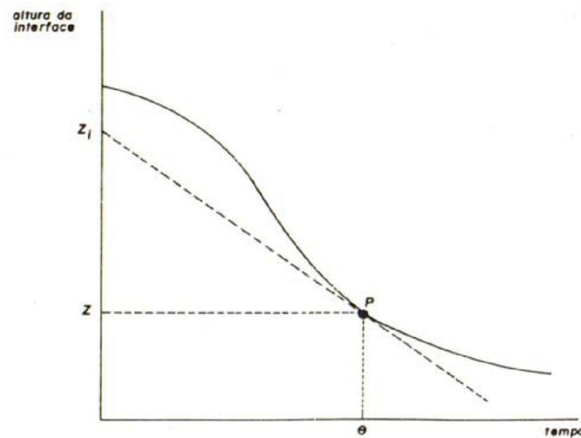
$$C = \frac{C_0 Z_0}{Z_i} \quad (3.18)$$

Onde:

$C_0$  = concentração inicial da suspensão ( $t/m^3$ )

$Z_0$  = altura inicial da suspensão (m)

$\theta$  = Tempo



**Figura 3.21 – Determinação gráfica de  $u$  e  $C$  pelo método de Kynch**

Com a construção gráfica descrita calculam-se os diversos pares de valores da concentração e da velocidade de decantação, com os quais são calculados os pontos correspondentes da seção transversal.

$$S = \frac{Q_A C_A \left( \frac{1}{C} - \frac{1}{C_E} \right)}{u} \quad (3.19)$$

Onde:

$S$  = área de decantação = seção transversal do decantador ( $m^2$ );

$u$  = velocidade de decantação na zona limite (m/h);

$Q_A$  = vazão volumétrica da suspensão alimentada ao decantador ( $m^3/h$ );

$C_A$  = concentração de sólidos na suspensão alimentada ( $t/m^3$ );

$C_E$  = concentração da lama espessada ( $t/m^3$ );

$C$  = concentração da suspensão na zona limite ( $t/m^3$ ).

O valor máximo obtido corresponderá à área mínima exigida para o decantador.

Os dados de concentração e velocidade de sedimentação específica para cada sistema sólido-fluído podem ser determinados por ensaios de proveta clássicos do modelo de Kynch (Figura 3.22).

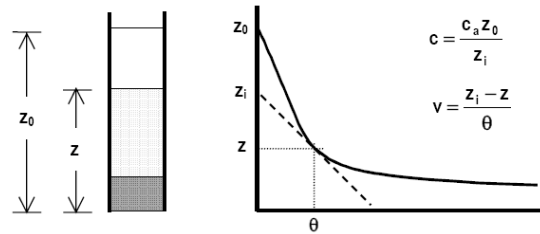


Figura 3.22 – Cálculo da concentração e velocidade no modelo de Kynch

### 3.7.4 – Método de Roberts

Esse método segue o mesmo princípio do método de Kynch, mas, ao contrário deste último, é possível, através de sua análise gráfica, determinar o ponto crítico (início da zona de compressão) com maior exatidão. Com os dados do ensaio de sedimentação, traça-se um gráfico de  $Z-Z_f$  versus  $\theta$  em papel mono-Log (figura 3.23). O gráfico mostra uma descontinuidade no ponto crítico, o que permite determinar  $\theta_c$  com precisão. Conhecido esse valor, calcula-se a área mínima através da equação:

$$S_{\min} = \frac{Q_A C_A \left( \frac{1}{C_C} - \frac{1}{C_E} \right)}{u_c} \quad (3.20)$$

Onde:

$$C_C = \frac{C_0 Z_0}{Z_{ic}} \quad (3.21)$$

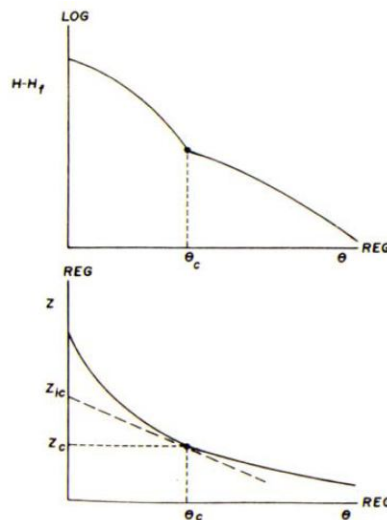
$$u_c = \frac{Z_{ic} - Z_C}{\theta_c} \quad (3.22)$$

Como se pode observar, os métodos de Kynch, Roberts, e Coe e Clevenger possuem apenas variações leves e todos derivam da análise matemática de Mishler. Pode-se dizer



que todos esses métodos funcionam razoavelmente bem para materiais incompressíveis, porém com ressalvas e adaptações a sólidos que possuem altos índices de compressibilidade no underflow.

Devido à simplicidade dos métodos dispostos acima, sua utilização ainda tem grande aceitação na indústria de clarificadores e espessadores. Os modelos modernos tendem a uma maior assertividade, pois levam em consideração a compressibilidade dos sólidos e sua partição granulométrica, além da diluição e da área de espessamento.



**Figura 3.23 – Construção gráfica do método de Roberts**

### 3.7.5 – Método de Talmadge e Fitch

Talmadge e Fitch usaram como base a mesma premissa de Kynch: a razão de espessamento é função única e exclusivamente da diluição da polpa. Em 1953 estenderam o trabalho anterior ao dimensionamento de espessadores contínuos.

Diferente do trabalho de Kynch, Talmadge e Fitch baseiam-se em um único ensaio de sedimentação para as condições desejadas e definem alguns parâmetros importantes com a curva de sedimentação, porém é basicamente o componente gráfico (figura 3.24) o responsável pelo dimensionamento.

Com o ensaio em batelada, determina-se o gráfico e traça-se uma reta tangente à curva de decantação e outra tangente à curva de compressão. Essas curvas são separadas pelo

ponto crítico, que é também o encontro da bissetriz das duas tangentes com a curva de sedimentação. Uma vez determinado o ponto de cruzamento das duas tangentes, traça-se a tangente passando pelo ponto crítico (figura 3.24).

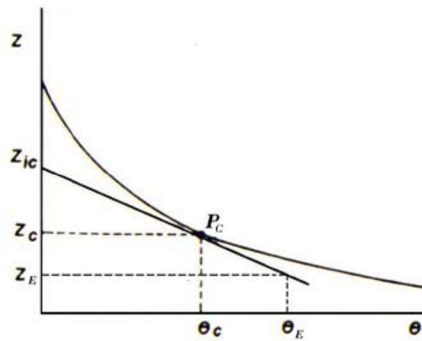
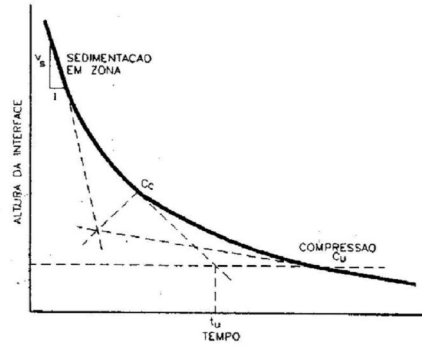


Figura 3.24 – Método gráfico de Talmadge e Fitch

Localiza-se a altura de compressão através da fórmula:

$$z_E = \frac{z_o \cdot C_o}{C_E} \quad (3.23)$$

De posse dos gráficos construídos e do ponto crítico definido, identifica-se  $\theta_E$  e, através da equação deduzida das equações descritas no método de Roberts, calcula-se a área:

$$S = \frac{Q_A \cdot C_A \cdot \theta_E}{z_o \cdot C_o} \quad (3.24)$$

### 3.7.6 – Método de Oltmann

Semelhante ao método de Talmadge e Fitch, o método de Oltmann utiliza apenas uma curva de sedimentação para a determinação dos parâmetros necessários para dimensionamento de espessadores contínuos.

O método consiste na construção da curva de sedimentação com a concentração de underflow como ponto de partida. A partir desse ponto, seguem-se os seguintes passos:

- Determinar o ponto de compressão;
- Traçar uma reta da altura inicial, passando pelo ponto de compressão;
- Determinar  $H_U$  utilizando a equação:

$$H_U = \frac{C_O \cdot H_O}{C_U} \quad (3.24)$$

Onde:

$C_O$  = concentração inicial de sólidos ( $\text{kg/m}^3$ );

$H_O$  = altura da polpa no início do teste (m);

$H_U$  = altura da interface para a concentração  $C_U$  (m).

- Traçar uma horizontal partindo de  $H_U$ ;
- Fazer a leitura de  $T_U$  a partir da interseção da horizontal  $H_U$  com a reta traçada.

A partir daí, encontra-se  $G$  através da equação:

$$G = \frac{C_O \cdot H_O}{T_U} \quad (3.25)$$

Onde:

$T_U$  = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow ( $C_U$ )

- Utilizar o G para calcular  $AU_0$ ;

- Calcular a área total do espessador considerando a alimentação de sólido seco.

Usa-se um fator de segurança de 1,20 para minimizar os erros devido à compressibilidade do sólido;

- De posse da área total de espessamento, pode-se calcular o diâmetro do espessador.

Oltmann também desenvolveu um ensaio de sedimentação que visa a determinar uma estimativa razoável da percentagem de sólidos no underflow e do tempo necessário para atingi-la. A diferença entre esse ensaio e o tradicional teste em batelada é a utilização de um rake que gira intermitentemente à baixa velocidade. Na diluição da alimentação, utiliza-se uma massa que atinja aproximadamente 300 ml de volume após 24 horas de sedimentação e mede-se a altura de interface a cada 15 minutos nas primeiras 12 horas e mais uma medida após 24 horas de teste. Ao fim do ensaio, deságua-se a amostra e testa-se o afundado seco.

O objetivo é determinar com maior precisão o ponto inicial de compressão e o respectivo tempo para que ocorra. Se o underflow pode ser manuseado nesse percentual de sólidos, determina-se o tempo final de compressão em que a curva de sedimentação se torna horizontal e não existe compressão adicional. O tempo necessário para que ocorra o efeito desejado é  $t_f - t_c$  e a altura necessária para que essa compressão ocorra é:

$$\text{Altura de compressão} = \frac{(t_f - t_c) \times V}{\text{Peso dos sólidos} \times \text{razão de espessamento}} \quad (3.26)$$

Onde V é o volume médio da compressão expresso em ml.

Quando a altura de compressão ultrapassar 1 metro, recalcula-se a área de sedimentação; quando for menor que 15 cm, adota-se este valor. Essa regra, puramente empírica, é conhecida como a “regra dos três pés” e não tem justificativa teórica, mas como concentrados de minérios metálicos espessam muito rápido até a capacidade de bombeamento, a altura da zona de compressão deixa de ser um fator crítico de projeto.

A velocidade de compressão também diminui muito rapidamente à medida que aumenta a altura da zona de compressão e uma variação na espessura da zona implica uma variação muito pequena na percentagem de sólidos do underflow.

### 3.7.7 – Método de Wilhelm e Naide

Em termos gerais, os métodos de Coe e Clevenger, Kynch, Talmadge e Fitch e Oltmann levam a dimensionamentos imprecisos, necessitando assim de fatores corretivos que minimizam as diferenças entre a prática e a teoria.

Esses autores afirmam que os desvios entre os mecanismos aceitos até então e a realidade de operação industrial ocorrem devido a fenômenos ocorridos na zona de compressão.

Esse método consiste em discretizar a curva de espessamento, transformando-a em uma sucessão de segmentos de reta, e em calcular a velocidade de sedimentação em cada um dos trechos. Essa velocidade é função exponencial da concentração média da polpa no trecho. Calcula-se a razão de espessamento em função do expoente da função da velocidade de sedimentação e da concentração de sólidos desejada para o underflow através da fórmula:

$$\text{Razão de espessamento} = \frac{\left(\frac{b-1}{b}\right)^{b-1}}{ab} \times C_U^{b-1} \quad (3.27)$$

A razão de sedimentação assim calculada é válida para o ensaio de batelada. Há um fator de escala  $\sigma$  que a relaciona com a razão de espessamento real:

$$\text{Razão de espessamento real} = \text{Razão de espessamento batch} \times \left(\frac{h}{H}\right)^\sigma \quad (3.28)$$

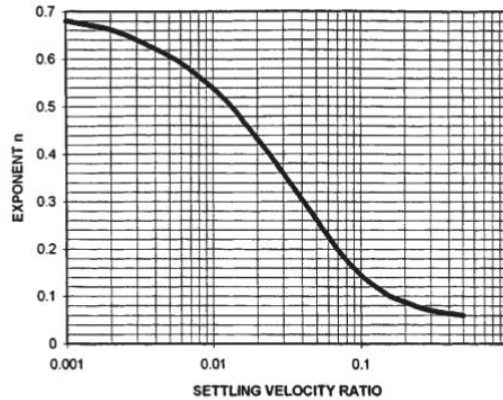
Onde:

H = altura total da zona de compressão (m)

h = altura de sedimentação da polpa (m)

$\sigma$  = expoente de correlação de Wilhelm e Naide extraído do gráfico (figura 3.25)

Constrói-se então o gráfico da razão de espessamento versus a concentração de sólidos no underflow. Os autores determinaram uma aproximação e, com o fator de correção utilizado, obteremos a área total do espessador.



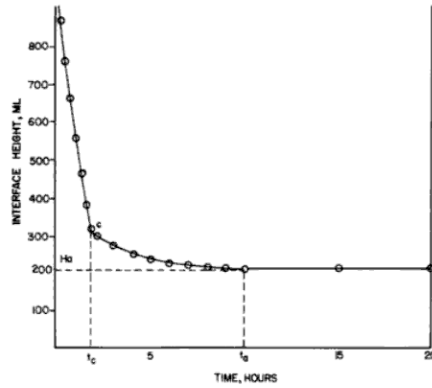
**Fig.3.25 – Correlação para determinação do expoente de correlação do método de Wilhelm e Naide**

### 3.7.8 – Teste de Tempo de Compressão

A altura de queda necessária para o espessador será muito afetada pelo comportamento da compressão na sedimentação. Se a zona de sedimentação determinar o comportamento do espessamento, então a zona de compressão deixa de ser importante. Em alguns casos, porém, a área unitária de sedimentação é inferior a de compressão, quando a compressibilidade, então, deve ser considerada.

Após a realização dos testes em batelada, estabelece-se a concentração inicial em que se realizará o teste de tempo de compressão.

Escolhe-se um tempo  $t_a$ , onde a concentração aparente de sólidos é satisfatória como uma concentração  $C_U$  ( $C_U = w/H_t$ ; onde  $w$  é a massa de sólido e  $H_t$  são os milímetros ocupados pela sedimentação da polpa no tempo  $t_a$ ). Estimamos a localização do ponto de compressão e o tempo  $t_c$  quando ocorre (Figura 3.26).



**Figura 3.26 – Teste do tempo de compressão**

O tempo de retenção do sólido no espessador é dado por:

$$t_s = t_a - t_c \quad (3.29)$$

Determina-se a variação do volume da polpa entre  $t_a$  e  $t_c$ . O volume da zona de compressão contínua deve ser:

$$V_S = 1,33 Q_S \cdot t_s \cdot (V_b/w) \quad (3.30)$$

Onde:

$Q_S$  = toneladas de sólidos diários que alimentam o espessador ( $m^3$ );

$t_s$  = tempo de retenção necessário (horas);

$V_S$  = volume da zona de compressão no espessador contínuo ( $ft^3$ );

$V_b$  = variação do volume comprimido no teste (ml);

$w$  = massa do sólido no teste (g).

A área da zona de compressão não deve ser inferior a  $V_s/3t$ , indo de encontro à “regra dos três pés”, vista anteriormente. É conveniente expressar a necessidade em unidades semelhantes. A unidade para volume comprimido são pés cúbicos requeridos por toneladas de sólidos diários ( $ft^3/ton/dia$ ). A área unitária, requerida para a compressão, é recíproca ao fluxo  $G$ , em toneladas de sólido por pés quadrados ao dia ( $ton/ft^2/dia$ ).

Pode-se determinar a zona de compressão requerida através das densidades:

$$V_s = \frac{\Theta_c \cdot (\rho_s - \rho_l)}{\rho_s \cdot (\rho_{sl} - \rho_l)} \quad (3.31)$$

Onde:

$V_s$  = volume da zona de compressão (m<sup>3</sup>);

$\Theta_c$  = tempo de compressão (dias);

$\rho_s$  = densidade do sólido (ton/m<sup>3</sup>);

$\rho_l$  = densidade do líquido (ton/m<sup>3</sup>);

$\rho_{sl}$  = densidade da polpa (ton/m<sup>3</sup>).

Conhecidos como fatores de escala (scale-up factors), são fatores utilizados para minimizar os efeitos do tamanho na representatividade dos testes de laboratório. Para ensaios de cálculo do volume de compressão, 20 a 30% de escala têm se mostrado suficientes, desde que as amostras com as quais os testes foram realizados sejam representativas.

### 3.7.9 – Fluxo Ascendente de Água

O dimensionamento de um espessador convencional contínuo consta do cálculo da sua altura e área transversal e é baseado em dados operacionais de sedimentação em batelada. A curva de sedimentação, que representa a variação da altura da interface de sólidos com o tempo, fornece dados de taxa de sedimentação, razão de concentração entre a alimentação e o espessado formado, concentração máxima do espessado, dentre outros, necessários ao projeto da unidade contínua. É importante ressaltar que esses dados fornecem informações sobre a natureza da suspensão, porém seu comportamento tem alguma variação de um processo de sedimentação para o outro. Na realidade, o projeto é uma extrapolação da operação em batelada para a contínua e, com isso, há a necessidade da inclusão de parâmetros em sua correção.

Ao se levar o dimensionamento para o espessador ideal, ou seja, com a fase sólida com densidade ideal e a fase líquida isenta de sólidos, os balanços de massa e água podem ser descritos pelas seguintes equações:



Balanço de massa:

$$\rho_s Q_a c_a^* = \rho_s Q c^* = \rho_s Q_e c_e^* \quad (3.32)$$

Que resulta em:

$$L_1 = \frac{L \cdot c^*}{c_e^*} \quad (3.33)$$

Onde:

$\rho_s$  = densidade da fase sólida;

$Q$  = vazão de suspensão descendente;

$c^*$  = concentração volumétrica de sólidos numa seção transversal qualquer do espessador.

Os sub-índices  $a$  e  $e$  são referentes à alimentação e ao espessado, respectivamente.

Balanço de água:

$$\rho_f Q_f (1 - c^*) = \rho_f Q_f = \rho_f Q_e (1 - c_e^*) \quad (3.34)$$

$$Q_f = Q_a c_a^* \left( \frac{1}{c^*} - \frac{1}{c_e^*} \right) \quad (3.35)$$

Onde:

$\rho_f$  = densidade da fase fluida;

$Q_f$  = vazão de fluido ascendente numa seção transversal qualquer do espessador.

Considerando que a velocidade ascensional de líquido e a concentração mássica de sólidos numa seção transversal qualquer do espessador sejam dadas, respectivamente, por:

$$v = \frac{Q_f}{A} \quad \text{e} \quad c = \rho_s c^* \quad (3.36)$$

Em função da área de sedimentação, temos:

$$A = \frac{Q_a c_a}{v} \left( \frac{1}{c} - \frac{1}{c^*} \right) \quad (3.37)$$

E em função da vazão e da capacidade do espessador, temos:

$$\frac{Q_a}{A} = \frac{1}{c_a} \cdot \frac{v}{\left( \frac{1}{c} - \frac{1}{c_e} \right)} \quad (3.38)$$

Onde:

A = área da seção transversal do espessador.

O funcionamento adequado de um espessador requer uma corrente de líquido clarificado isenta de sólidos. Para que isso aconteça, é necessário que a velocidade ascensional de líquido clarificado seja menor do que a velocidade de sedimentação dos sólidos; do contrário, haverá o arraste dessas partículas. Os modelos de Mishler e Coe e Clevenger consideram que a velocidade de sedimentação é a mesma da ascensão. Tem-se aí que a velocidade terminal da partícula é atingida e as forças gravitacionais passam a atuar de forma a igualar a força de ascensão do líquido. A capacidade do espessador é a medida do volume de suspensão que pode ser tratado por unidade de tempo, para a obtenção de um espessado com características pré-determinadas.

### 3.7.10 – Cálculo da Altura do Espessador

Se visualizarmos o espessador ideal, veremos três zonas distintas e cada uma delas necessitará de uma altura específica para o melhor desempenho. Em um espessador em operação contínua, Pavlov et al. (1981) propõem o cálculo da altura do espessador mediante a soma das parcelas indicadas na Figura 3.26.

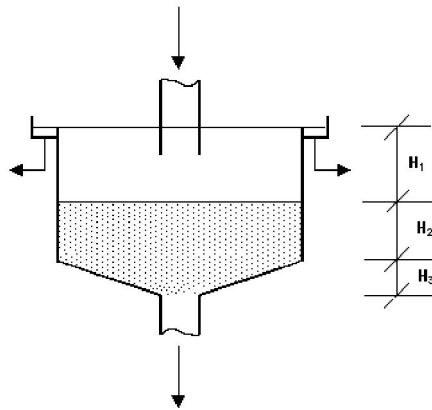
$$H = H_1 + H_2 + H_3 \quad (3.39)$$

Onde:

$H_1$  = altura da região de líquido clarificado, que pode variar entre 0,45 e 0,75 m;

$H_2$  = altura da região de espessamento;

$H_3$  = altura do fundo do espessador.



**Figura 3.26 – Alturas das regiões de espessamento (Pavlov et al., 1981)**

A altura da região de espessamento,  $H_2$ , pode ser estimada valendo-se de um balanço de massa para essa região:

$$H_2 = \frac{4 L_a c_a t (\rho_s - \rho_f)}{3 A \rho_s (\rho_{esp.} - \rho_f)} \quad (3.40)$$

Onde:

$t$  = tempo de residência da partícula sólida, calculado pelo método gráfico mostrado na Figura 3.27;

$\rho_{esp.}$  = densidade da espessado.

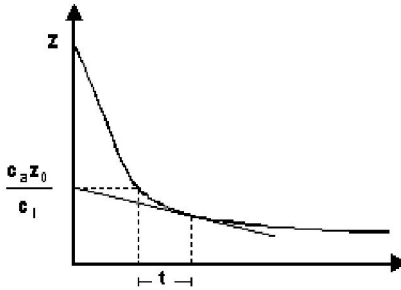
O fator 4/3 tem a finalidade de corrigir a imprecisão do uso da densidade do espessado em vez da densidade média na região de espessamento.

A altura do fundo do espessador é dada pela expressão:

$$H_3 = 7,3 \cdot 10^{-2} D \quad (3.41)$$

Onde:

$D$  = diâmetro do espessador.



**Figura 3.27 – Determinação do tempo de residência na região de espessamento (PAVLOV et al., 1981)**

## 4 – Metodologia

Nesta fase discutir-se-á a metodologia empregada no estudo de sedimentação. O objetivo é analisar o comportamento da fração granulométrica menor que 0,150 mm no espessamento. Para tanto, foram utilizadas amostras das principais litologias da mina do Sapicado, na Mina do Pico da Vale.

A composição se deu com a amostra retirada diretamente do overflow da bateria secundária de deslamagem das instalações do Pico, e o rejeito foi composto pelas reservas das amostras de rotina da usina. As duas amostras foram utilizadas para a determinação das curvas de sedimentação através do método de batelada (Figura 4.1).

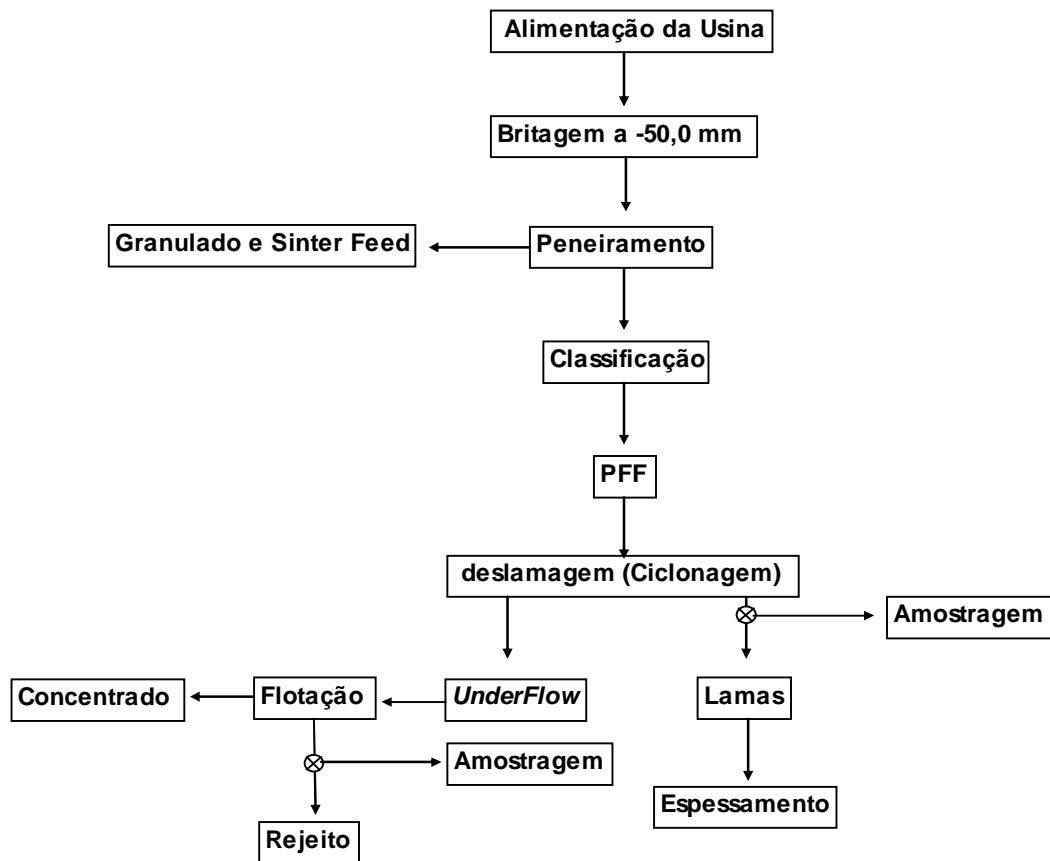


Figura 4.1 – Sequência de processo

#### 4.1 – Seleção e obtenção da amostra

Foram determinadas, com o auxílio da geologia de curto prazo, as principais litologias da mina do Sapecado e separado em domínios estratigráficos nas regiões da cava. Ao todo três domínios foram determinados e os pontos de amostragem foram demarcados e feito o levantamento topográfico e obtenção das coordenadas dos pontos e bancos. As amostras foram compostas de Itabiritos limoníticos, pobres e com alto teor de manganês.

As amostras foram determinadas pelo planejamento de curto prazo da mina do Pico, e as áreas cadastradas em um plano de lavra com seus respectivos pontos de carga. Para a composição desta amostra foi quantificado e qualificado o ROM relativo ao ano de 2009, para determinação dos fatores de concentração. Decidiu-se então pela amostragem das lamas nas baterias primárias de deslamagem de ambas as usinas.

O material foi obtido diretamente das instalações, compondo um total de três grandes grupos de amostras, Lamas D, Lamas I e Rejeito D, posteriormente subdivididos para composição das misturas e realização dos testes em batelada, numerados e especificados conforme tabela 4.1 e figura 4.2.

Tabela 4.1 – Testes em batelada

	ITM-D	ITM-I	ITM-D+I	Rej 25/75	Rej 50/50	Rej 75/25	Rejeito
	<b>Número do Teste</b>						
20% de sólidos	1	5	9	13	17	21	25
30% de sólidos	2	6	10	14	18	22	26
40% de sólidos	3	7	11	15	19	23	27
50% de sólidos	4	8	12	16	20	24	28

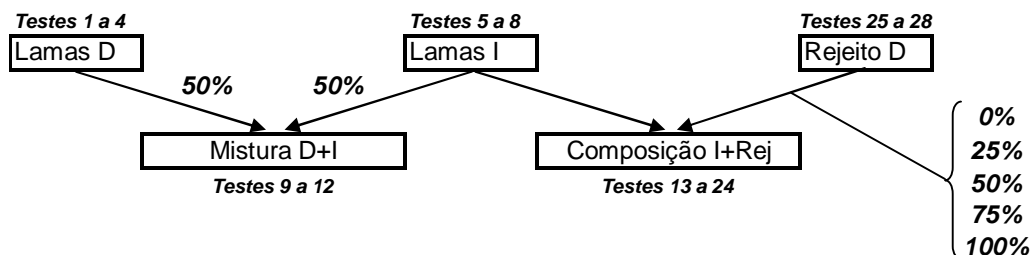


Figura 4.2 – Representação esquemática da composição das amostras

#### **4.1.1 – Alimentação da Usina e coleta da Amostra**

Com a pilha composta e o plano de amostragem concluído, foi iniciada a produção com a alimentação da pilha nos 2º, 3º e 4º turnos.



**Figura 4.3 – Pilha formada para alimentação da ITM-D**

#### **4.2 - Análise química**

Uma alíquota é pulverizada em moinho de disco e de anéis antes de ser enviada para análise química.

Todas as análises químicas foram realizadas no laboratório químico por via úmida (dicromatometria) para determinação do ferro total, espectrometria de emissão a plasma (ICP) para silício, alumínio e manganês.

#### **4.3 – Realização dos testes**

Os testes foram executados seguindo o procedimento padrão para testes de sedimentação e no laboratório de processos da Mina do Pico.

### **4.3.1 – Critérios para a realização dos testes de sedimentação**

#### **4.3.1.1 – Recursos Necessários**

- Provetas de 2000 ml;
- Balança analítica (4 casas de precisão);
- Balança com 5 kg de capacidade;
- Becker de 500 ml;
- Cronômetro;
- Agitador mecânico;
- Agitador para proveta de 2000 ml;
- Fitas de papel milimetrado;
- Durex;
- Planilha de campo;
- pHmetro;
- Solução de NaOH (concentrado 5%);
- Solução de ácido clorídrico (concentrado 5%);
- Mangueira para sifonamento;
- Baldes;
- Pincel atômico escrita fina;
- Estufa a 105°C;
- Seringa.

#### **4.3.1.2 – Preparação das Provetas**

- Lavar toda a vidraria somente com água (não deve ser empregado qualquer material de limpeza) e secá-la antes da introdução de polpa;



- Fixar a fita de papel milimetrado segundo a maior dimensão da proveta, sendo que o zero da escala milimetrada deve coincidir com a marca de 2000 mL da proveta;
- A fita deve estar bem esticada e fixada em pelo menos três pontos (base, topo e região intermediária). Esta fita é utilizada para registrar as leituras de deslocamento da interface ao longo do tempo de sedimentação, pois as provetas não apresentam calibração volumétrica confiável;
- Pesar a proveta sem polpa ( $m_{pr}$  = massa da proveta) e registrar a sua massa na base, utilizando pincel anatômico.

#### 4.3.1.3 – Preparação do Polímero (Degusa 2550 – Ashland)

- Pesar 0,5 gramas do polímero e adicioná-lo lentamente a um becker com 499,5g de água, sob regime de agitação laminar (não turbulenta), que deve ser mantida por 40 minutos. Ao final, tem-se uma solução a 0,1% de concentração, denominada solução mãe (validade: 48 horas);
- Transferir 100g da solução mãe para outro becker contendo 200g de água e agitar por mais 40 minutos. Ao final, tem-se uma solução a 0,033% que será utilizada para dosagem de polímero (validade: 24 horas);

A massa necessária de polímero deve ser calculada pela fórmula abaixo.

$$C_1M_1 = C_2M_2 \quad (4.6)$$

$C_1$  = concentração do polímero tal qual (%)

$M_1$  = massa do polímero tal qual (g)

$C_2$  = concentração desejada da solução (%)

$M_2$  = massa desejada da solução (g)

A massa de água necessária para a solução é calculada pela fórmula abaixo.

$$M_a = M_2 - M_1 \quad (4.7)$$

$M_a$  = massa água (g)

$M_1$  = massa de plimero tal qual (g)

$M_2$  = massa desejada da solução (g)

#### **4.3.1.4 - Determinação do % de sólidos**

- Medir 2000 mL da polpa, obtendo a massa de polpa (Mp);
- Flocular a polpa (utilizando polímero);
- Sifonar a porção sobrenadante (desde que esteja clarificada);
- Secar a porção afundada em estufa a 105°C;
- Pesar a porção afundada (w);
- Calcular o percentual de sólidos:

$$\% S = \frac{W}{M_p} \times 100\% \quad (4.8)$$

Onde: W = massa de sólido na proveta,

Mp = massa de polpa na proveta.

#### **4.3.1.5 - Transporte, homogeneização e quarteamento da Polpa**

A homogeneização da polpa deve ser feita com agitadores apropriados ao volume da polpa coletada, sempre que houver coleta de incrementos para qualquer teste de bancada. O quarteamento pode ser feito por sifonamento desde que a polpa seja mantida sob agitação durante a coleta destes incrementos. Durante o transporte, é comum a sedimentação das partículas mais grosseiras, ficando a porção sobrenadante da polpa com % de sólidos mais baixa devendo ser descartada toda amostra caso haja qualquer perda de polpa.

#### **4.3.1.6 – Alimentação das Provetas**

- Agitar a polpa e sifoná-la para um balde, em volume suficiente para completar o conjunto de provetas adotadas para o teste;
- Corrigir a polpa para o pH desejado, se necessário;
- Agitar a polpa e sifoná-la para cada proveta até completar exatamente o nível 2000 ml da proveta (referência: menisco inferior);

- Medir a massa de polpa mais massa da proveta (  $M_{prov} + M_p$  ) .

#### 4.3.1.7 – Cálculo da massa de polímero a ser dosada

Cálculo da massa da solução a ser dosada ( $M_d$ ) em cada proveta.

$$M_d = \frac{W \times D}{100^2 \times C(\%)} \quad (4.9)$$

Onde.:  $M_d$  = massa da solução a ser dosada;

$W$  = massa de sólidos na proveta, em gramas;

$D$  = dosagem do polímero a ser empregado, em g/t;

$C$  = concentração da solução em %.

#### 4.3.1.8 – Ensaio

Os seguintes passos devem ser seguidos nos ensaios de sedimentação:

- Agitar a polpa na proveta, lentamente, até colocar todos os sólidos em suspensão;
- Adicionar o reagente, lentamente, em conjunto com a agitação já iniciada;
- Após o término da adição do reagente na proveta, agitar a polpa lentamente por mais 03 (três) vezes. No último curso, acionar o cronômetro no momento em que o agitador manual atinge a interface polpa / ar.

Desde que a dosagem empregada seja adequada, é possível marcar os pontos em uma fita milimetrada. A posição da interface é de acordo com os intervalos de tempo pré-estabelecidos (tempos sugestivo):

- Intervalo de 30 segundos ate 5 minutos.
- Intervalo de 1 minuto entre 5 a 20 minutos.
- Intervalo de 2 minutos entre 20 a 40 minutos.
- Intervalo de 5 minutos entre 40 a 90 minutos.

- Intervalo de 30 minutos entre 90 a 120 minutos.
- Após 24 horas.

Caso haja superposição de marcação (estágio de compactação dos sólidos da polpa), o executante tem a liberdade de deixar de marcar alguns pontos, desde que isto seja informado para não gerar problemas de interpretação dos resultados. Para tanto, sugere-se necessárias (nº de teste, dosagem empregada, nome do reagente, amostra de polpa coletada, data, etc.) conforme visto na figura 4.3.

- $H_0$  = Altura inicial da proveta (m);
- $C_0$  = Concentração inicial de sólidos na polpa ( $g/l = kg/m^3$ );
- $V$  = Volume de polpa na proveta (mL);
- $W$  = Massa inicial de sólidos na proveta (g);
- $QaCa$  = Taxa de sólidos (base seca) que alimenta o espessador (t/h);
- $K$  = Calibração da proveta (mL/m)( calculado );
- $M_{prov.}$  = massa da proveta;
- $M_{prov.} + M_p$  = massa da proveta + massa da polpa (g):

$$\% Sf(H) = \frac{W}{W + (M_p - W) - (V - H)} \quad (4.10)$$



**Figura 4.4 – Ensaio de sedimentação**

#### 4.4 – Coleta dos dados

Para uma maior representabilidade dos testes comparativos, foram realizados quatro testes para cada composição/amostra, sendo escolhido para os demais métodos não somente a curva de sedimentação do G crítico determinado pelo método de Coe e Clevenger, mas todos os ensaios realizados.

Todos os testes serão realizados em pH neutro conforme prática industrial.

#### 4.5 – Aplicação dos métodos de dimensionamento de espessadores

Após a coleta de dados foram construídas as curvas de sedimentação dos ensaios. Todos os testes foram utilizados no dimensionamento de espessadores através dos métodos de Coe e Clevenger, Talmage e Fitch, Oltmann, e Wilhelm e Naide. Após a realização foi possível realizar uma comparação entre os métodos com a construção gráfica exemplificada na figura 4.5.

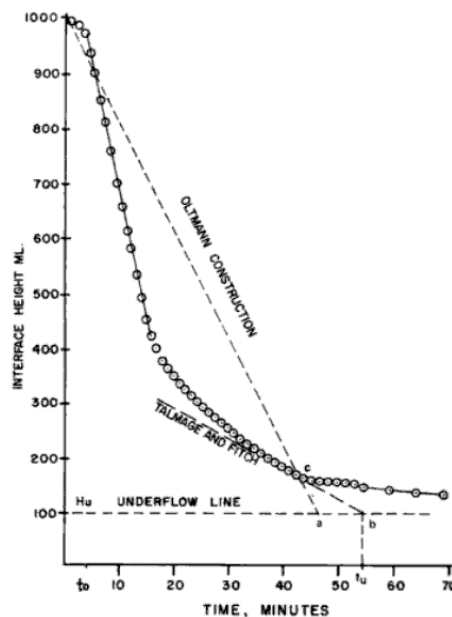


Figura 4.5 – Construção gráfica dos métodos de Oltmann e Talmage e Fitch.

## 5 – Discussão dos Resultados

Os resultados serão apresentados considerando os objetivos principais do trabalho. Dentre eles, destacam-se:

- comparação entre os métodos mais utilizados na indústria para dimensionamento de espessadores industriais;
- breve discussão entre os tipos litológicos e seu comportamento na sedimentação de uma polpa;
- influência da granulometria das partículas na velocidade de sedimentação e, por consequência, no dimensionamento de espessadores industriais.

### 5.1 – Caracterização das amostras

As amostras foram caracterizadas através de análise química e granulométrica. As análises químicas foram realizadas através de fluorescência de Raio-X e a análise granulométrica realizou-se por dois métodos diferentes: Ciclocyser e Cilas, suas curvas estão nas figuras 5.1 e 5.2, sendo que as lamas e rejeito foram feitas em duplicata.

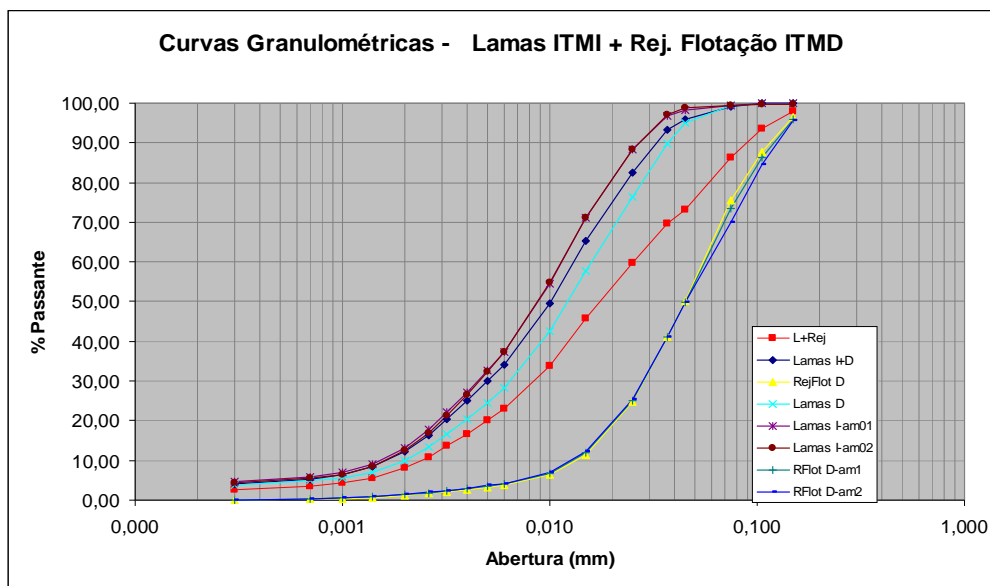


Figura 5.1 – Distribuição granulométrica das lamas e rejeito de flotação no Cilas.

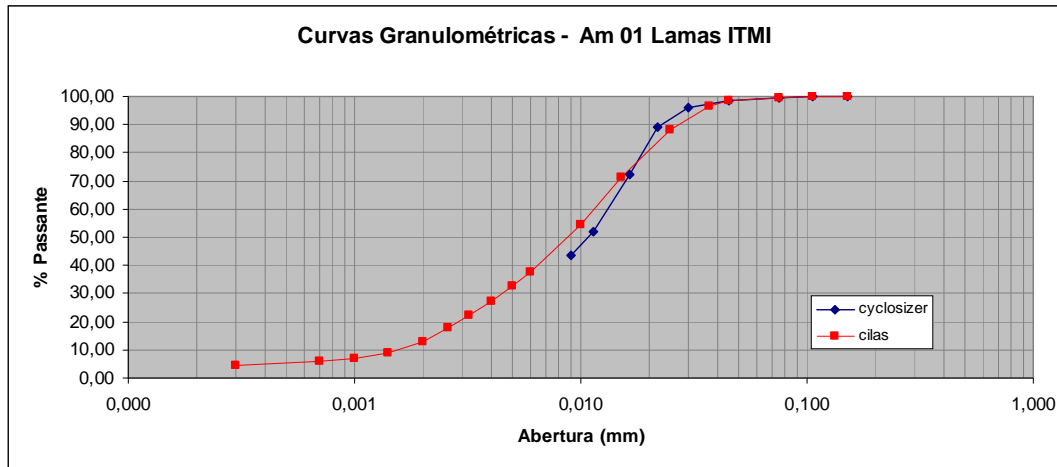


Figura 5.2 – Análise Granulométrica no Cilas e Cyclosizer

Observa-se que as curvas se destacam devido ao fato de os parâmetros de medida do Cyclosizer serem diferentes do Cilas. Além disso, este último possui um “range” de leitura mais extenso do que o primeiro, o que possibilita determinar uma maior distribuição granulométrica.

As lamas da ITM-D mostraram-se mais grosseiras, com menos de 50% passante em 10 micrômetros, enquanto as lamas da ITM-I mostraram-se mais finas. Não foram identificadas, porém, partículas consideradas muito grandes para os espessadores industriais. Já o rejeito de flotação apresentou uma distribuição granulométrica mais grosseira, com  $d_{50}$  em aproximadamente 45  $\mu\text{m}$ , enquanto nas lamas o mesmo parâmetro está entre 9 e 15  $\mu\text{m}$ . A distribuição granulométrica pode interferir de forma intensa na sedimentação de um material. Materiais mais grosseiros podem acelerar a decantação, bem como os mais finos podem interferir na viscosidade e reduzir a velocidade de sedimentação, conseqüentemente aumentando a área necessária para a completa sedimentação da polpa.

Separadas amostras globais, foram realizadas análises por Raio-X para cada uma das misturas coletadas. Os resultados das análises são mostrados na tabela 5.1. Para cada uma das amostras considerou-se um contaminante específico, como podem ser observados, altos teores de manganês nas amostras de lamas da ITM-D e altas porcentagens de materiais hidratados nas lamas da ITM-I.

Tabela 5.1 – Resultado das Análises Químicas das Amostras Estudadas

Resultados Análise Química							
Lamas ITMI							
FE	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	MN	CAO	MGO	TiO <sub>2</sub>
48,4	13,82	7,63	0,100	0,313	0,022	0,087	0,176
Lamas ITMD							
FE	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	MN	CAO	MGO	TiO <sub>2</sub>
50,0	17,95	4,81	0,071	0,359	0,022	0,032	0,141
Lamas ITMD + Lamas ITMI							
FE	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	MN	CAO	MGO	TiO <sub>2</sub>
48,7	15,66	6,76	0,089	0,324	0,022	0,063	0,160
Rejeito Flotação ITMD							
FE	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	MN	CAO	MGO	TiO <sub>2</sub>
33,20	53,88	0,62	0,011	0,013	0,016	0,010	0,036
Rejeito Flotação 25% / Lamas 75%							
FE	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	MN	CAO	MGO	TiO <sub>2</sub>
44,60	23,84	5,88	0,078	0,238	0,021	0,068	0,141
Rejeito Flotação 50% / Lamas 50%							
FE	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	MN	CAO	MGO	TiO <sub>2</sub>
40,80	33,85	4,13	0,056	0,163	0,019	0,049	0,106
Rejeito Flotação 75% / Lamas 25%							
FE	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	MN	CAO	MGO	TiO <sub>2</sub>
37,00	43,87	2,37	0,033	0,088	0,018	0,029	0,071

Para as lamas das instalações recolheu-se uma amostra representativa, e realizado através do acompanhamento das análises químicas mensais em cada uma das usinas, conforme demonstrado pela tabela 5.2 e 5.3, com os resultados das análises por raios-X de rotina da empresa.

É importante, para efeitos comparativos dos dimensionamentos, que as lamas tenham as mesmas características das lamas dos planos de lavra e das operações diárias das usinas devido à interferência das alterações químicas e granulométricas das polpas. O restante das análises granulométricas e químicas encontra-se no Anexo A.

Tabela 5.2 – Análise de Rotina da ITM-I do Pico

Amostra	Data	Dens	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	Mn
ITM i - PIC - LAMAS I							
Mensal	jan - 2009	3,92	52,60	13,46	5,08	0,098	0,100
Mensal	fev - 2009	3,81	48,61	21,18	4,64	0,069	0,146
Mensal	mar - 2009	3,86	50,36	18,75	4,35	0,067	0,169
Mensal	abr - 2009	3,81	48,63	15,46	7,14	0,106	0,179
Mensal	mai - 2009	3,81	48,39	16,54	7,14	0,110	0,221
Mensal	jun - 2009	3,87	50,80	15,02	6,04	0,118	0,260
Mensal	jul - 2009	3,85	49,89	14,01	7,25	0,111	0,377
Mensal	ago - 2009	3,84	49,78	15,70	6,37	0,111	0,334
Mensal	set - 2009	3,78	47,28	19,00	6,78	0,099	0,225
Mensal	out - 2009	3,85	50,15	12,78	7,11	0,112	0,278
Mensal	nov - 2009	3,82	48,87	15,64	6,92	0,101	0,282
Mensal	dez - 2009	3,81	48,65	15,54	7,31	0,096	0,171



Tabela 5.3 – Análise de Rotina da ITM-D do Pico

Amostra	Data	Dens	Fe	SIO2	AL2O3	P	Mn
ITM D - PIC - LAMAS							
Mensal	fev - 2009	3,93	53,07	13,72	5,38	0,116	0,189
Mensal	mar - 2009	3,87	50,85	16,96	5,30	0,098	0,155
Mensal	abr - 2009	3,82	48,74	19,83	5,15	0,092	0,276
Mensal	mai - 2009	3,88	51,02	16,92	4,60	0,129	1,080
Mensal	jun - 2009	3,84	49,73	16,94	5,76	0,123	0,359
Mensal	jul - 2009	3,84	49,62	17,08	5,83	0,113	0,581
Mensal	ago - 2009	3,86	50,38	16,00	5,77	0,122	0,641
Mensal	set - 2009	3,84	49,63	16,01	6,39	0,128	0,453
Mensal	out - 2009	3,88	51,23	14,90	5,52	0,100	0,318
Mensal	nov - 2009	3,83	49,37	17,51	5,84	0,084	0,197
Mensal	dez - 2009	3,85	49,90	16,47	6,09	0,082	0,129

As amostras foram caracterizadas química e granulometricamente para a determinação das áreas unitárias de espessamento da forma mais assertiva possível. A química determina a densidade do material a ser espessado e a granulometria, sua aplicação. As duas juntas perfazem um conjunto de importantes características, não só para o adensamento, mas também para o manuseio dessa polpa após o processo de espessamento. As características granulométricas da polpa da ITM-D podem sintetizar os problemas de bombeamento ocorridos ao longo do tempo operacional da instalação.

As velocidades de sedimentação dependem do potencial zeta das partículas, o que podem levar a uma maior facilidade para sedimentar devido ao alto poder de coagulação das partículas. Os testes sugerem uma coagulação natural mais lenta para as lamas provenientes de materiais mais hidratados e mais rápida para materiais ricos em quartzo, conforme tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Velocidades de sedimentação para cada amostra

	ITM-D	ITM-D+I	Lamas	Rejeito
<b>Velocidade de Sedimentação</b>				
20% de sólidos	0,0136	0,0066	0,0061	0,1439
30% de sólidos	0,0059	0,0052	0,0041	0,1395
40% de sólidos	0,0043	0,0031	0,0023	0,0879
50% de sólidos	0,0031	0,0024	0,0018	0,0347
<b>Resultado Max.</b>	<b>0,0136</b>	<b>0,0066</b>	<b>0,0061</b>	<b>0,1439</b>

## 5.2 – Amostras Globais

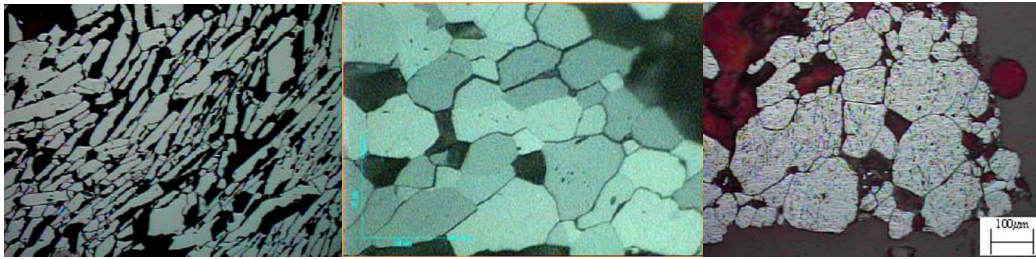
O tamanho dos grãos de quartzo e a forma das partículas de hematita, goetita e caulinita interferem de forma intensa na sedimentação. Uma observação meticulosa e a literatura sugerem que partículas granulares (figura 5.3 b.) ou a hematita especular (figura 5.3 a.) e martítica (figura 5.3 c.), muito presentes nas litologias do Pico, devido ao formato podem retardar ou acelerar a sedimentação. Ela é retardada graças ao aumento da superfície de contato e conseqüentemente o aumento da força de resistência à sedimentação e acelerar devido à proximidade da partícula à forma esférica.

Realizou-se um ensaio de sedimentação com cada uma das lamas coletadas nos *overflows* dos ciclones de deslamagem da ITM-D e ITM-I e com as misturas entre lamas e o rejeito de flotação coletado na ITM-D para determinação do comportamento com o aumento da granulometria do material. Para cada um dos ensaios construiu-se uma curva de sedimentação, conforme visto na figura 5.4, e, a partir desses gráficos, foram retiradas as informações para o dimensionamento dos espessadores.

Todos os testes geraram uma série de curvas que foram utilizadas para determinação da área unitária de espessamento através dos métodos de Talmadge e Fitch, Coe e Clevenger, Oltmann e Wilhelm e Naide. Através da área unitária foi determinada a área total do espessador, que, com seus devidos fatores de correção e segurança, geraram os diâmetros para cada situação proposta. Todas as curvas geradas para todos os testes se encontram no anexo B deste trabalho.

Para o dimensionamento através das curvas de sedimentação utilizou-se o método de Roberts, plotando-se as curvas de sedimentação em escala log-log. Os pontos de inflexão das curvas são os pontos de compressão nos gráficos de sedimentação H versus t, conforme se mostra na figura 5.5.

Cada gráfico sugere a velocidade de sedimentação média do sistema, determinada pela inclinação da parte reta descendente da curva conforme demonstrado na figura 5.7. Baixas velocidades sugerem maiores áreas para espessadores sedimentarem toda a massa gerada nos processos. Para os testes em questão, o rejeito de flotação apresentou velocidades de sedimentação consideráveis durante os ensaios (figura 5.8).



(a)hematita especular (b)hematita granular (c)martita

Figura 5.3 – Microfotografia das estruturas das lamas

A mina do Pico se caracteriza pela presença maciça de hematitas granulares e de materiais martíticos, estes materiais tendem a não interceder na velocidade de sedimentação das partículas.

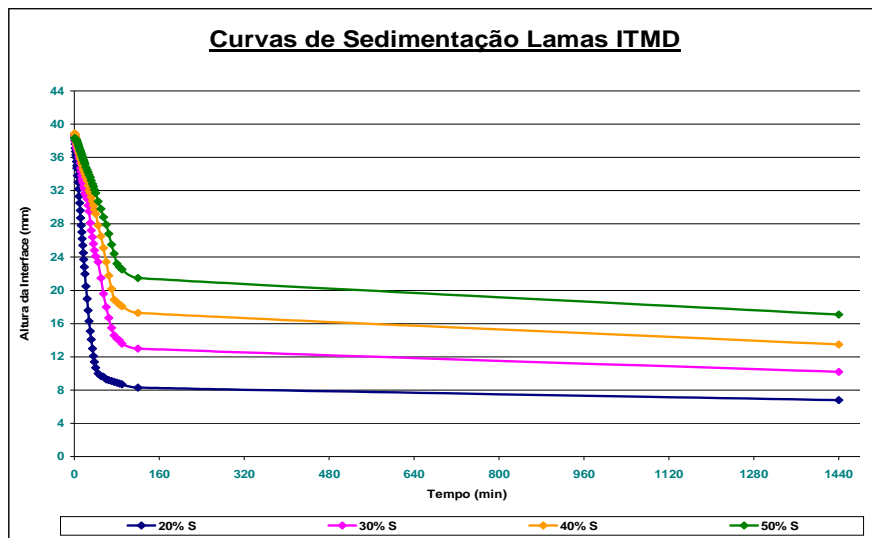


Figura 5.4 – Curva de sedimentação para as lamas da ITM-D

As lamas da ITM-D apresentaram curvas de sedimentação mais inclinadas do que as da ITM-I, uma possível explicação para este fato reside na distribuição granulométrica da ITM-D ser mais grosseira que da ITM-I, fazendo assim com que o material da segunda sedimente mais lentamente que da primeira.

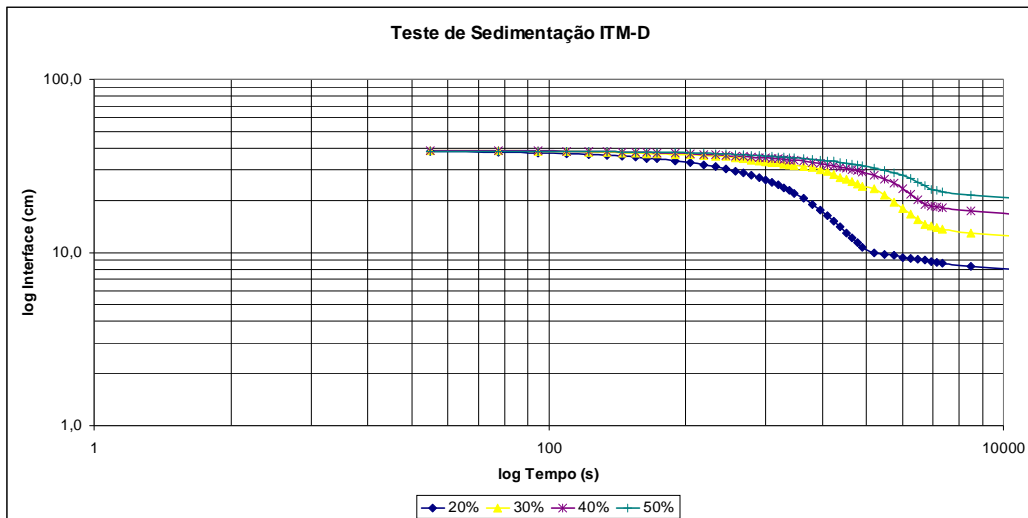


Figura 5.5 – Dados do ensaio de sedimentação em proveta em escala log-log.

Analisando o gráfico acima, podem ser identificados através das curvas os pontos de compressão para os ensaios realizados para as lamas da ITM-D. Os pontos de inflexão no gráfico, como dito anteriormente, determinam os pontos de compressão para o material em questão.

Utilizando este recurso gráfico, os testes evidenciaram que a medida que se aumenta a granulometria da polpa, fica mais fácil a identificação do ponto de compressão, principalmente a baixas concentrações de sólidos como visto na figura 5.6, em que foi plotado o gráfico em escala logarítmica para o ensaio com rejeito de flotação.

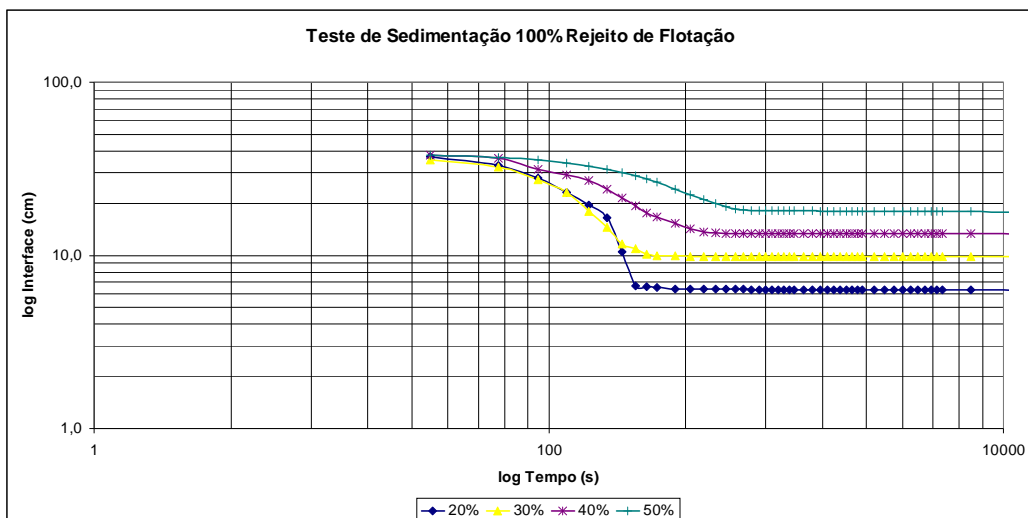


Figura 5.6 – Ensaio do rejeito de flotação em escala log-log

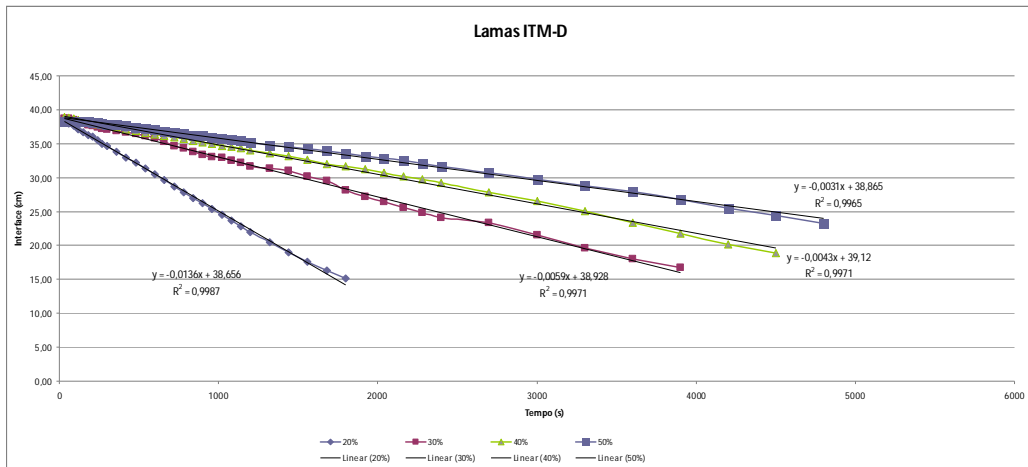


Figura 5.7 – Velocidade de sedimentação para as lamas da ITM-D

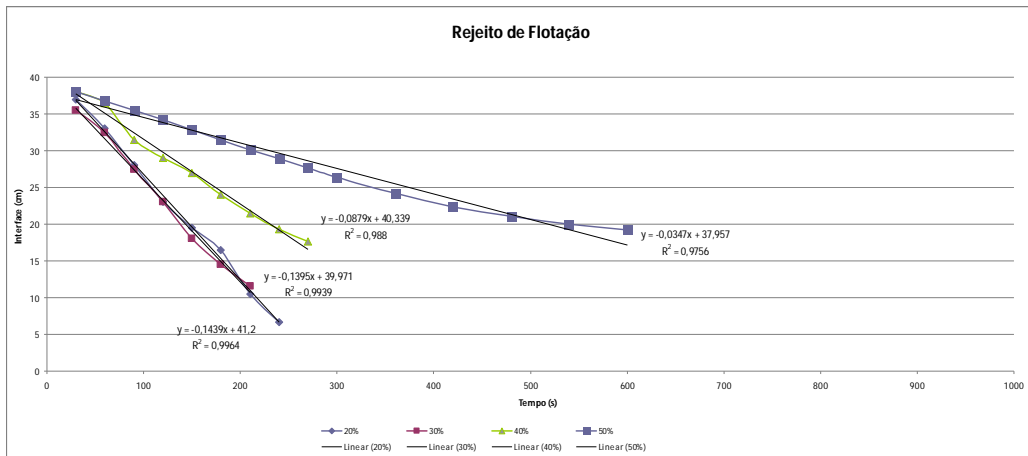


Figura 5.8 – Velocidade de sedimentação para o rejeito de flotação da ITM-D

Ao se introduzir o rejeito de flotação, que possui distribuição granulométrica mais grosseira que as lamas, podendo atingir até 0,300 mm, nota-se uma redução da área necessária para a sedimentação, mesmo o material possuindo uma densidade menor que as lamas, como podem ser visto nas figuras 5.9 e 5.10, que representam respectivamente o balanço de massas dos sistemas com lamas e rejeito de flotação.

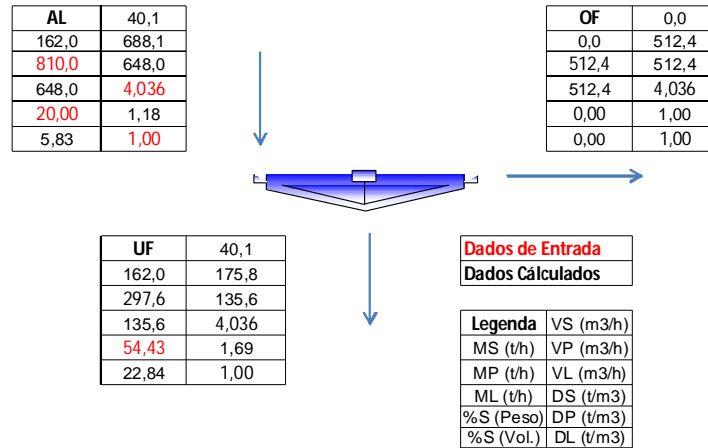


Figura 5.9 – Balanço de Massas com as lamias da ITM-I.

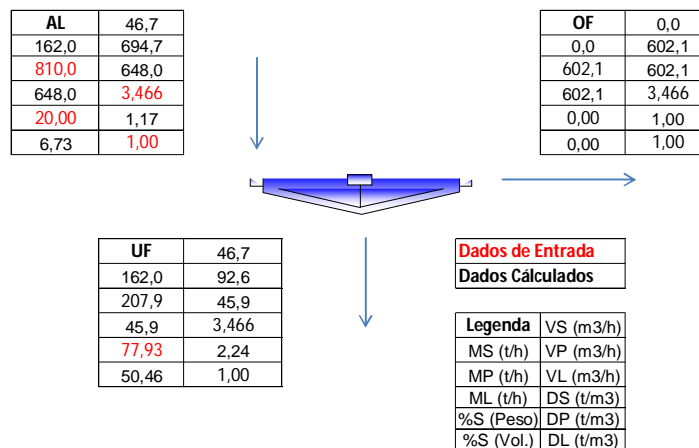


Figura 5.10 – Balanço de massas do Rejeito de Flotação.

Para cada amostra realizada, levando-se em consideração a taxa de alimentação média realizada hoje nas usinas ITM-D e ITM-I, foi realizado um balanço de massas como um espessador ideal, ou seja, com ausência de sólidos no overflow para determinação dos parâmetros de concentração nos diversos fluxos de processo.

Os balanços das figuras acima foram fechados segundo as mesmas premissas de processo, com 20% de sólidos na alimentação e taxa de alimentação de 162 toneladas por hora. O rejeito de flotação apresentou uma compressibilidade pequena comparada às outras misturas e cresce para todos os testes à medida que o percentual de sólidos aumenta como visto na figura 5.11, e mesmo com altos tempos de residências nos testes realizados em provetas. Não é improvável a interferência na compressibilidade dos

materiais nos processos de dimensionamento de espessadores industriais, uma vez que a maioria dos métodos utilizados hoje na indústria não leva em consideração este tipo de parâmetro. Apenas Wilhelm e Naide dos métodos utilizados neste trabalho levam em consideração este fato.

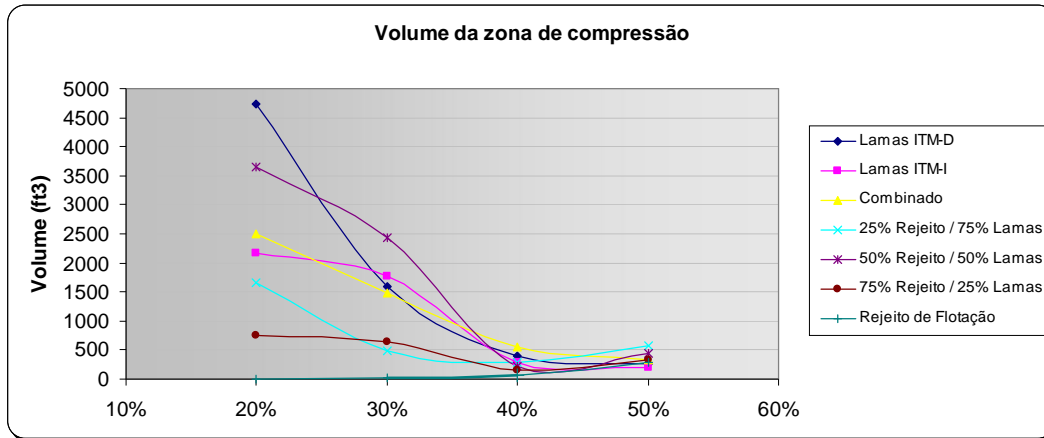


Figura 5.11 – Volumes das zonas de compressão para os diferentes testes realizados

No entanto, aparentemente a área de espessamento é o parâmetro mais incisivo para o dimensionamento dos espessadores destinados a receber este material. Sendo assim, o volume da zona de compressão pode deixar de ser importante neste caso. Maiores estudos seriam indicados para esclarecer todas estas questões. Os valores de volumes da zona de compressão, neste trabalho denominados  $V_s$ , estão na tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Valores de volumes da zona de compressão

Lamas ITM-D				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Tempo (s)	2460	3300	2700	2400
Volume (ml)	9,8	3,70	1,60	1,70
$V_s$	4733	1597	408	273
Lamas ITM-I				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Tempo (s)	3300	3300	2100	2400
Volume (ml)	2,80	3,50	1,26	1,20
$V_s$	2158	1778	280	204
Combinado				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Tempo (s)	3600	3000	2400	2400
Volume (ml)	3,50	3,60	2,50	2,00
$V_s$	2496	1475	556	323
Rejeito de Flotação				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Tempo (s)	60,00	150,00	240,00	600,00
Volume (ml)	0,20	1,70	3,10	8,30
$V_s$	2	29	57	283

### 5.3 – Dimensionamento dos Espessadores

Para o dimensionamento dos espessadores do Pico, levou-se em consideração a adição de polímeros (floculante) para simular as velocidades de sedimentação no tanque de decantação industrial. Para um parâmetro inicial foi realizado um teste de sedimentação em branco para determinação da área de espessamento requerida para as lamas da ITM-D e lamas da ITM-I sem a adição do floculante (figuras 5.12 e 5.13) somente para comparações entre os espessadores convencionais com e sem a adição de reagentes agregadores.

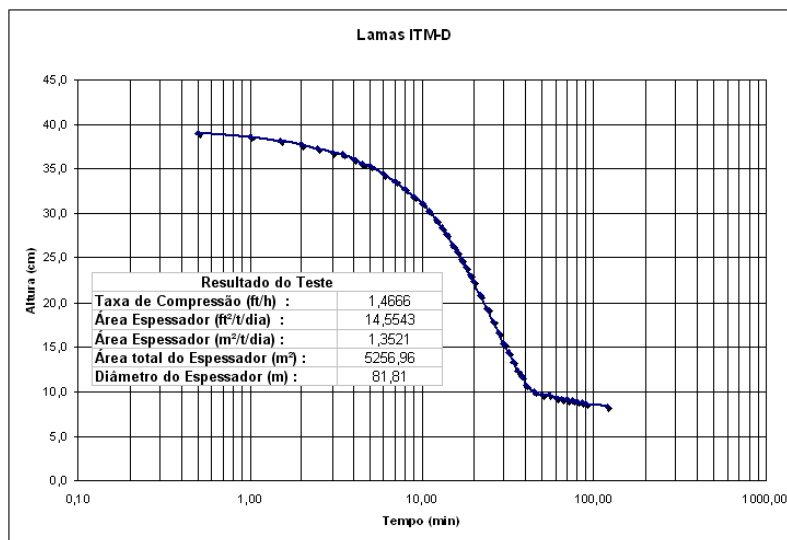


Figura 5.12 – Teste em branco para as lamas da ITM-D

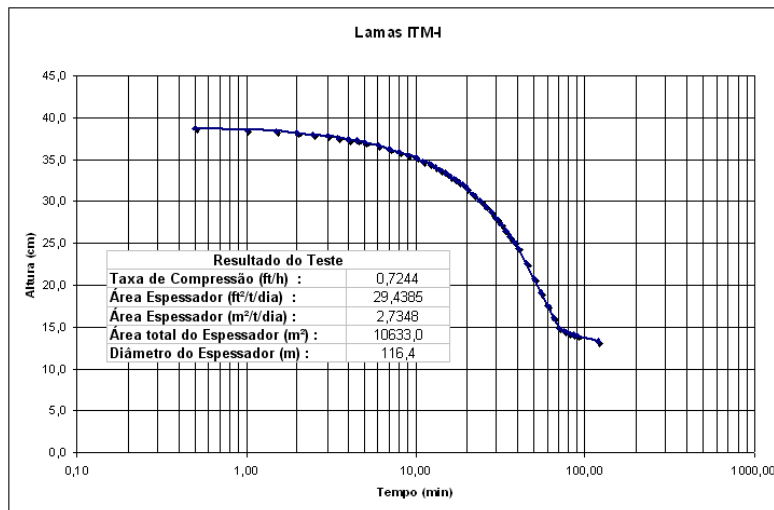


Figura 5.13 – Teste em branco para as lamas da ITM-I



Como resultado dos testes exploratórios, foram obtidas áreas extremamente grandes se comparados aos espessadores existentes hoje nas usinas que atendem ao processo com certa tranquilidade. Para o espessador da ITM-D foi obtida uma área superior a 80 metros, mas ainda assim, em uma alimentação proveniente de materiais mais ricos. Para a ITM-I, a área foi superior a 116 metros. Os resultados apresentaram consistência no quesito compressibilidade e velocidade de sedimentação, pois em termos de características químicas são extremamente semelhantes. O método utilizado foi o de Talmadge e Fitch.

Para as lamas de sistemas semelhantes, as contaminações por manganês não representaram um obstáculo para a decantação do material, tendo em vista que o material rico neste contaminante, um dos objetivos deste estudo se mostrou equivalente em termos de velocidade de sedimentação, taxa de compressão, volume da zona de compressão e tempo mínimo de residência para a sedimentação dos sólidos dentro do equipamento.

Os testes foram executados seguindo os mesmos parâmetros dos testes de sedimentação para a simulação dos espessadores industriais, no entanto, sem a utilização de elementos químicos para acelerar a sedimentação das partículas, dependendo somente da carga natural do sólido, uma vez que o teste foi executado em pH neutro. O potencial Zeta de cada amostra demonstra que não há dificuldade para a coagulação.

### **5.3.1 – Método Coe e Clevenger**

Após a confecção das curvas de sedimentação são estabelecidas as concentrações de sólidos no underflow do espessador. Determinado o G crítico conforme visto na figura 5.14, encontra-se a área unitária de espessamento.

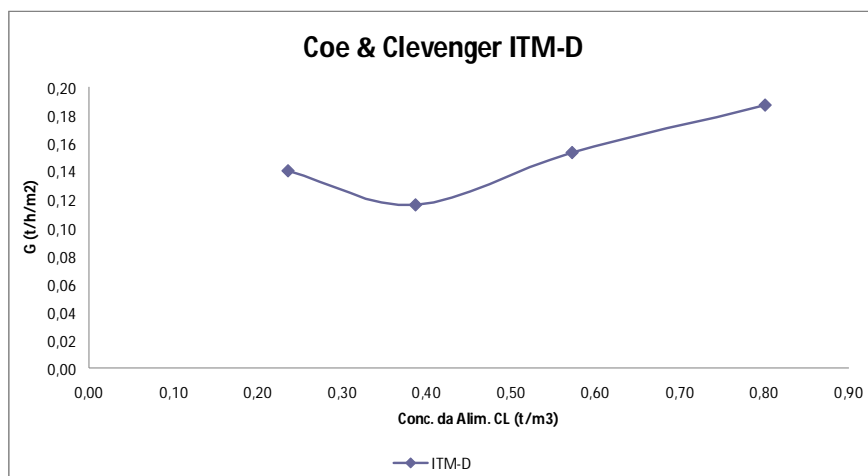


Figura 5.14 – Gráfico de G de Coe e Clevenger para as lamas da ITM-D

G é determinado pelo ponto de mínimo no gráfico, e sua área unitária, que se encontra na tabela 5.6, é obtido através do inverso de G.

Tabela 5.6 – Valores de G e área unitária para a ITM-D

	20%	30%	40%	50%
G crítico (t/h/m²)	0,14	0,12	0,15	0,19
Auo (m²/t/h)	7,12	8,59	6,53	5,35
Área Total (m²)	1383,69	1670,37	1268,82	1040,08
<b>Diâm. Esp. (m)</b>	<b>41,97</b>	<b>46,12</b>	<b>40,19</b>	<b>36,39</b>

Para a ITM-D do Pico, o dimensionamento pelo método Coe e Clevenger demonstrou que o espessador deve possuir 46,12 metros, utilizando-se o fator de escala de 20%.

Para o método de Coe e Clevenger, foram encontrados valores consistentes para os dimensionamentos em todas as faixas de concentração de sólidos na alimentação dos espessadores, com resultados relativamente próximos para as condições iniciais em todos os ensaios. Apesar dos modelos feitos por Coe e Clevenger só levarem em consideração as velocidades nas zonas de sedimentação livre, a introdução do volume de controle se mostrou importante para o dimensionamento de espessadores. A teoria de que este método tem a tendência a superestimar a capacidade de compressão do sólido, subestimando o tempo de sedimentação e, por consequência, subestimando também o valor da área total do espessador se mostrou real, pois os fatores de correção se mostraram bastantes assertivos para os espessadores industriais existentes.

Como pode ser visto na tabela 5.7, os valores encontrados nos ensaios e no dimensionamento utilizando o método de Coe e Clevenger corroboram com os valores reais para os espessadores industriais.

Tabela 5.7 – Valores do dimensionamento com o método Coe e Clevenger

	ITM-D	ITM-I	ITM-D+I	Rejeito
<b>Coe &amp; Clevenger</b>				
20% de sólidos	41,97	59,71	59,11	13,33
30% de sólidos	46,12	51,15	48,15	9,89
40% de sólidos	40,19	49,37	46,33	9,71
50% de sólidos	36,39	38,75	38,65	11,83
<b>Resultado</b>	<b>46,12</b>	<b>59,71</b>	<b>59,11</b>	<b>13,33</b>

Os valores obtidos para as diversas polpas utilizando o método Coe e Clevenger e o detalhamento de todos os testes estão no anexo C.

### 5.3.2 – O Método de Talmadge e Fitch

Conforme visto no capítulo 3 deste trabalho, os fornecedores utilizam os valores críticos obtidos nos testes de Coe e Clevenger para estabelecer um primeiro parâmetro de corte para a execução de ensaios e dimensionamentos, o que não foi feito neste trabalho. As variações geradas pelas diferenças nos percentuais de sólidos na alimentação foram até certo ponto facilmente absorvidas pelo método.

O modelo de Talmadge e Fitch exibe um modelo gráfico para determinação da área de espessamento, neste trabalho os dados de dimensionamento para cada teste de dimensionamento estão no anexo C.

Os dados obtidos nos testes de sedimentação fornecem as informações necessárias para a construção do gráfico e fornecem os valores que serão necessários para a construção das tangentes e das horizontais.

Os valores obtidos através das curvas de sedimentação estão na tabela 5.8 e eles representam os parâmetros necessários para a retirada do segundo grupo de valores que serão utilizados para o dimensionamento do espessador.

Tabela 5.8 – Valores para construção do modelo gráfico do método de Talmadge e Fitch

**Talmadge-Fitch - ITM-D 30% de sólidos**

$H_u = C_o.H_o / C_u$

$C_o$  = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

$H_o$  = altura da polpa no início do teste (m)

$C_u$  = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

$H_u$  = Altura da interface para a concentração  $C_u$  (m)

0,3881
0,3870
1,3301
0,1129

A figura 5.15 mostra o modelo gráfico do método Talmadge e Fitch já com todas as retas para a determinação dos parâmetros de dimensionamento.

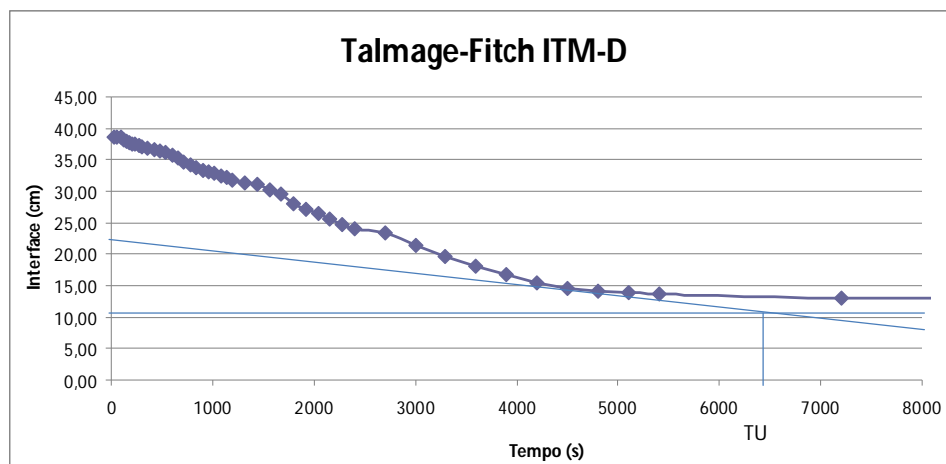


Figura 5.15 – Modelo gráfico do método Talmadge e Fitch

Após a construção do gráfico, foram extraídos os valores de  $T_u$  para o dimensionamento conforme observado na tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Resultados do dimensionamento para a ITM-D a 30% de sólidos

$T_u$  encontrado no gráfico (s)

6300
------

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,09
------

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

11,65
-------

Área Total (m<sup>2</sup>) =

2831,57
---------

Diâmetro (m) =

60,04
-------

Tanto Talmadge e Fitch quanto Kynch montaram modelos que só dependem da diluição na alimentação do espessador e para os testes realizados com as amostras deste trabalho, diluições mais baixas indicaram maiores velocidades de sedimentação, porém, maiores áreas necessárias para a sedimentação das partículas. Os resultados se mostraram

consistentes para relações entre os modelos, e demonstraram assertividade quando comparamos com os modelos industriais existentes hoje no Pico, a exceção para baixas concentrações.

Os modelos de Coe e Clevenger e Talmadge e Fitch demonstraram baixas capacidades de sedimentação para baixos percentuais de sólidos, e os dimensionamentos geraram espessadores com grandes diâmetros, especialmente para as lamas da ITM-I, com diâmetros superiores a 60 metros em alguns casos. A tabela 5.10 mostra os resultados de dimensionamento para as amostras pelo método de Talmadge e Fitch.

Tabela 5.10 – Resultados de dimensionamento do método Talmadge e Fitch

	ITM-D	ITM-I	ITM-D+I	Rejeito
<b>Talmadge&amp;Fitch</b>				
20% de sólidos	46,40	57,38	60,86	14,30
30% de sólidos	49,03	49,22	50,71	10,33
40% de sólidos	37,24	41,48	45,18	9,94
50% de sólidos	33,82	35,04	34,96	11,68
<b>Resultado</b>	<b>49,03</b>	<b>57,38</b>	<b>60,86</b>	<b>14,30</b>

Os testes restantes e todo o detalhamento dos ensaios se encontram no final deste trabalho, no anexo C.

### 5.3.3 – Método de Oltmann

O método tem muitas semelhanças ao método de Talmadge e Fitch, o que gerou, sem surpresas resultados bastante próximos ao método anterior. A Tabela 5.11 mostra os cálculos para os primeiros parâmetros do modelo gráfico de Oltmann.

Tabela 5.11 – Cálculo dos parâmetros para lamas ITM-D a 20% de sólidos.

$$Hu = Co.Ho / Cu$$

Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,2357
0,3840
1,3188
0,0686

Oltmann desenvolveu um ensaio de sedimentação que perceptivelmente visa a determinar uma estimativa razoável da percentagem de sólidos no *underflow* e do tempo necessário para atingi-la. Para os ensaios deste trabalho foram utilizadas as ferramentas

gráficas semelhantes as do método de Talmadge e Fitch. A figura 5.16 mostra a ferramenta gráfica utilizada nos testes para o dimensionamento com o método de Oltmann com as lamdas da ITM-D a 20% de sólidos.

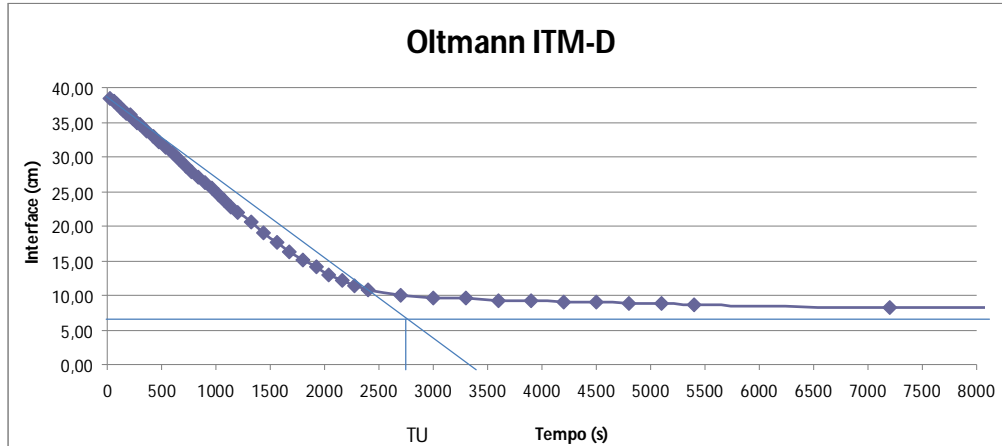


Figura 5.16 – Método gráfico de Oltmann

O dimensionamento pelo método de Oltmann seguiu as mesmas características do método de Talmadge e Fitch e se mostraram bem consistentes e acabaram por corroborar com os resultados dos dois métodos apresentados anteriormente.

Tanto o método de Oltmann, quanto o método de Talmadge e Fitch apresentam falhas e dificuldades com relação à imprecisão das medidas a serem tomadas pelas retas que passam ou tangenciam o ponto de compressão, simplesmente pelas imprecisões da marcação que é feita de forma manual.

O restante dos cálculos é feito de forma semelhante ao de Talmadge e Fitch. Através do gráfico se obtém os valores de  $T_u$  e assim os cálculos de dimensionamento do espessador, conforme visto na tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Dimensionamento do Espessador pelo método de Oltmann

Tu encontrado no gráfico (s)	6300
G (t/h/m <sup>2</sup> ) =	0,09
Área unitária (m <sup>2</sup> /t/h) =	11,65
Área Total (m <sup>2</sup> ) =	1887,71
Diâmetro (m) =	49,03

Conforme observado nos testes executados e nos dimensionamentos executados, devido a semelhança dos métodos gráficos e da aplicação do fator de segurança, o dimensionamento utilizando os métodos gráficos de Talmadge e Fitch e Oltmann fornecem resultados de dimensionamentos bem próximos, como será visto ao final deste trabalho.

Estes três métodos descritos até o momento são os mais utilizados para o dimensionamento de espessadores industriais, e conforme demonstrado, fornecem resultados bem consistentes para lamas e rejeitos.

Todos os ensaios realizados e dimensionamentos efetuados utilizando o método de Oltmann se encontram ao final deste trabalho no Anexo C.

#### **5.3.4 – Método de Wilhelm e Naide**

Os cálculos utilizando o método de Wilhelm e Naide realmente levam em consideração uma gama maior de variáveis quando comparado aos demais métodos, o que gera uma maior interferência de fatores como a compressibilidade, que é considerada no dimensionamento através do volume da zona de compressão. As retas tangentes aos diversos pontos da curva de sedimentação (figura 5.17) determinam a velocidade de sedimentação para cada ponto do trajeto da partícula no ensaio realizado.

A preferência pelos métodos tradicionais se deve também ao fato da simplicidade dos modelos matemáticos em comparação ao modelo de Wilhelm e Naide. Para os testes em questão o modelo demonstrou que o fato de pegar a velocidade em diversos pontos da reta pode gerar resultados maiores que os esperados ou que os métodos tradicionais, principalmente se a polpa sedimentar muito depressa.

Uma das dificuldades da execução dos dimensionamentos através do modelo esteve na correlação entre as equações que definem os principais parâmetros. Uma curva exponencial determinada pela concentração de sólidos em cada trecho da curva de sedimentação, como mostra a tabela 5.13.

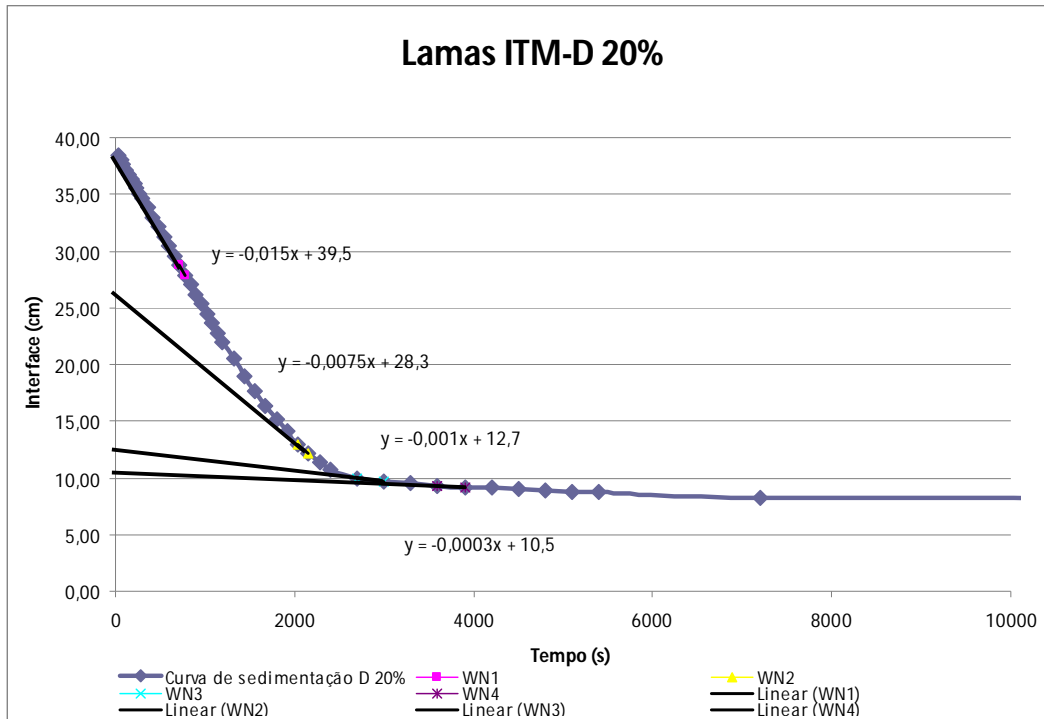


Figura 5.17 – Modelo gráfico de Wilhelm e Naide

Tabela 5.13 – Cálculo da concentração Ci para cada tangente WN

Rejeito	20% de Sólidos	30% de Sólidos	40% de Sólidos	50% de Sólidos
	<b>Volume de sólidos (cm3)</b>	<b>Volume de sólidos (cm3)</b>	<b>Volume de sólidos (cm3)</b>	<b>Volume de sólidos (cm3)</b>
	194,75	296,88	416,91	566,65
	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>
	37	35,5	38	38
	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>
	8,5	8,5	8,5	8,5
	<b>Densidade do Sólido (g/cm3)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm3)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm3)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm3)</b>
	3,466	3,466	3,466	3,466
	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>
	675	1029	1445	1964
	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>
	77,93%	74,25%	77,23%	77,29%
	<b>Concentração Inicial Co</b>	<b>Concentração Inicial Co</b>	<b>Concentração Inicial Co</b>	<b>Concentração Inicial Co</b>
	0,20	0,30	0,40	0,50
	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>
WN1	41,00	38,30	38,00	38,20
WN2	36,50	33,00	33,90	31,30
WN3	34,50	15,70	23,00	25,70
WN4	6,40	10,90	18,40	21,50
	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>
WN1	0,18	0,28	0,40	0,50
WN2	0,20	0,32	0,45	0,61
WN3	0,21	0,68	0,66	0,74
WN4	1,16	0,98	0,83	0,88

A partir da concentração Ci, que como já foi dito, é uma relação direta da altura inicial da polpa com a intersecção das tangentes com o eixo das ordenadas. Previsivelmente, a concentração de sólidos aumenta a cada trecho da curva, à medida que nos aproximamos do eixo X, como pode ser observado na tabela 5.13. Novamente



ressaltando, a imprecisão pode ser compensada pela diminuição da escala no eixo das ordenadas para a leitura da altura  $H_o$  e recursos computacionais, como a melhor reta entre dois pontos da curva e pequenos ajustes, que fornecem a equação das retas para determinação de a e b.

O gráfico gerado a partir dos dados de concentração  $C_i$  e das velocidades de sedimentação em cada trecho da curva, determinados pela inclinação das tangentes em cada ponto pode ser visto na figura 5.18 e plotados em escala log-log. Os fatores de correlação das equações mostram boa funcionalidade e credenciam a utilização das equações para o dimensionamento nas etapas seguintes.

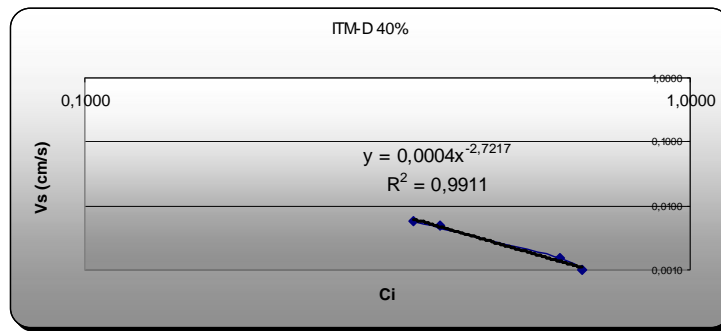


Figura 5.18 – Gráfico de Vs pela concentração  $C_i$  em papel log log

Como pode ser visto na figura 5.20, as curvas foram ajustadas por uma função exponencial do tipo  $V_i = aC_i^{-b}$ , de onde foram retirados os parâmetros a e b para utilização nas etapas seguintes de dimensionamento, conforme observado na tabela 5.14.

Tabela 5.14 – Valores de a e b para os testes de dimensionamento

Lamas ITM-D								
% sólidos	20%		30%		40%		50%	
Parâmetros	a	b	a	b	a	b	a	b
WN	0,00030	2,3476	0,00040	2,2713	0,00040	2,7217	0,00050	2,7072
Lamas ITM-I								
% sólidos	20%		30%		40%		50%	
Parâmetros	a	b	a	b	a	b	a	b
WN	0,00020	2,1634	0,00015	3,0561	0,00009	4,4669	0,00010	4,4092
Combinado								
% sólidos	20%		30%		40%		50%	
Parâmetros	a	b	a	b	a	b	a	b
WN	0,00035	2,1634	0,00035	2,6026	0,00015	4,4827	0,00020	3,8815
Rejeito de Flotação								
% sólidos	20%		30%		40%		50%	
Parâmetros	a	b	a	b	a	b	a	b
WN	0,00250	2,5246	0,00610	2,4342	0,00610	2,8285	0,00250	4,1224

A partir dos dados retirados da tabela 5.14, foi dimensionada a área de cada espessador. Cada área encontrada foi ajustada pelo fator de correção da razão de espessamento. O fator  $\eta$  foi retirado do gráfico apresentado na seção 3.7.7 (figura 3.25), e aplicado no modelo matemático do método. Após as correções foram geradas as áreas necessárias para cada teste de sedimentação, conforme tabela 5.15, onde Aueb é a área calculada e Auec é a área de espessamento corrigida pelo fator.

Tabela 5.15 – Valores de área de espessamento em pés<sup>3</sup>/tonelada/dia

Lamas ITM-D				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Vi	0,0131	0,0062	0,0048	0,0033
Aueb	2116,4	1610,2	1557,4	1382,5
Auec	2879,8	2711,3	2418,9	1886,5
$\eta$	0,33	0,62	0,61	0,62
Lamas ITM-I				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Vi	0,0065	0,0059	0,0054	0,0021
Aueb	2590,0	2777,8	3379,7	3640,2
Auec	3462,5	3359,1	3695,8	4315,1
$\eta$	0,62	0,57	0,62	0,64
Combinado				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Vi	0,0114	0,0080	0,0091	0,0029
Aueb	1682,1	1642,4	2806,8	2665,7
Auec	3026,0	2844,5	3915,2	3407,0
$\eta$	0,57	0,62	0,63	0,64
Rejeito de Flotação				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Vi	0,1454	0,1143	0,0815	0,0435
Aueb	320,0	121,9	130,2	309,9
Auec	399,6	141,5	200,4	468,3
$\eta$	0,13	0,13	0,56	0,61

Após o dimensionamento das áreas dos espessadores constroem-se um gráfico da razão de espessamento pelo percentual de sólidos no underflow do espessador, conforme figura 5.19.

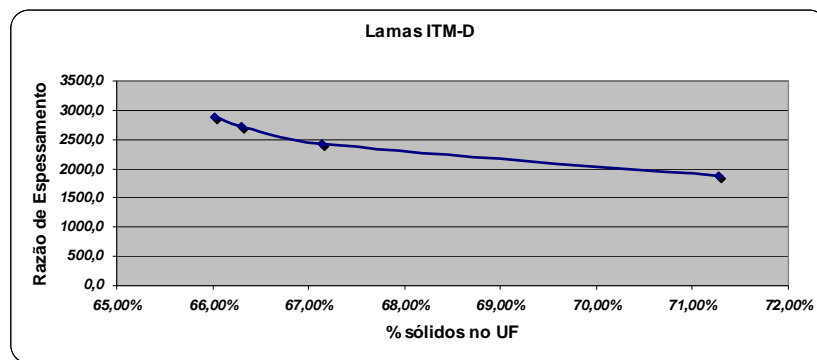


Figura 5.19 – Gráfico de Wilhelm e Naide da Razão de Espessamento pelo % sólidos no underflow

Para efeitos de dimensionamento, o método de Wilhelm e Naide se mostrou trabalhoso, porém com variáveis importantes para determinadas aplicações que não são contempladas pelos métodos de dimensionamento anteriormente mencionados. Parâmetros como a compressibilidade do material não foram determinantes para os casos estudados, mas não seria improvável dizer da interdependência deste fato com materiais mais leves que as lamelas de minério de ferro, que possuem menor velocidade de sedimentação e maior compressibilidade. A tabela 5.16 mostra os resultados de dimensionamento realizados pelo método de Wilhelm e Naide.

Tabela 5.16 – Resultados de dimensionamento pelo método de Wilhelm e Naide.

	<b>ITM-D</b>	<b>ITM-I</b>	<b>ITM-D+I</b>	<b>Rejeito</b>
<b>Wilhelm &amp; Naide</b>				
20% de sólidos	60,55	66,40	62,07065	22,56
30% de sólidos	58,76	65,40	60,18038	13,42
40% de sólidos	55,50	68,60	70,60419	15,97
50% de sólidos	49,01	74,12	65,86269	24,42
<b>Resultado</b>	<b>60,55</b>	<b>74,12</b>	<b>70,60</b>	<b>24,42</b>

Como observado na tabela acima, existem valores bem consistentes gerados pelo método de Wilhelm e Naide e que seguem a lógica da massa e sedimentação, que resulta na relação inversa entre taxa de sólidos alimentados no espessador pela velocidade de sedimentação da partícula.

Todos os ensaios e o restante dos dimensionamentos se encontram ao final deste trabalho no anexo C.

#### **5.4 – Comparação entre os métodos**

Os métodos de dimensionamento de espessadores geralmente diferem em alguns parâmetros de medida. Talvez seja essa a razão que levou à utilização dos métodos convencionais de determinação da área para os espessadores industriais como sendo Oltmann, Talmadge e Fitch e Coe e Clevenger. Conforme foi mostrado anteriormente, a simplicidade e rapidez na execução e na obtenção dos resultados se mostram fatores importantes na decisão pela utilização deste ou daquele método.

As figuras 5.20 (a), (b), (c) e (d) mostram os resultados dos cálculos por faixa de concentração de sólidos na alimentação para comparação entre os métodos de dimensionamento. Como pode ser visualizado, os três métodos tradicionais trazem resultados semelhantes e o método introduzido para avaliação Wilhelm e Naide, forneceu resultados maiores, porém a curva segue a mesma linha de tendência, mostrando que o método fornece resultados de escolha consistentes com os outros métodos, porém superdimensionados em relação aos demais.

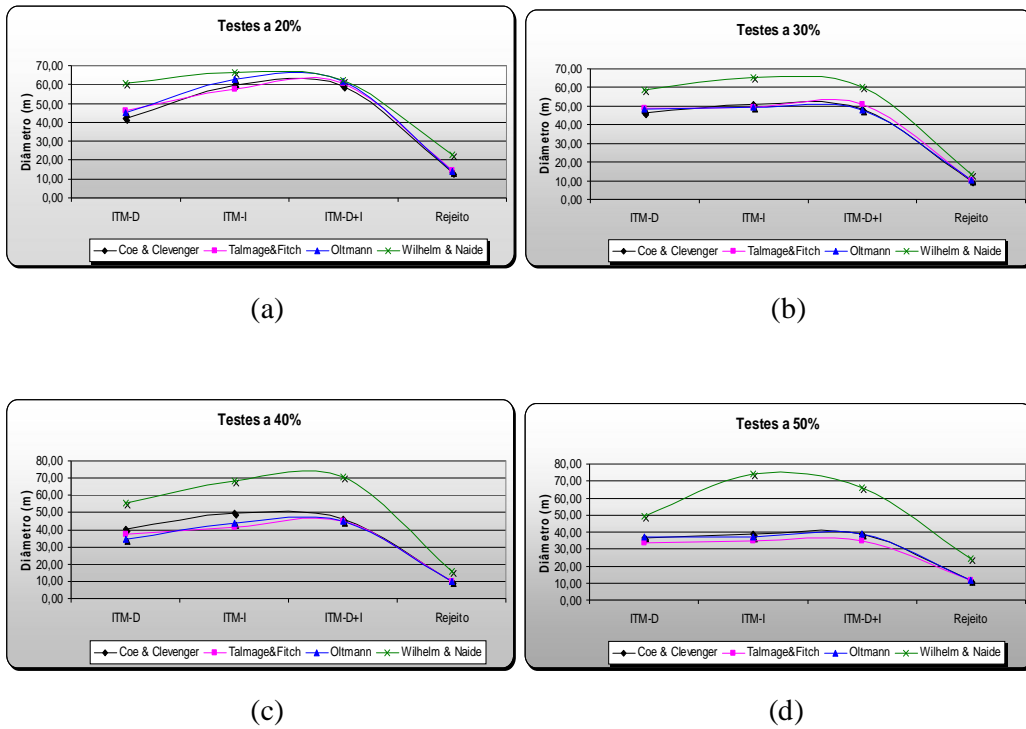


Figura 5.20 – (a) Dimensionamento para alimentação a 20% de sólidos  
 (b) Dimensionamento para alimentação a 30% de sólidos  
 (c) Dimensionamento para alimentação a 40% de sólidos  
 (d) Dimensionamento para alimentação a 50% de sólidos

Como se pode ver, os dimensionamentos seguem um mesmo padrão, e os métodos tradicionais geraram valores de diâmetro muito próximos uns dos outros, apenas Wilhelm e Naide apresentaram valores superiores, porém seguindo a tendência do maior diâmetro em baixo percentual de sólidos na alimentação.

Os valores para espessadores, considerando a taxa de alimentação operacional estão na figura 5.21, que mostra os diâmetros escolhidos para uso industrial.

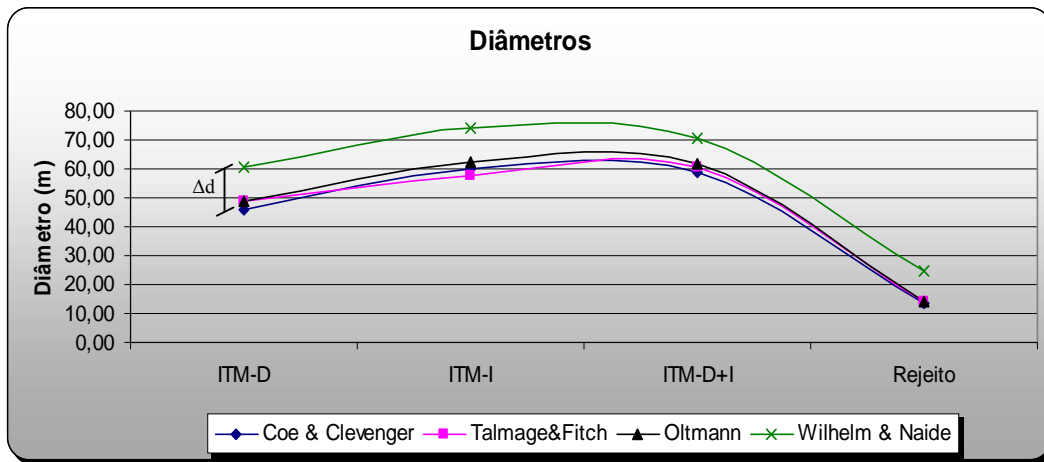


Figura 5.21 – Diâmetros sugeridos para os espessadores industriais

Considerando apenas os métodos mais utilizados para o dimensionamento industrial, o espessador industrial escolhido teria as dimensões de aproximadamente 50 metros de diâmetro para a ITM-D, aproximadamente 60 metros para a ITM-I, se combinássemos as lamas das duas usinas teríamos um espessador também de 60 metros, e para o rejeito teríamos aproximadamente 13 metros de diâmetro.

A viscosidade excessiva de uma polpa pode interferir de forma significativa na velocidade de sedimentação das partículas, inclusive causando retenções na sedimentação de outras lamas componentes da mistura, sendo as lamas mais finas da ITM-I de sedimentação mais lenta, mesmo quando misturadas as lamas da ITM-D.

Já considerando o método de Wilhelm e Naide, todos os valores de diâmetro estariam deslocados para cima. Apesar de seguir a tendência de aumento com o fluxo de sólidos, o método desloca em um  $\Delta d$  positivo o valor do diâmetro do espessador, parecendo uma tendência ao superdimensionamento dos valores, mesmo resultado alcançado por Torquato (2008), em análise dos métodos de dimensionamento dos espessadores de lama para comparação com os modelos instalados em Capanema, Timbopeba, Fábrica Nova e Brucutu. No entanto, o único fato que pode corroborar com esta suposição da

superestimação está no fato dos espessadores industriais atenderem a demanda operacional de hoje.

A tabela 5.17 mostra todos os valores obtidos para os dimensionamentos dos espessadores para todos os métodos estudados.

Tabela 5.17 – Valores de diâmetro para os quatro métodos e todos os ensaios

	ITM-D	ITM-I	ITM-D+I	Rejeito
<b>Coe &amp; Clevenger</b>				
20% de sólidos	41,97	59,71	59,11	13,33
30% de sólidos	46,12	51,15	48,15	9,89
40% de sólidos	40,19	49,37	46,33	9,71
50% de sólidos	36,39	38,75	38,65	11,83
<b>Resultado</b>	<b>46,12</b>	<b>59,71</b>	<b>59,11</b>	<b>13,33</b>
<b>Talmage&amp;Fitch</b>				
20% de sólidos	46,40	57,38	60,86	14,30
30% de sólidos	49,03	49,22	50,71	10,33
40% de sólidos	37,24	41,48	45,18	9,94
50% de sólidos	33,82	35,04	34,96	11,68
<b>Resultado</b>	<b>49,03</b>	<b>57,38</b>	<b>60,86</b>	<b>14,30</b>
<b>Oltmann</b>				
20% de sólidos	45,29	62,55	61,59	14,12
30% de sólidos	48,56	49,26	47,81	10,48
40% de sólidos	34,44	44,06	45,03	10,15
50% de sólidos	37,05	37,20	38,88	11,73
<b>Resultado</b>	<b>48,56</b>	<b>62,55</b>	<b>61,59</b>	<b>14,12</b>
<b>Wilhelm &amp; Naide</b>				
20% de sólidos	60,55	66,40	62,07	22,56
30% de sólidos	58,76	65,40	60,18	13,42
40% de sólidos	55,50	68,60	70,60	15,97
50% de sólidos	49,01	74,12	65,86	24,42
<b>Resultado</b>	<b>60,55</b>	<b>74,12</b>	<b>70,60</b>	<b>24,42</b>

## 5.5 – Interferência da Granulometria na Sedimentação

Um dos objetivos deste trabalho foi determinar qual é o papel da granulometria nos ensaios de sedimentação. Para tanto, foram realizados os mesmos testes e dimensionamentos fazendo uso de misturas compostas por lamas provenientes da ITM-I e a mesma amostra obtida para realização dos ensaios para comparação entre os métodos de dimensionamento de espessadores e rejeito de flotação da ITM-D, a fim de realizar o dimensionamento para cada mistura utilizando os mesmos métodos utilizados na seção anterior.

O rejeito de flotação possui uma granulometria maior que as lamas, conforme visto no início deste capítulo, e a mistura dos dois na verdade amplia o range granulométrico da

amostra, como mostra a figura 5.22, com a diminuição da inclinação da curva em função da granulometria do rejeito.

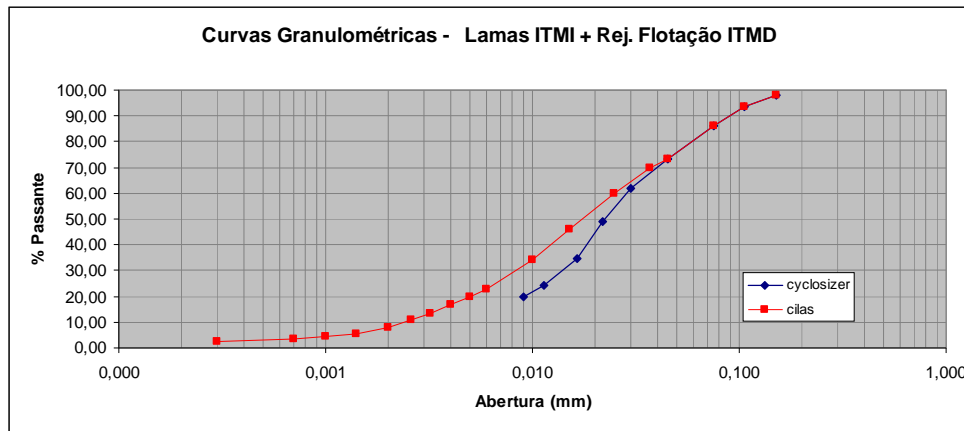
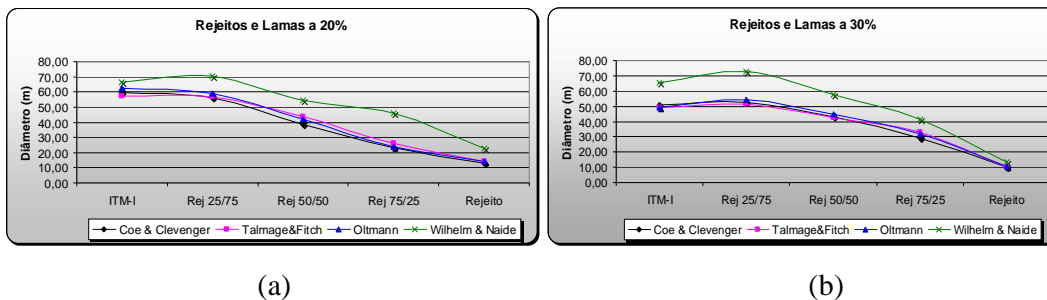


Figura 5.22 – Curva granulométrica da mistura de Lamas I + Rej. de Flotação D

Foram realizados ensaios de sedimentação para misturas com substituição das lamas em percentuais gradativos por rejeito de flotação, até o ensaio com 100% da amostra sendo composta por material proveniente da flotação, aumentando assim gradativamente a granulometria das amostras por acréscimo do material “grosso” daquele processo.

Os ensaios seguiram a mesma tendência que os ensaios anteriores, a única discrepância é a real tendência de quanto mais se aproximam de 100% de rejeito menores são as áreas necessárias para o espessamento do material. Conforme mostrado na figura 5.23 (a), (b), (c) e (d), os diâmetros reduzem drasticamente à medida que se aumenta a proporção de rejeito.



(a)

(b)

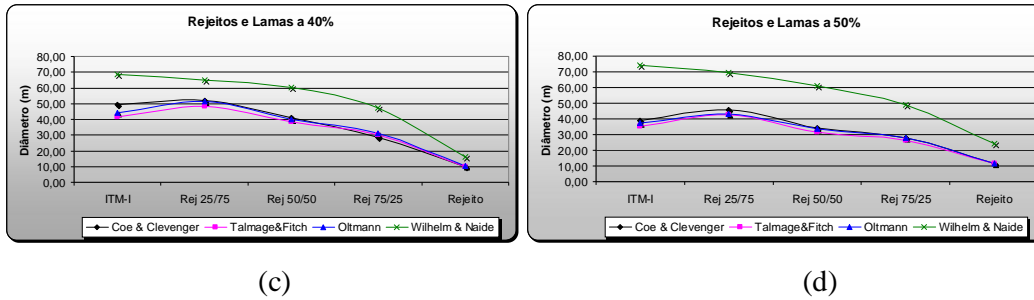


Figura 5.23 – (a) Dimensionamento das misturas a 20% de sólidos  
 (b) Dimensionamento das misturas a 30% de sólidos  
 (c) Dimensionamento das misturas a 40% de sólidos  
 (d) Dimensionamento das misturas a 50% de sólidos

Conforme visto na figura 5.23, a área do espessador tende a diminuir devido ao tempo total de sedimentação do sólido nos testes. A redução dos tempos juntamente com o tempo de compressão da partícula, bem menor do que quando a proporção de lamas é maior, fazem com que as áreas necessárias para o espessamento sejam bem reduzidas.

Conforme descrito na tabela 5.18, os valores de diâmetro para cada um dos testes realizados com as misturas de lamas com rejeito de flotação.

Tabela 5.18 – Valores de diâmetro para os testes com rejeito.

	ITM-I	Rej 25/75	Rej 50/50	Rej 75/25	Rejeito
<b>Coe &amp; Clevenger</b>					
20% de só	59,71	56,14	38,63	23,41	13,33
30% de só	51,15	52,80	42,92	28,93	9,89
40% de só	49,37	52,11	40,98	28,74	9,71
50% de só	38,75	45,88	34,04	27,64	11,83
<b>Resultad</b>	<b>59,71</b>	<b>56,14</b>	<b>42,92</b>	<b>28,93</b>	<b>13,33</b>
<b>Talmage&amp;Fitch</b>					
20% de só	57,38	56,85	43,60	26,20	14,30
30% de só	49,22	51,72	42,68	32,78	10,33
40% de só	41,48	48,30	38,35	30,19	9,94
50% de só	35,04	42,67	31,41	26,34	11,68
<b>Resultad</b>	<b>57,38</b>	<b>56,85</b>	<b>43,60</b>	<b>32,78</b>	<b>14,30</b>
<b>Oltmann</b>					
20% de só	62,55	59,14	41,82	24,09	14,12
30% de só	49,26	54,14	44,72	31,83	10,48
40% de só	44,06	51,38	39,88	31,33	10,15
50% de só	37,20	43,20	33,57	28,04	11,73
<b>Resultad</b>	<b>62,55</b>	<b>59,14</b>	<b>44,72</b>	<b>31,83</b>	<b>14,12</b>
<b>Wilhelm &amp; Naide</b>					
20% de só	66,40	70,08	54,36	45,91	22,56
30% de só	65,40	72,52	57,50	41,37	13,42
40% de só	68,60	64,91	60,01	47,24	15,97
50% de só	74,12	69,53	60,80	48,71	24,42
<b>Resultad</b>	<b>74,12</b>	<b>72,52</b>	<b>60,80</b>	<b>48,71</b>	<b>24,42</b>



A redução na área de espessamento necessária pode ser explicada pelo aumento da velocidade total de espessamento, tendo como fator principal a redução do tempo de compressão devido aos baixos volumes de compressão mostrados principalmente pelo rejeito de flotação.

Era de se esperar um aumento substancial na velocidade de sedimentação com o incremento de rejeito na seqüência dos testes, porém na verdade foi observado foi a diminuição da compressibilidade e não um aumento da velocidade, como mostra a figura 5.24.

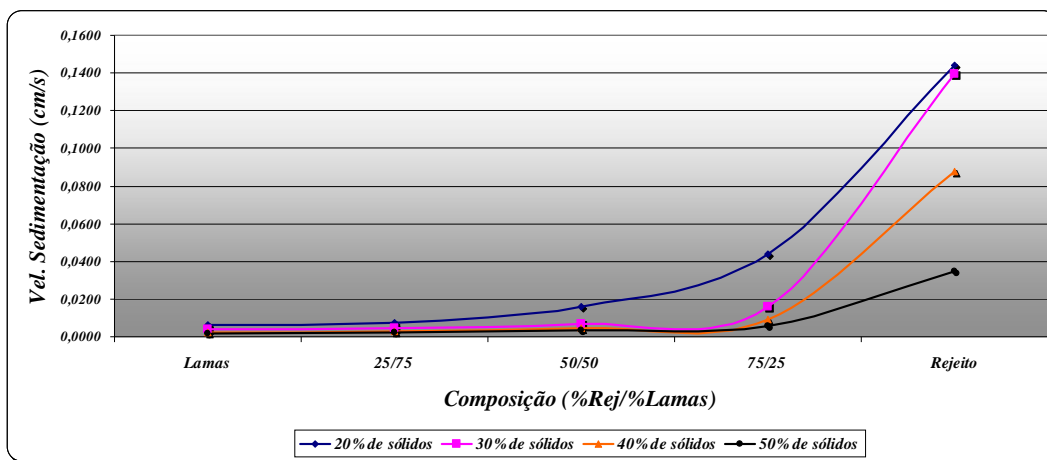


Figura 5.24 – Velocidades de sedimentação com o incremento do rejeito

Apenas quando atingimos altos valores de rejeito, ou seja, baixos valores de lamas e um aumento considerável da contribuição da parte grosseira na mistura é que obtemos um “salto” na velocidade de sedimentação. Uma causa provável para este fato se dá na alta viscosidade, em comparação ao rejeito de flotação, das lamas nas amostras. Esta teoria tem a colaboração do percentual de sólidos na alimentação do espessador, como mostra a figura 5.26, mesmo para o rejeito de flotação, a velocidade aumenta muito a baixas concentrações na alimentação, e vai diminuindo à medida que aumenta a concentração, tendo um aumento menor, ainda que significativo a 50% de sólidos na alimentação.

Para uma conclusão do fato mencionado acima, serão necessários estudos tecnológicos detalhados visando à comprovação deste fato.

## 6 – Conclusões

- Os resultados apresentados demonstram uma confiabilidade nos métodos de dimensionamento de espessadores utilizados pelos fornecedores de equipamentos industriais;

- Os fatores de segurança e Scale-Up utilizados nos métodos de Coe e Clevenger e Oltmann para o dimensionamento de espessadores se ajustam bem para os modelos industriais;

- Os três métodos mais utilizados na indústria produzem resultados semelhantes, e devem ser utilizados em conjunto para o dimensionamento de espessadores industriais;

- Wilhelm e Naide têm tendência a superdimensionar os valores de diâmetro quando comparado aos modelos de dimensionamento tradicionais estudados neste trabalho;

- As lamas provenientes de materiais mais hidratados obtiveram piores resultados para o dimensionamento de espessadores para as amostras provenientes da mina do Sapecado e Galinheiro;

- As lamas provenientes de materiais com altos índices de manganês não apresentaram influência significativa para o dimensionamento de espessadores para as amostras provenientes da mina do Sapecado e Galinheiro;

- A granulometria não apresentou interferências significativas nas velocidades de sedimentação das amostras estudadas, apenas quando se atinge 100% de rejeito de flotação ocorre um salto na velocidade de queda;

- Não se pode associar a granulometria do material a sua velocidade de sedimentação para misturas de lamas e rejeitos;

## **7 - Sugestões para Trabalhos Futuros**

- Estudo do potencial de coagulação para lamas industriais em diferentes pH's sem a adição de coagulantes;
- Estudo de espessamento de lamas provenientes de materiais hidratados para suspensões floculadas;
- Estudo da interferência da distribuição granulométrica para o adensamento de soluções floculadas;
- Estudo da viscosidade de uma polpa composta por misturas de lamas industriais e rejeitos de flotação.

## 8 – Referências Bibliográficas

AMARANTE, S.C. Filtragem de minérios de ferro - comparação entre métodos de filtragem de laboratório: Testes de Folha e de Funil de Büchner – Dissertação de Mestrado – UFMG, 2002.

ANDREOLI, R.; Catálogo de equipamentos da FLSmidth Minerals – 2008

ARAUJO, A.C., SOUZA, C. C., AMARANTE, S. C. Rejeitos adensados para disposição em superfície - Nova tecnologia em minério de ferro. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MINÉRIO DE FERRO, Ouro Preto, Anais. Ouro Preto, ABM - Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, pp. 610-619, 2003.

BOGER, D.V., NGUYEN, Q.D. Application rheology to solving tailings disposal problems. International Journal of Mineral Process, Vol 54, 1998.

BÜRGER, R., BUSTOS, M.C. AND CONCHA, F.: Settling velocities of particulate systems: 9. Phenomenological theory of sedimentation processes: Numerical simulation of the transient behaviour of flocculated suspensions in an ideal batch or continuous thickener. Preprint 97/52, Sonderforschungsbereich 404, University of Stuttgart 1997.

BÜRGER, R., WENDLAND, W.L. e CONCHA, F.: Modelling equations for gravitational sedimentation-consolidation processes, submitted to Z. Angew. Math. Mech.

BUSTOS, M.C., PAIVA, F. e WENDLAND, W.L.: Entropy boundary conditions in the theory of sedimentation of ideal suspensions, Math. Meth. Appl. Sci., 1996.

CHAVES, A.P. Teoria e Prática do tratamento de Minérios - 2ª edição – São Paulo; Signus Editora, 2002.

CONCHA, F.; BÜRGER, R. Thickening in the 20<sup>th</sup> Century: a Historical Perspective – Minerals & Metallurgical Process, 2003

DAMASCENO, J. J. R.; Uma Contribuição ao Estudo do Espessamento Contínuo – Tese de Doutorado – UFRJ, 1992.

DORR, J. V. N. Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, MG, Brazil. In: USGS/DNPM. *Professional Paper*, 1969.

FALCUCCI, A. A influência de flocculantes poliméricos na formação de pastas minerais – Dissertação de mestrado – UFMG, 2007

FERNANDES, E. Z.; Aplicação da caracterização tipológica ao planejamento de lavra de minério de ferro – Dissertação de Mestrado – UFMG, 2003.

FERNANDES, E. Z.; Caracterização física, química, mineralógica e metalúrgica dos produtos granulados de minério de ferro – Tese de Doutorado – UFMG, 2008.

GUIMARÃES, M. L. V.; FUJIKAWA, L. H.; VIEIRA, M. B. H.; BORGES, N. R.; SOUZA, R. A. C.; V ANNUCCI, L. C.; SANTOS, P. A. Classificação de minérios de ferro: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MINÉRIO DE FERRO: CARACTERIZAÇÃO, BENEFICIAMENTO E AGLOMERAÇÃO, 2, 1999, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto: Assoc. Bras. Metalurgia e Materiais -ABM,

KYNCH, G.J.: A theory of sedimentation. Trans. Farad. Soc. 48, *Professional Paper* 1952.

LUZ, A.B da; SAMPAIO, J.A.; MONTE, M.B.M.; ALMEIDA, S.L.M Tratamento de Minérios – 3<sup>a</sup> edição – Rio de Janeiro; CETEM-MCT, 2002.

McKETTA, J., Unit operations HandBook, vol 1 – 1ª edição – United Kingdom; CRC Press, 1992.

NUNES, J. F.; Estudo da Sedimentação Gravitacional em Suspensões Floculentas – Dissertação de Mestrado – UFU, 2008.

OSORIO, C. A. H.; Efeito da adição de reagentes agregantes e de ligantes sobre a consistência de pastas minerais – Tese de Doutorado – UFMG, 2007.

S C O T T, K. J., EXPERIMENTAL STUDY OF CONTINUOUS THICKENING OF A FLOCCULATED SILICA SLURRY, Chemical Engineering Group, S.A. Council of Scientific and Industrial Research, Pretoria, South Africa, 1999.

SILVA, R. R. R; Sistemas de Reagentes Surfataentes na Flotação Catiônica Reversa de Minérios de Ferro Dissertação de Mestrado – UFMG, 2004.

SLOTEE, J.S., Evaluating paste thickeners for surface stacking tailings. Mining Environmental Management, 2001.

SPOTTISWOOD, D.J.; KELLY, E.G. Mineral Processing: An Introduction to the Principles – 1ª edição – Colorado School of Mines, 1989

TALMAGE, W. P. AND FITCH, E. B.; Determining Thickener Unit Areas INDUSTRIAL AND ENGINEERING CHEMISTRY Vol. 47, No. 1, ENGINEERING, DESIGN, AND PROCESS DEVELOPMENT (1976) - Dorr Co., Westport, Conn,

TILLER, F.M., HSYUNG, N.B., SHEN, Y.L. and CHEN, W.: CATSCAN analysis of sedimentation and constant pressure filtration. Proceedings of the V World Congress on Filtration, Société Française de Filtration, Nice, France, 1991.

TORQUATO, N. C.; Dimensionamento de Espessadores Convencionais Aplicados a Polpas de Minério de Ferro – Dissertação de Mestrado – UFOP, 2008

VALADÃO, G.E.S. Separação sólido-líquido, Notas de Aula - Departamento de Engenharia de Minas da UFMG, Belo Horizonte, 2004.

VALADÃO, G.E.S.; ARAUJO, A.C. Introdução ao tratamento de Minérios – 1ª edição – Belo Horizonte – Editora UFMG, 2007.

WILLS, B.A. Mineral Processing Technology – 6ª edição – Camborne School of Mines, Cornwall, England; ButterWorth Heinemann, 1997.

**ANEXO A**  
**Caracterização das Amostras**

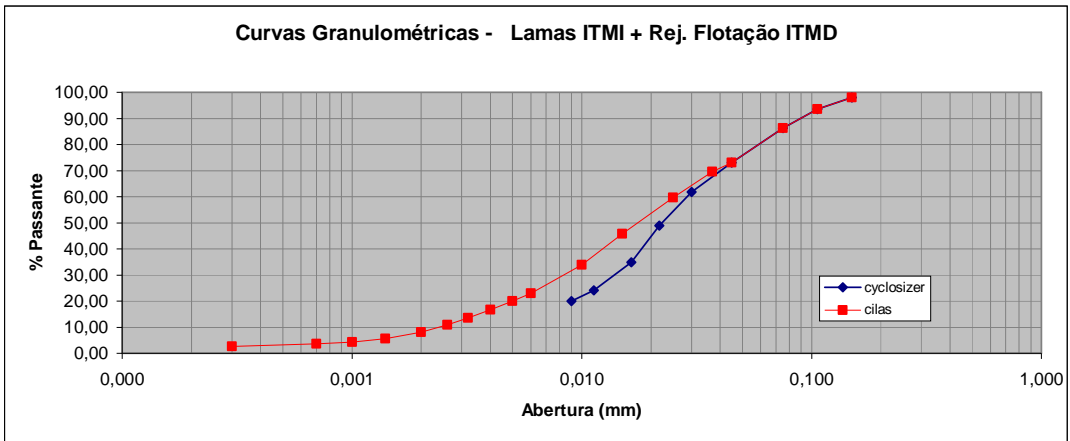




Projeto -----  
 Amostra -----  
 Cliente Filipe Guimarães

**Certificado de Análises Granulométricas**

Amostra	Lamas ITMI + Rejeito Flotação ITMD						
	cyclosizer			Abertura (mm)	cilas		
Abertura (mm)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante		% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante
0,150	1,99	1,99	98,01	0,150	1,99	1,99	98,01
0,106	4,44	6,43	93,57	0,106	4,44	6,43	93,57
0,075	7,25	13,67	86,33	0,075	7,25	13,67	86,33
0,045	13,28	26,96	73,04	0,045	13,28	26,96	73,04
0,0300	11,28	38,23	61,77	0,0370	3,43	30,39	69,61
0,0217	12,85	51,08	48,92	0,0250	9,87	40,26	59,74
0,0164	14,07	65,16	34,84	0,0150	13,90	54,16	45,84
0,0113	10,71	75,87	24,13	0,0100	11,88	66,04	33,96
0,0090	4,14	80,01	19,99	0,0060	11,03	77,07	22,93
-0,0090	19,99	100,00	0,00	0,0050	2,89	79,96	20,04
				0,0040	3,29	83,25	16,75
				0,0032	3,15	86,39	13,61
				0,0026	2,67	89,07	10,93
				0,0020	2,80	91,86	8,14
				0,0014	2,55	94,42	5,58
				0,0010	1,32	95,74	4,26
				0,0007	0,68	96,41	3,59
				0,0003	0,90	97,32	2,68
				-0,0003	2,68	100,00	0,00

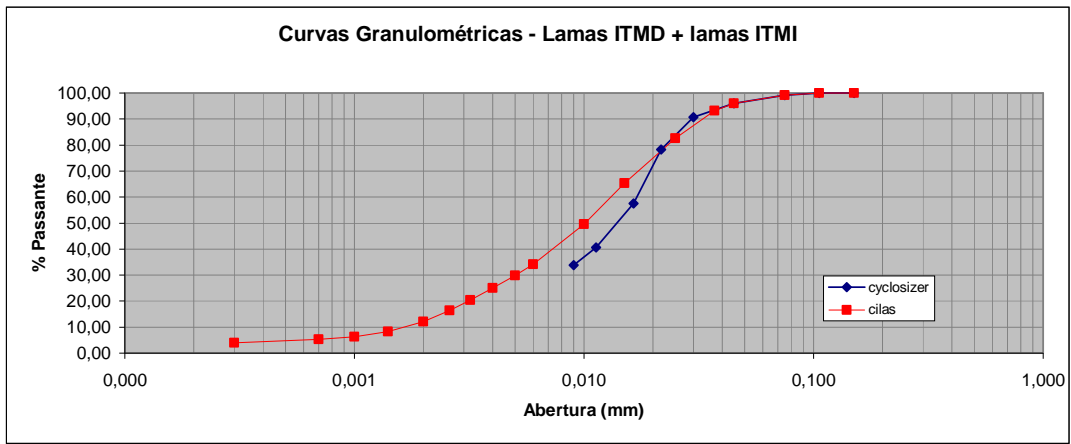




Projeto -----  
 Amostra -----  
 Cliente Filipe Guimarães

**Certificado de Análises Granulométricas**

Amostra	Lamas ITMD+lamas ITMI						
	cyclosizer			Abertura (mm)	cilas		
Abertura (mm)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante		% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante
0,150	0,00	0,00	100,00	0,150	0,00	0,00	100,00
0,106	0,00	0,00	100,00	0,106	0,00	0,00	100,00
0,075	0,82	0,82	99,18	0,075	0,82	0,82	99,18
0,045	3,21	4,03	95,97	0,045	3,21	4,03	95,97
0,0300	5,21	9,23	90,77	0,0370	2,78	6,80	93,20
0,0217	12,53	21,76	78,24	0,0250	10,68	17,49	82,51
0,0164	20,67	42,43	57,57	0,0150	17,18	34,67	65,33
0,0113	16,89	59,32	40,68	0,0100	15,75	50,42	49,58
0,0090	6,80	66,12	33,88	0,0060	15,47	65,89	34,11
-0,0090	33,88	100,00	0,00	0,0050	4,20	70,09	29,91
				0,0040	4,84	74,93	25,07
				0,0032	4,68	79,61	20,39
				0,0026	4,00	83,61	16,39
				0,0020	4,21	87,82	12,18
				0,0014	3,85	91,67	8,33
				0,0010	1,98	93,65	6,35
				0,0007	1,01	94,66	5,34
				0,0003	1,33	95,99	4,01
				-0,0003	4,01	100,00	0,00

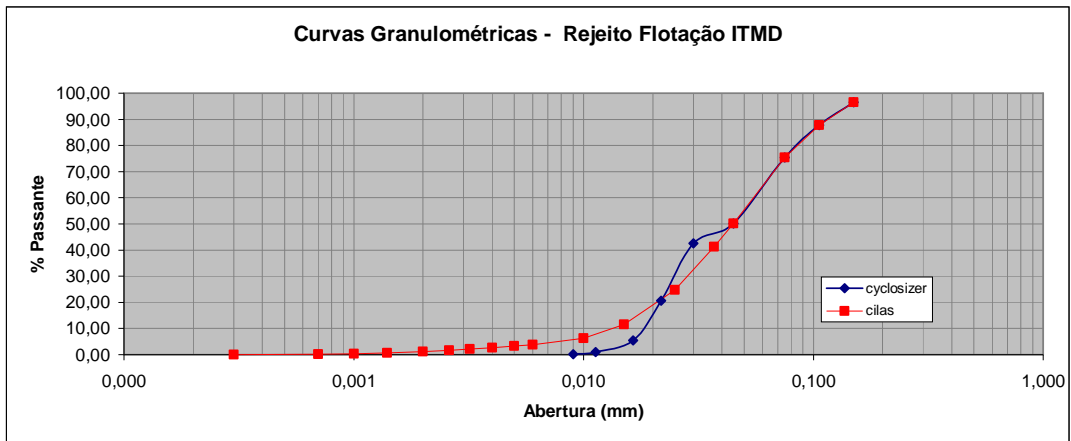




Projeto -----  
 Amostra -----  
 Cliente Filipe Guimarães

Certificado de Análises Granulométricas

Amostra	Rejeito Flotação ITMD						
	cyclosizer			Abertura (mm)	cilas		
Abertura (mm)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante		% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante
0,150	3,48	3,48	96,52	0,150	3,48	3,48	96,52
0,106	8,74	12,22	87,78	0,106	8,74	12,22	87,78
0,075	12,28	24,51	75,49	0,075	12,28	24,51	75,49
0,045	25,40	49,91	50,09	0,045	25,40	49,91	50,09
0,0300	7,48	57,39	42,61	0,0370	8,87	58,79	41,21
0,0217	21,94	79,33	20,67	0,0250	16,46	75,24	24,76
0,0164	15,25	94,58	5,42	0,0150	13,25	88,50	11,50
0,0113	4,35	98,93	1,07	0,0100	5,15	93,65	6,35
0,0090	0,89	99,81	0,19	0,0060	2,57	96,21	3,79
-0,0090	0,19	100,00	0,00	0,0050	0,55	96,76	3,24
				0,0040	0,60	97,36	2,64
				0,0032	0,55	97,91	2,09
				0,0026	0,45	98,37	1,63
				0,0020	0,47	98,84	1,16
				0,0014	0,48	99,32	0,68
				0,0010	0,31	99,63	0,37
				0,0007	0,22	99,85	0,15
				0,0003	0,11	99,96	0,04
				-0,0003	0,04	100,00	0,00

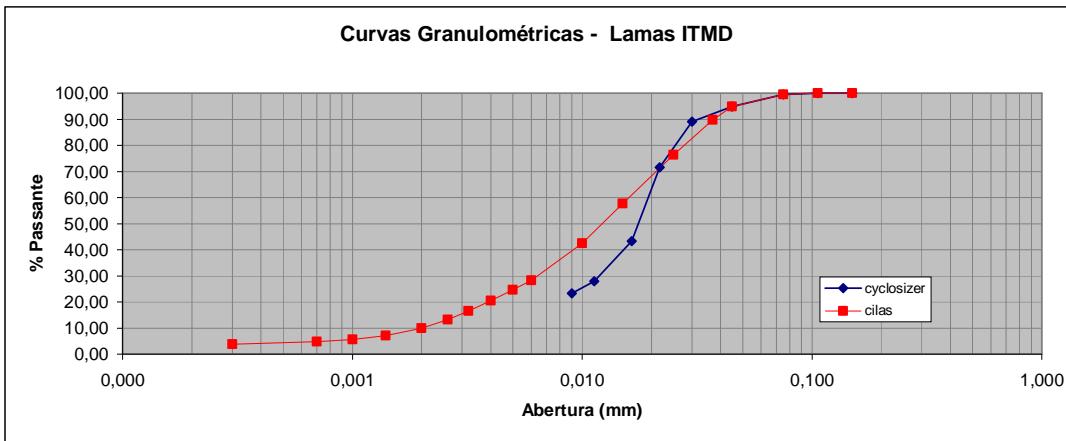




Projeto -----  
 Amostra -----  
 Cliente Filipe Guimarães

Certificado de Análises Granulométricas

Amostra	Lamas ITMD						
	cyclosizer			cilas			
Abertura (mm)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante	Abertura (mm)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante
0,150	0,00	0,00	100,00	0,150	0,00	0,00	100,00
0,106	0,00	0,00	100,00	0,106	0,00	0,00	100,00
0,075	0,55	0,55	99,45	0,075	0,55	0,55	99,45
0,045	4,53	5,08	94,92	0,045	4,53	5,08	94,92
0,0300	5,79	10,87	89,13	0,0370	5,14	10,22	89,78
0,0217	17,53	28,39	71,61	0,0250	13,41	23,63	76,37
0,0164	28,29	56,68	43,32	0,0150	18,61	42,24	57,76
0,0113	15,44	72,12	27,88	0,0100	15,33	57,57	42,43
0,0090	4,65	76,77	23,23	0,0060	14,09	71,66	28,34
-0,0090	23,23	100,00	0,00	0,0050	3,73	75,39	24,61
				0,0040	4,19	79,58	20,42
				0,0032	3,91	83,49	16,51
				0,0026	3,24	86,73	13,27
				0,0020	3,30	90,03	9,97
				0,0014	2,93	92,96	7,04
				0,0010	1,47	94,43	5,57
				0,0007	0,74	95,16	4,84
				0,0003	1,09	96,26	3,74
				-0,0003	3,74	100,00	0,00

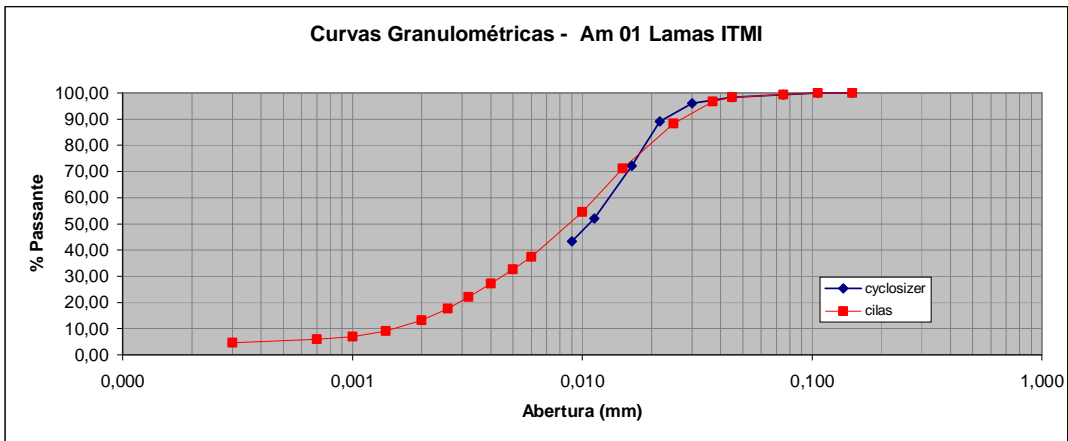




Projeto -----  
 Amostra -----  
 Cliente Filipe Guimarães

Certificado de Análises Granulométricas

Amostra	Am 01 - Lamas ITMI						
	cyclosizer			Abertura (mm)	cilas		
Abertura (mm)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante		% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante
0,150	0,00	0,00	100,00	0,150	0,00	0,00	100,00
0,106	0,00	0,00	100,00	0,106	0,00	0,00	100,00
0,075	0,60	0,60	99,40	0,075	0,60	0,60	99,40
0,045	1,03	1,64	98,36	0,045	1,03	1,64	98,36
0,0300	2,40	4,03	95,97	0,0370	1,60	3,23	96,77
0,0217	6,90	10,93	89,07	0,0250	8,54	11,77	88,23
0,0164	16,87	27,80	72,20	0,0150	17,11	28,88	71,12
0,0113	20,07	47,87	52,13	0,0100	16,53	45,41	54,59
0,0090	8,77	56,65	43,35	0,0060	17,21	62,62	37,38
-0,0090	43,35	100,00	0,00	0,0050	4,74	67,36	32,64
				0,0040	5,42	72,78	27,22
				0,0032	5,18	77,96	22,04
				0,0026	4,38	82,34	17,66
				0,0020	4,56	86,90	13,10
				0,0014	4,10	91,00	9,00
				0,0010	2,04	93,04	6,96
				0,0007	0,99	94,03	5,97
				0,0003	1,36	95,39	4,61
				-0,0003	4,61	100,00	0,00

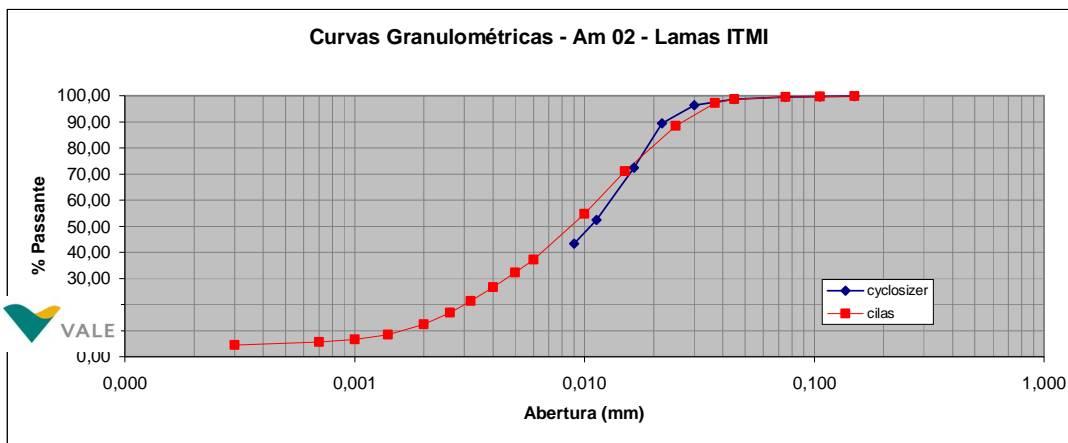




Projeto -----  
 Amostra -----  
 Cliente Filipe Guimarães

**Certificado de Análises Granulométricas**

Amostra		Am 02 - Lamas ITM I					
		cyclosizer			cilas		
Abertura (mm)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante	Abertura (mm)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante
0,150	0,22	0,22	99,78	0,150	0,22	0,22	99,78
0,106	0,14	0,36	99,64	0,106	0,14	0,36	99,64
0,075	0,13	0,50	99,50	0,075	0,13	0,50	99,50
0,045	0,78	1,28	98,72	0,045	0,78	1,28	98,72
0,0300	2,34	3,62	96,38	0,0370	1,58	2,86	97,14
0,0217	7,02	10,64	89,36	0,0250	8,70	11,56	88,44
0,0164	16,91	27,55	72,45	0,0150	17,33	28,88	71,12
0,0113	20,09	47,64	52,36	0,0100	16,38	45,27	54,73
0,0090	9,06	56,70	43,30	0,0060	17,54	62,80	37,20
-0,0090	43,30	100,00	0,00	0,0050	4,96	67,76	32,24
				0,0040	5,65	73,41	26,59
				0,0032	5,31	78,72	21,28
				0,0026	4,40	83,12	16,88
				0,0020	4,48	87,60	12,40
				0,0014	3,95	91,56	8,44
				0,0010	1,91	93,47	6,53
				0,0007	0,89	94,36	5,64
				0,0003	1,20	95,56	4,44
				-0,0003	4,44	100,00	0,00

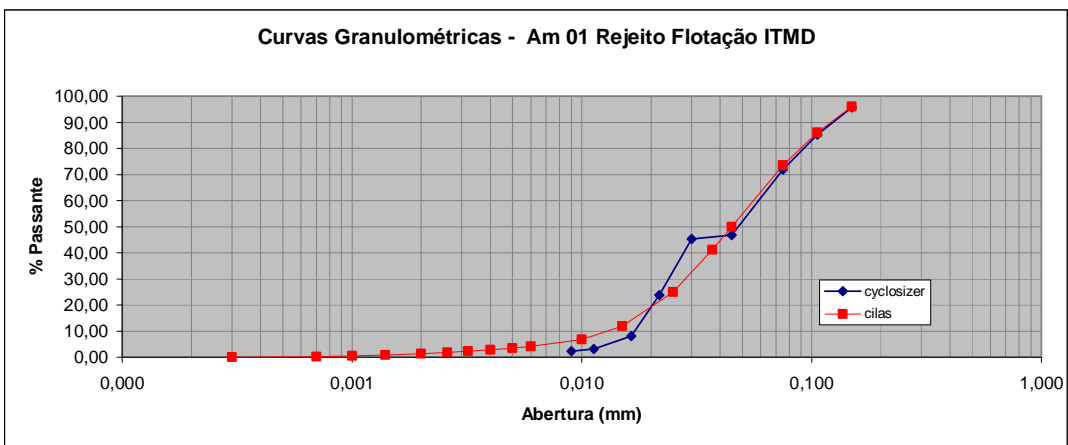




Projeto -----  
 Amostra -----  
 Cliente Filipe Guimarães

**Certificado de Análises Granulométricas**

Amostra	Am 01 - Rejeito de Flotação ITMD						
	cyclosizer			cilas			
Abertura (mm)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante	Abertura (mm)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante
0,150	4,22	4,22	95,78	0,150	3,98	3,98	96,02
0,106	10,44	14,66	85,34	0,106	9,83	13,81	86,19
0,075	13,38	28,03	71,97	0,075	12,60	26,41	73,59
0,045	25,15	53,18	46,82	0,045	23,69	50,10	49,90
0,0300	1,57	54,75	45,25	0,0370	8,77	58,87	41,13
0,0217	21,41	76,15	23,85	0,0250	16,11	74,98	25,02
0,0164	15,81	91,96	8,04	0,0150	13,09	88,07	11,93
0,0113	4,94	96,90	3,10	0,0100	5,20	93,27	6,73
0,0090	0,85	97,74	2,26	0,0060	2,65	95,92	4,08
-0,0090	2,26	100,00	0,00	0,0050	0,57	96,49	3,51
				0,0040	0,63	97,12	2,88
				0,0032	0,57	97,69	2,31
				0,0026	0,48	98,17	1,83
				0,0020	0,51	98,68	1,32
				0,0014	0,53	99,21	0,79
				0,0010	0,35	99,56	0,44
				0,0007	0,25	99,81	0,19
				0,0003	0,12	99,92	0,08
				-0,0003	0,08	100,00	0,00

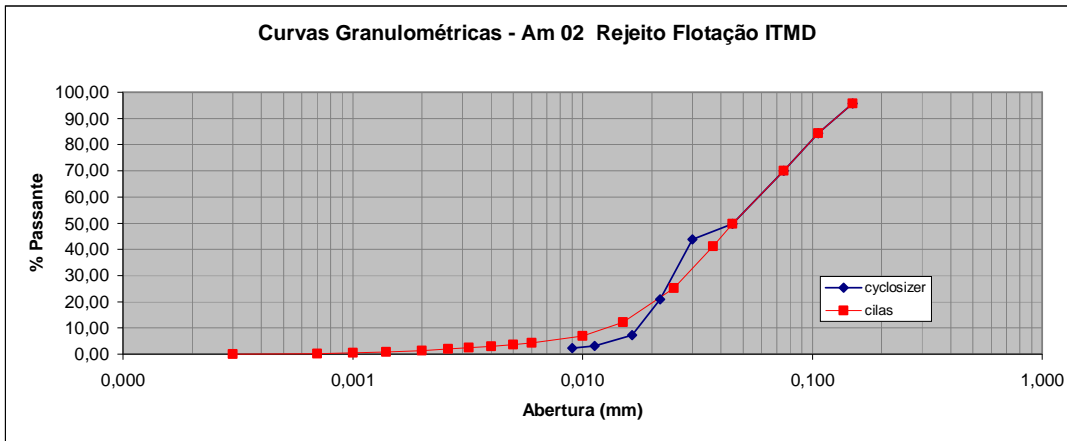




Projeto -----  
 Amostra -----  
 Cliente Filipe Guimarães

Certificado de Análises Granulométricas

Amostra	Am 02 - Rejeito de Flotação ITMD						
	cyclosizer			cilas			
Abertura (mm)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante	Abertura (mm)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante
0,150	4,31	4,31	95,69	0,150	4,31	4,31	95,69
0,106	11,26	15,57	84,43	0,106	11,26	15,57	84,43
0,075	14,40	29,97	70,03	0,075	14,40	29,97	70,03
0,045	20,26	50,23	49,77	0,045	20,26	50,23	49,77
0,0300	5,90	56,13	43,87	0,0370	8,55	58,78	41,22
0,0217	22,96	79,09	20,91	0,0250	15,95	74,73	25,27
0,0164	13,63	92,72	7,28	0,0150	13,10	87,82	12,18
0,0113	4,20	96,92	3,08	0,0100	5,27	93,09	6,91
0,0090	0,81	97,73	2,27	0,0060	2,68	95,77	4,23
-0,0090	2,27	100,00	0,00	0,0050	0,58	96,35	3,65
				0,0040	0,64	96,99	3,01
				0,0032	0,60	97,59	2,41
				0,0026	0,50	98,10	1,90
				0,0020	0,54	98,64	1,36
				0,0014	0,55	99,19	0,81
				0,0010	0,36	99,55	0,45
				0,0007	0,25	99,80	0,20
				0,0003	0,14	99,94	0,06
				-0,0003	0,06	100,00	0,00

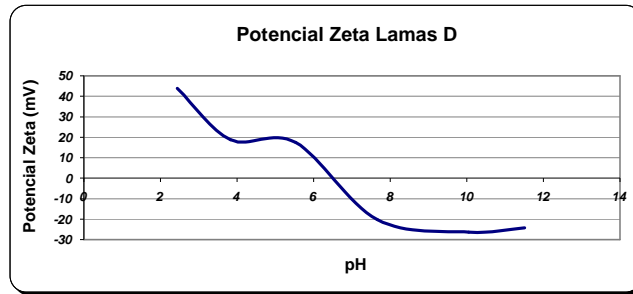




Resultados Análise Química							
Lamas ITMI							
FE	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	MN	CAO	MGO	TiO <sub>2</sub>
48,4	13,82	7,63	0,100	0,313	0,022	0,087	0,176
Lamas ITMD							
FE	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	MN	CAO	MGO	TiO <sub>2</sub>
50,0	17,95	4,81	0,071	0,359	0,022	0,032	0,141
Lamas ITMD + Lamas ITMI							
FE	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	MN	CAO	MGO	TiO <sub>2</sub>
48,7	15,66	6,76	0,089	0,324	0,022	0,063	0,160
Rejeito Flotação ITMD							
FE	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	MN	CAO	MGO	TiO <sub>2</sub>
33,20	53,88	0,62	0,011	0,013	0,016	0,010	0,036
Rejeito Flotação 25% / Lamas 75%							
FE	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	MN	CAO	MGO	TiO <sub>2</sub>
44,60	23,84	5,88	0,078	0,238	0,021	0,068	0,141
Rejeito Flotação 50% / Lamas 50%							
FE	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	MN	CAO	MGO	TiO <sub>2</sub>
40,80	33,85	4,13	0,056	0,163	0,019	0,049	0,106
Rejeito Flotação 75% / Lamas 25%							
FE	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	MN	CAO	MGO	TiO <sub>2</sub>
37,00	43,87	2,37	0,033	0,088	0,018	0,029	0,071

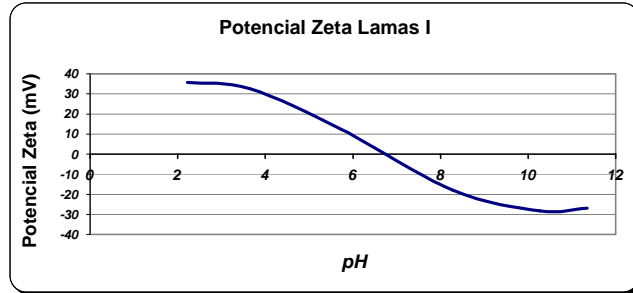
**Potencial Zeta \_ Lamas D**

pH	PZ	erro
2,44	43,9	2,863
3,83	18,88	2,437
5,53	17,5	2,171
7,66	-20,3	1,914
10,05	-26,3	2,156
11,51	-24,3	1,531
5,65	25,83	



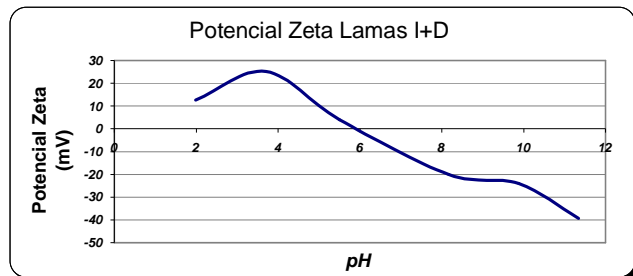
**Potencial Zeta \_ Lamas I**

pH	PZ	erro
1	-30	
1,4	0	
2,22	35,67	1,506
3,65	32,64	1,039
5,74	12,24	1,851
8,28	-17,94	1,359
10,27	-28,2	2,178
11,35	-26,9	2,812



**Potencial Zeta \_ Lamas I+D**

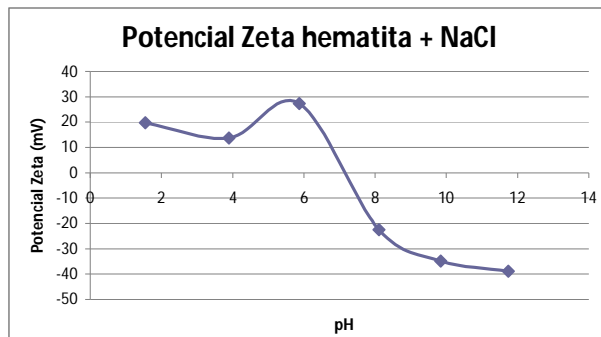
pH	PZ	erro
1,99	12,7	1,335
3,7	25,13	1,898
5,5	4	0,322
8,17	-20	2,437
9,88	-24,1	2,312
11,34	-39,4	2,046



**Solucao Base = hematita pura**

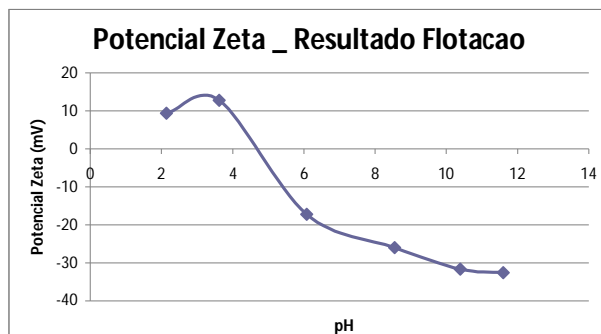
0.218g de hematita compacta pura.  
10mL de NaCl 0.1 mol/L  
solucao preparada em balao de 1000mL

pH	pZ	erro
1,55	19,73	1,468
3,89	13,74	2,249
5,87	27,25	2,484
8,11	-22,5	1,914
9,84	-34,9	2,397
11,74	-38,8	1,985



**RESULTADO DA FLOTACAO**

pH	PZ	erro
2,14	9,406	1,023
3,62	12,82	1,294
6,08	-17,2	2,64
8,55	-26	2,453
10,39	-31,7	2,687
11,6	-32,6	2,874



Amostra	Data	Hora	Tonelagem	Dens	FE	SiO2	AL2O3	P	MN
ITM i - PIC - LAMAS I									
Mensal	jan - 2009		0,000	3,92	52,60	13,46	5,08	0,098	0,100
Mensal	fev - 2009		0,000	3,81	48,61	21,18	4,64	0,069	0,146
Mensal	mar - 2009		0,000	3,86	50,36	18,75	4,35	0,067	0,169
Mensal	abr - 2009		0,000	3,81	48,63	15,46	7,14	0,106	0,179
Mensal	mai - 2009		0,000	3,81	48,39	16,54	7,14	0,110	0,221
Mensal	jun - 2009		0,000	3,87	50,80	15,02	6,04	0,118	0,260
Mensal	jul - 2009		0,000	3,85	49,89	14,01	7,25	0,111	0,377
Mensal	ago - 2009		0,000	3,84	49,78	15,70	6,37	0,111	0,334
Mensal	set - 2009		0,000	3,78	47,28	19,00	6,78	0,099	0,225
Mensal	out - 2009		0,000	3,85	50,15	12,78	7,11	0,112	0,278
Mensal	nov - 2009		0,000	3,82	48,87	15,64	6,92	0,101	0,282
Mensal	dez - 2009		0,000	3,81	48,65	15,54	7,31	0,096	0,171
Mensal	jan - 2010		0,000	3,83	49,35	15,34	7,14	0,092	0,193
Mensal	fev - 2010		0,000	3,85	50,02	14,10	6,95	0,102	0,221

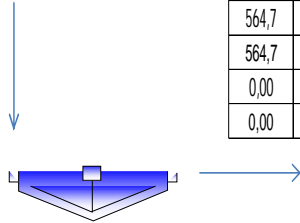
Amostra	Data	Hora	Tonelagem	Dens	FE	SiO2	AL2O3	P	MN
ITM D - PIC - LAMAS									
Mensal	fev - 2009		0,000	3,93	53,07	13,72	5,38	0,116	0,189
Mensal	mar - 2009		0,000	3,87	50,85	16,96	5,30	0,098	0,155
Mensal	abr - 2009		0,000	3,82	48,74	19,83	5,15	0,092	0,276
Mensal	mai - 2009		0,000	3,88	51,02	16,92	4,60	0,129	1,080
Mensal	jun - 2009		0,000	3,84	49,73	16,94	5,76	0,123	0,359
Mensal	jul - 2009		0,000	3,84	49,62	17,08	5,83	0,113	0,581
Mensal	ago - 2009		0,000	3,86	50,38	16,00	5,77	0,122	0,641
Mensal	set - 2009		0,000	3,84	49,63	16,01	6,39	0,128	0,453
Mensal	out - 2009		0,000	3,88	51,23	14,90	5,52	0,100	0,318
Mensal	nov - 2009		0,000	3,83	49,37	17,51	5,84	0,084	0,197
Mensal	dez - 2009		0,000	3,85	49,90	16,47	6,09	0,082	0,129
Mensal	jan - 2010		0,000	3,81	48,37	20,36	5,42	0,074	0,180
Mensal	fev - 2010		0,000	3,77	46,89	24,15	5,15	0,064	0,168

Amostra	Data	Hora	Tonelagem	Dens	FE	SiO2	AL2O3	P	MN
ITM D - PIC - REJ.FLOT									
Mensal	fev - 2009		0,000	3,06	20,72	69,52	0,65	0,013	0,010
Mensal	mar - 2009		0,000	3,38	32,64	52,26	0,89	0,018	0,015
Mensal	abr - 2009		0,000	3,13	23,43	64,99	1,17	0,016	0,016
Mensal	mai - 2009		0,000	3,13	23,43	64,81	1,27	0,017	0,044
Mensal	jun - 2009		0,000	2,99	18,18	72,28	1,60	0,017	0,018
Mensal	jul - 2009		0,000	3,08	21,51	68,14	1,00	0,018	0,040
Mensal	ago - 2009		0,000	2,90	14,65	78,61	0,65	0,017	0,029
Mensal	set - 2009		0,000	2,90	14,75	79,50	1,00	0,014	0,020
Mensal	out - 2009		0,000	2,88	14,13	79,11	0,96	0,013	0,017
Mensal	nov - 2009		0,000	2,85	13,01	80,96	0,70	0,011	0,013
Mensal	dez - 2009		0,000	2,83	12,17	82,60	0,74	0,011	0,010
Mensal	jan - 2010		0,000	2,95	16,72	75,64	0,67	0,011	0,013

Amostra	Data	Hora	Tonelagem	Dens	FE	SiO2	AL2O3	P	MN
ITM i - PIC - REJ.FIM.FLOT I				2,95					
Mensal	jan - 2009		0,000	3,36	31,98	50,51	0,92	0,034	0,016
Mensal	fev - 2009		0,000	3,08	21,33	69,05	0,56	0,013	0,010
Mensal	mai - 2009		0,000	3,03	19,68	70,22	1,40	0,017	0,021
Mensal	jun - 2009		0,000	2,99	18,31	72,05	1,45	0,017	0,016
Mensal	jul - 2009		0,000	2,90	14,95	77,74	0,79	0,016	0,025
Mensal	ago - 2009		0,000	2,83	12,19	82,04	0,60	0,016	0,014
Mensal	set - 2009		0,000	2,90	14,81	77,69	0,80	0,013	0,021
Mensal	out - 2009		0,000	2,86	13,22	80,25	0,96	0,011	0,011
Mensal	nov - 2009		0,000	2,79	10,92	84,32	0,60	0,011	0,010
Mensal	dez - 2009		0,000	2,77	9,82	86,58	0,63	0,010	0,010
Mensal	jan - 2010		0,000	2,91	15,06	78,05	0,68	0,010	0,011
ITM i - PIC - REJ.FIM.FLOT I2				2,96					
Mensal	jan - 2009		0,000						
Mensal	fev - 2009		0,000	3,23	26,93	62,48	0,59	0,011	0,010
Mensal	abr - 2009		0,000	3,27	28,48	58,54	1,38	0,016	0,010
Mensal	mai - 2009		0,000	3,19	25,74	60,50	1,72	0,022	0,021
Mensal	jun - 2009		0,000	3,05	20,23	68,87	1,45	0,017	0,013
Mensal	jul - 2009		0,000	2,99	18,17	73,32	0,72	0,013	0,017
Mensal	ago - 2009		0,000	2,81	11,52	83,06	0,66	0,015	0,012
Mensal	set - 2009		0,000	2,81	11,50	83,03	0,90	0,013	0,014
Mensal	out - 2009		0,000	2,87	13,74	79,68	1,17	0,012	0,012
Mensal	nov - 2009		0,000	2,75	9,35	87,17	0,59	0,010	0,010
Mensal	dez - 2009		0,000	2,78	10,30	85,61	0,64	0,010	0,010
Mensal	jan - 2010		0,000	2,86	13,48	80,13	0,72	0,010	0,010
ITM i - PIC - REJ.SCAV I				3,31					
Mensal	jan - 2009		0,000	3,64	42,31	39,07	0,71	0,015	0,011
Mensal	fev - 2009		0,000	3,18	25,28	63,04	0,76	0,014	0,016
Mensal	mar - 2009		0,000	3,36	31,99	53,33	1,11	0,015	0,014
Mensal	abr - 2009		0,000	3,37	32,14	52,29	1,12	0,022	0,018
Mensal	mai - 2009		0,000	3,54	38,43	43,22	1,39	0,024	0,025
Mensal	jun - 2009		0,000	3,30	29,79	56,37	1,21	0,018	0,020
Mensal	jul - 2009		0,000	3,12	23,02	66,07	0,90	0,019	0,032
Mensal	ago - 2009		0,000	3,12	23,06	65,92	0,87	0,021	0,029
Mensal	set - 2009		0,000	3,16	24,54	63,60	0,97	0,017	0,020
Mensal	out - 2009		0,000	3,32	30,37	55,31	0,88	0,017	0,028
Mensal	nov - 2009		0,000	3,18	25,31	63,14	0,87	0,015	0,019
Mensal	dez - 2009		0,000	3,20	25,89	62,71	1,01	0,015	0,016
Mensal	jan - 2010		0,000	3,49	36,62	46,32	0,80	0,013	0,016
ITM i - PIC - REJ.SCAV I2				3,30					
Mensal	jan - 2009		0,000	3,42	33,95	51,64	0,86	0,016	0,014
Mensal	fev - 2009		0,000	3,28	28,76	58,19	0,62	0,014	0,018
Mensal	mar - 2009		0,000	3,64	42,21	38,40	0,86	0,019	0,020
Mensal	abr - 2009		0,000	3,53	38,01	43,81	1,22	0,020	0,016
Mensal	mai - 2009		0,000	3,36	31,98	53,43	0,95	0,020	0,026
Mensal	jun - 2009		0,000	3,48	36,22	46,14	1,22	0,020	0,021
Mensal	jul - 2009		0,000	3,14	23,56	64,26	1,42	0,021	0,030
Mensal	ago - 2009		0,000	3,24	27,41	60,10	0,65	0,019	0,023
Mensal	set - 2009		0,000	3,01	18,81	72,70	0,91	0,015	0,017
Mensal	out - 2009		0,000	3,36	31,95	53,02	1,07	0,018	0,028
Mensal	nov - 2009		0,000	3,10	22,15	68,58	0,86	0,013	0,017
Mensal	dez - 2009		0,000	3,10	22,06	68,22	0,87	0,013	0,014
Mensal	jan - 2010		0,000	3,32	30,24	56,28	0,76	0,013	0,011

BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - ITM-D / Alimentação a 20% de sólidos

AL	39,5	OF	0,0
162,0	687,5	0,0	564,7
810,0	648,0	564,7	564,7
648,0	4,106	564,7	4,106
20,00	1,18	0,00	1,00
5,74	1,00	0,00	1,00

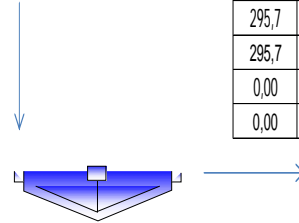


UF	39,5
162,0	122,8
245,3	83,3
83,3	4,106
66,03	2,00
32,13	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Cálculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - ITM-D / Alimentação a 30% de sólidos

AL	39,5	OF	0,0
162,0	417,5	0,0	295,7
540,0	378,0	295,7	295,7
378,0	4,106	295,7	4,106
30,00	1,29	0,00	1,00
9,45	1,00	0,00	1,00

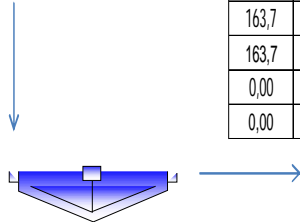


UF	39,5
162,0	121,8
244,3	82,3
82,3	4,106
66,30	2,01
32,39	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Cálculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - ITM-D / Alimentação a 40% de sólidos

AL	39,5	OF	0,0
162,0	282,5	0,0	163,7
405,0	243,0	163,7	163,7
243,0	4,106	163,7	4,106
40,00	1,43	0,00	1,00
13,97	1,00	0,00	1,00

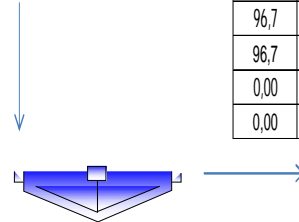


UF	39,5
162,0	118,8
241,3	79,3
79,3	4,106
67,13	2,03
33,22	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Cálculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - ITM-D / Alimentação a 50% de sólidos

AL	39,5	OF	0,0
162,0	201,5	0,0	96,7
324,0	162,0	96,7	96,7
162,0	4,106	96,7	4,106
50,00	1,61	0,00	1,00
19,58	1,00	0,00	1,00

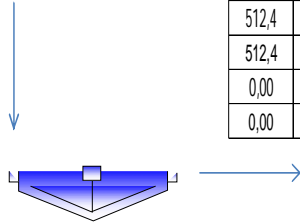


UF	39,5
162,0	104,7
227,3	65,3
65,3	4,106
71,28	2,17
37,67	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Cálculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - ITM-I / Alimentação a 20% de sólidos

AL	40,1	OF	0,0
162,0	688,1	0,0	512,4
810,0	648,0	512,4	512,4
648,0	4,036	512,4	4,036
20,00	1,18	0,00	1,00
5,83	1,00	0,00	1,00

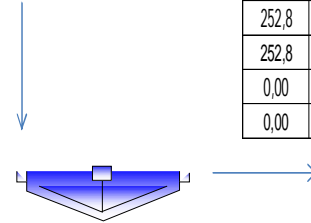


UF	40,1
162,0	175,8
297,6	135,6
135,6	4,036
54,43	1,69
22,84	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - ITM-I / Alimentação a 30% de sólidos

AL	40,1	OF	0,0
162,0	418,1	0,0	252,8
540,0	378,0	252,8	252,8
378,0	4,036	252,8	4,036
30,00	1,29	0,00	1,00
9,60	1,00	0,00	1,00

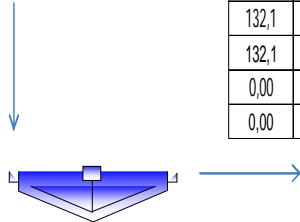


UF	40,1
162,0	165,4
287,2	125,2
125,2	4,036
56,40	1,74
24,27	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - ITM-I / Alimentação a 40% de sólidos

AL	40,1	OF	0,0
162,0	283,1	0,0	132,1
405,0	243,0	132,1	132,1
243,0	4,036	132,1	4,036
40,00	1,43	0,00	1,00
14,18	1,00	0,00	1,00

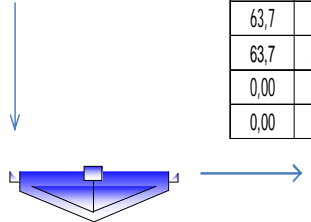


UF	40,1
162,0	151,0
272,9	110,9
110,9	4,036
59,36	1,81
26,57	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - ITM-I / Alimentação a 50% de sólidos

AL	40,1	OF	0,0
162,0	202,1	0,0	63,7
324,0	162,0	63,7	63,7
162,0	4,036	63,7	4,036
50,00	1,60	0,00	1,00
19,86	1,00	0,00	1,00

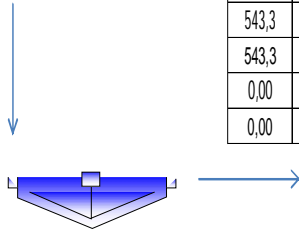


UF	40,1
162,0	138,5
260,3	98,3
98,3	4,036
62,23	1,88
28,99	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

**BALANÇO DE MASSAS ESPESADOR - Combinado / Alimentação a 20% de sólidos**

AL	40,0	OF	0,0
162,0	688,0	0,0	543,3
810,0	648,0	543,3	543,3
648,0	4,049	543,3	4,049
20,00	1,18	0,00	1,00
5,82	1,00	0,00	1,00

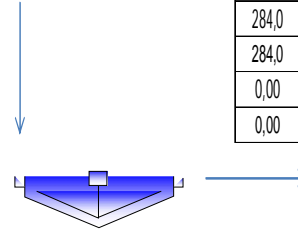


UF	40,0
162,0	144,7
266,7	104,7
104,7	4,049
60,75	1,84
27,65	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

**BALANÇO DE MASSAS ESPESADOR - Combinado / Alimentação a 30% de sólidos**

AL	40,0	OF	0,0
162,0	418,0	0,0	284,0
540,0	378,0	284,0	284,0
378,0	4,049	284,0	4,049
30,00	1,29	0,00	1,00
9,57	1,00	0,00	1,00

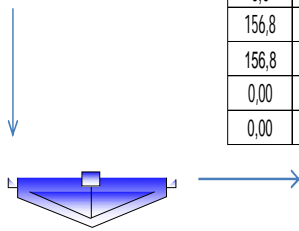


UF	40,0
162,0	134,0
256,0	94,0
94,0	4,049
63,29	1,91
29,86	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

**BALANÇO DE MASSAS ESPESADOR - Combinado / Alimentação a 40% de sólidos**

AL	40,0	OF	0,0
162,0	283,0	0,0	156,8
405,0	243,0	156,8	156,8
243,0	4,049	156,8	4,049
40,00	1,43	0,00	1,00
14,14	1,00	0,00	1,00

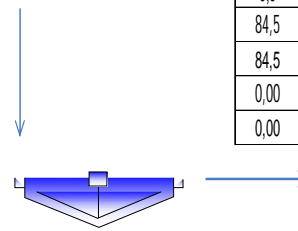


UF	40,0
162,0	126,2
248,2	86,2
86,2	4,049
65,26	1,97
31,69	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

**BALANÇO DE MASSAS ESPESADOR - Combinado / Alimentação a 50% de sólidos**

AL	40,0	OF	0,0
162,0	202,0	0,0	84,5
324,0	162,0	84,5	84,5
162,0	4,049	84,5	4,049
50,00	1,60	0,00	1,00
19,81	1,00	0,00	1,00



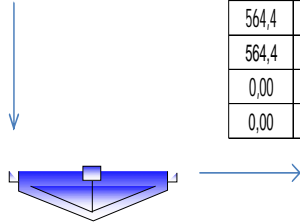
UF	40,0
162,0	117,5
239,5	77,5
77,5	4,049
67,64	2,04
34,05	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)



**BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - 25% de Rejeito / Alimentação a 20% de sólidos**

AL	41,8	OF	0,0
162,0	689,8	0,0	564,4
810,0	648,0	564,4	564,4
648,0	3,877	564,4	3,877
20,00	1,17	0,00	1,00
6,06	1,00	0,00	1,00

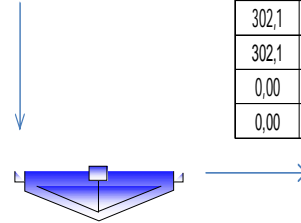


UF	41,8
162,0	125,4
245,6	83,6
83,6	3,877
65,96	1,96
33,32	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

**BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - 25% de Rejeito / Alimentação a 30% de sólidos**

AL	41,8	OF	0,0
162,0	419,8	0,0	302,1
540,0	378,0	302,1	302,1
378,0	3,877	302,1	3,877
30,00	1,29	0,00	1,00
9,95	1,00	0,00	1,00

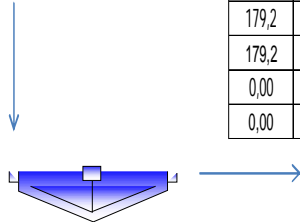


UF	41,8
162,0	117,6
237,9	75,9
75,9	3,877
68,11	2,02
35,52	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

**BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - 25% de Rejeito / Alimentação a 40% de sólidos**

AL	41,8	OF	0,0
162,0	284,8	0,0	179,2
405,0	243,0	179,2	179,2
243,0	3,877	179,2	3,877
40,00	1,42	0,00	1,00
14,67	1,00	0,00	1,00

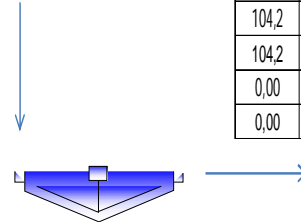


UF	41,8
162,0	105,6
225,8	63,8
63,8	3,877
71,73	2,14
39,56	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

**BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - 25% de Rejeito / Alimentação a 50% de sólidos**

AL	41,8	OF	0,0
162,0	203,8	0,0	104,2
324,0	162,0	104,2	104,2
162,0	3,877	104,2	3,877
50,00	1,59	0,00	1,00
20,50	1,00	0,00	1,00

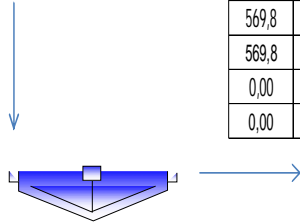


UF	41,8
162,0	99,6
219,8	57,8
57,8	3,877
73,69	2,21
41,94	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

**BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - 50% de Rejeito / Alimentação a 20% de sólidos**

AL	43,4	OF	0,0
162,0	691,4	0,0	569,8
810,0	648,0	569,8	569,8
648,0	3,73	569,8	3,73
20,00	1,17	0,00	1,00
6,28	1,00	0,00	1,00

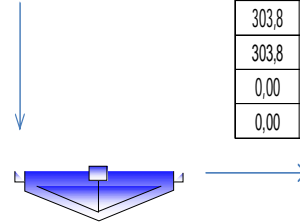


UF	43,4
162,0	121,7
240,2	78,2
78,2	3,73
67,43	1,97
35,69	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

**BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - 50% de Rejeito / Alimentação a 30% de sólidos**

AL	43,4	OF	0,0
162,0	421,4	0,0	303,8
540,0	378,0	303,8	303,8
378,0	3,73	303,8	3,73
30,00	1,28	0,00	1,00
10,31	1,00	0,00	1,00

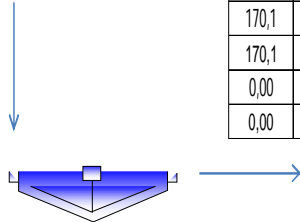


UF	43,4
162,0	117,6
236,2	74,2
74,2	3,73
68,59	2,01
36,93	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

**BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - 50% de Rejeito / Alimentação a 40% de sólidos**

AL	43,4	OF	0,0
162,0	286,4	0,0	170,1
405,0	243,0	170,1	170,1
243,0	3,73	170,1	3,73
40,00	1,41	0,00	1,00
15,16	1,00	0,00	1,00

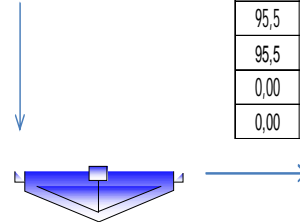


UF	43,4
162,0	116,3
234,9	72,9
72,9	3,73
68,97	2,02
37,34	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

**BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - 50% de Rejeito / Alimentação a 50% de sólidos**

AL	43,4	OF	0,0
162,0	205,4	0,0	95,5
324,0	162,0	95,5	95,5
162,0	3,73	95,5	3,73
50,00	1,58	0,00	1,00
21,14	1,00	0,00	1,00

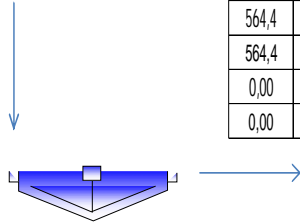


UF	43,4
162,0	109,9
228,5	66,5
66,5	3,73
70,91	2,08
39,52	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - 75% de Rejeito / Alimentação a 20% de sólidos

AL	45,1	OF	0,0
162,0	693,1	0,0	564,4
810,0	648,0	564,4	564,4
648,0	3,593	564,4	3,593
20,00	1,17	0,00	1,00
6,51	1,00	0,00	1,00

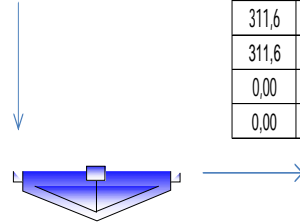


UF	45,1
162,0	128,7
245,6	83,6
83,6	3,593
65,96	1,91
35,04	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - 75% de Rejeito / Alimentação a 30% de sólidos

AL	45,1	OF	0,0
162,0	423,1	0,0	311,6
540,0	378,0	311,6	311,6
378,0	3,593	311,6	3,593
30,00	1,28	0,00	1,00
10,66	1,00	0,00	1,00

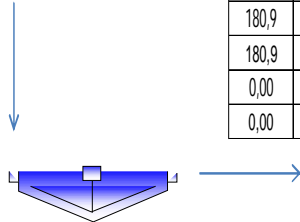


UF	45,1
162,0	111,5
228,4	66,4
66,4	3,593
70,92	2,05
40,43	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - 75% de Rejeito / Alimentação a 40% de sólidos

AL	45,1	OF	0,0
162,0	288,1	0,0	180,9
405,0	243,0	180,9	180,9
243,0	3,593	180,9	3,593
40,00	1,41	0,00	1,00
15,65	1,00	0,00	1,00

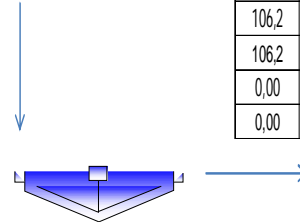


UF	45,1
162,0	107,2
224,1	62,1
62,1	3,593
72,30	2,09
42,08	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - 75% de Rejeito / Alimentação a 50% de sólidos

AL	45,1	OF	0,0
162,0	207,1	0,0	106,2
324,0	162,0	106,2	106,2
162,0	3,593	106,2	3,593
50,00	1,56	0,00	1,00
21,77	1,00	0,00	1,00

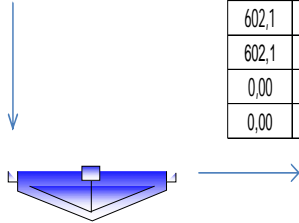


UF	45,1
162,0	100,9
217,8	55,8
55,8	3,593
74,39	2,16
44,70	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - 100% de Rejeito / Alimentação a 20% de sólidos

AL	46,7	OF	0,0
162,0	694,7	0,0	602,1
810,0	648,0	602,1	602,1
648,0	3,466	602,1	3,466
20,00	1,17	0,00	1,00
6,73	1,00	0,00	1,00

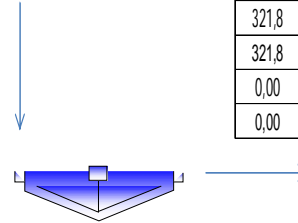


UF	46,7
162,0	92,6
207,9	45,9
45,9	3,466
77,93	2,24
50,46	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - 100% de Rejeito / Alimentação a 30% de sólidos

AL	46,7	OF	0,0
162,0	424,7	0,0	321,8
540,0	378,0	321,8	321,8
378,0	3,466	321,8	3,466
30,00	1,27	0,00	1,00
11,00	1,00	0,00	1,00

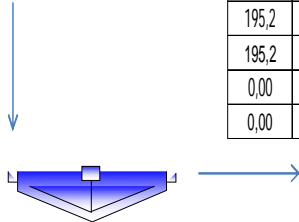


UF	46,7
162,0	102,9
218,2	56,2
56,2	3,466
74,25	2,12
45,41	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - 100% de Rejeito / Alimentação a 40% de sólidos

AL	46,7	OF	0,0
162,0	289,7	0,0	195,2
405,0	243,0	195,2	195,2
243,0	3,466	195,2	3,466
40,00	1,40	0,00	1,00
16,13	1,00	0,00	1,00

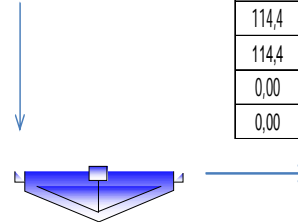


UF	46,7
162,0	94,5
209,8	47,8
47,8	3,466
77,23	2,22
49,46	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

BALANÇO DE MASSAS ESPESSADOR - 100% de Rejeito / Alimentação a 50% de sólidos

AL	46,7	OF	0,0
162,0	208,7	0,0	114,4
324,0	162,0	114,4	114,4
162,0	3,466	114,4	3,466
50,00	1,55	0,00	1,00
22,39	1,00	0,00	1,00



UF	46,7
162,0	94,3
209,6	47,6
47,6	3,466
77,29	2,22
49,54	1,00

<b>Dados de Entrada</b>	
<b>Dados Calculados</b>	
<b>Legenda</b>	VS (m3/h)
MS (t/h)	VP (m3/h)
MP (t/h)	VL (m3/h)
ML (t/h)	DS (t/m3)
%S (Peso)	DP (t/m3)
%S (Vol.)	DL (t/m3)

**ANEXO B**  
**Testes de Sedimentação e Análises**

## Anexo B – Ensaios de Sedimentação

Teste de Sedimentação - Leituras ITMD			Teste de Sedimentação - Leituras ITMI			Teste de Sedimentação - Leituras ITMD			Teste de Sedimentação - Leituras ITMI		
Material Aliment. EP02			Material Aliment. EP02			Material Aliment. EP02			Material Aliment. EP02		
25/09/2009			25/09/2009			29/09/2009			29/09/2009		
Sequencial	Tempo (m)	Leitura (mm)	Sequencial	Tempo (m)	Leitura (mm)	Sequencial	Tempo (m)	Leitura (mm)	Sequencial	Tempo (m)	Leitura (mm)
1	0,5	38,4	1	0,5	38,8	1	0,5	38,7	1	0,5	38,8
2	1,0	38,0	2	1,0	38,5	2	1,0	38,7	2	1,0	38,8
3	1,5	37,6	3	1,5	38,4	3	1,5	38,5	3	1,5	38,7
4	2,0	37,1	4	2,0	38,2	4	2,0	38,2	4	2,0	38,7
5	2,5	36,7	5	2,5	38,0	5	2,5	38,0	5	2,5	38,6
6	3,0	36,3	6	3,0	37,8	6	3,0	37,8	6	3,0	38,6
7	3,5	36,0	7	3,5	37,6	7	3,5	37,6	7	3,5	38,4
8	4,0	35,5	8	4,0	37,4	8	4,0	37,4	8	4,0	38,3
9	4,5	35,0	9	4,5	37,3	9	4,5	37,2	9	4,5	38,1
10	5,0	34,7	10	5,0	37,1	10	5,0	37,1	10	5,0	38,0
11	6	33,8	11	6	36,7	11	6	36,9	11	6	37,9
12	7	33,0	12	7	36,3	12	7	36,7	12	7	37,8
13	8	32,2	13	8	35,9	13	8	36,5	13	8	37,7
14	9	31,3	14	9	35,6	14	9	36,1	14	9	37,6
15	10	30,5	15	10	35,2	15	10	35,8	15	10	37,4
16	11	29,6	16	11	34,8	16	11	35,3	16	11	37,3
17	12	28,7	17	12	34,5	17	12	34,7	17	12	37,0
18	13	27,8	18	13	34,1	18	13	34,3	18	13	36,8
19	14	27,0	19	14	33,8	19	14	33,8	19	14	36,5
20	15	26,2	20	15	33,4	20	15	33,4	20	15	36,3
21	16	25,4	21	16	33,0	21	16	33,1	21	16	35,9
22	17	24,5	22	17	32,7	22	17	32,9	22	17	35,4
23	18	23,7	23	18	32,3	23	18	32,5	23	18	35,2
24	19	22,8	24	19	32,0	24	19	32,2	24	19	34,9
25	20	22,0	25	20	31,6	25	20	31,7	25	20	34,6
26	22	20,5	26	22	30,8	26	22	31,4	26	22	34,3
27	24	19,0	27	24	30,1	27	24	31,0	27	24	33,7
28	26	17,6	28	26	29,4	28	26	30,2	28	26	33,2
29	28	16,3	29	28	28,7	29	28	29,5	29	28	32,6
30	30	15,1	30	30	28,0	30	30	28,1	30	30	32,1
31	32	14,1	31	32	27,3	31	32	27,2	31	32	31,6
32	34	13,0	32	34	26,5	32	34	26,4	32	34	31,1
33	36	12,1	33	36	25,8	33	36	25,6	33	36	30,6
34	38	11,4	34	38	25,1	34	38	24,8	34	38	30,1
35	40	10,7	35	40	24,4	35	40	24,1	35	40	29,1
36	45	10,0	36	45	22,6	36	45	23,4	36	45	27,8
37	50	9,7	37	50	20,8	37	50	21,5	37	50	26,5
38	55	9,6	38	55	19,1	38	55	19,6	38	55	25,1
39	60	9,3	39	60	17,5	39	60	18,0	39	60	23,6
40	65	9,2	40	65	16,1	40	65	16,7	40	65	22,2
41	70	9,1	41	70	14,9	41	70	15,5	41	70	20,9
42	75	9,0	42	75	14,5	42	75	14,6	42	75	20,5
43	80	8,9	43	80	14,3	43	80	14,2	43	80	20,2
44	85	8,8	44	85	14,1	44	85	14,0	44	85	19,8
45	90	8,7	45	90	14,0	45	90	13,6	45	90	19,7
46	120	8,3	46	120	13,3	46	120	13,0	46	120	18,7
47	1440	6,8	47	1440	8,5	47	1440	10,2	47	1440	12,8

Teste de Sedimentação - Leituras ITMD			Teste de Sedimentação - Leituras ITMI			Teste de Sedimentação - Leituras ITMD			Teste de Sedimentação - Leituras ITMI		
Material Aliment. EP02			Material Aliment. EP02			Material Aliment. EP02			Material Aliment. EP02		
29/09/2009			29/09/2009			01/10/2009			01/10/2009		
Sequencial	Tempo (m)	Leitura (mm)	Sequencial	Tempo (m)	Leitura (mm)	Sequencial	Tempo (m)	Leitura (mm)	Sequencial	Tempo (m)	Leitura (mm)
1	0,5	38,9	1	0,5	38,4	1	0,5	38,3	1	0,5	38,4
2	1,0	38,8	2	1,0	38,4	2	1,0	38,3	2	1,0	38,4
3	1,5	38,7	3	1,5	38,3	3	1,5	38,2	3	1,5	38,3
4	2,0	38,5	4	2,0	38,3	4	2,0	38,2	4	2,0	38,3
5	2,5	38,3	5	2,5	38,2	5	2,5	38,2	5	2,5	38,3
6	3,0	38,2	6	3,0	38,2	6	3,0	38,2	6	3,0	38,3
7	3,5	38,1	7	3,5	38,1	7	3,5	38,1	7	3,5	38,2
8	4,0	37,9	8	4,0	38,1	8	4,0	38,1	8	4,0	38,2
9	4,5	37,8	9	4,5	38,1	9	4,5	38,0	9	4,5	38,1
10	5,0	37,6	10	5,0	38,1	10	5,0	37,9	10	5,0	38,1
11	6	37,4	11	6	38,0	11	6	37,8	11	6	38,0
12	7	37,1	12	7	37,9	12	7	37,6	12	7	37,9
13	8	36,9	13	8	37,7	13	8	37,4	13	8	37,8
14	9	36,6	14	9	37,6	14	9	37,2	14	9	37,7
15	10	36,4	15	10	37,5	15	10	37,0	15	10	37,6
16	11	36,1	16	11	37,3	16	11	36,8	16	11	37,5
17	12	35,9	17	12	37,2	17	12	36,7	17	12	37,5
18	13	35,7	18	13	37,1	18	13	36,5	18	13	37,3
19	14	35,4	19	14	36,9	19	14	36,3	19	14	37,2
20	15	35,2	20	15	36,8	20	15	36,1	20	15	37,1
21	16	35,0	21	16	36,6	21	16	35,9	21	16	37,0
22	17	34,7	22	17	36,5	22	17	35,7	22	17	36,9
23	18	34,5	23	18	36,3	23	18	35,6	23	18	36,9
24	19	34,3	24	19	36,2	24	19	35,4	24	19	36,8
25	20	34,0	25	20	36,0	25	20	35,2	25	20	36,6
26	22	33,6	26	22	35,7	26	22	34,8	26	22	36,4
27	24	33,2	27	24	35,5	27	24	34,5	27	24	36,3
28	26	32,6	28	26	35,3	28	26	34,2	28	26	36,1
29	28	32,0	29	28	34,9	29	28	33,9	29	28	35,9
30	30	31,7	30	30	34,6	30	30	33,6	30	30	35,8
31	32	31,2	31	32	34,2	31	32	33,2	31	32	35,5
32	34	30,7	32	34	33,9	32	34	32,8	32	34	35,3
33	36	30,2	33	36	33,6	33	36	32,5	33	36	35,1
34	38	29,7	34	38	33,2	34	38	32,1	34	38	34,9
35	40	29,2	35	40	32,8	35	40	31,7	35	40	34,6
36	45	27,8	36	45	31,6	36	45	30,7	36	45	34,0
37	50	26,5	37	50	30,6	37	50	29,8	37	50	33,5
38	55	25,1	38	55	29,9	38	55	28,8	38	55	32,9
39	60	23,4	39	60	29,2	39	60	27,9	39	60	32,4
40	65	21,8	40	65	28,6	40	65	26,8	40	65	31,8
41	70	20,2	41	70	27,9	41	70	25,5	41	70	31,1
42	75	18,9	42	75	27,3	42	75	24,4	42	75	30,5
43	80	18,6	43	80	26,6	43	80	23,2	43	80	29,8
44	85	18,3	44	85	26,0	44	85	22,8	44	85	29,6
45	90	18,1	45	90	25,9	45	90	22,5	45	90	29,4
46	120	17,3	46	120	24,6	46	120	21,5	46	120	28,6
47	1440	13,5	47	1440	17,5	47	1440	17,1	47	1440	22,1







Teste Sed. Rej. Flot. ITMD + Lamas ITMI			Teste Sed. Rej. Flot. ITMD + Lamas ITMI			Teste Sed. Rej. Flot. ITMD + Lamas ITMI			Teste Sed. Rej. Flot. ITMD + Lamas ITMI		
Percentagem de sólidos 50% S			Percentagem de sólidos 50% S			Percentagem de sólidos 50% S			Percentagem de sólidos 50% S		
Partição: 25% Rej. / 75% Lama			Partição: 50% Rej. / 50% Lama			Partição: 75% Rej. / 25% Lama			Partição: 100% Rej. / 0% Lama		
27/10/2009			27/10/2009			28/10/2009			27/10/2009		
Sequencial	Tempo (m)	Leitura (mm)	Sequencial	Tempo (m)	Leitura (mm)	Sequencial	Tempo (m)	Leitura (mm)	Sequencial	Tempo (m)	Leitura (mm)
1	0,5	38,0	1	0,5	38,0	1	0,5	38,0	1	0,5	38,0
2	1,0	37,7	2	1,0	37,9	2	1,0	37,8	2	1,0	36,8
3	1,5	37,7	3	1,5	37,9	3	1,5	37,7	3	1,5	35,5
4	2,0	37,6	4	2,0	37,8	4	2,0	37,6	4	2,0	34,2
5	2,5	37,6	5	2,5	37,7	5	2,5	37,4	5	2,5	32,8
6	3,0	37,6	6	3,0	37,6	6	3,0	37,3	6	3,0	31,5
7	3,5	37,6	7	3,5	37,6	7	3,5	37,2	7	3,5	30,1
8	4,0	37,6	8	4,0	37,5	8	4,0	37,0	8	4,0	28,9
9	4,5	37,6	9	4,5	37,4	9	4,5	36,9	9	4,5	27,6
10	5,0	37,5	10	5,0	37,3	10	5,0	36,8	10	5,0	26,4
11	6	37,5	11	6	37,1	11	6	36,5	11	6	24,2
12	7	37,4	12	7	37,0	12	7	36,2	12	7	22,4
13	8	37,4	13	8	36,8	13	8	36,0	13	8	21,1
14	9	37,3	14	9	36,6	14	9	35,7	14	9	20,0
15	10	37,2	15	10	36,4	15	10	35,5	15	10	19,2
16	11	37,1	16	11	36,2	16	11	35,2	16	11	18,6
17	12	37,0	17	12	36,0	17	12	34,9	17	12	18,4
18	13	36,9	18	13	35,8	18	13	34,7	18	13	18,2
19	14	36,8	19	14	35,6	19	14	34,4	19	14	18,1
20	15	36,7	20	15	35,4	20	15	34,1	20	15	18,1
21	16	36,7	21	16	35,3	21	16	33,8	21	16	18,1
22	17	36,5	22	17	35,1	22	17	33,5	22	17	18,1
23	18	36,4	23	18	34,9	23	18	33,2	23	18	18,1
24	19	36,4	24	19	34,7	24	19	32,9	24	19	18,1
25	20	36,3	25	20	34,6	25	20	32,5	25	20	18,1
26	22	36,1	26	22	34,2	26	22	31,8	26	22	18,1
27	24	35,9	27	24	33,8	27	24	31,1	27	24	18,1
28	26	35,7	28	26	33,5	28	26	30,3	28	26	18,0
29	28	35,4	29	28	33,1	29	28	29,4	29	28	18,0
30	30	35,1	30	30	32,7	30	30	28,4	30	30	18,0
31	32	34,9	31	32	32,3	31	32	27,4	31	32	18,0
32	34	34,6	32	34	31,9	32	34	26,6	32	34	18,0
33	36	34,3	33	36	31,5	33	36	25,6	33	36	18,0
34	38	34,1	34	38	31,1	34	38	24,6	34	38	18,0
35	40	33,8	35	40	30,7	35	40	23,8	35	40	18,0
36	45	32,9	36	45	29,6	36	45	21,7	36	45	18,0
37	50	32,0	37	50	28,5	37	50	20,6	37	50	18,0
38	55	30,9	38	55	27,0	38	55	19,3	38	55	18,0
39	60	29,8	39	60	25,8	39	60	19,1	39	60	18,0
40	65	28,8	40	65	24,2	40	65	19,0	40	65	18,0
41	70	28,4	41	70	22,7	41	70	18,8	41	70	18,0
42	75	27,9	42	75	22,0	42	75	18,7	42	75	18,0
43	80	27,7	43	80	21,8	43	80	18,6	43	80	18,0
44	85	27,4	44	85	21,5	44	85	18,6	44	85	18,0
45	90	27,2	45	90	21,3	45	90	18,5	45	90	18,0
46	120	26,1	46	120	20,5	46	120	18,2	46	120	18,0
47	1440	18,8	47	1440	17,9	47	1440	17,4	47	1440	16,7

Teste de Sedimentação - Leituras ITMD					Teste de Sedimentação - Leituras ITMI					Teste de Sedimentação - Leituras ITMD					Teste de Sedimentação - Leituras ITMI				
Material Aliment. EP02					Material Aliment. EP02					Material Aliment. EP02					Material Aliment. EP02				
25/09/2009					25/09/2009					29/09/2009					29/09/2009				
Log (t)	Log (h)	(h-hinf)	Log (h-hinf)	Log (h-hinf)/t	Log (t)	Log (h)	(h-hinf)	Log (h-hinf)	Log ((h-hinf)/t)	Log (t)	Log (h)	(h-hinf)	Log (h-hinf)	Log ((h-hinf)/t)	Log (t)	Log (h)	(h-hinf)	Log (h-hinf)	Log ((h-hinf)/t)
1.48	1.58	31.60	1.50	0.02	1.48	1.59	30.30	1.48	0.00	1.48	1.59	28.50	1.45	-0.02	1.48	1.59	26.00	1.41	-0.06
1.78	1.58	31.20	1.49	-0.28	1.78	1.59	30.00	1.48	-0.30	1.78	1.59	28.50	1.45	-0.32	1.78	1.59	26.00	1.41	-0.36
1.95	1.58	30.80	1.49	-0.47	1.95	1.58	29.90	1.48	-0.48	1.95	1.59	28.30	1.45	-0.50	1.95	1.59	25.90	1.41	-0.54
2.08	1.57	30.30	1.48	-0.60	2.08	1.58	29.70	1.47	-0.61	2.08	1.58	28.00	1.45	-0.63	2.08	1.59	25.90	1.41	-0.67
2.18	1.56	29.90	1.48	-0.70	2.18	1.58	29.50	1.47	-0.71	2.18	1.58	27.80	1.44	-0.73	2.18	1.59	25.80	1.41	-0.76
2.26	1.56	29.50	1.47	-0.79	2.26	1.58	29.30	1.47	-0.79	2.26	1.58	27.60	1.44	-0.81	2.26	1.59	25.80	1.41	-0.84
2.32	1.56	29.20	1.47	-0.86	2.32	1.58	29.10	1.46	-0.86	2.32	1.58	27.40	1.44	-0.88	2.32	1.58	25.60	1.41	-0.91
2.38	1.55	28.70	1.46	-0.92	2.38	1.57	28.90	1.46	-0.92	2.38	1.57	27.20	1.43	-0.95	2.38	1.58	25.50	1.41	-0.97
2.43	1.54	28.20	1.45	-0.98	2.43	1.57	28.80	1.46	-0.97	2.43	1.57	27.00	1.43	-1.00	2.43	1.58	25.30	1.40	-1.03
2.48	1.54	27.90	1.45	-1.03	2.48	1.57	28.60	1.46	-1.02	2.48	1.57	26.90	1.43	-1.05	2.48	1.58	25.20	1.40	-1.08
2.56	1.53	27.00	1.43	-1.12	2.56	1.56	28.20	1.45	-1.11	2.56	1.57	26.70	1.43	-1.13	2.56	1.58	25.10	1.40	-1.16
2.62	1.52	26.20	1.42	-1.20	2.62	1.56	27.80	1.44	-1.18	2.62	1.56	26.50	1.42	-1.20	2.62	1.58	25.00	1.40	-1.23
2.68	1.51	25.40	1.40	-1.28	2.68	1.56	27.40	1.44	-1.24	2.68	1.56	26.30	1.42	-1.26	2.68	1.58	24.90	1.40	-1.29
2.73	1.50	24.50	1.39	-1.34	2.73	1.55	27.10	1.43	-1.30	2.73	1.56	25.90	1.41	-1.32	2.73	1.58	24.80	1.39	-1.34
2.78	1.48	23.70	1.37	-1.40	2.78	1.55	26.70	1.43	-1.35	2.78	1.55	25.60	1.41	-1.37	2.78	1.57	24.60	1.39	-1.39
2.82	1.47	22.80	1.36	-1.46	2.82	1.54	26.30	1.42	-1.40	2.82	1.55	25.10	1.40	-1.42	2.82	1.57	24.50	1.39	-1.43
2.86	1.46	21.90	1.34	-1.52	2.86	1.54	26.00	1.41	-1.44	2.86	1.54	24.50	1.39	-1.47	2.86	1.57	24.20	1.38	-1.47
2.89	1.44	21.00	1.32	-1.57	2.89	1.53	25.60	1.41	-1.48	2.89	1.54	24.10	1.38	-1.51	2.89	1.57	24.00	1.38	-1.51
2.92	1.43	20.20	1.31	-1.62	2.92	1.53	25.30	1.40	-1.52	2.92	1.53	23.60	1.37	-1.55	2.92	1.56	23.70	1.37	-1.55
2.95	1.42	19.40	1.29	-1.67	2.95	1.52	24.90	1.40	-1.56	2.95	1.52	23.20	1.37	-1.59	2.95	1.56	23.50	1.37	-1.58
2.98	1.40	18.60	1.27	-1.71	2.98	1.52	24.50	1.39	-1.59	2.98	1.52	22.90	1.36	-1.62	2.98	1.56	23.10	1.36	-1.62
3.01	1.39	17.70	1.25	-1.76	3.01	1.51	24.20	1.38	-1.62	3.01	1.52	22.70	1.36	-1.65	3.01	1.55	22.60	1.35	-1.65
3.03	1.37	16.90	1.23	-1.81	3.03	1.51	23.80	1.38	-1.66	3.03	1.51	22.30	1.35	-1.69	3.03	1.55	22.40	1.35	-1.68
3.06	1.36	16.00	1.20	-1.85	3.06	1.51	23.50	1.37	-1.69	3.06	1.51	22.00	1.34	-1.71	3.06	1.54	22.10	1.34	-1.71
3.08	1.34	15.20	1.18	-1.90	3.08	1.50	23.10	1.36	-1.72	3.08	1.50	21.50	1.33	-1.75	3.08	1.54	21.80	1.34	-1.74
3.12	1.31	13.70	1.14	-1.98	3.12	1.49	22.30	1.35	-1.77	3.12	1.50	21.20	1.33	-1.79	3.12	1.54	21.50	1.33	-1.79
3.16	1.28	12.20	1.09	-2.07	3.16	1.48	21.60	1.33	-1.82	3.16	1.49	20.80	1.32	-1.84	3.16	1.53	20.90	1.32	-1.84
3.19	1.25	10.80	1.03	-2.16	3.19	1.47	20.90	1.32	-1.87	3.19	1.48	20.00	1.30	-1.89	3.19	1.52	20.40	1.31	-1.88
3.23	1.21	9.50	0.98	-2.25	3.23	1.46	20.20	1.31	-1.92	3.23	1.47	19.30	1.29	-1.94	3.23	1.51	19.80	1.30	-1.93
3.26	1.18	8.30	0.92	-2.34	3.26	1.45	19.50	1.29	-1.97	3.26	1.45	17.90	1.25	-2.00	3.26	1.51	19.30	1.29	-1.97
3.28	1.15	7.30	0.86	-2.42	3.28	1.44	18.80	1.27	-2.01	3.28	1.43	17.00	1.23	-2.05	3.28	1.50	18.80	1.27	-2.01
3.31	1.11	6.20	0.79	-2.52	3.31	1.42	18.00	1.26	-2.05	3.31	1.42	16.20	1.21	-2.10	3.31	1.49	18.30	1.26	-2.05
3.33	1.08	5.30	0.72	-2.61	3.33	1.41	17.30	1.24	-2.10	3.33	1.41	15.40	1.19	-2.15	3.33	1.49	17.80	1.25	-2.08
3.36	1.06	4.60	0.66	-2.70	3.36	1.40	16.60	1.22	-2.14	3.36	1.39	14.60	1.16	-2.19	3.36	1.48	17.30	1.24	-2.12
3.38	1.03	3.90	0.59	-2.79	3.38	1.39	15.90	1.20	-2.18	3.38	1.38	13.90	1.14	-2.24	3.38	1.46	16.30	1.21	-2.17
3.43	1.00	3.20	0.51	-2.83	3.43	1.35	14.10	1.15	-2.28	3.43	1.37	13.20	1.12	-2.31	3.43	1.44	15.00	1.18	-2.26
3.48	0.99	2.90	0.46	-3.01	3.48	1.32	12.30	1.09	-2.39	3.48	1.33	11.30	1.05	-2.42	3.48	1.42	13.70	1.14	-2.34
3.52	0.98	2.80	0.45	-3.07	3.52	1.28	10.60	1.03	-2.49	3.52	1.29	9.40	0.97	-2.55	3.52	1.40	12.30	1.09	-2.43
3.56	0.97	2.50	0.40	-3.16	3.56	1.24	9.00	0.95	-2.60	3.56	1.26	7.80	0.89	-2.66	3.56	1.37	10.80	1.03	-2.52
3.59	0.96	2.40	0.38	-3.21	3.59	1.21	7.60	0.88	-2.71	3.59	1.22	6.50	0.81	-2.78	3.59	1.35	9.40	0.97	-2.62
3.62	0.96	2.30	0.36	-3.26	3.62	1.17	6.40	0.81	-2.82	3.62	1.19	5.30	0.72	-2.90	3.62	1.32	8.10	0.91	-2.71
3.65	0.95	2.20	0.34	-3.31	3.65	1.16	6.00	0.78	-2.88	3.65	1.16	4.40	0.64	-3.01	3.65	1.31	7.70	0.89	-2.77
3.68	0.95	2.10	0.32	-3.36	3.68	1.16	5.80	0.76	-2.92	3.68	1.15	4.00	0.60	-3.08	3.68	1.31	7.40	0.87	-2.81
3.71	0.94	2.00	0.30	-3.41	3.71	1.15	5.60	0.75	-2.96	3.71	1.15	3.80	0.58	-3.13	3.71	1.30	7.00	0.85	-2.86
3.73	0.94	1.90	0.28	-3.45	3.73	1.15	5.50	0.74	-2.99	3.73	1.13	3.40	0.53	-3.20	3.73	1.29	6.90	0.84	-2.89
3.86	0.92	1.50	0.18	-3.68	3.86	1.12	4.80	0.68	-3.18	3.86	1.11	2.80	0.45	-3.41	3.86	1.27	5.90	0.77	-3.09
4.94	0.83	0.00			4.94	0.93	0.00			4.94	1.01	0.00			4.94	1.11	0.00		

Teste de Sedimentação - Leituras ITMD					Teste de Sedimentação - Leituras ITMI					Teste de Sedimentação - Leituras ITMD					Teste de Sedimentação - Leituras ITMI				
Material Aliment. EP02					Material Aliment. EP02					Material Aliment. EP02					Material Aliment. EP02				
29/09/2009					29/09/2009					01/10/2009					01/10/2009				
40% S					40% S					50% S					50% S				
Log (t)	Log (h)	(h-hinf)	Log (h-hinf)	Log ((h-hinf)/t)	Log (t)	Log (h)	(h-hinf)	Log (h-hinf)	Log ((h-hinf)/t)	Log (t)	Log (h)	(h-hinf)	Log (h-hinf)	Log ((h-hinf)/t)	Log (t)	Log (h)	(h-hinf)	Log (h-hinf)	Log ((h-hinf)/t)
1,48	1,6	25,40	1,40	-0,07	1,48	1,58	18,50	1,27	-0,21	1,48	1,58	21,20	1,33	-0,15	1,48	1,58	11,30	1,05	-0,42
1,78	1,6	25,30	1,40	-0,38	1,78	1,58	18,50	1,27	-0,51	1,78	1,58	21,20	1,33	-0,45	1,78	1,58	11,30	1,05	-0,73
1,95	1,6	25,20	1,40	-0,55	1,95	1,58	18,40	1,26	-0,69	1,95	1,58	21,10	1,32	-0,63	1,95	1,58	11,30	1,05	-0,90
2,08	1,6	25,00	1,40	-0,68	2,08	1,58	18,40	1,26	-0,81	2,08	1,58	21,10	1,32	-0,75	2,08	1,58	11,20	1,05	-1,03
2,18	1,6	24,80	1,39	-0,78	2,18	1,58	18,30	1,26	-0,91	2,18	1,58	21,10	1,32	-0,85	2,18	1,58	11,20	1,05	-1,13
2,26	1,6	24,70	1,39	-0,86	2,26	1,58	18,30	1,26	-0,99	2,26	1,58	21,10	1,32	-0,93	2,26	1,58	11,20	1,05	-1,21
2,32	1,6	24,60	1,39	-0,93	2,32	1,58	18,30	1,26	-1,06	2,32	1,58	21,00	1,32	-1,00	2,32	1,58	11,10	1,05	-1,28
2,38	1,6	24,40	1,39	-0,99	2,38	1,58	18,30	1,26	-1,12	2,38	1,58	21,00	1,32	-1,06	2,38	1,58	11,10	1,05	-1,33
2,43	1,6	24,30	1,39	-1,05	2,43	1,58	18,30	1,26	-1,17	2,43	1,58	20,90	1,32	-1,11	2,43	1,58	11,10	1,05	-1,39
2,48	1,6	24,10	1,38	-1,10	2,48	1,58	18,30	1,26	-1,21	2,48	1,58	20,80	1,32	-1,16	2,48	1,58	11,10	1,05	-1,43
2,56	1,6	23,90	1,38	-1,18	2,56	1,58	18,30	1,26	-1,29	2,56	1,58	20,70	1,32	-1,24	2,56	1,58	11,10	1,05	-1,51
2,62	1,6	23,60	1,37	-1,25	2,62	1,58	18,30	1,26	-1,36	2,62	1,58	20,50	1,31	-1,31	2,62	1,58	11,10	1,05	-1,58
2,68	1,6	23,40	1,37	-1,31	2,68	1,58	18,20	1,26	-1,42	2,68	1,57	20,30	1,31	-1,37	2,68	1,58	11,10	1,05	-1,64
2,73	1,6	23,10	1,36	-1,37	2,73	1,58	18,10	1,26	-1,47	2,73	1,57	20,10	1,30	-1,43	2,73	1,58	11,10	1,05	-1,69
2,78	1,6	22,90	1,36	-1,42	2,78	1,58	18,10	1,26	-1,52	2,78	1,57	19,90	1,30	-1,48	2,78	1,58	11,10	1,05	-1,73
2,82	1,6	22,60	1,35	-1,47	2,82	1,58	18,00	1,26	-1,56	2,82	1,57	19,70	1,29	-1,53	2,82	1,58	11,10	1,05	-1,77
2,86	1,6	22,40	1,35	-1,51	2,86	1,58	17,90	1,25	-1,60	2,86	1,56	19,60	1,29	-1,57	2,86	1,58	11,10	1,05	-1,81
2,89	1,6	22,20	1,35	-1,55	2,89	1,57	17,80	1,25	-1,64	2,89	1,56	19,40	1,29	-1,60	2,89	1,58	11,00	1,04	-1,85
2,92	1,5	21,90	1,34	-1,58	2,92	1,57	17,70	1,25	-1,68	2,92	1,56	19,20	1,28	-1,64	2,92	1,58	11,00	1,04	-1,88
2,95	1,5	21,70	1,34	-1,62	2,95	1,57	17,60	1,25	-1,71	2,95	1,56	19,00	1,28	-1,68	2,95	1,58	11,00	1,04	-1,91
2,98	1,5	21,50	1,33	-1,65	2,98	1,57	17,50	1,24	-1,74	2,98	1,56	18,80	1,27	-1,71	2,98	1,58	11,00	1,04	-1,94
3,01	1,5	21,20	1,33	-1,68	3,01	1,57	17,40	1,24	-1,77	3,01	1,55	18,60	1,27	-1,74	3,01	1,58	11,00	1,04	-1,97
3,03	1,5	21,00	1,32	-1,71	3,03	1,57	17,30	1,24	-1,80	3,03	1,55	18,50	1,27	-1,77	3,03	1,58	11,00	1,04	-1,99
3,06	1,5	20,80	1,32	-1,74	3,06	1,57	17,20	1,24	-1,82	3,06	1,55	18,30	1,26	-1,79	3,06	1,58	11,00	1,04	-2,02
3,08	1,5	20,50	1,31	-1,77	3,08	1,57	17,10	1,23	-1,85	3,08	1,55	18,10	1,26	-1,82	3,08	1,58	10,90	1,04	-2,04
3,12	1,5	20,10	1,30	-1,82	3,12	1,56	16,90	1,23	-1,89	3,12	1,54	17,70	1,25	-1,87	3,12	1,58	10,90	1,04	-2,08
3,16	1,5	19,70	1,29	-1,86	3,16	1,56	16,80	1,23	-1,93	3,16	1,54	17,40	1,24	-1,92	3,16	1,58	10,90	1,04	-2,12
3,19	1,5	19,10	1,28	-1,91	3,19	1,56	16,60	1,22	-1,97	3,19	1,53	17,10	1,23	-1,96	3,19	1,58	10,90	1,04	-2,16
3,23	1,5	18,50	1,27	-1,96	3,23	1,56	16,20	1,21	-2,02	3,23	1,53	16,80	1,23	-2,00	3,23	1,58	10,80	1,03	-2,19
3,26	1,5	18,20	1,26	-2,00	3,26	1,55	16,00	1,20	-2,05	3,26	1,53	16,50	1,22	-2,04	3,26	1,58	10,80	1,03	-2,22
3,28	1,5	17,70	1,25	-2,04	3,28	1,55	15,60	1,19	-2,09	3,28	1,52	16,10	1,21	-2,08	3,28	1,58	10,70	1,03	-2,25
3,31	1,5	17,20	1,24	-2,07	3,31	1,54	15,30	1,18	-2,12	3,31	1,52	15,70	1,20	-2,11	3,31	1,58	10,70	1,03	-2,28
3,33	1,5	16,70	1,22	-2,11	3,33	1,54	15,00	1,18	-2,16	3,33	1,51	15,40	1,19	-2,15	3,33	1,58	10,60	1,03	-2,31
3,36	1,5	16,20	1,21	-2,15	3,36	1,54	14,60	1,16	-2,19	3,36	1,51	15,00	1,18	-2,18	3,36	1,58	10,50	1,02	-2,34
3,38	1,5	15,70	1,20	-2,18	3,38	1,53	14,20	1,15	-2,23	3,38	1,50	14,60	1,16	-2,22	3,38	1,57	10,40	1,02	-2,36
3,43	1,4	14,30	1,16	-2,28	3,43	1,51	12,80	1,11	-2,32	3,43	1,49	13,60	1,13	-2,30	3,43	1,57	10,20	1,01	-2,42
3,48	1,4	13,00	1,11	-2,38	3,48	1,50	11,60	1,06	-2,41	3,48	1,47	12,70	1,10	-2,37	3,48	1,57	10,00	1,00	-2,48
3,52	1,4	11,60	1,06	-2,45	3,52	1,49	11,20	1,05	-2,47	3,52	1,46	11,70	1,07	-2,45	3,52	1,57	9,90	1,00	-2,52
3,56	1,4	9,90	1,00	-2,56	3,56	1,48	10,80	1,03	-2,52	3,56	1,45	10,80	1,03	-2,52	3,56	1,57	9,70	0,99	-2,57
3,59	1,3	8,30	0,92	-2,67	3,59	1,48	10,40	1,02	-2,57	3,59	1,43	9,70	0,99	-2,60	3,59	1,56	9,60	0,98	-2,61
3,62	1,3	6,70	0,83	-2,80	3,62	1,47	10,10	1,00	-2,62	3,62	1,41	8,40	0,92	-2,70	3,62	1,56	9,50	0,98	-2,65
3,65	1,3	5,40	0,73	-2,92	3,65	1,47	9,90	1,00	-2,66	3,65	1,39	7,30	0,86	-2,79	3,65	1,56	9,40	0,97	-2,68
3,68	1,3	5,10	0,71	-2,97	3,68	1,47	9,70	0,99	-2,69	3,68	1,37	6,10	0,79	-2,90	3,68	1,56	9,30	0,97	-2,71
3,71	1,3	4,80	0,68	-3,03	3,71	1,47	9,50	0,98	-2,73	3,71	1,36	5,70	0,76	-2,95	3,71	1,56	9,20	0,96	-2,74
3,73	1,3	4,60	0,66	-3,07	3,73	1,46	9,30	0,97	-2,76	3,73	1,35	5,40	0,73	-3,00	3,73	1,56	9,10	0,96	-2,77
3,86	1,2	3,80	0,58	-3,28	3,86	1,45	8,30	0,92	-2,94	3,86	1,33	4,40	0,64	-3,21	3,86	1,55	8,60	0,93	-2,92
4,94	1,1	0,00			4,94	1,29	0,00			4,94	1,23	0,00			4,94	1,43	0,00		







Teste Sed. Rej. Flot. ITMD + Lamas ITMI					Teste Sed. Rej. Flot. ITMD + Lamas ITMI					Teste Sed. Rej. Flot. ITMD + Lamas ITMI					Teste Sed. Rej. Flot. ITMD + Lamas ITMI				
Percentagem de sólidos					Percentagem de sólidos					Percentagem de sólidos					Percentagem de sólidos				
Partição: 25% Rej. / 75% Lama					Partição: 50% Rej. / 50% Lama					Partição: 75% Rej. / 25% Lama					Partição: 100% Rej. / 0% Lama				
40% S					40% S					40% S					40% S				
21/10/2009	21/10/2009	21/10/2009	21/10/2009	21/10/2009	21/10/2009	21/10/2009	21/10/2009	21/10/2009	21/10/2009	22/10/2009	22/10/2009	22/10/2009	22/10/2009	22/10/2009	21/10/2009	21/10/2009	21/10/2009	21/10/2009	21/10/2009
Log (t)	Log (h)	(h-hinf)	Log (h-hinf)	Log (h-hinf)/t	Log (t)	Log (h)	(h-hinf)	Log (h-hinf)	Log (h-hinf)/t	Log (t)	Log (h)	(h-hinf)	Log (h-hinf)	Log (h-hinf)/t	Log (t)	Log (h)	(h-hinf)	Log (h-hinf)	Log (h-hinf)/t
1,48	1,6	22,90	1,36	-0,12	1,48	1,58	24,10	1,38	-0,10	1,48	1,58	24,60	1,39	-0,09	1,48	1,58	25,10	1,40	-0,08
1,78	1,6	22,80	1,36	-0,42	1,78	1,58	24,00	1,38	-0,40	1,78	1,58	24,30	1,39	-0,39	1,78	1,56	23,60	1,37	-0,41
1,95	1,6	22,70	1,36	-0,60	1,95	1,58	23,80	1,38	-0,58	1,95	1,57	24,00	1,38	-0,57	1,95	1,50	18,60	1,27	-0,68
2,08	1,6	22,70	1,36	-0,72	2,08	1,57	23,60	1,37	-0,71	2,08	1,57	23,80	1,38	-0,70	2,08	1,46	16,10	1,21	-0,87
2,18	1,6	22,60	1,35	-0,82	2,18	1,57	23,60	1,37	-0,80	2,18	1,57	23,50	1,37	-0,81	2,18	1,43	14,10	1,15	-1,03
2,26	1,6	22,60	1,35	-0,90	2,26	1,57	23,50	1,37	-0,88	2,26	1,56	23,20	1,37	-0,89	2,26	1,38	11,10	1,05	-1,21
2,32	1,6	22,60	1,35	-0,97	2,32	1,57	23,30	1,37	-0,95	2,32	1,56	23,00	1,36	-0,96	2,32	1,33	8,60	0,93	-1,39
2,38	1,6	22,60	1,35	-1,03	2,38	1,57	23,20	1,37	-1,01	2,38	1,56	22,70	1,36	-1,02	2,38	1,29	6,40	0,81	-1,57
2,43	1,6	22,50	1,35	-1,08	2,43	1,57	23,10	1,36	-1,07	2,43	1,55	22,40	1,35	-1,08	2,43	1,25	4,70	0,67	-1,76
2,48	1,6	22,50	1,35	-1,12	2,48	1,57	23,00	1,36	-1,12	2,48	1,55	22,20	1,35	-1,13	2,48	1,22	3,70	0,57	-1,91
2,56	1,6	22,40	1,35	-1,21	2,56	1,56	22,70	1,36	-1,20	2,56	1,55	21,70	1,34	-1,22	2,56	1,18	2,40	0,38	-2,18
2,62	1,6	22,20	1,35	-1,28	2,62	1,56	22,50	1,35	-1,27	2,62	1,54	21,20	1,33	-1,30	2,62	1,16	1,40	0,15	-2,48
2,68	1,6	22,00	1,34	-1,34	2,68	1,56	22,30	1,35	-1,33	2,68	1,53	20,60	1,31	-1,37	2,68	1,14	0,80	-0,10	-2,78
2,73	1,6	21,90	1,34	-1,39	2,73	1,56	22,10	1,34	-1,39	2,73	1,53	20,10	1,30	-1,43	2,73	1,13	0,60	-0,22	-2,95
2,78	1,6	21,70	1,34	-1,44	2,78	1,55	21,90	1,34	-1,44	2,78	1,52	19,50	1,29	-1,49	2,78	1,13	0,50	-0,30	-3,08
2,82	1,6	21,50	1,33	-1,49	2,82	1,55	21,70	1,34	-1,48	2,82	1,51	18,90	1,28	-1,54	2,82	1,12	0,40	-0,40	-3,22
2,86	1,6	21,30	1,33	-1,53	2,86	1,55	21,40	1,33	-1,53	2,86	1,50	18,40	1,26	-1,59	2,86	1,12	0,40	-0,40	-3,26
2,89	1,6	21,20	1,33	-1,57	2,89	1,55	21,20	1,33	-1,57	2,89	1,49	17,80	1,25	-1,64	2,89	1,12	0,40	-0,40	-3,29
2,92	1,6	21,00	1,32	-1,60	2,92	1,54	21,00	1,32	-1,60	2,92	1,49	17,20	1,24	-1,69	2,92	1,12	0,40	-0,40	-3,32
2,95	1,6	20,90	1,32	-1,63	2,95	1,54	20,80	1,32	-1,64	2,95	1,48	16,60	1,22	-1,73	2,95	1,12	0,40	-0,40	-3,35
2,98	1,6	20,70	1,32	-1,67	2,98	1,54	20,50	1,31	-1,67	2,98	1,47	16,00	1,20	-1,78	2,98	1,12	0,40	-0,40	-3,38
3,01	1,6	20,50	1,31	-1,70	3,01	1,53	20,30	1,31	-1,70	3,01	1,46	15,40	1,19	-1,82	3,01	1,12	0,40	-0,40	-3,41
3,03	1,5	20,30	1,31	-1,73	3,03	1,53	20,10	1,30	-1,73	3,03	1,45	14,80	1,17	-1,86	3,03	1,12	0,40	-0,40	-3,43
3,06	1,5	20,20	1,31	-1,75	3,06	1,53	19,90	1,30	-1,76	3,06	1,44	14,10	1,15	-1,91	3,06	1,12	0,40	-0,40	-3,45
3,08	1,5	20,00	1,30	-1,78	3,08	1,53	19,70	1,29	-1,78	3,08	1,43	13,40	1,13	-1,95	3,08	1,12	0,40	-0,40	-3,48
3,12	1,5	19,70	1,29	-1,83	3,12	1,52	19,20	1,28	-1,84	3,12	1,41	12,20	1,09	-2,03	3,12	1,12	0,40	-0,40	-3,52
3,16	1,5	19,40	1,29	-1,87	3,16	1,51	18,60	1,27	-1,89	3,16	1,39	10,90	1,04	-2,12	3,16	1,12	0,40	-0,40	-3,56
3,19	1,5	19,10	1,28	-1,91	3,19	1,51	18,20	1,26	-1,93	3,19	1,36	9,70	0,99	-2,21	3,19	1,12	0,40	-0,40	-3,59
3,23	1,5	18,80	1,27	-1,95	3,23	1,50	17,70	1,25	-1,98	3,23	1,34	8,60	0,93	-2,29	3,23	1,12	0,40	-0,40	-3,62
3,26	1,5	18,50	1,27	-1,99	3,26	1,49	17,10	1,23	-2,02	3,26	1,32	7,60	0,88	-2,37	3,26	1,12	0,40	-0,40	-3,65
3,28	1,5	18,10	1,26	-2,03	3,28	1,48	16,60	1,22	-2,06	3,28	1,30	6,70	0,83	-2,46	3,28	1,12	0,40	-0,40	-3,68
3,31	1,5	17,80	1,25	-2,06	3,31	1,48	16,10	1,21	-2,10	3,31	1,28	5,80	0,76	-2,55	3,31	1,12	0,40	-0,40	-3,71
3,33	1,5	17,60	1,25	-2,09	3,33	1,47	15,60	1,19	-2,14	3,33	1,26	5,00	0,70	-2,64	3,33	1,12	0,40	-0,40	-3,73
3,36	1,5	17,30	1,24	-2,12	3,36	1,46	15,00	1,18	-2,18	3,36	1,25	4,30	0,63	-2,72	3,36	1,12	0,40	-0,40	-3,76
3,38	1,5	16,90	1,23	-2,15	3,38	1,45	14,50	1,16	-2,22	3,38	1,23	3,60	0,56	-2,82	3,38	1,12	0,40	-0,40	-3,78
3,43	1,5	16,20	1,21	-2,22	3,43	1,42	12,40	1,09	-2,34	3,43	1,20	2,60	0,41	-3,02	3,43	1,12	0,40	-0,40	-3,83
3,48	1,5	15,20	1,18	-2,30	3,48	1,40	11,30	1,05	-2,42	3,48	1,20	2,30	0,36	-3,12	3,48	1,12	0,40	-0,40	-3,88
3,52	1,5	14,30	1,16	-2,36	3,52	1,38	10,10	1,00	-2,51	3,52	1,19	2,20	0,34	-3,18	3,52	1,12	0,40	-0,40	-3,92
3,56	1,5	13,40	1,13	-2,43	3,56	1,35	8,50	0,93	-2,63	3,56	1,19	2,00	0,30	-3,26	3,56	1,12	0,40	-0,40	-3,95
3,59	1,4	12,40	1,09	-2,50	3,59	1,32	7,00	0,85	-2,75	3,59	1,18	1,90	0,28	-3,31	3,59	1,12	0,40	-0,40	-3,99
3,62	1,4	11,40	1,06	-2,57	3,62	1,29	5,40	0,73	-2,89	3,62	1,18	1,80	0,26	-3,37	3,62	1,12	0,40	-0,40	-4,02
3,65	1,4	10,40	1,02	-2,64	3,65	1,26	4,20	0,62	-3,03	3,65	1,18	1,70	0,23	-3,42	3,65	1,12	0,40	-0,40	-4,05
3,68	1,4	9,30	0,97	-2,71	3,68	1,25	3,80	0,58	-3,10	3,68	1,18	1,60	0,20	-3,48	3,68	1,12	0,40	-0,40	-4,08
3,71	1,4	8,30	0,92	-2,79	3,71	1,24	3,60	0,56	-3,15	3,71	1,17	1,50	0,18	-3,53	3,71	1,12	0,40	-0,40	-4,11
3,73	1,4	7,90	0,90	-2,83	3,73	1,24	3,40	0,53	-3,20	3,73	1,17	1,40	0,15	-3,59	3,73	1,12	0,40	-0,40	-4,13
3,86	1,3	6,70	0,83	-3,03	3,86	1,21	2,50	0,40	-3,46	3,86	1,16	1,00	0,00	-3,86	3,86	1,12	0,40	-0,40	-4,26
4,94	1,2	0,00			4,94	1,14	0,00			4,94	1,13	0,00			4,94	1,11	0,00		

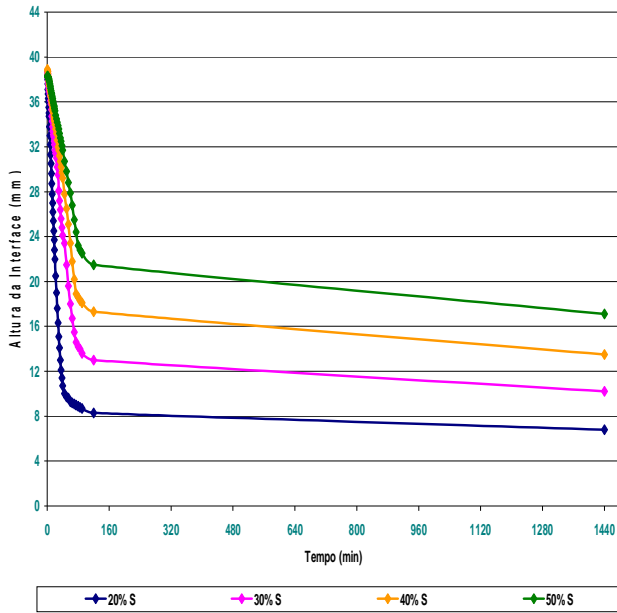




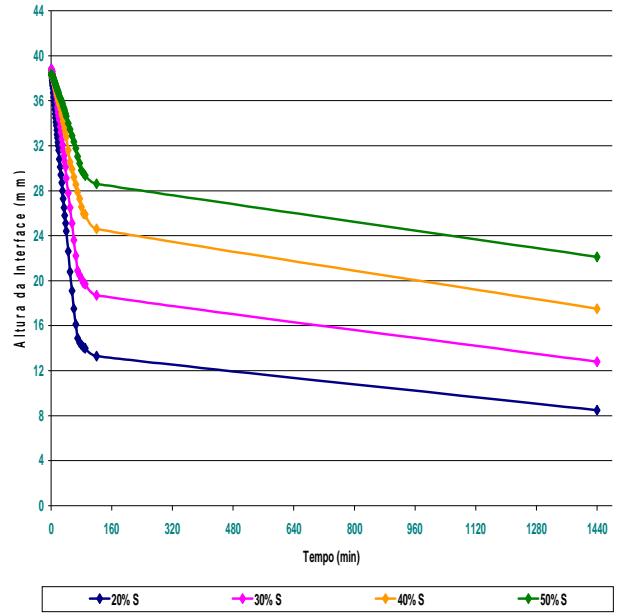
Resultados Mássicos <i>POS</i> Experimentos de Sedimentação em Proveta de 2000 ml				
% Sólidos →	20% S.	30% S.	40% S.	50% S.
Lamas ITMD				
Massa Úmida (g)	665	994	1360	1807
Massa Seca (g)	439	659	913	1288
Lamas ITMI				
Massa Úmida (g)	678	993	1373	1959
Massa Seca (g)	369	560	815	1219
Lamas ITMD + ITMI				
Massa Úmida (g)	716	997	1425	1891
Massa Seca (g)	435	631	930	1279
Rejeito Flotação ITMD + Lamas ITMI				
20% de sólidos				
Partição	25% R.F.D. / 75% Lamas I			
Massa Úmida (g)	708			
Massa Seca (g)	467			
Partição	50% R.F.D. / 50% Lamas I			
Massa Úmida (g)	683			
Massa Seca (g)	474			
Partição	75% R.F.D. / 25% Lamas I			
Massa Úmida (g)	717			
Massa Seca (g)	434			
Partição	100% R.F.D. / 0% Lamas I			
Massa Úmida (g)	675			
Massa Seca (g)	526			
30% de sólidos				
Partição	25% R.F.D. / 75% Lamas I			
Massa Úmida (g)	1041			
Massa Seca (g)	649			
Partição	50% R.F.D. / 50% Lamas I			
Massa Úmida (g)	1022			
Massa Seca (g)	671			
Partição	75% R.F.D. / 25% Lamas I			
Massa Úmida (g)	1059			
Massa Seca (g)	751			
Partição	100% R.F.D. / 0% Lamas I			
Massa Úmida (g)	1029			
Massa Seca (g)	764			
40% de sólidos				
Partição	25% R.F.D. / 75% Lamas I			
Massa Úmida (g)	1422			
Massa Seca (g)	1020			
Partição	50% R.F.D. / 50% Lamas I			
Massa Úmida (g)	1476			
Massa Seca (g)	1018			
Partição	75% R.F.D. / 25% Lamas I			
Massa Úmida (g)	1520			
Massa Seca (g)	970			
Partição	100% R.F.D. / 0% Lamas I			
Massa Úmida (g)	1445			
Massa Seca (g)	1116			
50% de sólidos				
Partição	25% R.F.D. / 75% Lamas I			
Massa Úmida (g)	1794			
Massa Seca (g)	1322			
Partição	50% R.F.D. / 50% Lamas I			
Massa Úmida (g)	1822			
Massa Seca (g)	1292			
Partição	75% R.F.D. / 25% Lamas I			
Massa Úmida (g)	1964			
Massa Seca (g)	1461			
Partição	100% R.F.D. / 0% Lamas I			
Massa Úmida (g)	1964			
Massa Seca (g)	1518			

Resultados Mássicos <i>POS</i> Experimentos de Sedimentação em Proveta de 2000 ml				
% Sólidos →	20% S.	30% S.	40% S.	50% S.
Lamas ITMD				
% sólidos no UF	66,02%	66,30%	67,13%	71,28%
Lamas ITMI				
% sólidos no UF	54,42%	56,39%	59,36%	62,23%
Lamas ITMD + ITMI				
% sólidos no UF	60,75%	63,29%	65,26%	67,64%
Rejeito Flotação ITMD + Lamas ITMI				
20% de sólidos				
Partição	25% R.F.D. / 75% Lamas I			
% sólidos no UF	66%			
Partição	50% R.F.D. / 50% Lamas I			
% sólidos no UF	69%			
Partição	75% R.F.D. / 25% Lamas I			
% sólidos no UF	66%			
Partição	100% R.F.D. / 0% Lamas I			
% sólidos no UF	78%			
30% de sólidos				
Partição	25% R.F.D. / 75% Lamas I			
% sólidos no UF	62%			
Partição	50% R.F.D. / 50% Lamas I			
% sólidos no UF	66%			
Partição	75% R.F.D. / 25% Lamas I			
% sólidos no UF	71%			
Partição	100% R.F.D. / 0% Lamas I			
% sólidos no UF	74%			
40% de sólidos				
Partição	25% R.F.D. / 75% Lamas I			
% sólidos no UF	72%			
Partição	50% R.F.D. / 50% Lamas I			
% sólidos no UF	69%			
Partição	75% R.F.D. / 25% Lamas I			
% sólidos no UF	64%			
Partição	100% R.F.D. / 0% Lamas I			
% sólidos no UF	77%			
50% de sólidos				
Partição	25% R.F.D. / 75% Lamas I			
% sólidos no UF	74%			
Partição	50% R.F.D. / 50% Lamas I			
% sólidos no UF	71%			
Partição	75% R.F.D. / 25% Lamas I			
% sólidos no UF	74%			
Partição	100% R.F.D. / 0% Lamas I			
% sólidos no UF	77%			

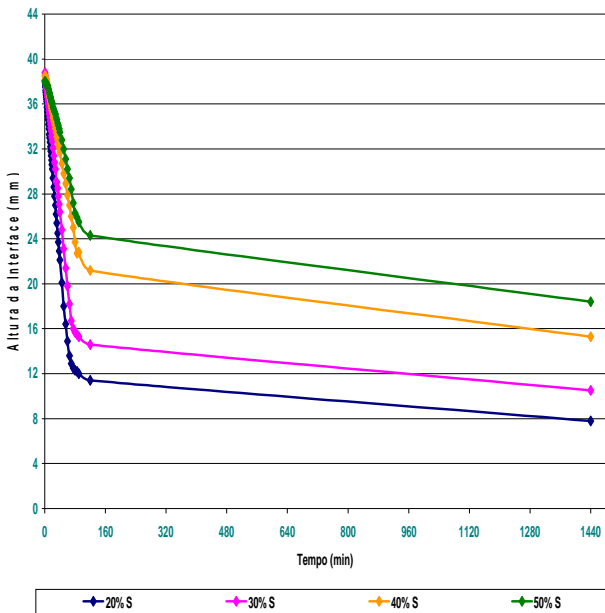
**Curvas de Sedimentação Lamas ITMD**



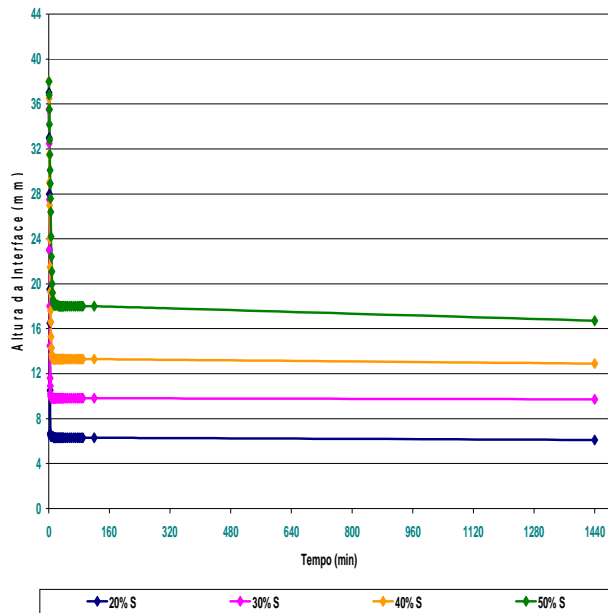
**Curvas de Sedimentação Lamas ITM I**



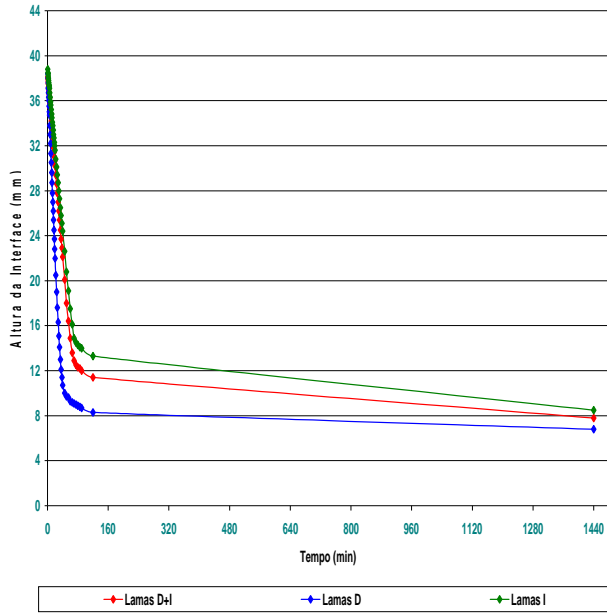
**Curvas de Sedimentação Lamas ITMD/ITMI**



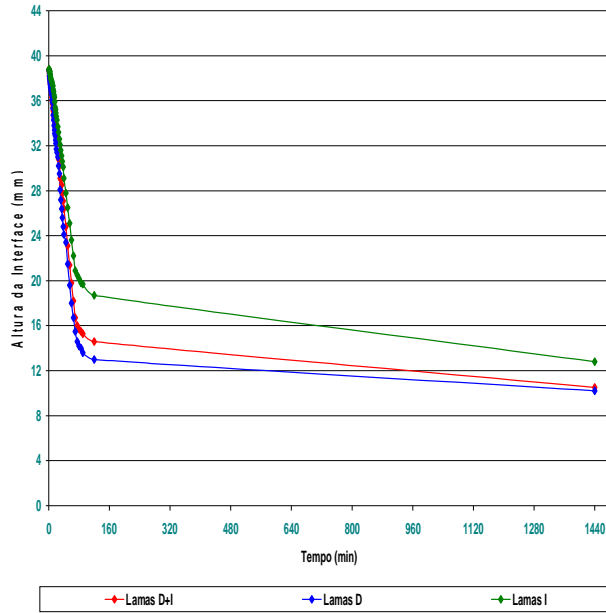
**Curvas de Sedimentação Lamas ITMD/ITMI**



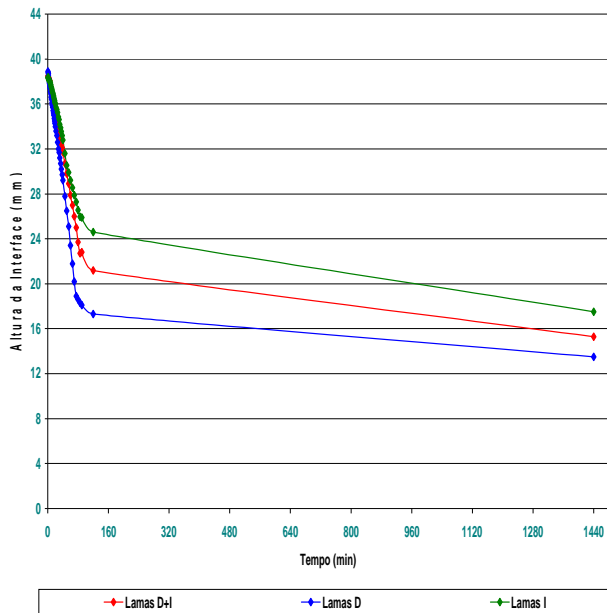
**Curvas de Sedimentação Lamas 20% de Sólidos**



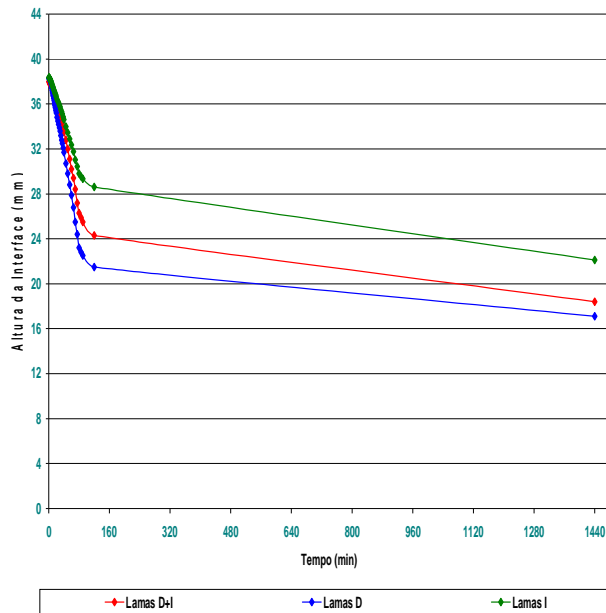
**Curvas de Sedimentação Lamas 30% de Sólidos**



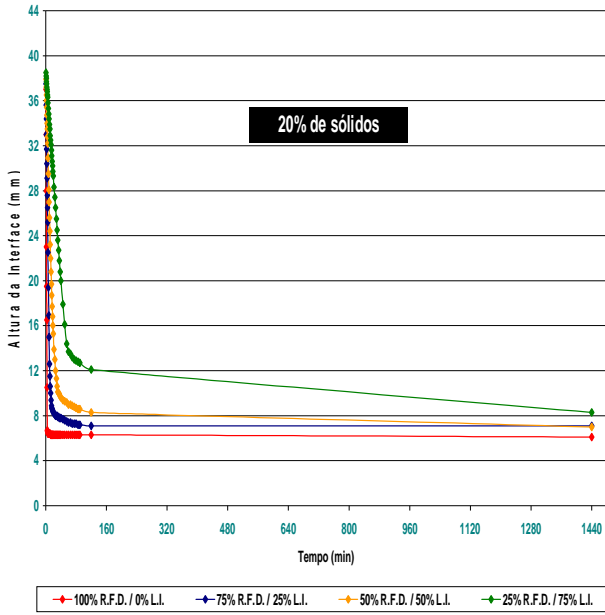
**Curvas de Sedimentação Lamas 40% de Sólidos**



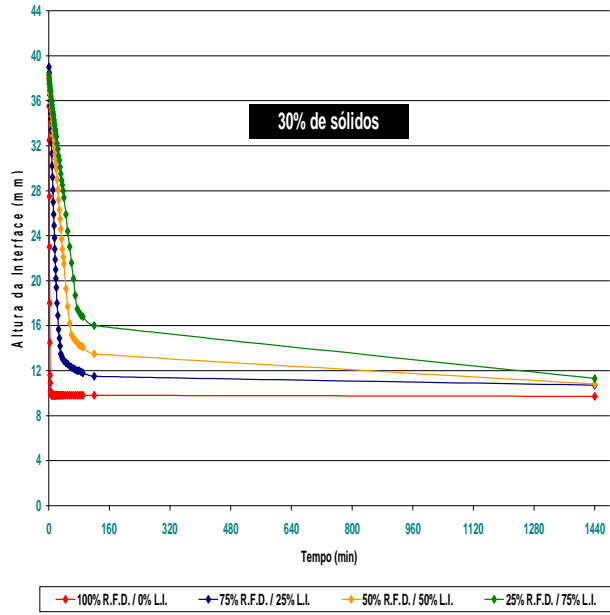
**Curvas de Sedimentação Lamas 50% de Sólidos**



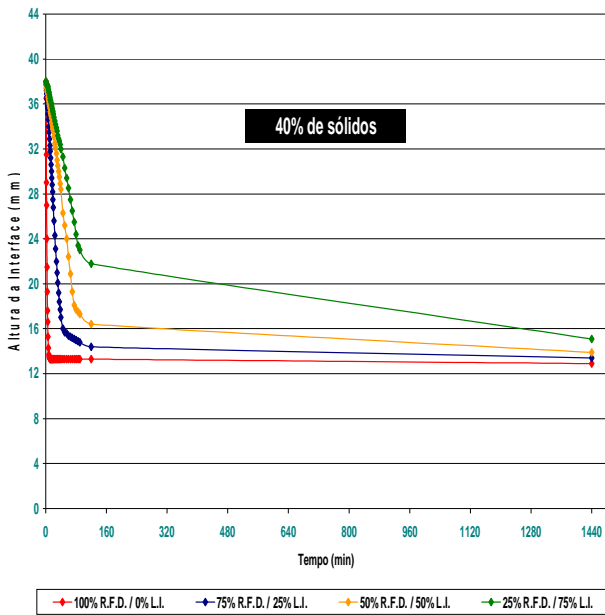
**Curvas de Sedimentação Rejeito Flotação D/Lamas I**



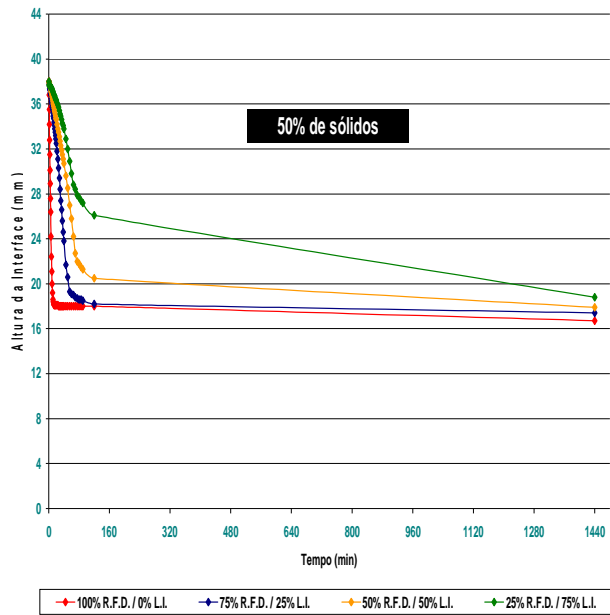
**Curvas de Sedimentação Rejeito Flotação D/Lamas I**



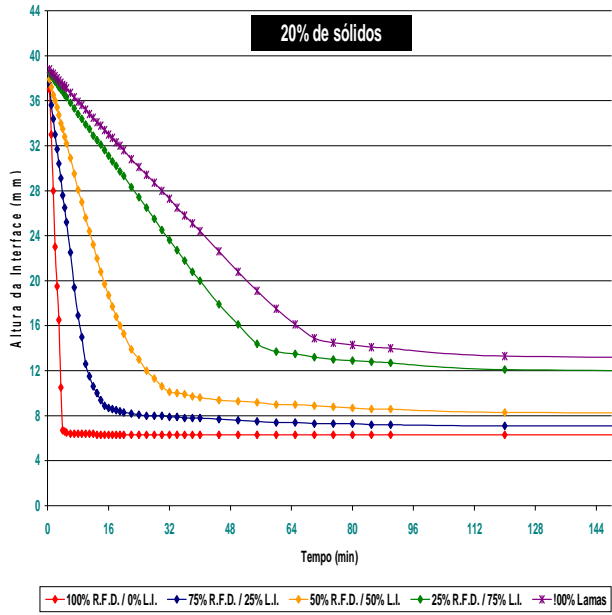
**Curvas de Sedimentação Rejeito Flotação D/Lamas I**



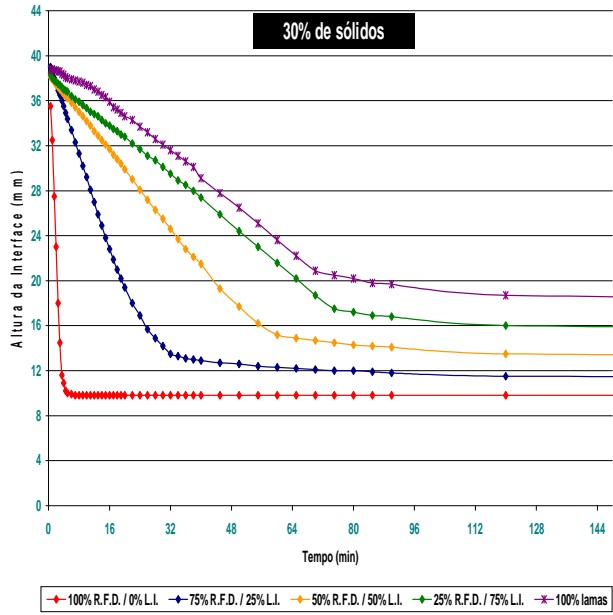
**Curvas de Sedimentação Rejeito Flotação D/Lamas I**



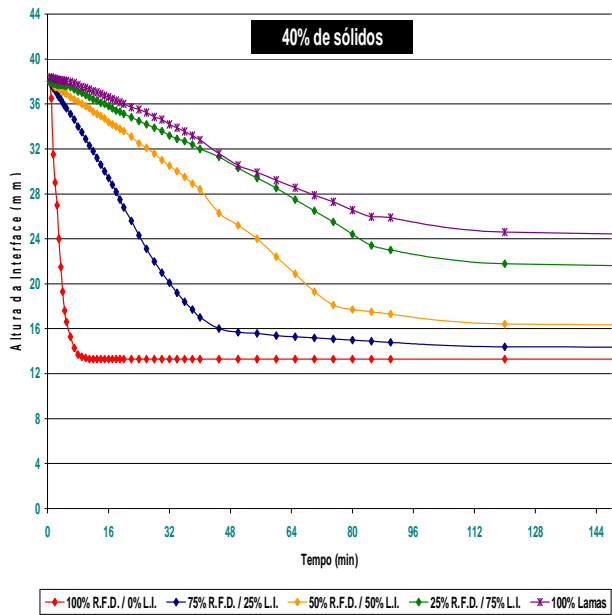
### Interferência da Granulometria na Sedimentação



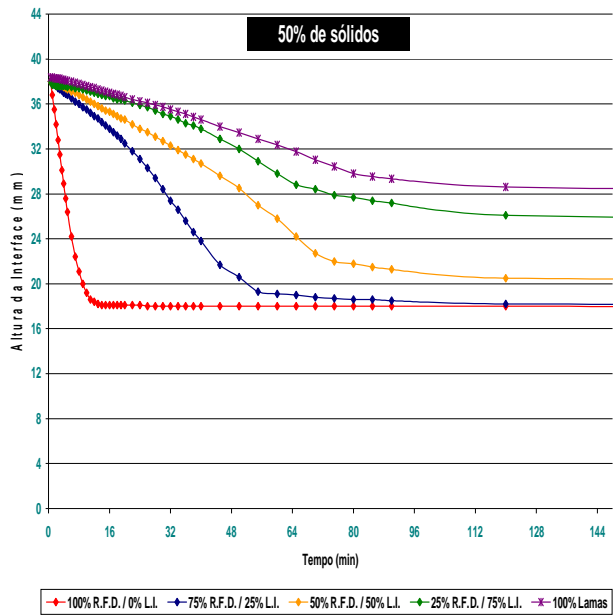
### Interferência da Granulometria na Sedimentação

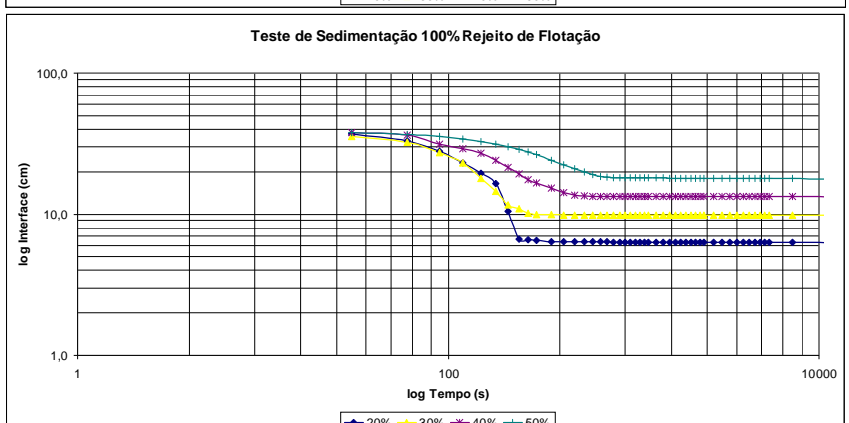
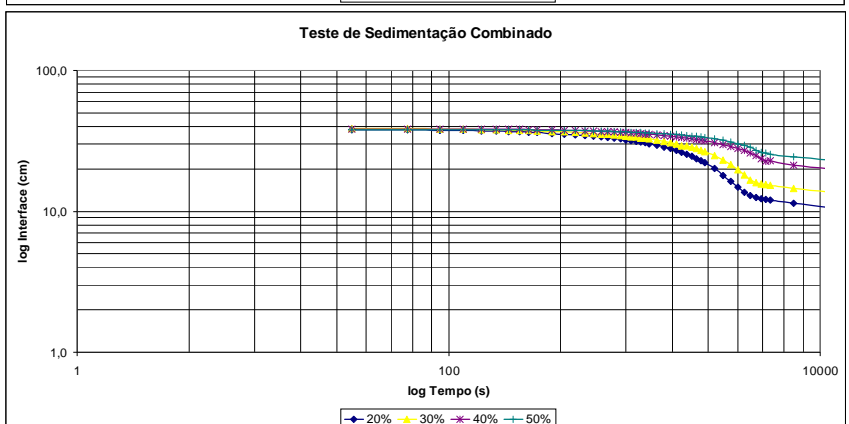
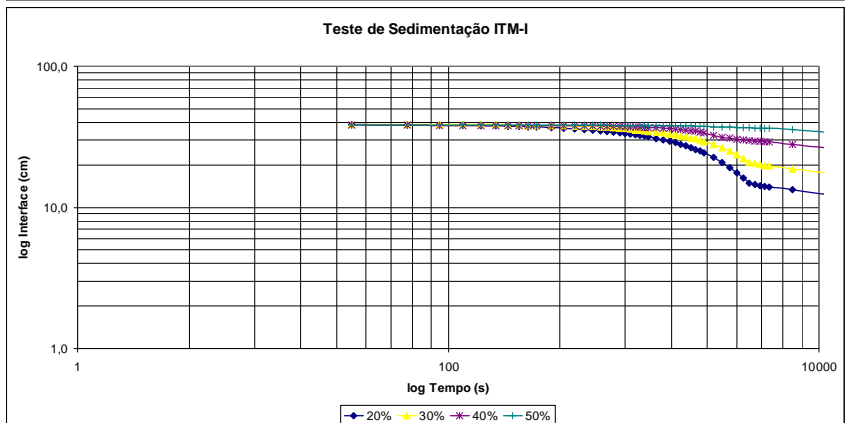
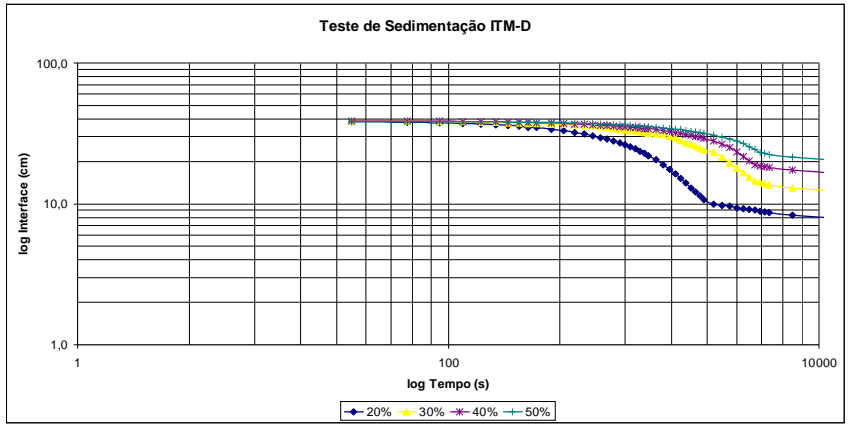


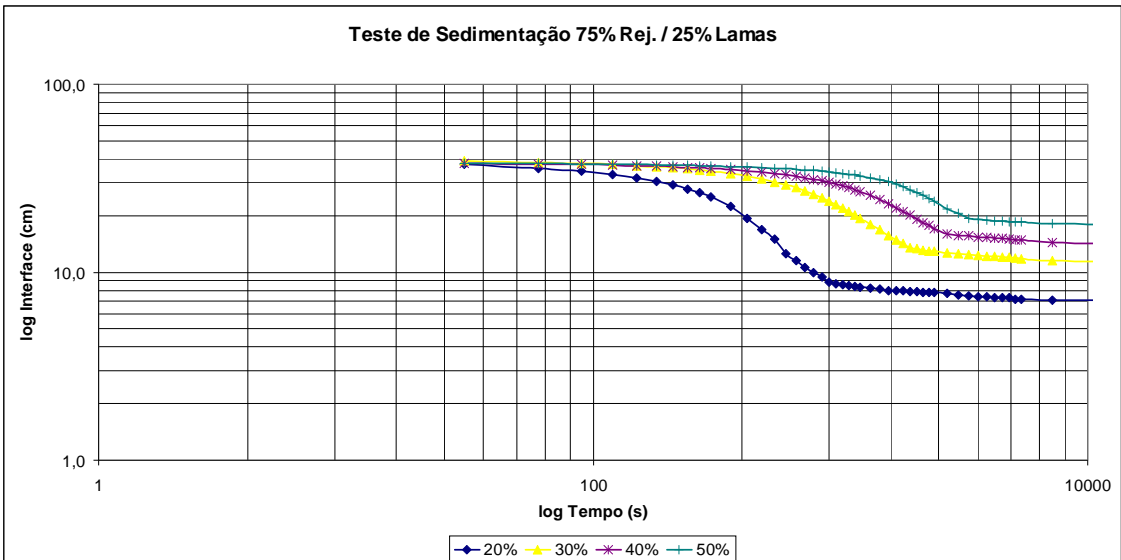
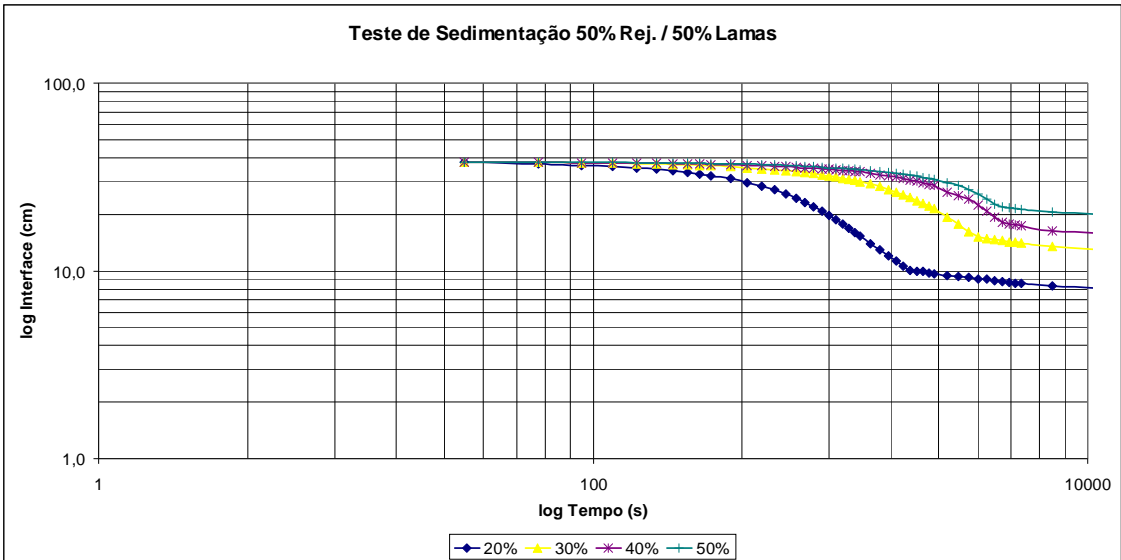
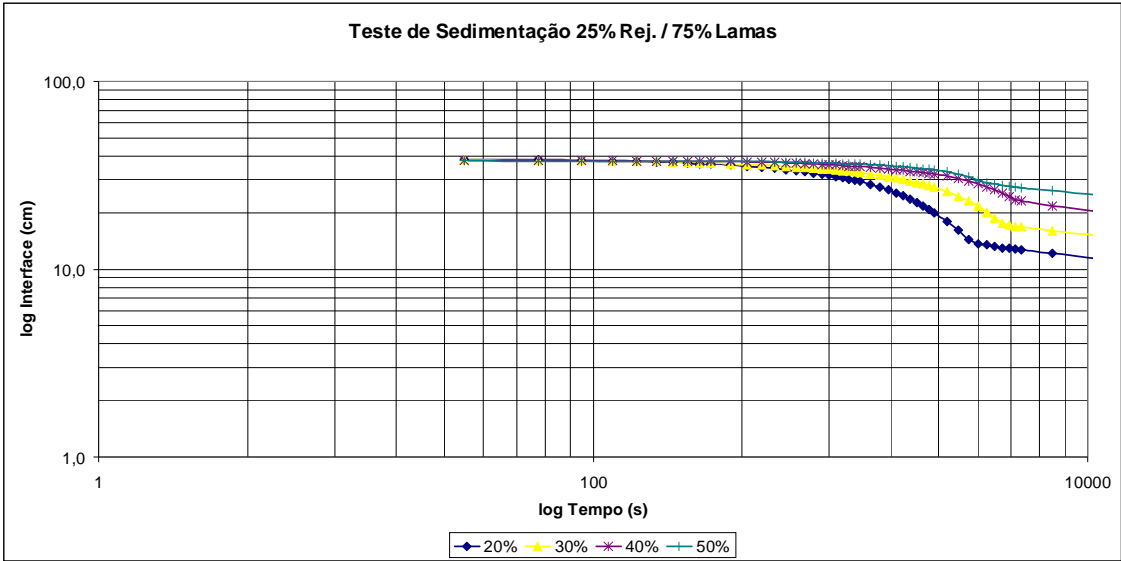
### Interferência da Granulometria na Sedimentação

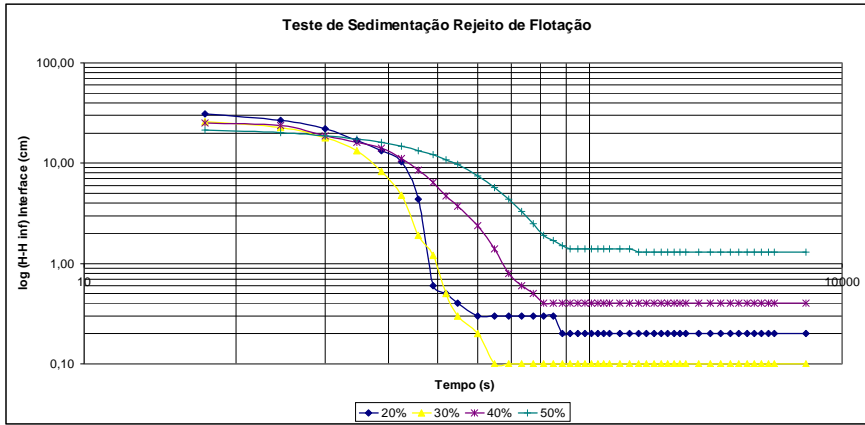
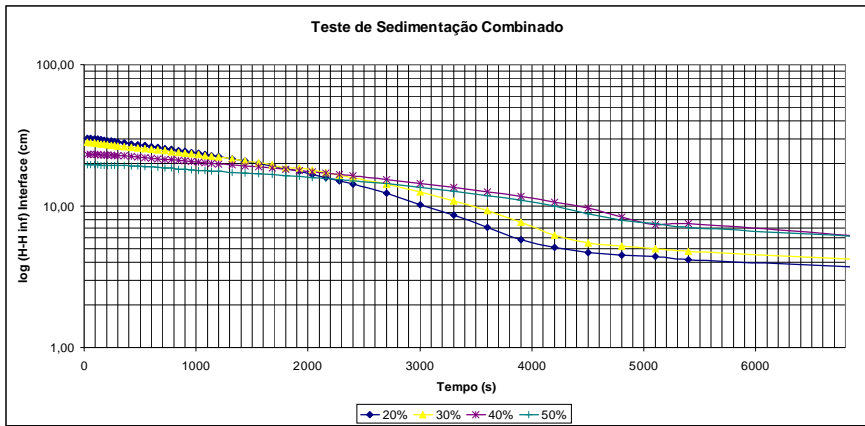
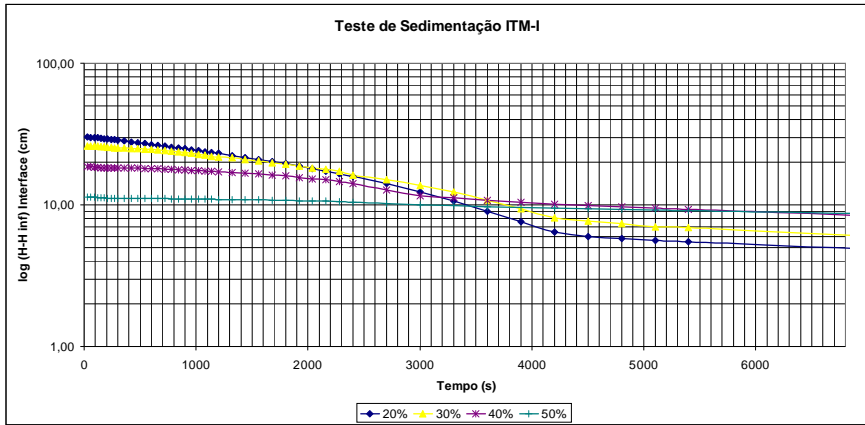
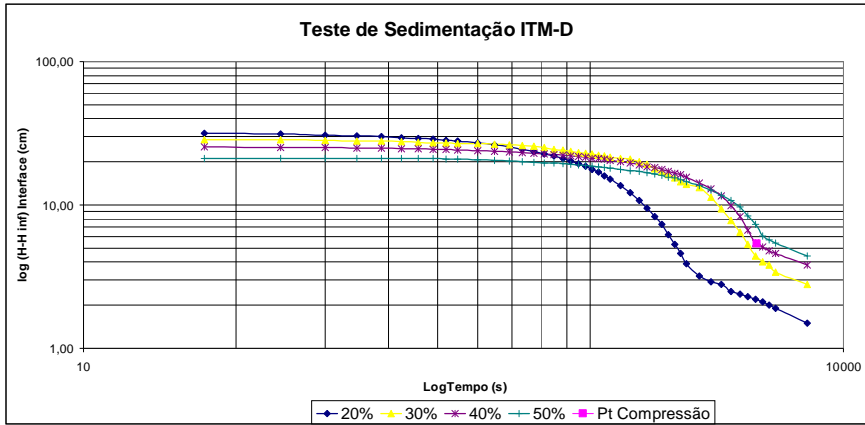


### Interferência da Granulometria na Sedimentação

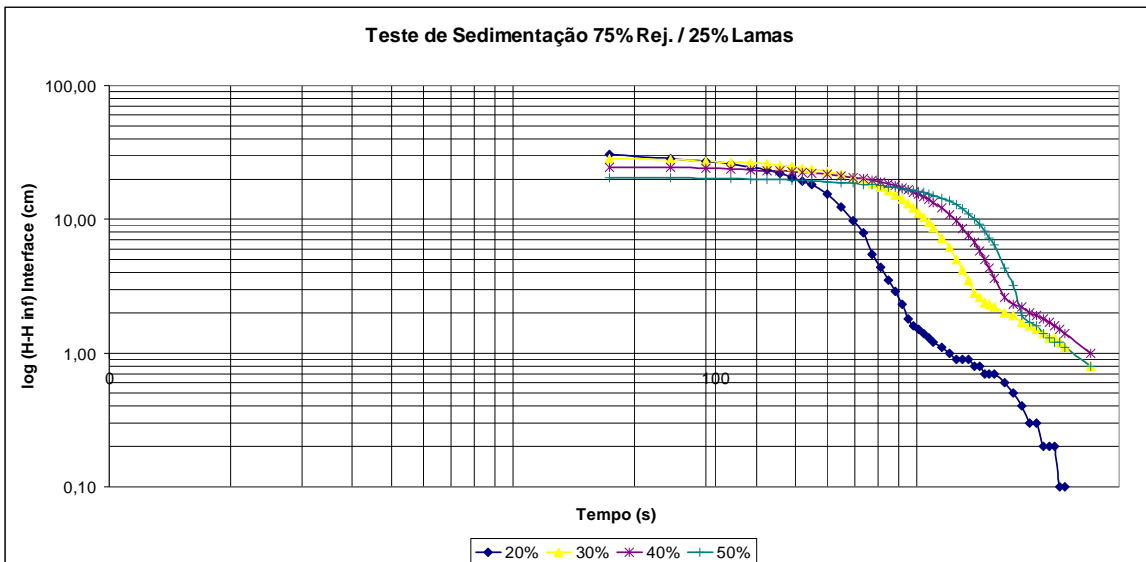
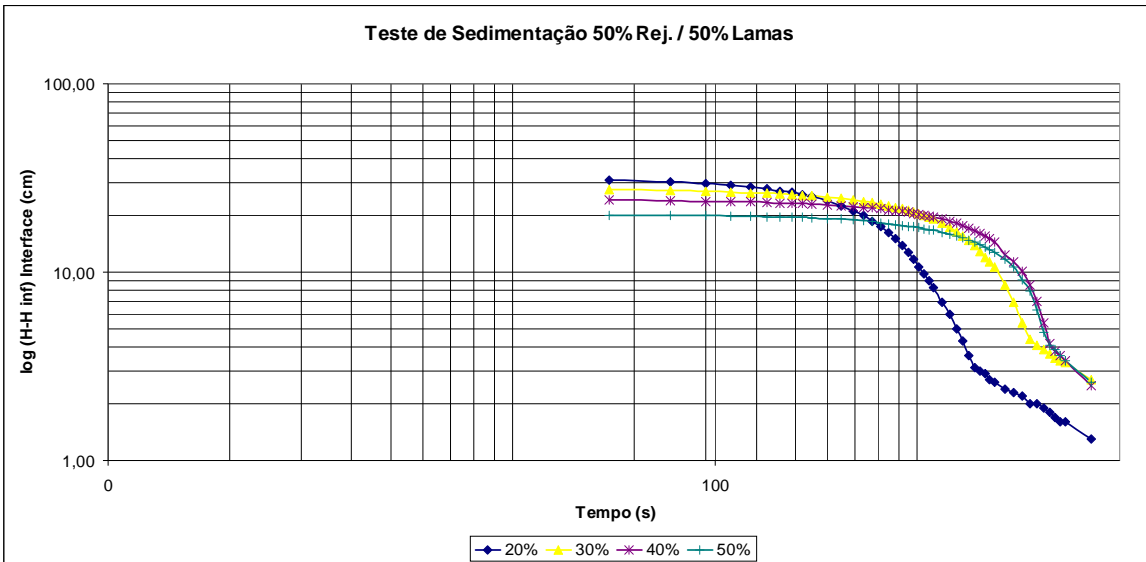
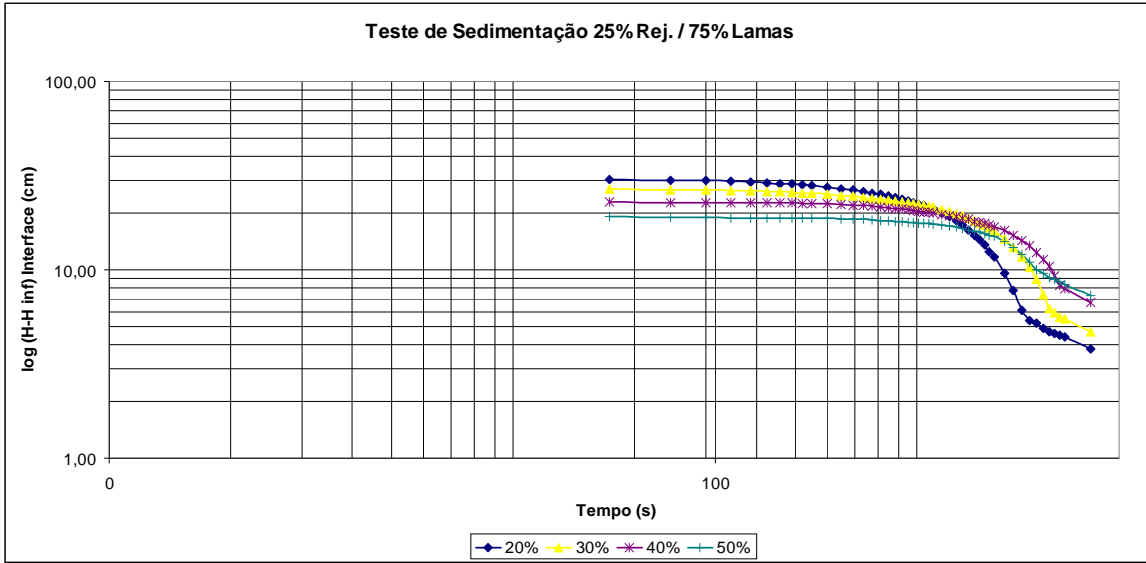












## **ANEXO C**

### **Dimensionamentos**

Coe & Clevenger

AL

MS (t/h)	162,0	162,0	162,0	162,0
MP (t/h)	810,0	540,0	405,0	324,0
ML (t/h)	648,0	378,0	243,0	162,0
%S (Peso)	20,00	30,00	40,00	50,00
%S (Vol.)	5,83	9,60	14,18	19,86
VS (m3/h)	40,1	40,1	40,1	40,1
VP (m3/h)	688,1	418,1	283,1	202,1
VL (m3/h)	648,0	378,0	243,0	162,0
DS (t/m3)	4,036	4,036	4,036	4,036
DP (t/m3)	1,18	1,29	1,43	1,60
DL (t/m3)	1,00	1,00	1,00	1,00

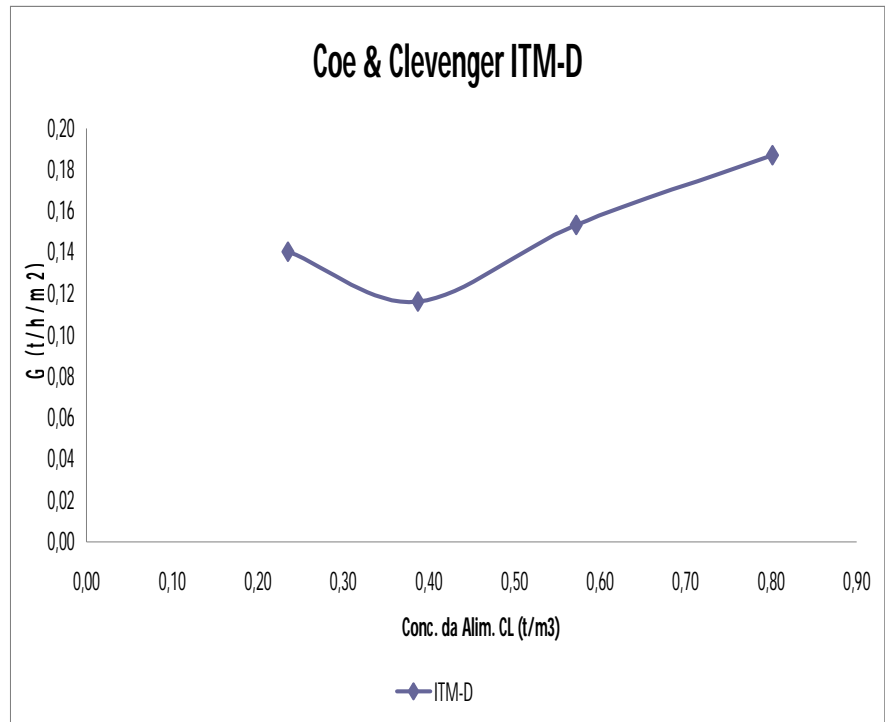
UF

MS (t/h)	162,0	162,0	162,0	162,0
MP (t/h)	245,5	244,3	241,3	227,3
ML (t/h)	83,5	82,3	79,3	65,3
%S (Peso)	66,00	66,30	67,13	71,28
%S (Vol.)	32,48	32,77	33,60	38,08
VS (m3/h)	40,1	40,1	40,1	40,1
VP (m3/h)	123,6	122,5	119,5	105,4
VL (m3/h)	83,5	82,3	79,3	65,3
DS (t/m3)	4,036	4,036	4,036	4,036
DP (t/m3)	1,99	1,99	2,02	2,16
DL (t/m3)	1,00	1,00	1,00	1,00

Cd (t/m³)	1,31	1,32	1,36	1,54
Cl (t/m²)	0,24	0,39	0,57	0,80

ITM-D

Vel. (cm/s)	0,0136	0,0059	0,0043	0,0031
G (t/h/m²)	0,14	0,12	0,15	0,19



	20%	30%	40%	50%
G crítico (t/h/m²)	0,14	0,12	0,15	0,19
Auo (m2/t/h)	7,12	8,59	6,53	5,35
Área Total (m2)	1383,69	1670,37	1268,82	1040,08
Diâm. Esp. (m)	41,97	46,12	40,19	36,39

Coe & Clevenger

AL

MS (t/h)	162,0	162,0	162,0	162,0
MP (t/h)	810,0	540,0	405,0	324,0
ML (t/h)	648,0	378,0	243,0	162,0
%S (Peso)	20,00	30,00	40,00	50,00
%S (Vol.)	5,83	9,60	14,18	19,86
VS (m3/h)	40,1	40,1	40,1	40,1
VP (m3/h)	688,1	418,1	283,1	202,1
VL (m3/h)	648,0	378,0	243,0	162,0
DS (t/m3)	4,036	4,036	4,036	4,036
DP (t/m3)	1,18	1,29	1,43	1,60
DL (t/m3)	1,00	1,00	1,00	1,00

UF

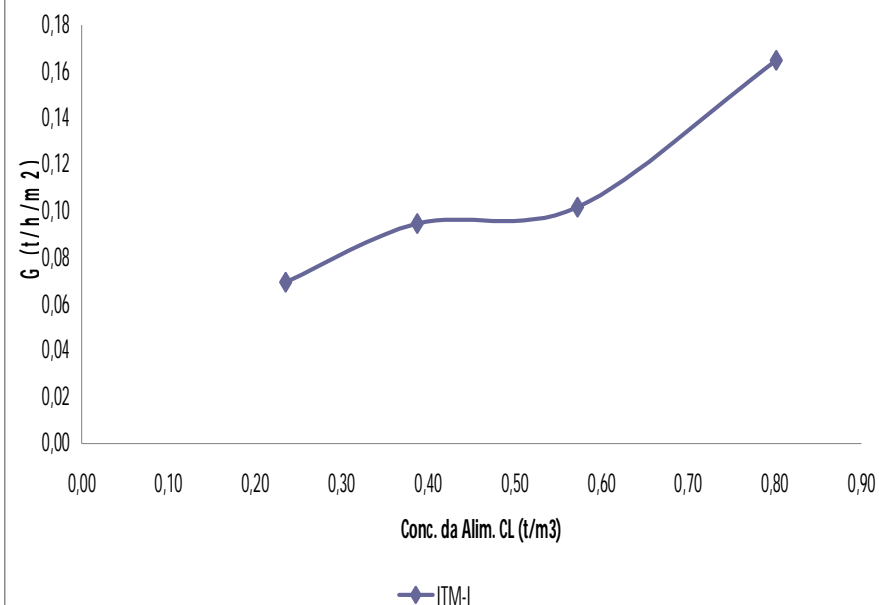
MS (t/h)	162,0	162,0	162,0	162,0
MP (t/h)	297,6	287,2	272,9	260,3
ML (t/h)	135,6	125,2	110,9	98,3
%S (Peso)	54,43	56,40	59,36	62,23
%S (Vol.)	22,84	24,27	26,57	28,99
VS (m3/h)	40,1	40,1	40,1	40,1
VP (m3/h)	175,8	165,4	151,0	138,5
VL (m3/h)	135,6	125,2	110,9	98,3
DS (t/m3)	4,036	4,036	4,036	4,036
DP (t/m3)	1,69	1,74	1,81	1,88
DL (t/m3)	1,00	1,00	1,00	1,00

Cd (t/m³)	0,92	0,98	1,07	1,17
Cl (t/m³)	0,24	0,39	0,57	0,80

ITM-D

Vel. (cm/s)	0,0061	0,0041	0,0023	0,0018
G (t/h/m²)	0,07	0,09	0,10	0,16

Coe & Clevenger ITM-I



	20%	30%	40%	50%
G crítico (t/h/m²)	0,07	0,09	0,10	0,16
Auo (m2/t/h)	14,40	10,57	9,85	6,07
Área Total (m2)	2799,84	2055,01	1914,33	1179,17
Diâm. Esp. (m)	59,71	51,15	49,37	38,75

Coe & Clevenger

AL

MS (t/h)	162,0	162,0	162,0	162,0
MP (t/h)	810,0	540,0	405,0	324,0
ML (t/h)	648,0	378,0	243,0	162,0
%S (Peso)	20,00	30,00	40,00	50,00
%S (Vol.)	5,82	9,57	14,14	19,81
VS (m3/h)	40,0	40,0	40,0	40,0
VP (m3/h)	688,0	418,0	283,0	202,0
VL (m3/h)	648,0	378,0	243,0	162,0
DS (t/m3)	4,049	4,049	4,049	4,049
DP (t/m3)	1,18	1,29	1,43	1,60
DL (t/m3)	1,00	1,00	1,00	1,00

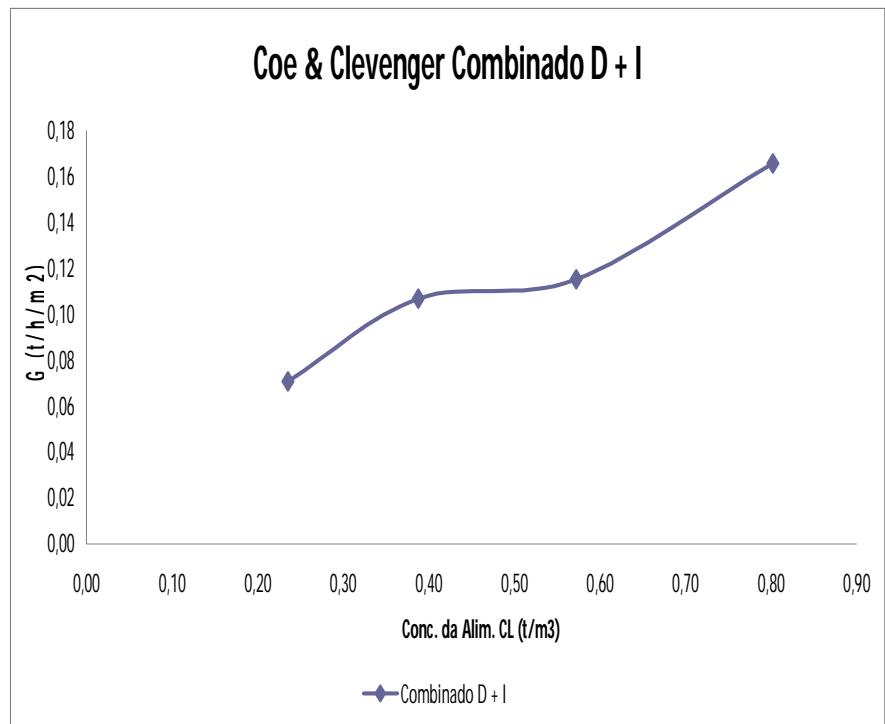
UF

MS (t/h)	162,0	162,0	162,0	162,0
MP (t/h)	266,6	256,0	248,2	239,5
ML (t/h)	104,6	94,0	86,2	77,5
%S (Peso)	60,75	63,29	65,26	67,64
%S (Vol.)	27,66	29,86	31,69	34,04
VS (m3/h)	40,0	40,0	40,0	40,0
VP (m3/h)	144,7	134,0	126,2	117,5
VL (m3/h)	104,6	94,0	86,2	77,5
DS (t/m3)	4,049	4,049	4,049	4,049
DP (t/m3)	1,84	1,91	1,97	2,04
DL (t/m3)	1,00	1,00	1,00	1,00

Cd (t/m³)	1,12	1,21	1,28	1,38
Cl (t/m²)	0,24	0,39	0,57	0,80

Combinado D + I

Vel. (cm/s)	0,0066	0,0052	0,0031	0,0024
G (t/h/m²)	0,07	0,11	0,12	0,17



	20%	30%	40%	50%
G crítico (t/h/m²)	0,07	0,11	0,12	0,17
Auo (m2/t/h)	14,12	9,37	8,67	6,04
Área Total (m2)	2744,20	1820,74	1685,74	1173,38
Diâm. Esp. (m)	59,11	48,15	46,33	38,65

### Coe & Clevenger

#### AL

MS (t/h)	162,0	162,0	162,0	162,0
MP (t/h)	810,0	540,0	405,0	324,0
ML (t/h)	648,0	378,0	243,0	162,0
%S (Peso)	20,00	30,00	40,00	50,00
%S (Vol.)	6,73	11,00	16,13	22,39
VS (m3/h)	46,7	46,7	46,7	46,7
VP (m3/h)	694,7	424,7	289,7	208,7
VL (m3/h)	648,0	378,0	243,0	162,0
DS (t/m3)	3,466	3,466	3,466	3,466
DP (t/m3)	1,17	1,27	1,40	1,55
DL (t/m3)	1,00	1,00	1,00	1,00

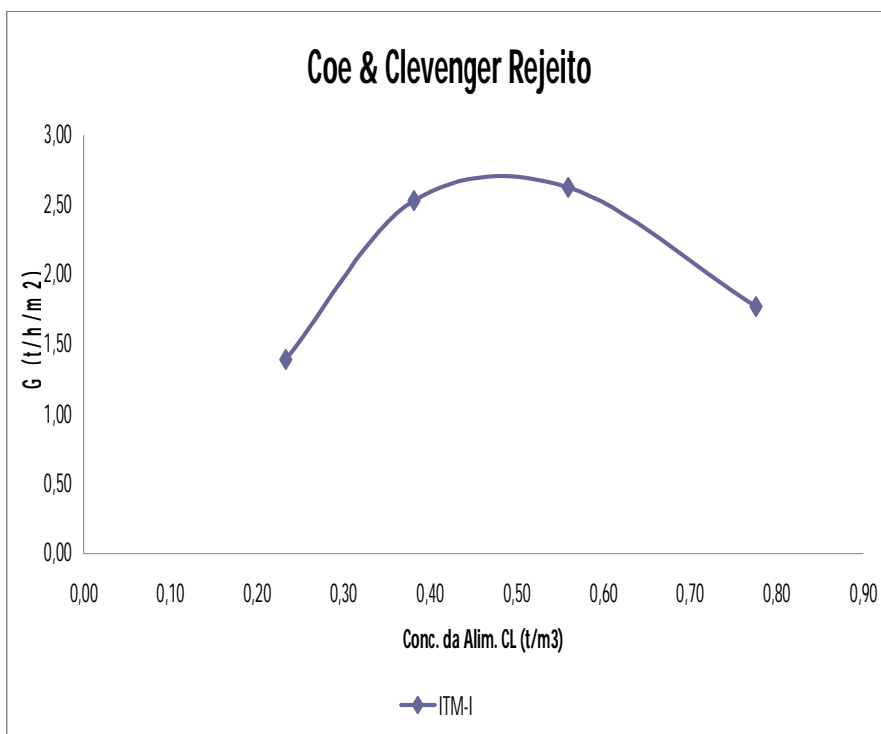
#### UF

MS (t/h)	162,0	162,0	162,0	162,0
MP (t/h)	207,9	218,2	209,8	209,6
ML (t/h)	45,9	56,2	47,8	47,6
%S (Peso)	77,93	74,25	77,23	77,29
%S (Vol.)	50,46	45,41	49,46	49,55
VS (m3/h)	46,7	46,7	46,7	46,7
VP (m3/h)	92,6	102,9	94,5	94,3
VL (m3/h)	45,9	56,2	47,8	47,6
DS (t/m3)	3,466	3,466	3,466	3,466
DP (t/m3)	2,24	2,12	2,22	2,22
DL (t/m3)	1,00	1,00	1,00	1,00

Cd (t/m³)	1,75	1,57	1,71	1,72
Cl (t/m³)	0,23	0,38	0,56	0,78

#### Rejeito de Flotação

Vel. (cm/s)	0,1439	0,1395	0,0879	0,0347
G (t/h/m²)	1,39	2,53	2,63	1,77



	20%	30%	40%	50%
G crítico (t/h/m²)	1,39	2,53	2,63	1,77
Auo (m2/t/h)	0,72	0,40	0,38	0,57
Área Total (m2)	139,47	76,90	74,04	109,90
Diâm. Esp. (m)	13,33	9,89	9,71	11,83

Coe & Clevenger

AL

MS (t/h)	162,0	162,0	162,0	162,0
MP (t/h)	810,0	540,0	405,0	324,0
ML (t/h)	648,0	378,0	243,0	162,0
%S (Peso)	20,00	30,00	40,00	50,00
%S (Vol.)	6,06	9,95	14,67	20,50
VS (m3/h)	41,8	41,8	41,8	41,8
VP (m3/h)	689,8	419,8	284,8	203,8
VL (m3/h)	648,0	378,0	243,0	162,0
DS (t/m3)	3,877	3,877	3,877	3,877
DP (t/m3)	1,17	1,29	1,42	1,59
DL (t/m3)	1,00	1,00	1,00	1,00

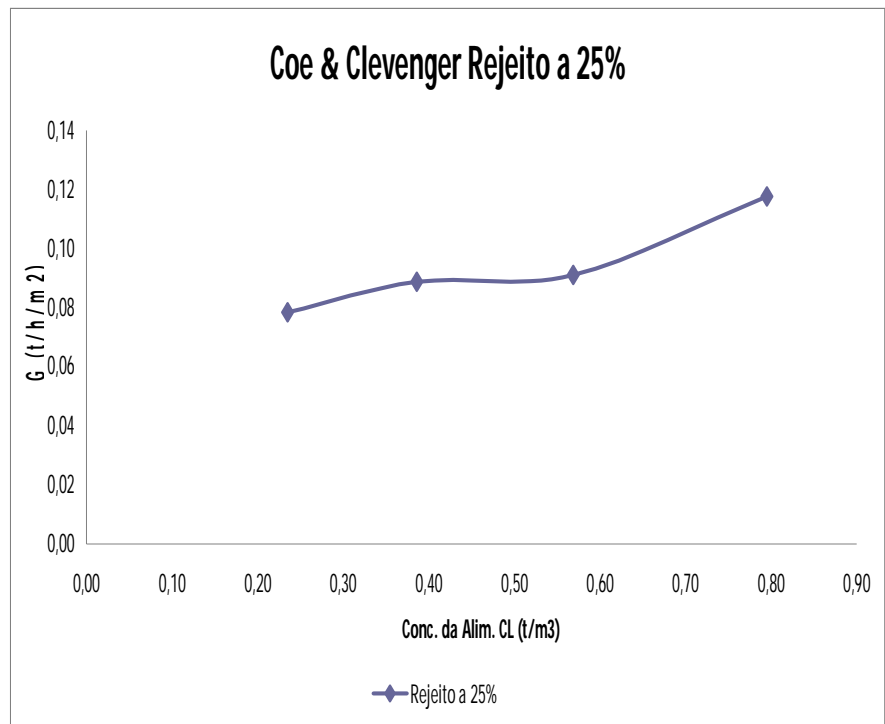
UF

MS (t/h)	162,0	162,0	162,0	162,0
MP (t/h)	245,6	237,9	225,8	219,8
ML (t/h)	83,6	75,9	63,8	57,8
%S (Peso)	65,96	68,11	71,73	73,69
%S (Vol.)	33,32	35,52	39,56	41,94
VS (m3/h)	41,8	41,8	41,8	41,8
VP (m3/h)	125,4	117,6	105,6	99,6
VL (m3/h)	83,6	75,9	63,8	57,8
DS (t/m3)	3,877	3,877	3,877	3,877
DP (t/m3)	1,96	2,02	2,14	2,21
DL (t/m3)	1,00	1,00	1,00	1,00

Cd (t/m³)	1,29	1,38	1,53	1,63
Cl (t/m²)	0,23	0,39	0,57	0,79

25% Rejeito de Flotação / 75% Lamas

Vel. (cm/s)	0,0076	0,0046	0,0028	0,0021
G (t/h/m²)	0,08	0,09	0,09	0,12



	20%	30%	40%	50%
G crítico (t/h/m²)	0,08	0,09	0,09	0,12
Auo (m2/t/h)	12,73	11,26	10,97	8,50
Área Total (m2)	2475,43	2189,49	2132,77	1653,34
Diâm. Esp. (m)	56,14	52,80	52,11	45,88

Coe & Clewenger 50% rejeito / 50% Lamas

AL

MS (t/h)	162,0	162,0	162,0	162,0
MP (t/h)	810,0	540,0	405,0	324,0
ML (t/h)	648,0	378,0	243,0	162,0
%S (Peso)	20,00	30,00	40,00	50,00
%S (Vol.)	6,28	10,31	15,16	21,14
VS (m3/h)	43,4	43,4	43,4	43,4
VP (m3/h)	691,4	421,4	286,4	205,4
VL (m3/h)	648,0	378,0	243,0	162,0
DS (t/m3)	3,73	3,73	3,73	3,73
DP (t/m3)	1,17	1,28	1,41	1,58
DL (t/m3)	1,00	1,00	1,00	1,00

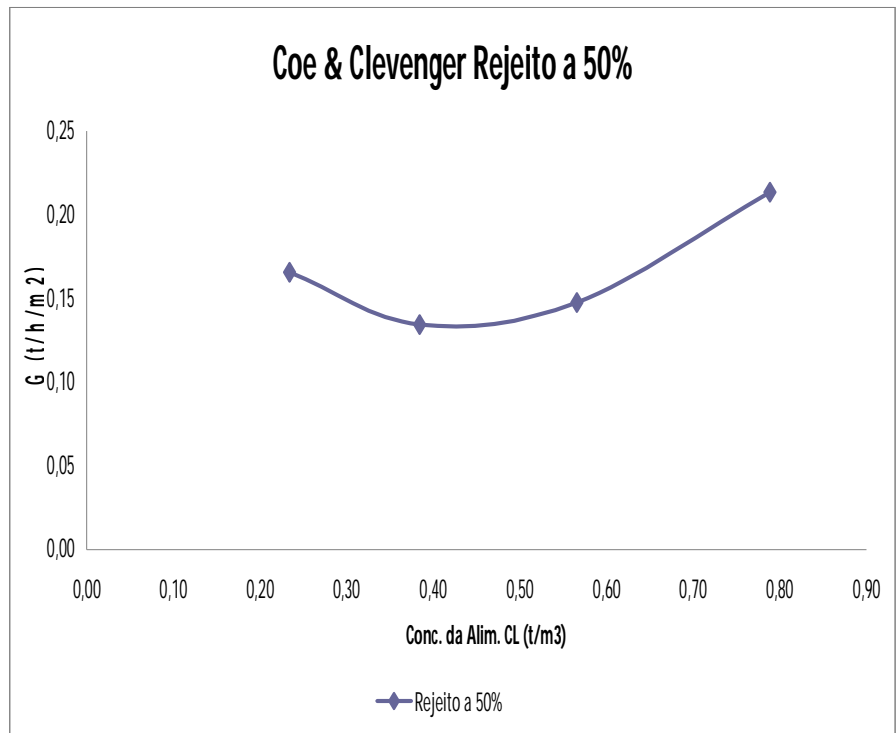
UF

MS (t/h)	162,0	162,0	162,0	162,0
MP (t/h)	240,2	236,2	234,9	228,5
ML (t/h)	78,2	74,2	72,9	66,5
%S (Peso)	67,43	68,59	68,97	70,91
%S (Vol.)	35,69	36,93	37,34	39,52
VS (m3/h)	43,4	43,4	43,4	43,4
VP (m3/h)	121,7	117,6	116,3	109,9
VL (m3/h)	78,2	74,2	72,9	66,5
DS (t/m3)	3,73	3,73	3,73	3,73
DP (t/m3)	1,97	2,01	2,02	2,08
DL (t/m3)	1,00	1,00	1,00	1,00

Cd (t/m³)	1,33	1,38	1,39	1,47
Cl (t/m³)	0,23	0,38	0,57	0,79

Rejeito de Flotação

Vel. (cm/s)	0,0162	0,007	0,0043	0,0035
G (t/h/m²)	0,17	0,13	0,15	0,21



	20%	30%	40%	50%
G crítico (t/h/m²)	0,17	0,13	0,15	0,21
Auo (m2/t/h)	6,03	7,44	6,78	4,68
Área Total (m2)	1172,33	1446,73	1318,73	909,95
Diâm. Esp. (m)	38,63	42,92	40,98	34,04



Coe & Clevenger 75% Rejeito / 25% Lamas

AL

MS (t/h)	162,0	162,0	162,0	162,0
MP (t/h)	810,0	540,0	405,0	324,0
ML (t/h)	648,0	378,0	243,0	162,0
%S (Peso)	20,00	30,00	40,00	50,00
%S (Vol.)	6,51	10,66	15,65	21,77
VS (m3/h)	45,1	45,1	45,1	45,1
VP (m3/h)	693,1	423,1	288,1	207,1
VL (m3/h)	648,0	378,0	243,0	162,0
DS (t/m3)	3,593	3,593	3,593	3,593
DP (t/m3)	1,17	1,28	1,41	1,56
DL (t/m3)	1,00	1,00	1,00	1,00

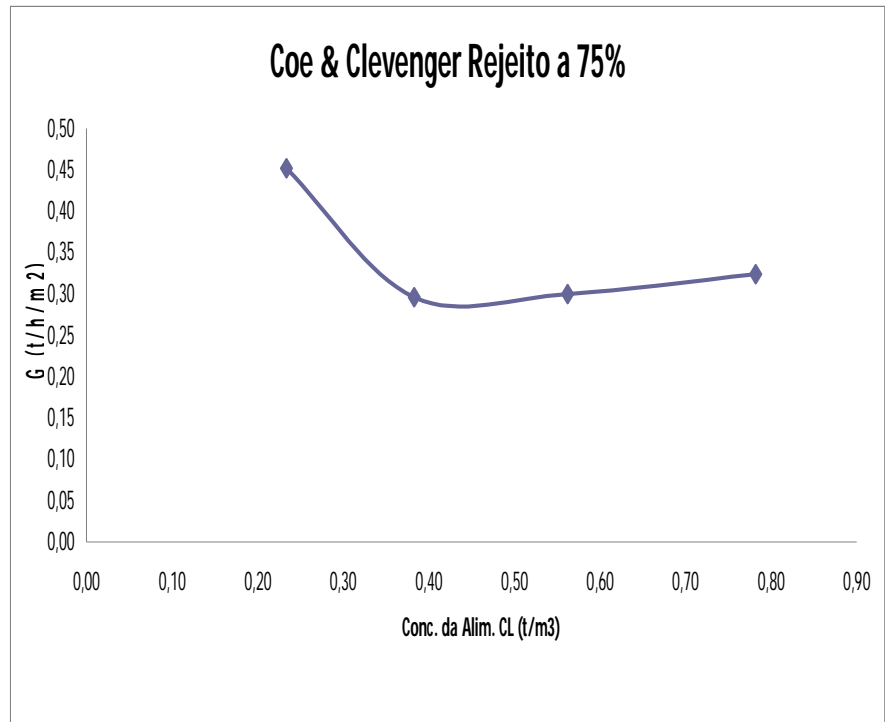
UF

MS (t/h)	162,0	162,0	162,0	162,0
MP (t/h)	245,6	228,4	224,1	217,8
ML (t/h)	83,6	66,4	62,1	55,8
%S (Peso)	65,96	70,92	72,30	74,39
%S (Vol.)	35,04	40,43	42,08	44,70
VS (m3/h)	45,1	45,1	45,1	45,1
VP (m3/h)	128,7	111,5	107,2	100,9
VL (m3/h)	83,6	66,4	62,1	55,8
DS (t/m3)	3,593	3,593	3,593	3,593
DP (t/m3)	1,91	2,05	2,09	2,16
DL (t/m3)	1,00	1,00	1,00	1,00

Cd (t/m³)	1,26	1,45	1,51	1,61
Cl (t/m²)	0,23	0,38	0,56	0,78

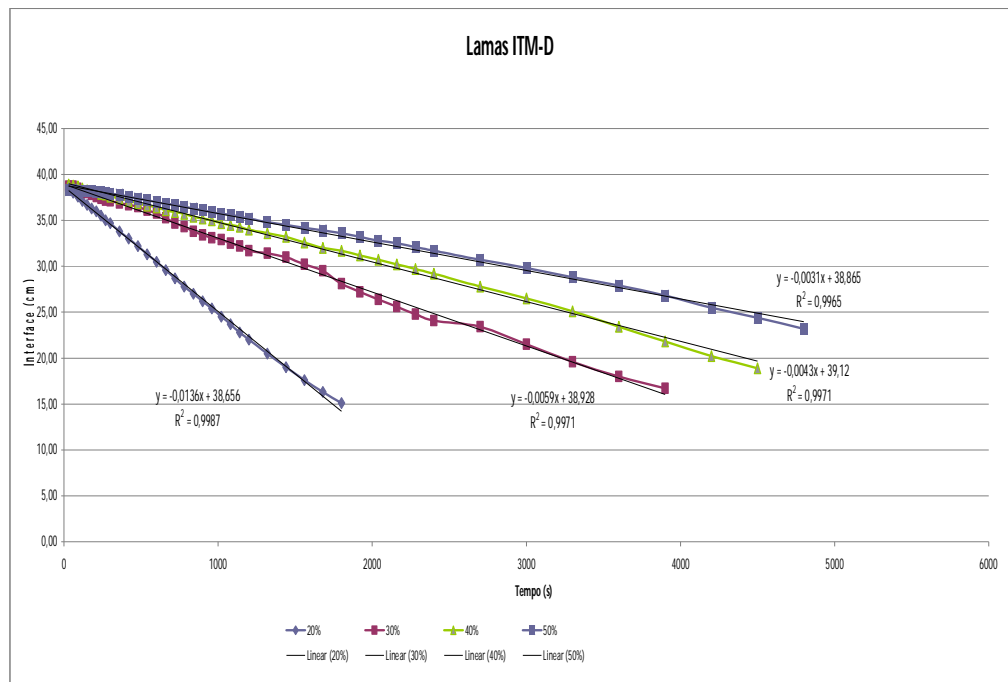
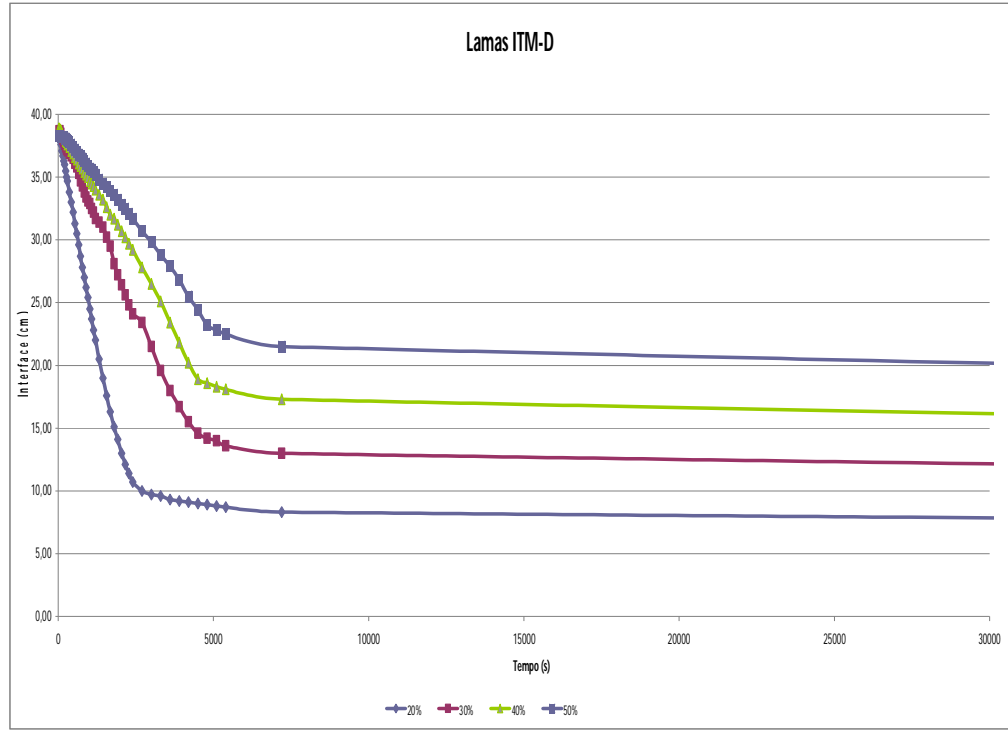
75% Rejeito de Flotação / 25% Lamas

Vel. (cm/s)	0,0437	0,0158	0,0093	0,0059
G (t/h/m²)	0,45	0,30	0,30	0,32

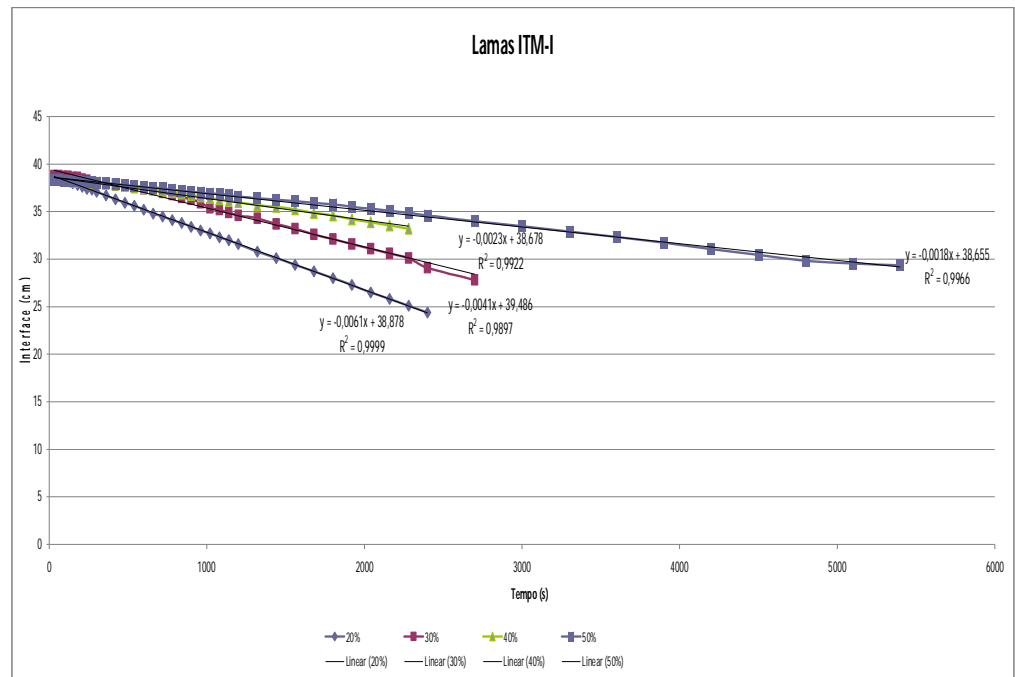
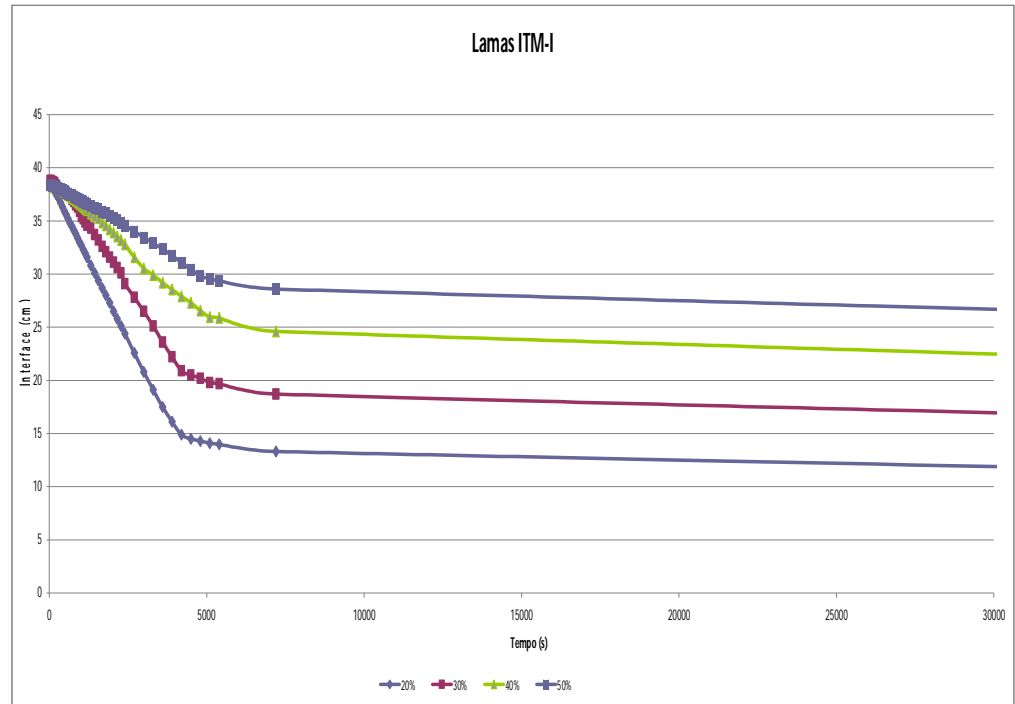


	20%	30%	40%	50%
G crítico (t/h/m²)	0,45	0,30	0,30	0,32
Auo (m2/t/h)	2,21	3,38	3,34	3,09
Área Total (m2)	430,51	657,33	648,51	600,16
Diâm. Esp. (m)	23,41	28,93	28,74	27,64

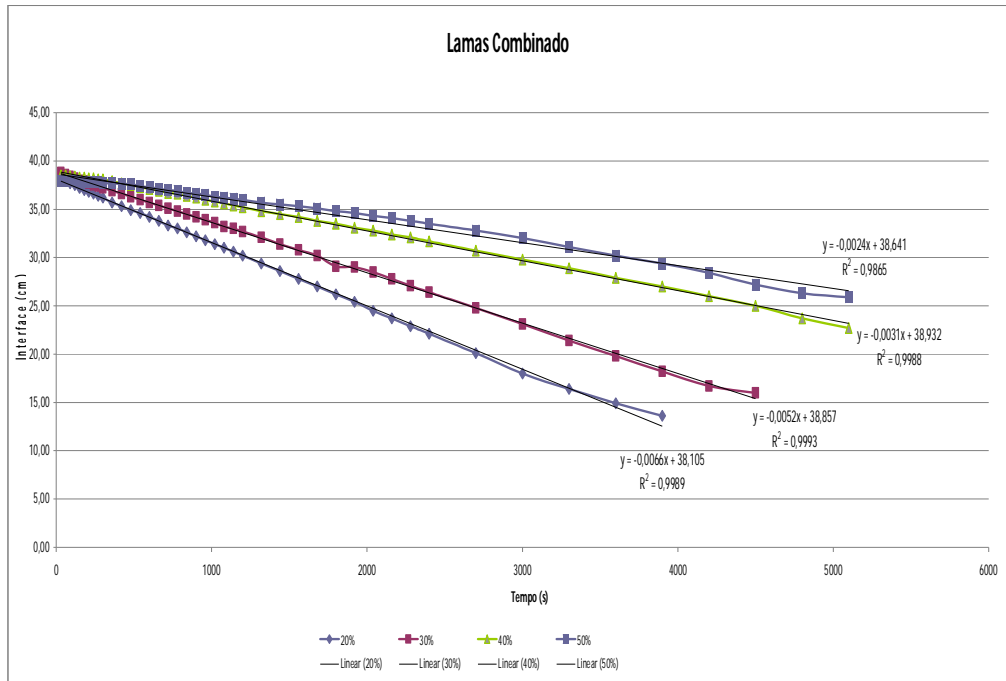
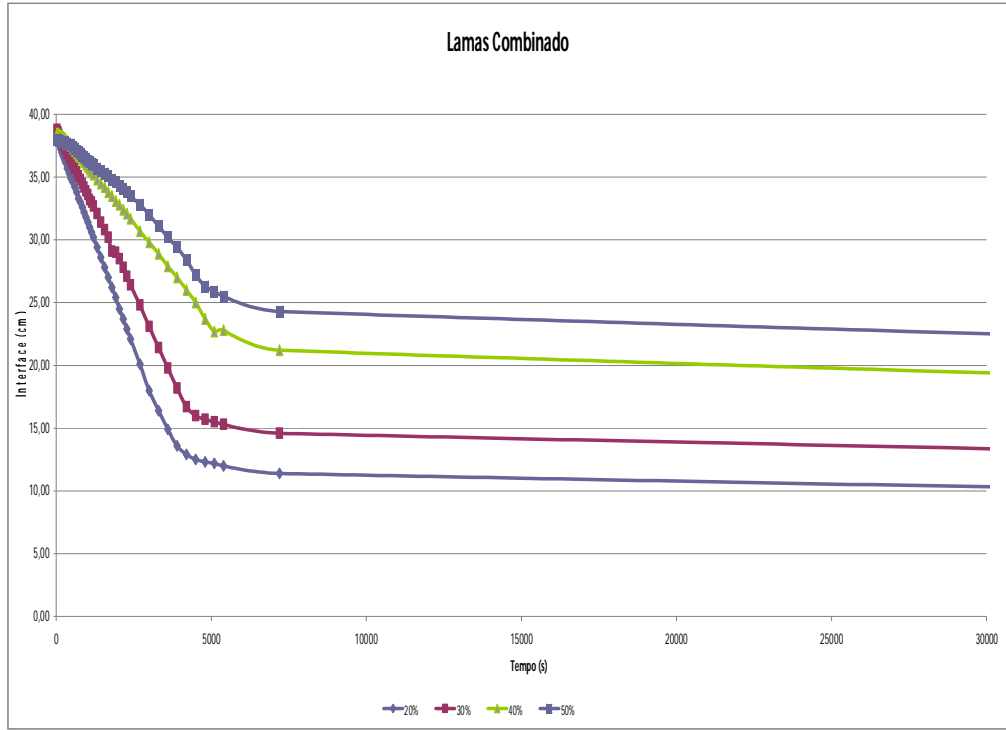
Lamas ITM-D						
T (min)	T (s)	20%	30%	40%	50%	60%
		(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)
		h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)
0,5	30	38,40	38,70	38,90	38,30	
1	60	38,00	38,70	38,80	38,30	
1,5	90	37,60	38,50	38,70	38,20	
2	120	37,10	38,20	38,50	38,20	
2,5	150	36,70	38,00	38,30	38,20	
3	180	36,30	37,80	38,20	38,20	
3,5	210	36,00	37,60	38,10	38,10	
4	240	35,50	37,40	37,90	38,10	
4,5	270	35,00	37,20	37,80	38,00	
5	300	34,70	37,10	37,60	37,90	
6	360	33,80	36,90	37,40	37,80	
7	420	33,00	36,70	37,10	37,60	
8	480	32,20	36,50	36,90	37,40	
9	540	31,30	36,10	36,60	37,20	
10	600	30,50	35,80	36,40	37,00	
11	660	29,60	35,30	36,10	36,80	
12	720	28,70	34,70	35,90	36,70	
13	780	27,80	34,30	35,70	36,50	
14	840	27,00	33,80	35,40	36,30	
15	900	26,20	33,40	35,20	36,10	
16	960	25,40	33,10	35,00	35,90	
17	1020	24,50	32,90	34,70	35,70	
18	1080	23,70	32,50	34,50	35,60	
19	1140	22,80	32,20	34,30	35,40	
20	1200	22,00	31,70	34,00	35,20	
22	1320	20,50	31,40	33,60	34,80	
24	1440	19,00	31,00	33,20	34,50	
26	1560	17,60	30,20	32,60	34,20	
28	1680	16,30	29,50	32,00	33,90	
30	1800	15,10	28,10	31,70	33,60	
32	1920	14,10	27,20	31,20	33,20	
34	2040	13,00	26,40	30,70	32,80	
36	2160	12,10	25,60	30,20	32,50	
38	2280	11,40	24,80	29,70	32,10	
40	2400	10,70	24,10	29,20	31,70	
46	2700	10,00	23,40	27,80	30,70	
50	3000	9,70	21,50	26,50	29,80	
55	3300	9,60	19,60	25,10	28,80	
60	3600	9,30	18,00	23,40	27,90	
66	3900	9,20	16,70	21,80	26,80	
70	4200	9,10	15,50	20,20	25,50	
75	4500	9,00	14,60	18,90	24,40	
80	4800	8,90	14,20	18,60	23,20	
85	5100	8,80	14,00	18,30	22,80	
90	5400	8,70	13,60	18,10	22,50	
120	7200	8,30	13,00	17,30	21,50	
1440	86400	6,80	10,20	13,50	17,10	



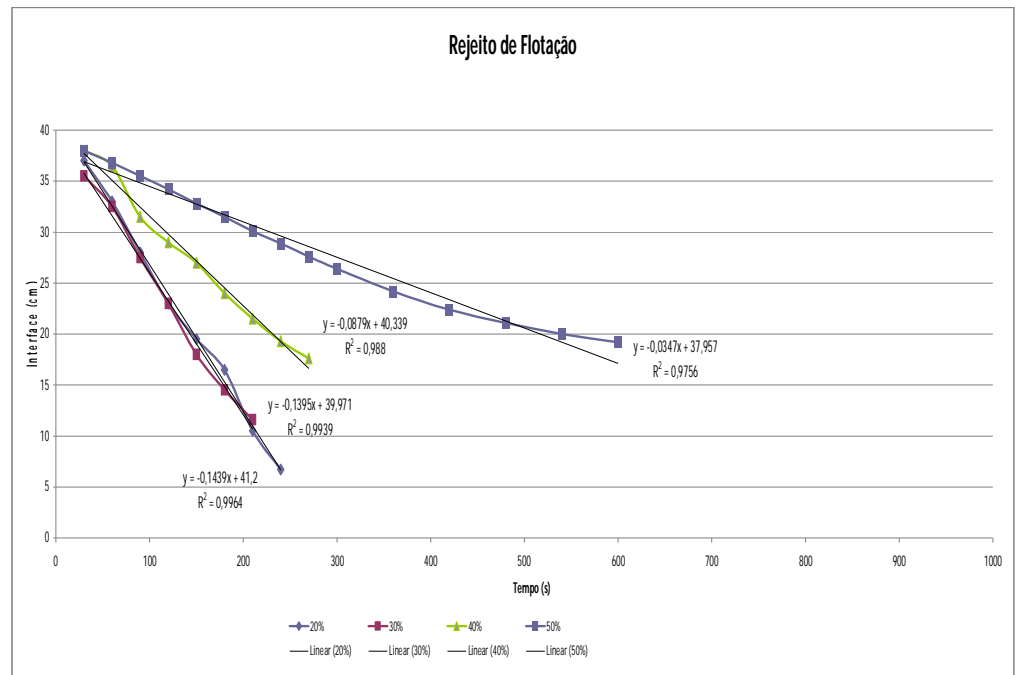
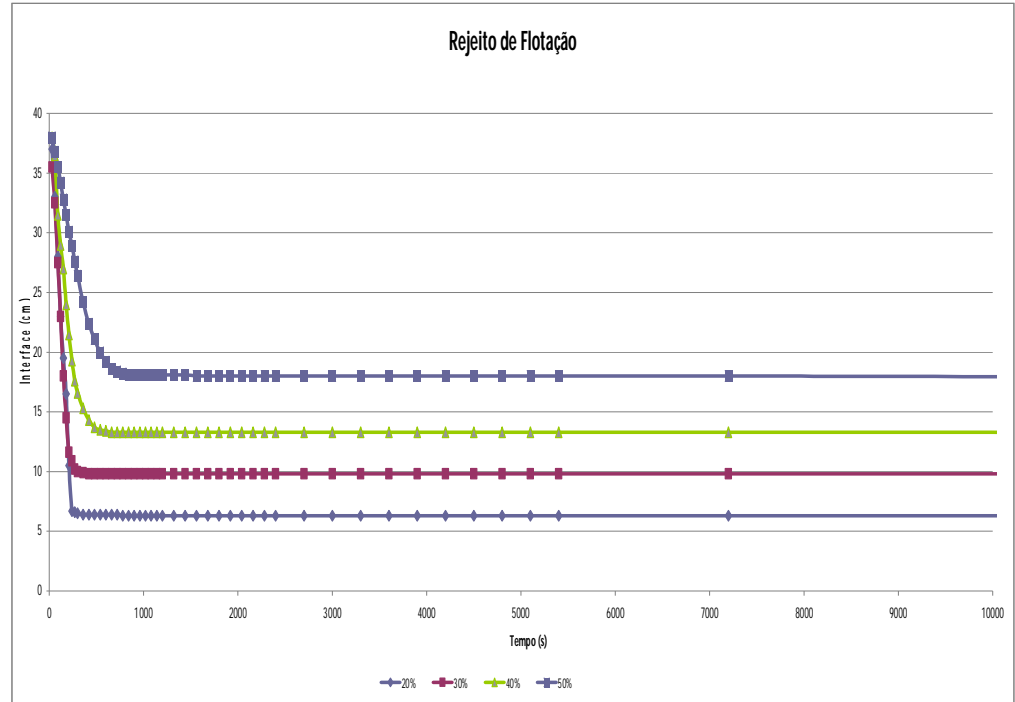
		Lamas ITM-I				
		20%	30%	40%	50%	60%
		(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)
T (min)	T (s)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)
0,5	30	38,8	38,8	38,4	38,4	
1	60	38,5	38,8	38,4	38,4	
1,5	90	38,4	38,7	38,3	38,3	
2	120	38,2	38,7	38,3	38,3	
2,5	150	38	38,6	38,2	38,3	
3	180	37,8	38,6	38,2	38,3	
3,5	210	37,6	38,4	38,1	38,2	
4	240	37,4	38,3	38,1	38,2	
4,5	270	37,3	38,1	38,1	38,1	
5	300	37,1	38	38,1	38,1	
6	360	36,7	37,9	38,0	38,0	
7	420	36,3	37,8	37,9	37,9	
8	480	35,9	37,7	37,7	37,8	
9	540	35,6	37,6	37,6	37,7	
10	600	35,2	37,4	37,5	37,6	
11	660	34,8	37,3	37,3	37,5	
12	720	34,5	37	37,2	37,5	
13	780	34,1	36,8	37,1	37,3	
14	840	33,8	36,5	36,9	37,2	
15	900	33,4	36,3	36,8	37,1	
16	960	33	35,9	36,6	37,0	
17	1020	32,7	35,4	36,5	36,9	
18	1080	32,3	35,2	36,3	36,9	
19	1140	32,00	34,90	36,2	36,8	
20	1200	31,60	34,60	36,0	36,6	
22	1320	30,80	34,30	35,7	36,4	
24	1440	30,10	33,70	35,5	36,3	
26	1560	29,40	33,20	35,3	36,1	
28	1680	28,70	32,60	34,9	35,9	
30	1800	28,00	32,10	34,6	35,8	
32	1920	27,30	31,60	34,2	35,5	
34	2040	26,50	31,10	33,9	35,3	
36	2160	25,80	30,60	33,6	35,1	
38	2280	25,10	30,10	33,2	34,9	
40	2400	24,40	29,10	32,8	34,6	
45	2700	22,60	27,80	31,6	34,0	
50	3000	20,80	26,50	30,6	33,5	
55	3300	19,10	25,10	29,9	32,9	
60	3600	17,50	23,60	29,2	32,4	
65	3900	16,10	22,20	28,6	31,8	
70	4200	14,90	20,90	27,9	31,1	
75	4500	14,50	20,50	27,3	30,5	
80	4800	14,30	20,20	26,6	29,8	
85	5100	14,10	19,80	26,0	29,6	
90	5400	14,00	19,70	25,9	29,4	
120	7200	13,30	18,70	24,6	28,6	
1440	86400	8,50	12,80	17,5	22,1	



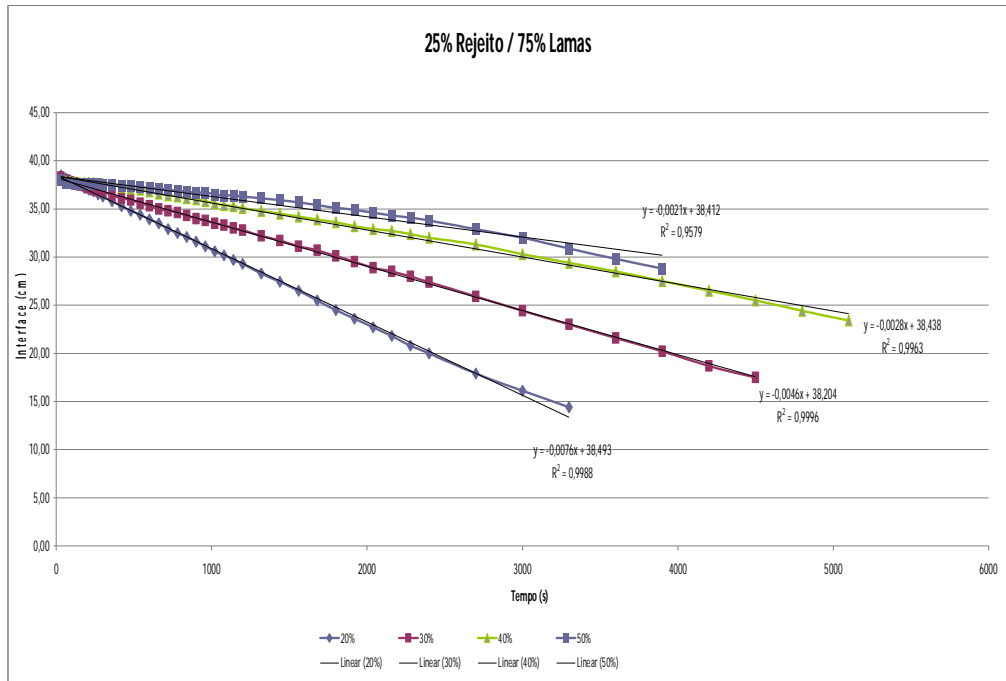
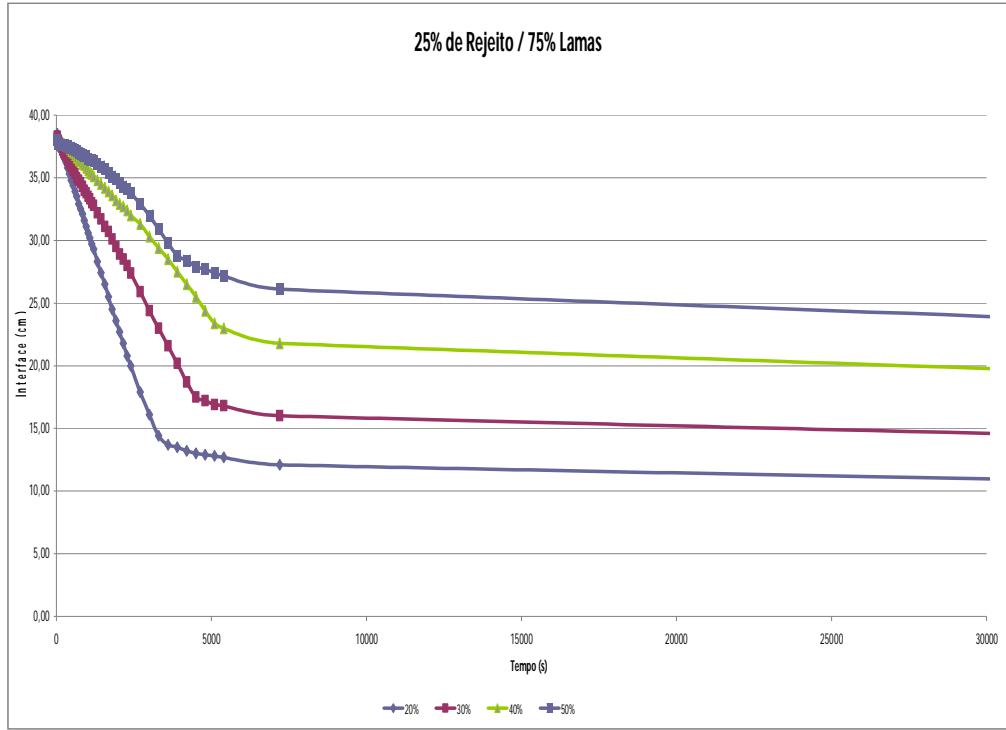
Combinado						
T (min)	T (s)	20%	30%	40%	50%	60%
		(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)
		h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)
0.5	30	38,10	38,80	38,50	38,00	
1	60	37,90	38,60	38,50	38,00	
1.5	90	37,70	38,40	38,40	37,90	
2	120	37,50	38,20	38,40	37,90	
2.5	150	37,20	38,00	38,30	37,80	
3	180	37,00	37,90	38,30	37,80	
3.5	210	36,80	37,70	38,20	37,80	
4	240	36,60	37,50	38,20	37,80	
4.5	270	36,40	37,40	38,10	37,80	
5	300	36,20	37,20	38,10	37,70	
6	360	35,70	36,90	37,90	37,70	
7	420	35,30	36,60	37,70	37,60	
8	480	34,90	36,30	37,50	37,60	
9	540	34,60	36,00	37,30	37,40	
10	600	34,20	35,70	37,10	37,30	
11	660	33,80	35,40	36,90	37,10	
12	720	33,30	35,10	36,70	37,00	
13	780	33,00	34,80	36,60	36,90	
14	840	32,60	34,50	36,40	36,70	
15	900	32,20	34,20	36,20	36,60	
16	960	31,80	33,90	36,00	36,50	
17	1020	31,40	33,60	35,80	36,30	
18	1080	31,00	33,20	35,60	36,20	
19	1140	30,60	33,00	35,40	36,10	
20	1200	30,20	32,70	35,20	36,00	
22	1320	29,40	32,10	34,80	35,70	
24	1440	28,60	31,40	34,50	35,50	
26	1560	27,80	30,80	34,20	35,30	
28	1680	27,00	30,20	33,80	35,10	
30	1800	26,20	29,10	33,50	34,80	
32	1920	25,40	29,00	33,10	34,60	
34	2040	24,50	28,50	32,80	34,30	
36	2160	23,70	27,80	32,40	34,10	
38	2280	22,90	27,10	32,10	33,80	
40	2400	22,10	26,40	31,70	33,50	
45	2700	20,10	24,80	30,70	32,80	
50	3000	18,00	23,10	29,80	32,00	
55	3300	16,40	21,40	28,90	31,10	
60	3600	14,90	19,80	27,90	30,20	
65	3900	13,60	18,20	27,00	29,40	
70	4200	12,90	16,70	26,00	28,40	
75	4500	12,50	16,00	25,00	27,20	
80	4800	12,30	15,70	23,70	26,30	
85	5100	12,20	15,50	22,70	25,90	
90	5400	12,00	15,30	22,80	25,50	
120	7200	11,40	14,60	21,20	24,30	
1440	86400	7,80	10,50	15,30	18,40	



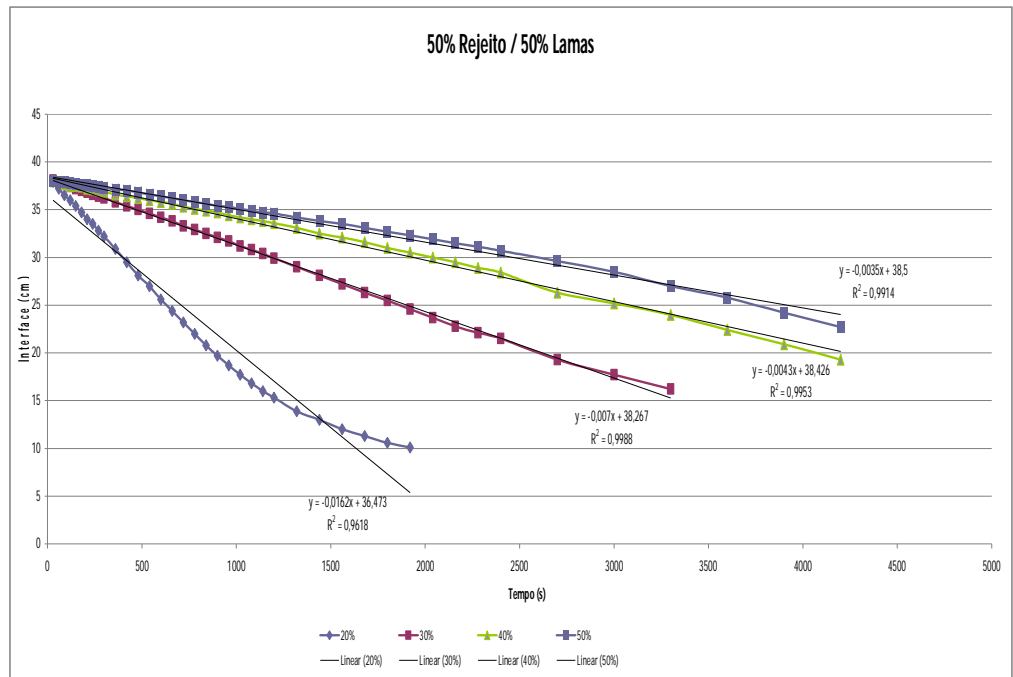
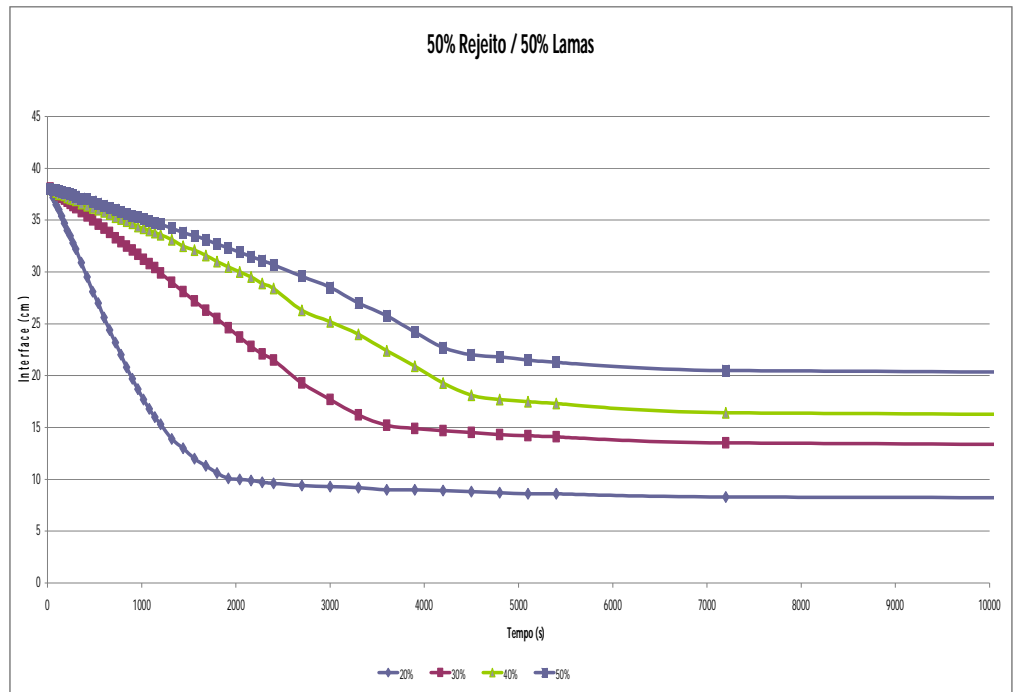
		Rejeito									
		20%		30%		40%		50%		60%	
		(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)
T (min)	T (s)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)
0,5	30	37	35,5	38,0	38,0						
1	60	33	32,5	36,5	36,8						
1,5	90	28	27,5	31,5	35,5						
2	120	23	23	29,0	34,2						
2,5	150	19,5	18	27,0	32,8						
3	180	16,5	14,5	24,0	31,5						
3,5	210	10,5	11,6	21,5	30,1						
4	240	6,7	10,9	19,3	28,9						
4,5	270	6,6	10,2	17,6	27,6						
5	300	6,5	10	16,6	26,4						
6	360	6,4	9,9	15,3	24,2						
7	420	6,4	9,8	14,3	22,4						
8	480	6,4	9,8	13,7	21,1						
9	540	6,4	9,8	13,5	20,0						
10	600	6,4	9,8	13,4	19,2						
11	660	6,4	9,8	13,3	18,6						
12	720	6,4	9,8	13,3	18,4						
13	780	6,3	9,8	13,3	18,2						
14	840	6,3	9,8	13,3	18,1						
15	900	6,3	9,8	13,3	18,1						
16	960	6,3	9,8	13,3	18,1						
17	1020	6,3	9,8	13,3	18,1						
18	1080	6,3	9,8	13,3	18,1						
19	1140	6,30	9,80	13,3	18,1						
20	1200	6,30	9,80	13,3	18,1						
22	1320	6,30	9,80	13,3	18,1						
24	1440	6,30	9,80	13,3	18,1						
26	1560	6,30	9,80	13,3	18,0						
28	1680	6,30	9,80	13,3	18,0						
30	1800	6,30	9,80	13,3	18,0						
32	1920	6,30	9,80	13,3	18,0						
34	2040	6,30	9,80	13,3	18,0						
36	2160	6,30	9,80	13,3	18,0						
38	2280	6,30	9,80	13,3	18,0						
40	2400	6,30	9,80	13,3	18,0						
45	2700	6,30	9,80	13,3	18,0						
50	3000	6,30	9,80	13,3	18,0						
55	3300	6,30	9,80	13,3	18,0						
60	3600	6,30	9,80	13,3	18,0						
65	3900	6,30	9,80	13,3	18,0						
70	4200	6,30	9,80	13,3	18,0						
75	4500	6,30	9,80	13,3	18,0						
80	4800	6,30	9,80	13,3	18,0						
85	5100	6,30	9,80	13,3	18,0						
90	5400	6,30	9,80	13,3	18,0						
120	7200	6,30	9,80	13,3	18,0						
1440	86400	6,10	9,70	12,9	16,7						



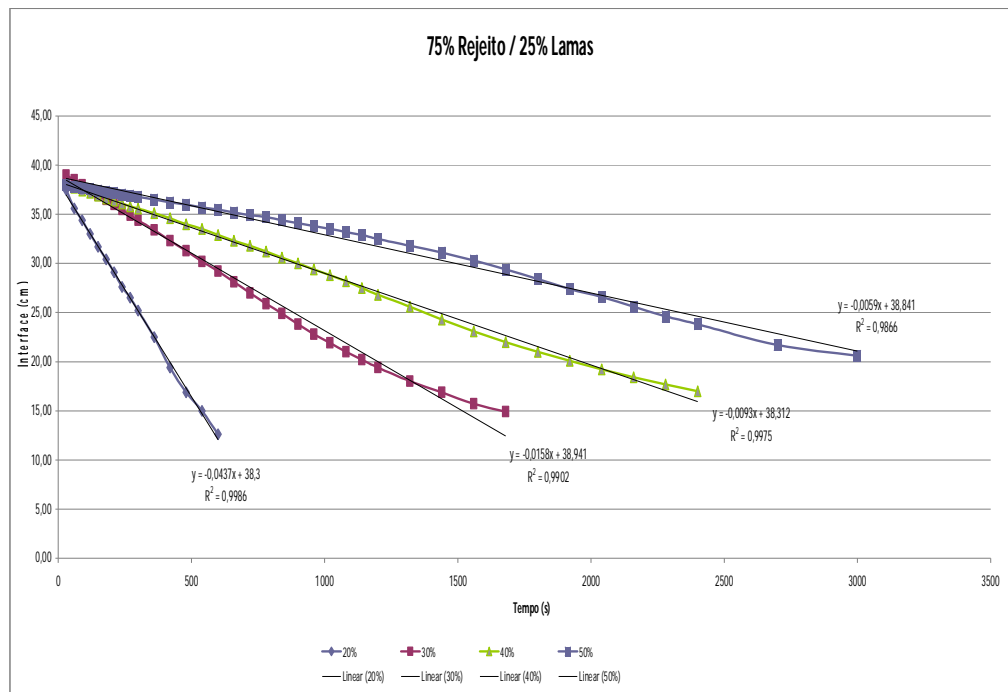
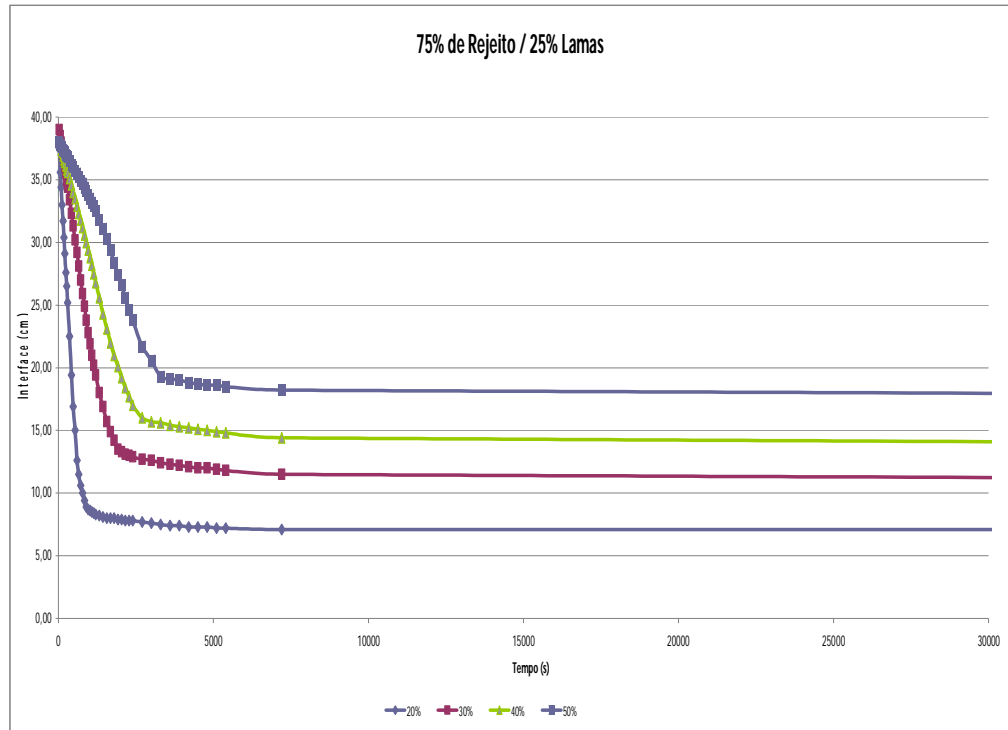
25% Rejeito / 75% Lamas						
T (min)	T (s)	20%	30%	40%	50%	60%
		(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)
		h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)
0,5	30	38,50	38,30	38,00	38,00	
1	60	38,20	38,00	37,90	37,70	
1,5	90	38,00	37,80	37,80	37,70	
2	120	37,70	37,70	37,80	37,60	
2,5	150	37,50	37,50	37,70	37,60	
3	180	37,20	37,40	37,70	37,60	
3,5	210	37,00	37,20	37,70	37,60	
4	240	36,80	37,00	37,70	37,60	
4,5	270	36,50	36,90	37,60	37,60	
5	300	36,30	36,80	37,60	37,50	
6	360	35,80	36,40	37,50	37,50	
7	420	35,30	36,10	37,30	37,40	
8	480	34,80	35,90	37,10	37,40	
9	540	34,40	35,60	37,00	37,30	
10	600	33,90	35,33	36,80	37,20	
11	660	33,50	35,00	36,60	37,10	
12	720	32,90	34,80	36,40	37,00	
13	780	32,50	34,60	36,30	36,90	
14	840	32,10	34,30	36,10	36,80	
15	900	31,60	34,00	36,00	36,70	
16	960	31,10	33,80	35,80	36,70	
17	1020	30,60	33,50	35,60	36,50	
18	1080	30,20	33,30	35,40	36,40	
19	1140	29,70	33,00	35,30	36,40	
20	1200	29,30	32,80	35,10	36,30	
22	1320	28,30	32,20	34,80	36,10	
24	1440	27,43	31,70	34,50	35,90	
26	1560	26,50	31,10	34,20	35,70	
28	1680	25,50	30,70	33,90	35,40	
30	1800	24,50	30,10	33,60	35,10	
32	1920	23,60	29,50	33,20	34,90	
34	2040	22,70	28,90	32,90	34,60	
36	2160	21,80	28,50	32,70	34,30	
38	2280	20,80	28,00	32,40	34,10	
40	2400	20,00	27,40	32,00	33,80	
46	2700	17,90	25,90	31,30	32,90	
50	3000	16,10	24,40	30,30	32,00	
55	3300	14,40	23,00	29,40	30,90	
60	3600	13,70	21,60	28,50	29,80	
66	3900	13,50	20,20	27,50	28,80	
70	4200	13,20	18,70	26,50	28,40	
75	4500	13,00	17,50	25,50	27,90	
80	4800	12,90	17,20	24,40	27,70	
85	5100	12,80	16,90	23,40	27,40	
90	5400	12,70	16,80	23,00	27,20	
120	7200	12,10	16,00	21,80	26,10	
1440	86400	8,30	11,30	15,10	18,80	



50% Rejeito / 50% Lamas						
T (min)	T (s)	20%	30%	40%	50%	60%
		(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)
		h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)
0,5	30	37,9	38,1	38,0	38,0	
1	60	37,2	37,9	37,9	37,9	
1,5	90	36,5	37,7	37,7	37,9	
2	120	36	37,4	37,5	37,8	
2,5	150	35,4	37,2	37,5	37,7	
3	180	34,7	37	37,4	37,6	
3,5	210	34	36,8	37,2	37,6	
4	240	33,5	36,6	37,1	37,5	
4,5	270	32,8	36,4	37,0	37,4	
5	300	32,2	36,2	36,9	37,3	
6	360	30,9	35,8	36,6	37,1	
7	420	29,5	35,4	36,4	37,0	
8	480	28,1	35	36,2	36,8	
9	540	27	34,6	36,0	36,6	
10	600	25,6	34,2	35,8	36,4	
11	660	24,4	33,8	35,6	36,2	
12	720	23,2	33,3	35,3	36,0	
13	780	22	32,9	35,1	35,8	
14	840	20,8	32,5	34,9	35,6	
15	900	19,7	32,1	34,7	35,4	
16	960	18,7	31,7	34,4	35,3	
17	1020	17,7	31,2	34,2	35,1	
18	1080	16,8	30,8	34,0	34,9	
19	1140	16,00	30,40	33,8	34,7	
20	1200	15,30	29,90	33,6	34,6	
22	1320	13,90	29,00	33,1	34,2	
24	1440	13,00	28,10	32,5	33,8	
26	1560	12,00	27,20	32,1	33,5	
28	1680	11,30	26,30	31,6	33,1	
30	1800	10,60	25,50	31,0	32,7	
32	1920	10,10	24,60	30,5	32,3	
34	2040	10,00	23,70	30,0	31,9	
36	2160	9,90	22,80	29,5	31,5	
38	2280	9,70	22,10	28,9	31,1	
40	2400	9,60	21,50	28,4	30,7	
45	2700	9,40	19,30	26,3	29,6	
50	3000	9,30	17,70	25,2	28,5	
55	3300	9,20	16,20	24,0	27,0	
60	3600	9,00	15,20	22,4	25,8	
65	3900	9,00	14,90	20,9	24,2	
70	4200	8,90	14,70	19,3	22,7	
75	4500	8,80	14,50	18,1	22,0	
80	4800	8,70	14,30	17,7	21,8	
85	5100	8,60	14,20	17,5	21,5	
90	5400	8,60	14,10	17,3	21,3	
120	7200	8,30	13,50	16,4	20,5	
1440	86400	7,00	10,80	13,9	17,9	



75% Rejeito / 25% Lamas						
T (min)	T (s)	20%	30%	40%	50%	60%
		(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)
		h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)
0,5	30	37,50	39,00	38,00	38,00	
1	60	36,60	38,50	37,70	37,80	
1,5	90	34,40	38,00	37,40	37,70	
2	120	33,00	37,50	37,20	37,60	
2,5	150	31,70	36,90	36,90	37,40	
3	180	30,40	36,50	36,60	37,30	
3,5	210	29,10	36,00	36,40	37,20	
4	240	27,60	35,50	36,10	37,00	
4,5	270	26,50	34,90	35,80	36,90	
5	300	25,20	34,40	35,60	36,80	
6	360	22,50	33,40	35,10	36,50	
7	420	19,40	32,30	34,60	36,20	
8	480	16,90	31,30	34,00	36,00	
9	540	15,00	30,20	33,50	35,70	
10	600	12,60	29,20	32,90	35,50	
11	660	11,50	28,10	32,30	35,20	
12	720	10,60	27,00	31,80	34,90	
13	780	10,00	25,90	31,20	34,70	
14	840	9,40	24,90	30,60	34,40	
15	900	8,90	23,80	30,00	34,10	
16	960	8,70	22,80	29,40	33,80	
17	1020	8,60	21,90	28,80	33,50	
18	1080	8,50	21,00	28,20	33,20	
19	1140	8,40	20,20	27,50	32,90	
20	1200	8,30	19,40	26,80	32,50	
22	1320	8,20	18,00	25,60	31,80	
24	1440	8,10	16,90	24,30	31,10	
26	1560	8,00	15,70	23,10	30,30	
28	1680	8,00	14,90	22,00	29,40	
30	1800	8,00	14,20	21,00	28,40	
32	1920	7,90	13,50	20,10	27,40	
34	2040	7,90	13,30	19,20	26,60	
36	2160	7,80	13,10	18,40	25,60	
38	2280	7,80	13,00	17,70	24,60	
40	2400	7,80	12,90	17,00	23,80	
45	2700	7,70	12,70	16,00	21,70	
50	3000	7,60	12,60	15,70	20,60	
55	3300	7,50	12,40	15,60	19,30	
60	3600	7,40	12,30	15,40	19,10	
65	3900	7,40	12,20	15,30	19,00	
70	4200	7,30	12,10	15,20	18,80	
75	4500	7,30	12,00	15,10	18,70	
80	4800	7,30	12,00	15,00	18,60	
85	5100	7,20	11,90	14,90	18,60	
90	5400	7,20	11,80	14,80	18,50	
120	7200	7,10	11,50	14,40	18,20	
1440	86400	7,10	10,70	13,40	17,40	





**Talmage-Fitch - ITM-D 20% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

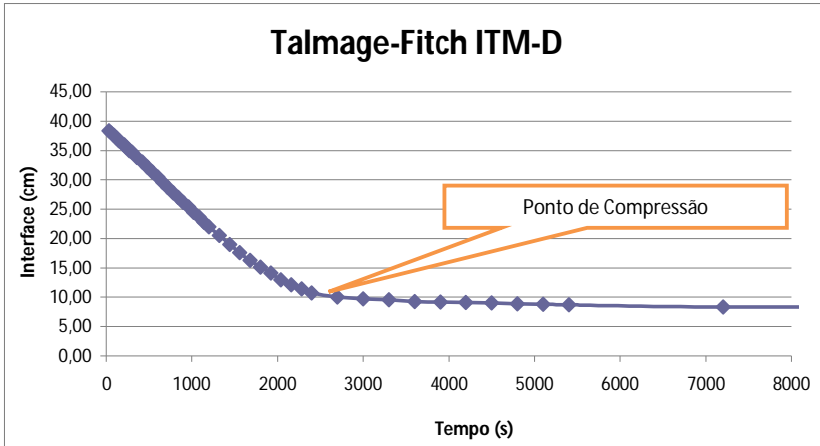
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,2357
0,3840
1,3188
0,0686



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

3400

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

0,10
10,44
1690,79
46,40

**Talmage-Fitch - ITM-I 20% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

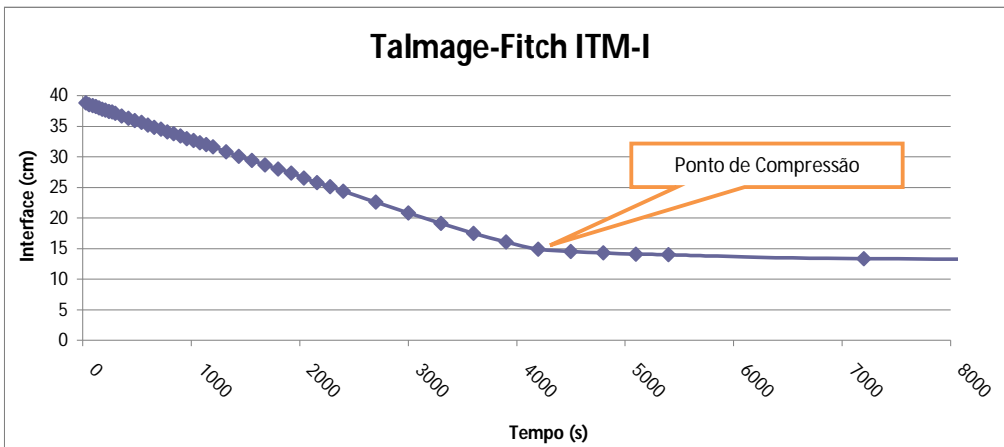
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,2354
0,3880
0,9217
0,0991



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

5200

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

0,06
15,96
2585,91
57,38

**Talmage-Fitch - ITM-D 30% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

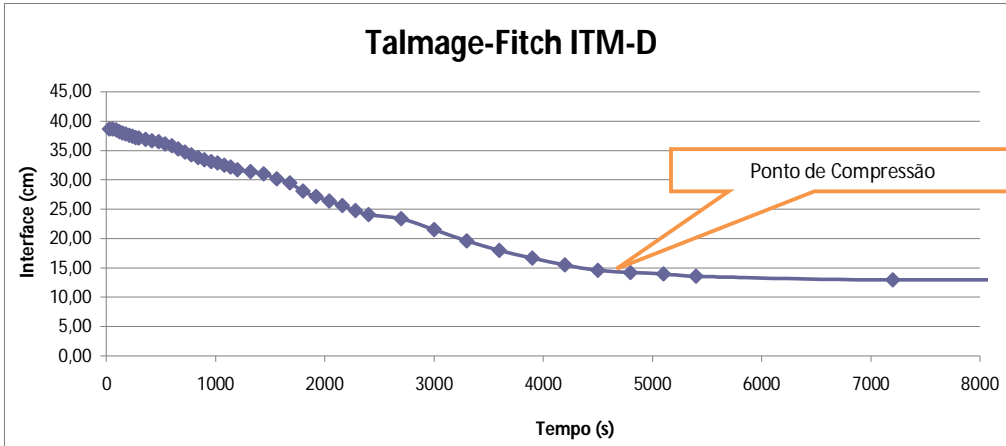
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,3881
0,3870
1,3301
0,1129



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

**6300**

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

0,09
11,65
1887,71
49,03

**Talmage-Fitch - ITM-I 30% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

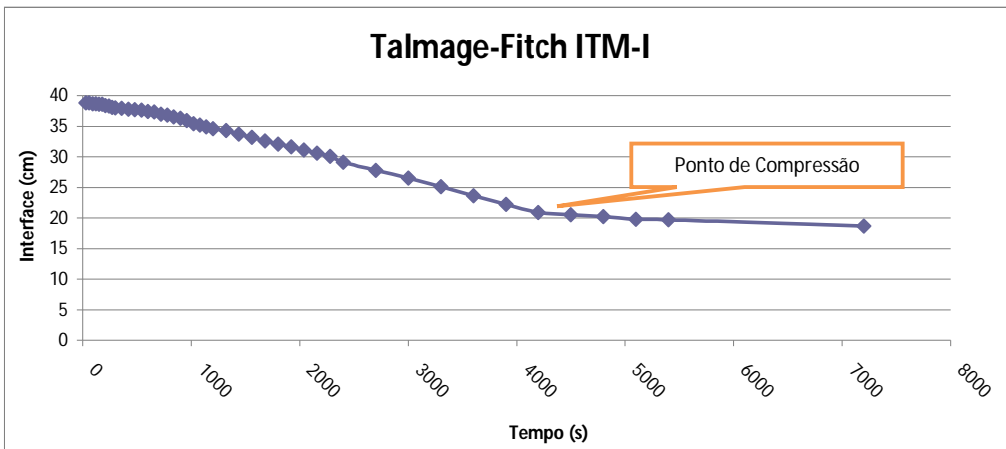
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,3874
0,3880
0,9796
0,1535



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

**6350**

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

0,09
11,75
1902,70
49,22

**Talmage-Fitch - ITM-D 40% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

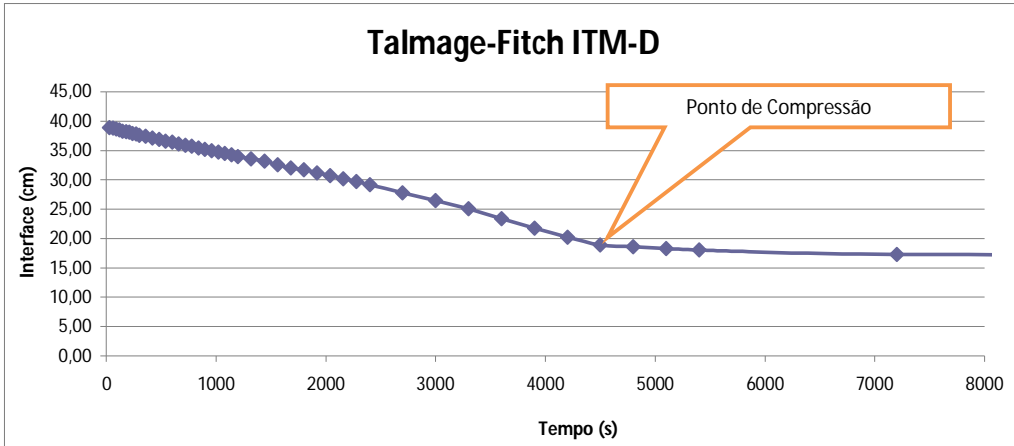
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,5735
0,3890
1,3639
0,1636



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

**5400**

G (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

0,15
6,72
1089,16
37,24

**Talmage-Fitch - ITM-I 40% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

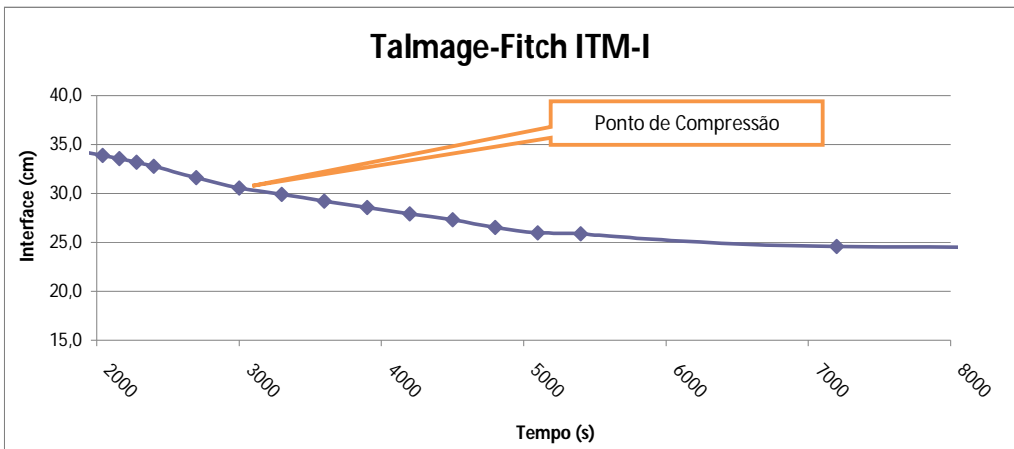
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,5722
0,3835
1,0725
0,2046



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

**6700**

G (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

0,12
8,34
1351,36
41,48

**Talmage-Fitch - ITM-D 50% de sólidos**

$H_u = C_o.H_o / C_u$

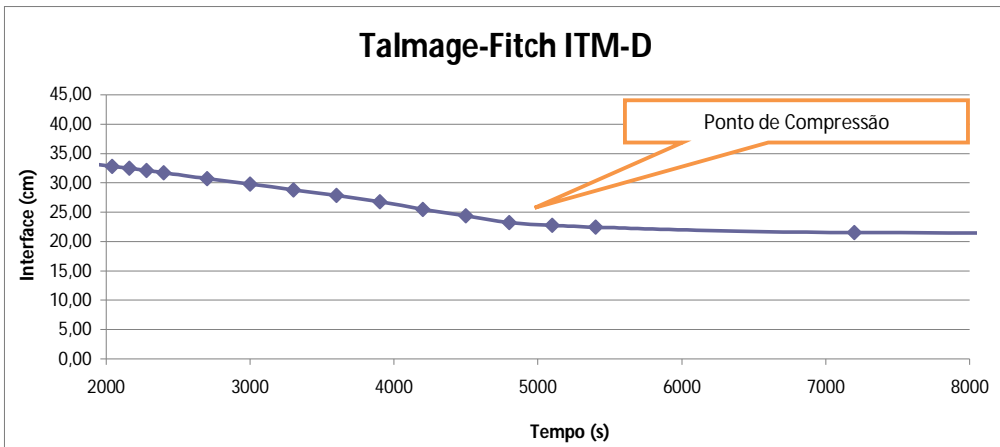
$C_o$  = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

$H_o$  = altura da polpa no início do teste (m)

$C_u$  = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

$H_u$  = Altura da interface para a concentração  $C_u$  (m)

0,8042
0,3830
1,5469
0,1991



$G = C_o.H_o / T_u$

$T_u$  = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow ( $C_u$ )

$T_u$  encontrado no gráfico (s)

6150

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,18

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

5,55

Área Total (m<sup>2</sup>) =

898,57

Diâmetro (m) =

33,82

**Talmage-Fitch - ITM-I 50% de sólidos**

$H_u = C_o.H_o / C_u$

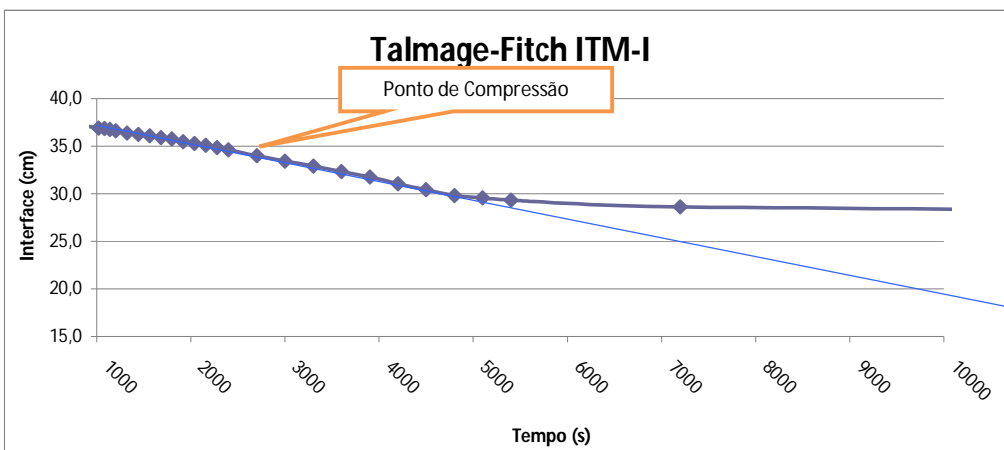
$C_o$  = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

$H_o$  = altura da polpa no início do teste (m)

$C_u$  = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

$H_u$  = Altura da interface para a concentração  $C_u$  (m)

0,8014
0,3835
1,1700
0,2627



$G = C_o.H_o / T_u$

$T_u$  = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow ( $C_u$ )

$T_u$  encontrado no gráfico (s)

6600

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,17

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

5,95

Área Total (m<sup>2</sup>) =

964,32

Diâmetro (m) =

35,04

**Talmage-Fitch - Combinado 20% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

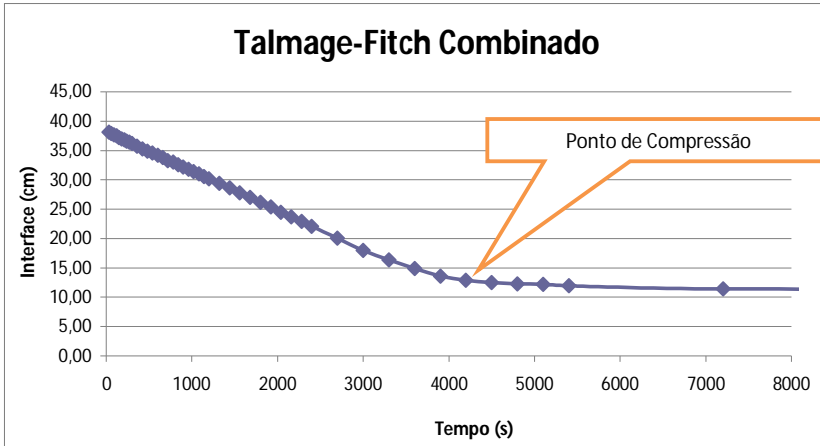
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,2355
0,3810
1,1197
0,0801



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

**5800**

G (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

0,06
17,96
2909,34
60,86

**Talmage-Fitch - Rejeito de Flotação 20% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

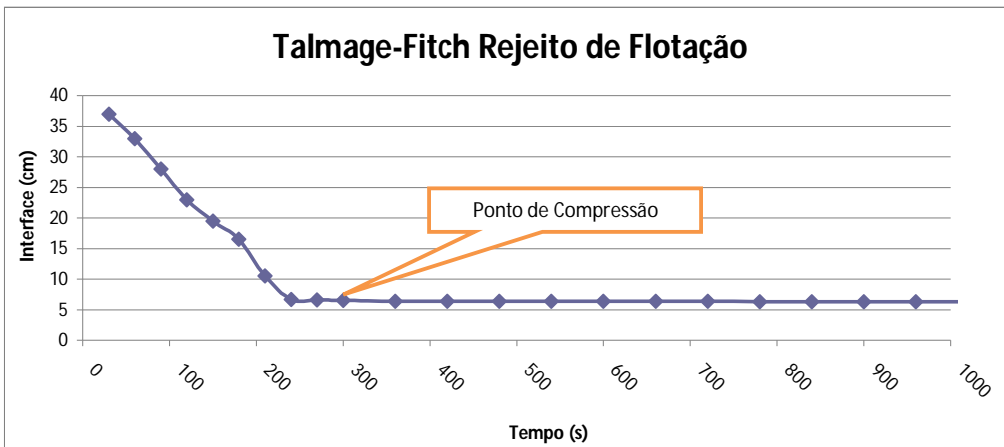
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,2332
0,3700
1,7491
0,0493



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

**320**

G (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

1,01
0,99
160,52
14,30

**Talmage-Fitch - Combinado 30% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

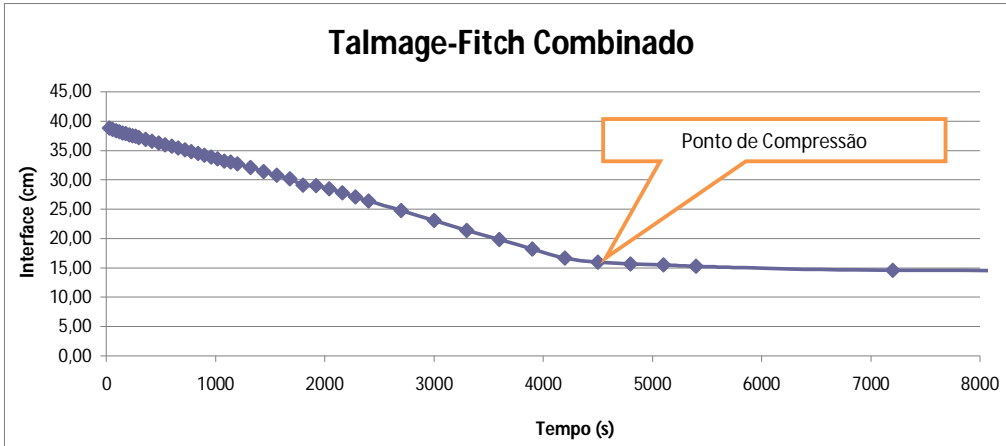
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,3876
0,3880
1,2092
0,1244



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

**6750**

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

0,08
12,47
2020,02
50,71

**Talmage-Fitch - Rejeito de Flotação 30% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

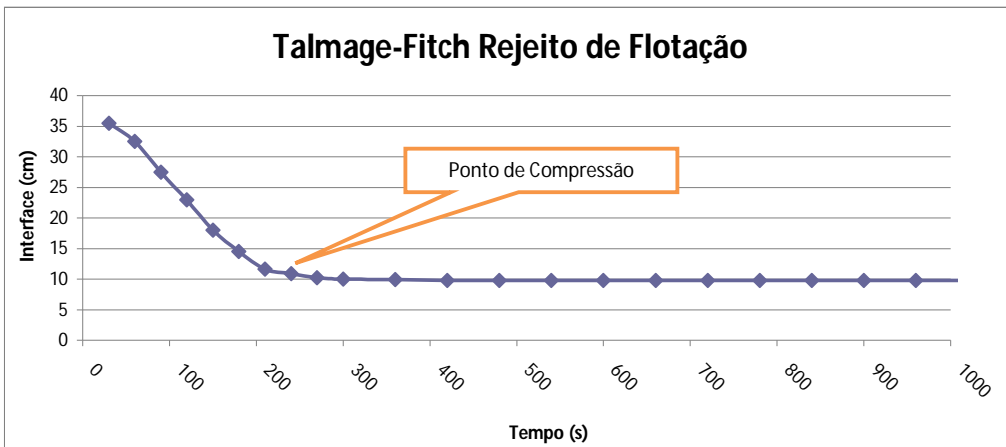
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,3814
0,3550
1,5740
0,0860



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

**280**

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

1,93
0,52
83,79
10,33

**Talmage-Fitch - Combinado 40% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

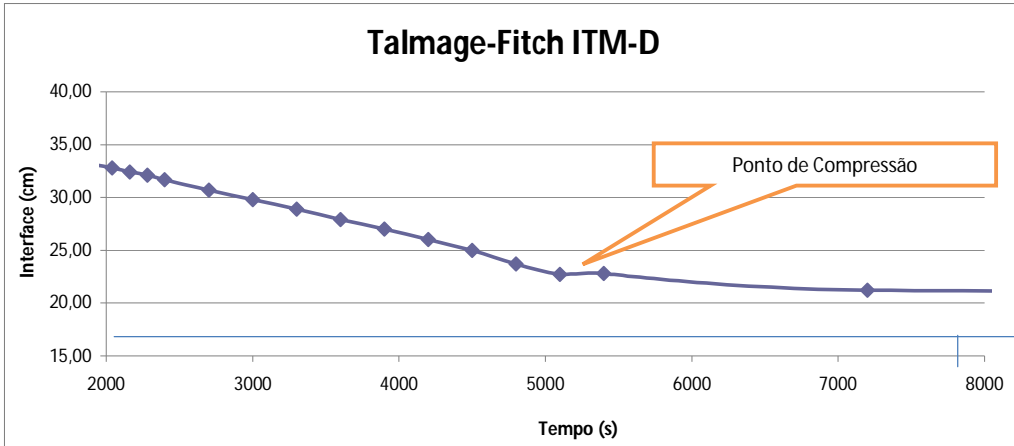
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,5724
0,3850
1,2832
0,1717



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

**7850**

G (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,10

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

9,89

Área Total (m<sup>2</sup>) =

1602,91

Diâmetro (m) =

45,18

**Talmage-Fitch - Rejeito de Flotação 40% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

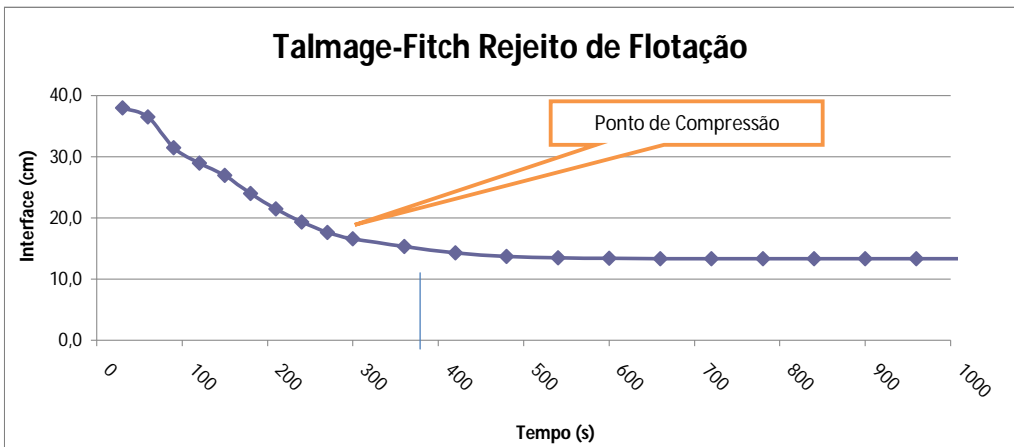
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,5591
0,3800
1,7142
0,1239



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

**380**

G (t/h/m<sup>2</sup>) =

2,09

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

0,48

Área Total (m<sup>2</sup>) =

77,59

Diâmetro (m) =

9,94

### Talmage-Fitch - Combinado 50% de sólidos

$$H_u = Co.Ho / Cu$$

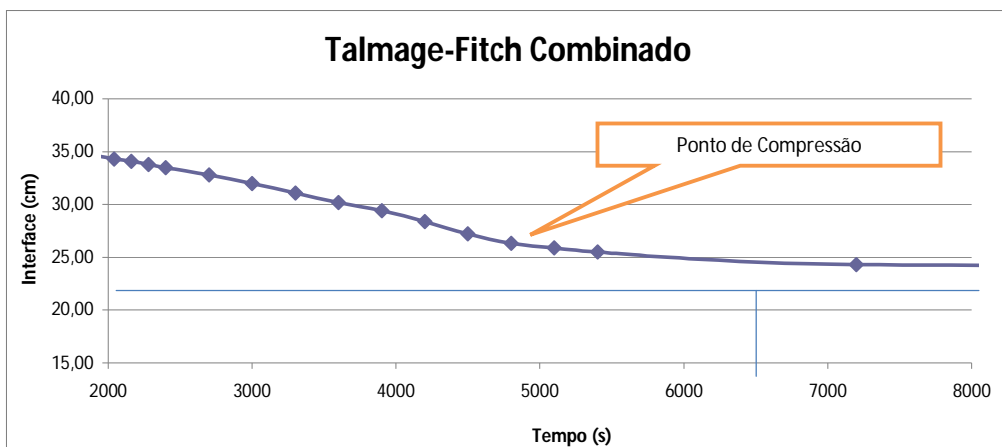
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,8019
0,3800
1,3786
0,2211



$$G = Co.Ho / Tu$$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

6500

$$G \text{ (t/h/m}^2\text{)} =$$

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

0,17
5,92
959,84
34,96

### Talmage-Fitch - Rejeito 50% de sólidos

$$H_u = Co.Ho / Cu$$

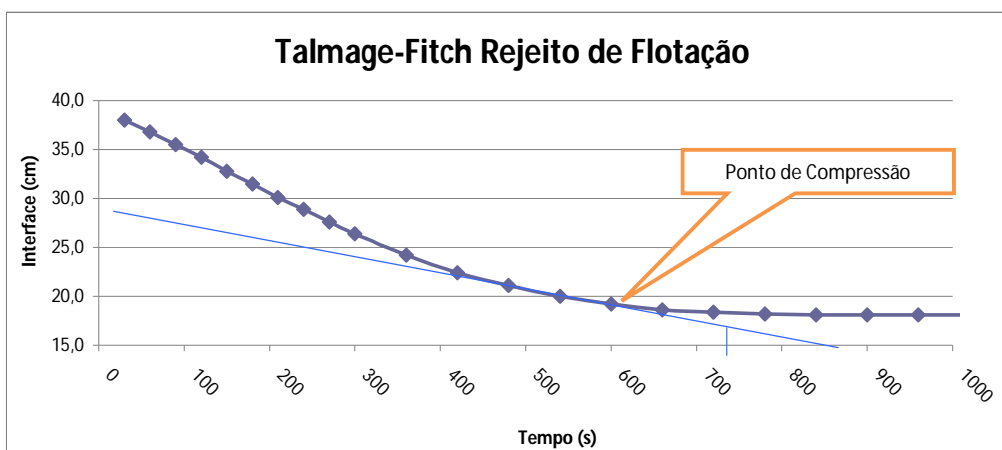
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,7761
0,3800
1,7172
0,1717



$$G = Co.Ho / Tu$$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

725

$$G \text{ (t/h/m}^2\text{)} =$$

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

1,51
0,66
107,06
11,68



**Talmage-Fitch - Rejeito de Flotação a 25% - 20% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

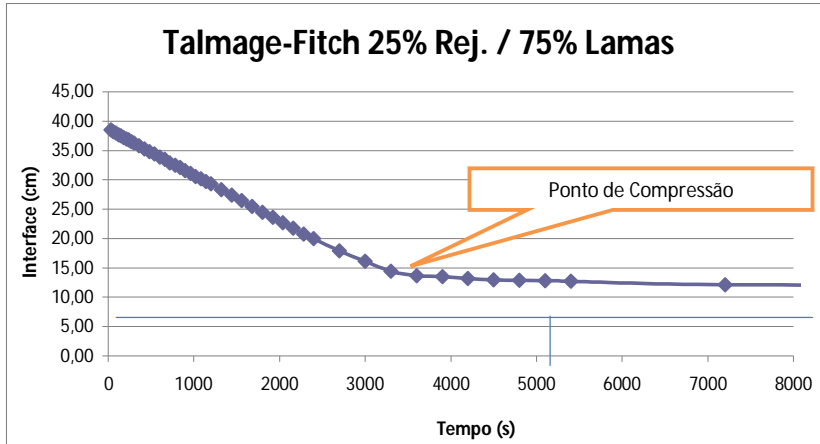
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,2349
0,3850
1,2920
0,0700



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

**5100**

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

0,06
15,67
2538,17
56,85

**Talmage-Fitch - Rejeito de Flotação a 50% - 20% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

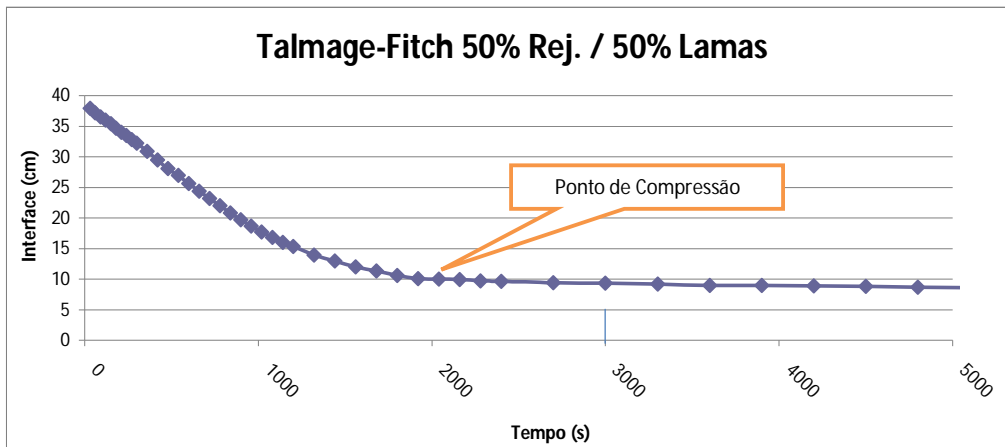
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,2343
0,3790
1,3314
0,0667



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

**3000**

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

0,11
9,22
1493,04
43,60

**Talmage-Fitch - 25% Rejeito / 75% Lamas a 30% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

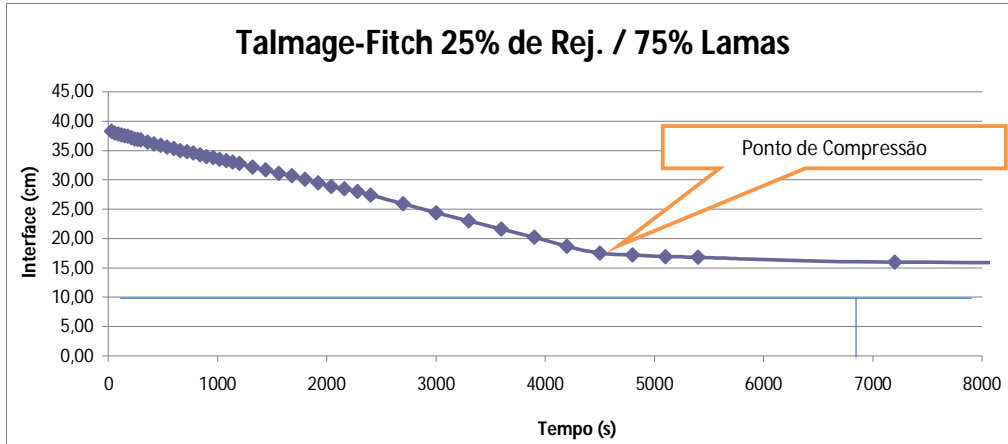
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,3859
0,3830
1,3771
0,1073



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

6900

$G (t/h/m^2) =$

0,08

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

12,97

Área Total (m<sup>2</sup>) =

2100,75

Diâmetro (m) =

51,72

**Talmage-Fitch - 50% Rejeito / 50% Lamas a 30% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

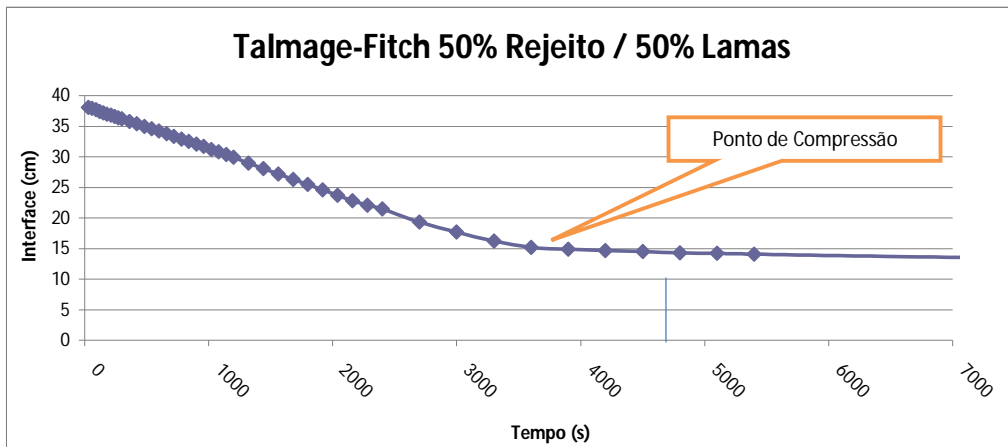
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,3844
0,3810
1,2641
0,1159



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

4700

$G (t/h/m^2) =$

0,11

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

8,83

Área Total (m<sup>2</sup>) =

1430,95

Diâmetro (m) =

42,68

**Talmage-Fitch - 25% Rejeito / 75% Lamas a 40% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

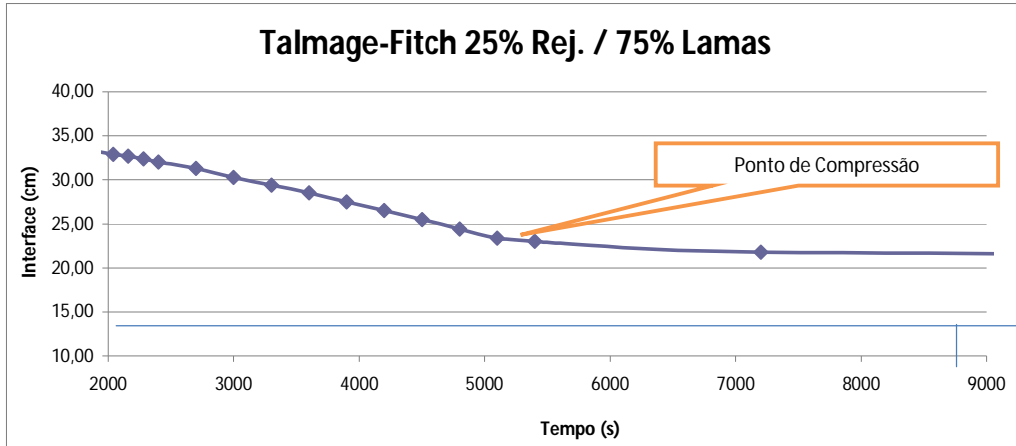
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,5689
0,3800
1,5336
0,1409



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

**8800**

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

0,09
11,31
1831,95
48,30

**Talmage-Fitch - 50% Rejeito / 50% Lamas a 40% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

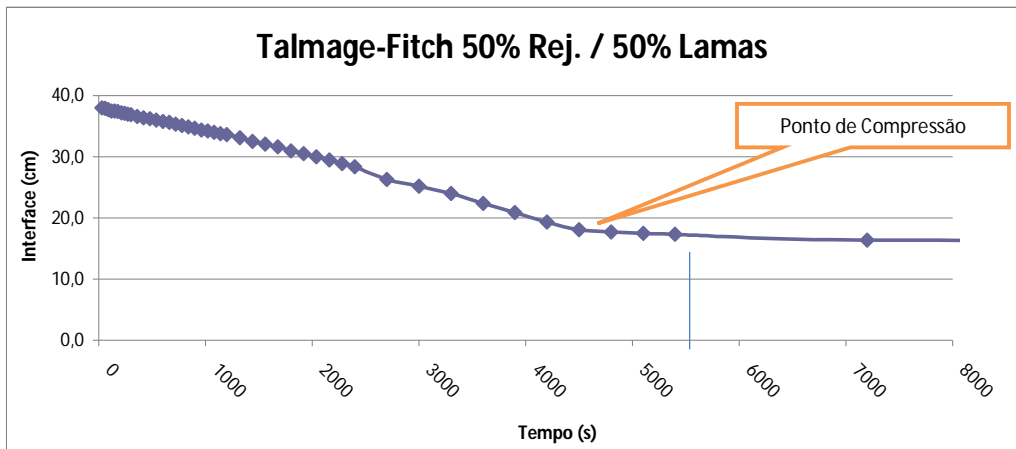
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,5656
0,3800
1,3928
0,1543



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

**5550**

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

0,14
7,13
1155,38
38,35

**Talmage-Fitch - 25% Rejeito / 75% Lamas a 50% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

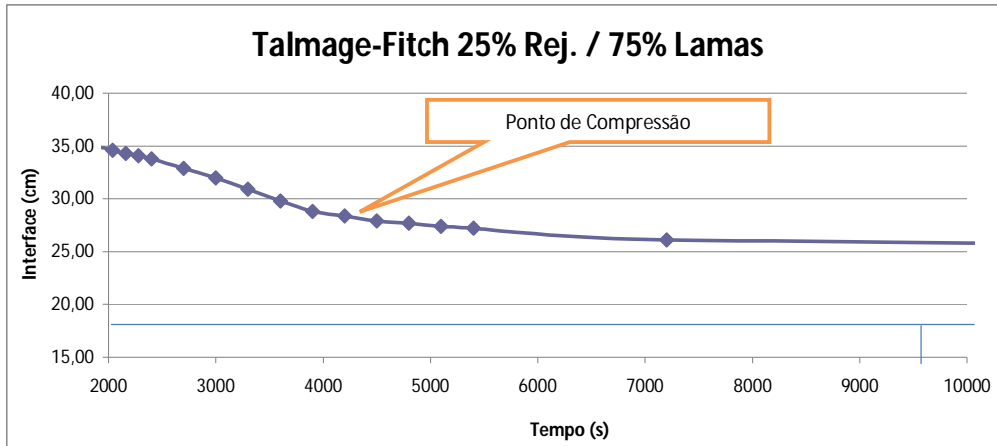
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,7950
0,3800
1,6261
0,1858



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

**9600**

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,11

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

8,83

Área Total (m<sup>2</sup>) =

1430,07

Diâmetro (m) =

42,67

**Talmage-Fitch - 50% Rejeito / 50% Lamas a 50% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

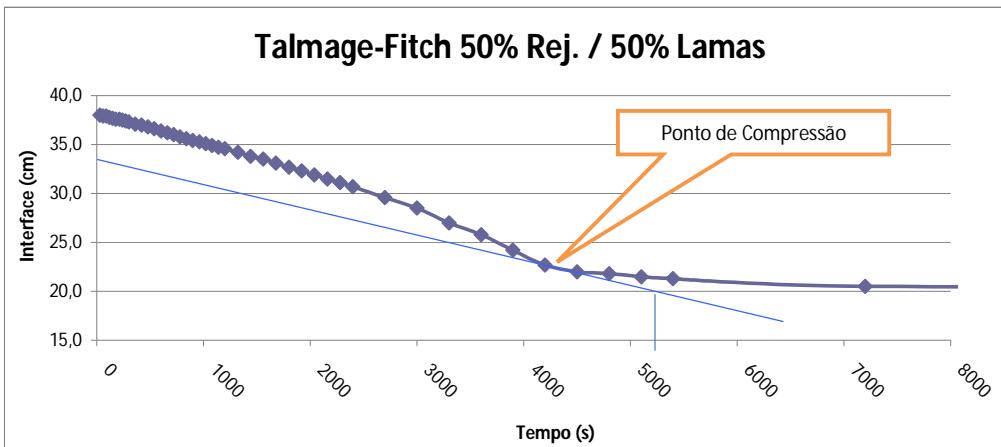
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,7886
0,3800
1,4742
0,2033



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

**5200**

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,21

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

4,78

Área Total (m<sup>2</sup>) =

774,62

Diâmetro (m) =

31,41

**Talmage-Fitch - Rejeito de Flotação a 20%**

$H_u = Co.Ho / Cu$

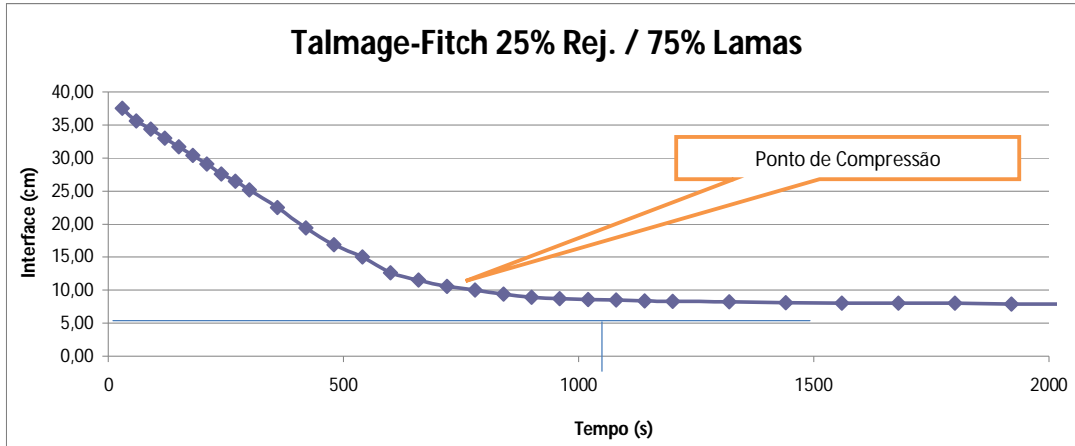
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,2337
0,3750
1,2588
0,0696



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

1050

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

0,30
3,33
539,07
26,20

**Talmage-Fitch - 75% Rejeito / 25% Lamas a 30% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

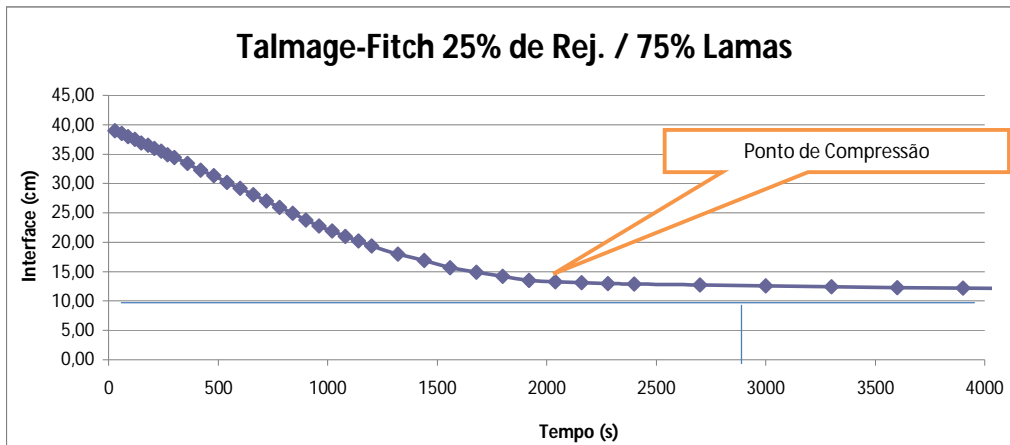
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,3829
0,3900
1,4527
0,1028



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

2800

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

0,19
5,21
843,76
32,78

**Talmage-Fitch - 75% Rejeito / 25% Lamas a 40% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

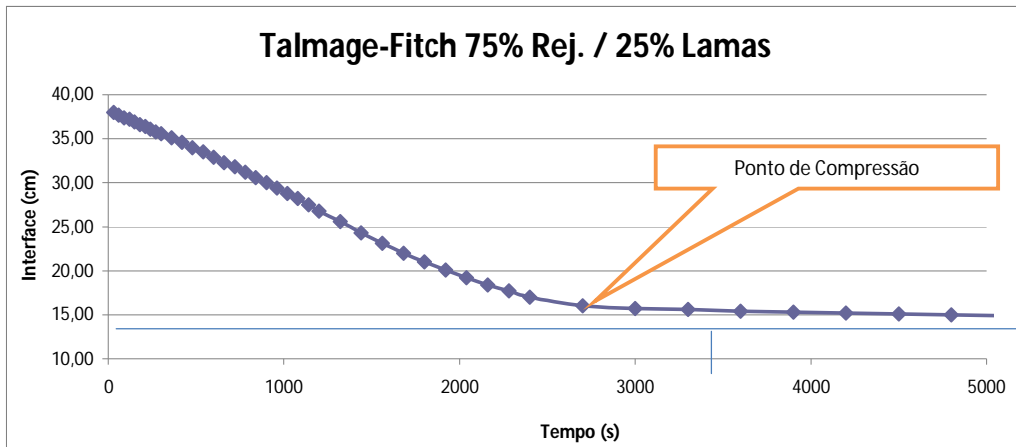
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,5623
0,3800
1,5118
0,1413



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

3400

$G \text{ (t/h/m}^2\text{)} =$

0,23

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

4,42

Área Total (m<sup>2</sup>) =

716,01

Diâmetro (m) =

30,19

**Talmage-Fitch - 75% Rejeito / 25% Lamas a 50% de sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

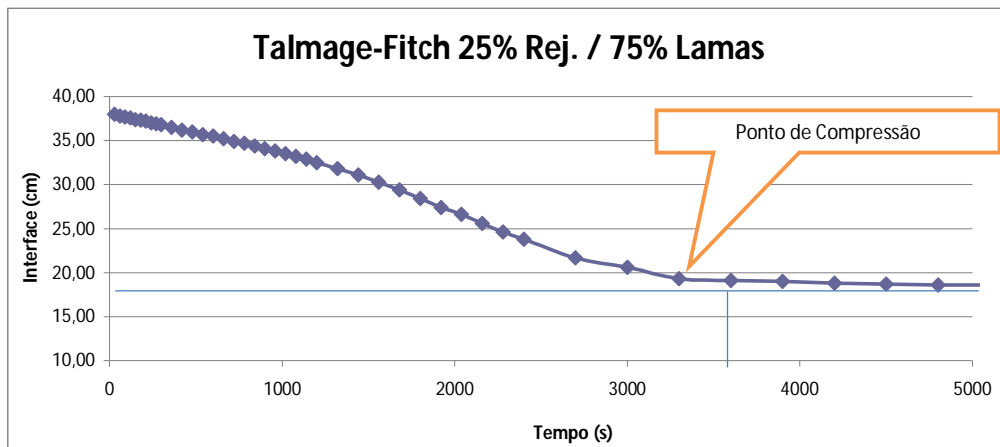
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,7823
0,3800
1,6062
0,1851



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

3600

$G \text{ (t/h/m}^2\text{)} =$

0,30

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

3,36

Área Total (m<sup>2</sup>) =

544,97

Diâmetro (m) =

26,34

Oltmann - ITM-D 20% sólidos

$H_u = Co.Ho / Cu$

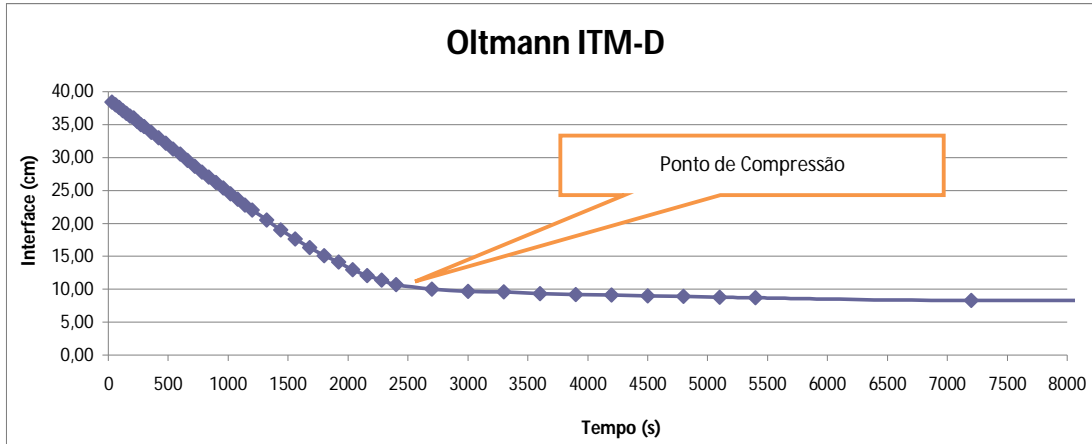
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,2357
0,3840
1,3188
0,0686



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

2700

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,12

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

8,29

Área Total (m<sup>2</sup>) =

1611,22

Diâmetro (m) =

45,29

Oltmann - ITM-I 20% sólidos

$H_u = Co.Ho / Cu$

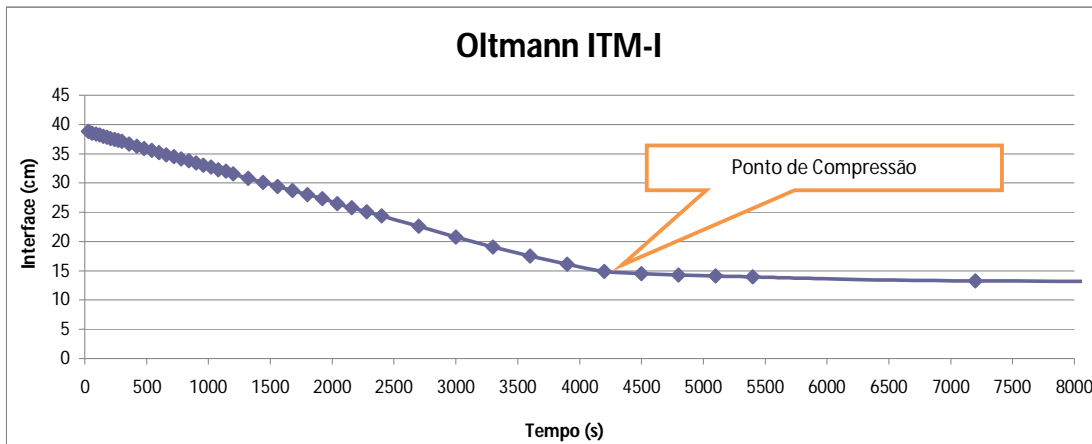
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,2357
0,3880
0,9217
0,0992



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

5150

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,06

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

15,81

Área Total (m<sup>2</sup>) =

3073,26

Diâmetro (m) =

62,55

Oltmann - ITM-D 30% sólidos

$H_u = Co.Ho / Cu$

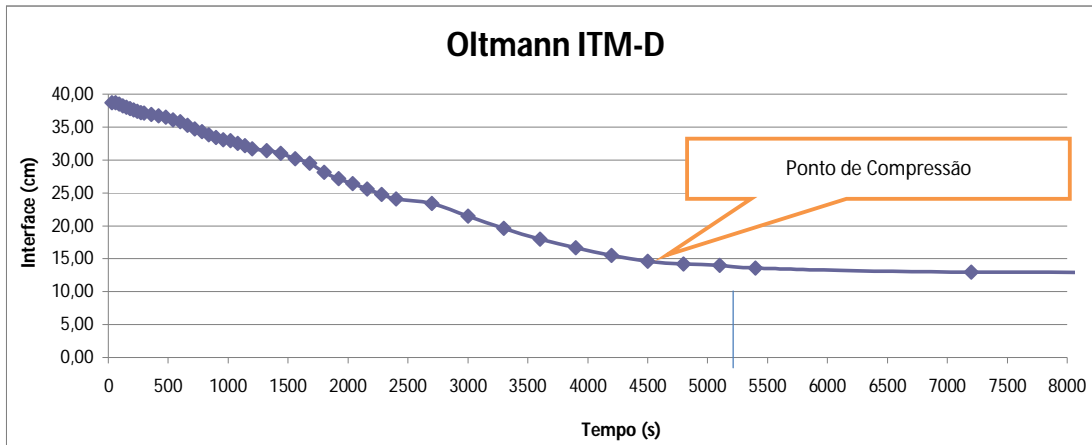
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,3881
0,3870
1,3301
0,1129



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

5150

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,10

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

9,53

Área Total (m<sup>2</sup>) =

1851,76

Diâmetro (m) =

48,56

Oltmann - ITM-I 30% sólidos

$H_u = Co.Ho / Cu$

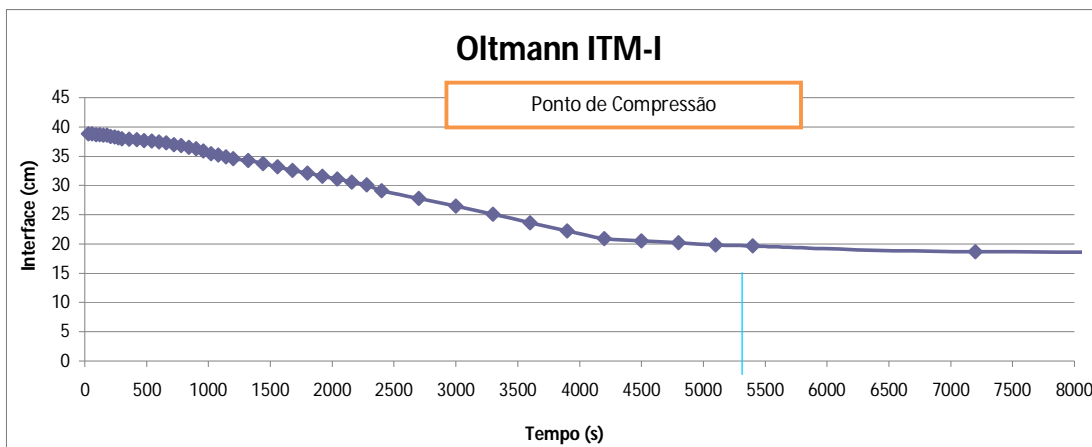
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,3874
0,3880
0,9796
0,1534



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

5300

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,10

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

9,80

Área Total (m<sup>2</sup>) =

1905,69

Diâmetro (m) =

49,26



Oltmann - ITM-D 40% sólidos

$H_u = Co.Ho / Cu$

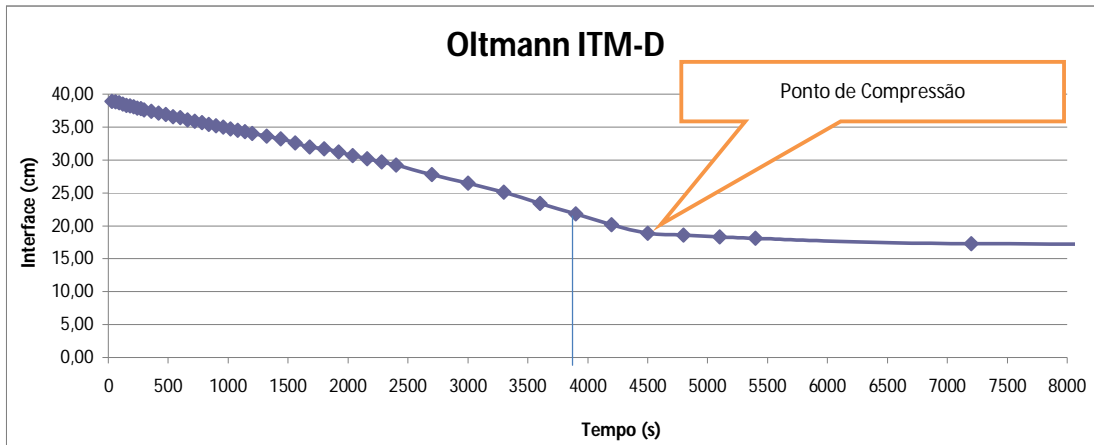
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,5735
0,3890
1,3639
0,1636



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

3850

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,21

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

4,79

Área Total (m<sup>2</sup>) =

931,83

Diâmetro (m) =

34,44

Oltmann - ITM-I 40% sólidos

$H_u = Co.Ho / Cu$

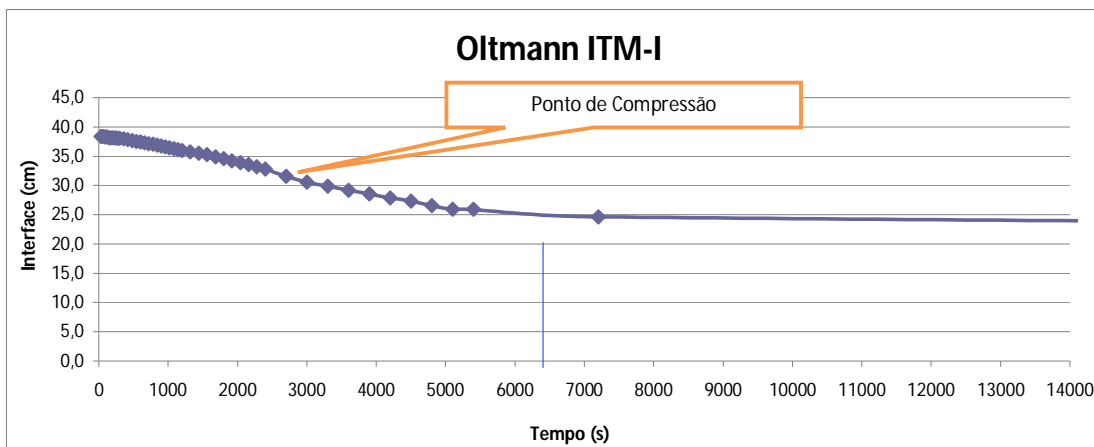
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,5722
0,3880
1,0725
0,2070



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

6300

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,13

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

7,84

Área Total (m<sup>2</sup>) =

1524,82

Diâmetro (m) =

44,06

Oltmann - ITM-D 50% sólidos

$H_u = Co.Ho / Cu$

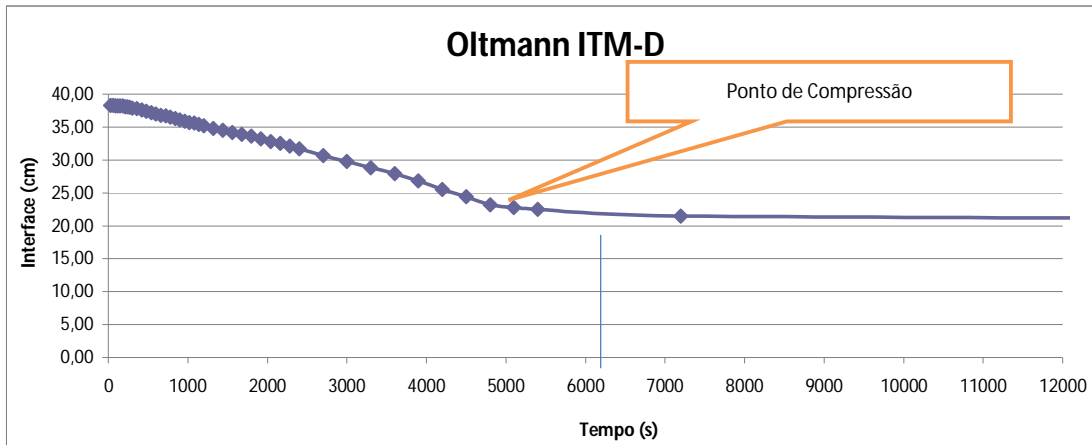
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,8042
0,3830
1,5469
0,1991



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

6150

G (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,18

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

5,55

Área Total (m<sup>2</sup>) =

1078,28

Diâmetro (m) =

37,05

Oltmann - ITM-I 50% sólidos

$H_u = Co.Ho / Cu$

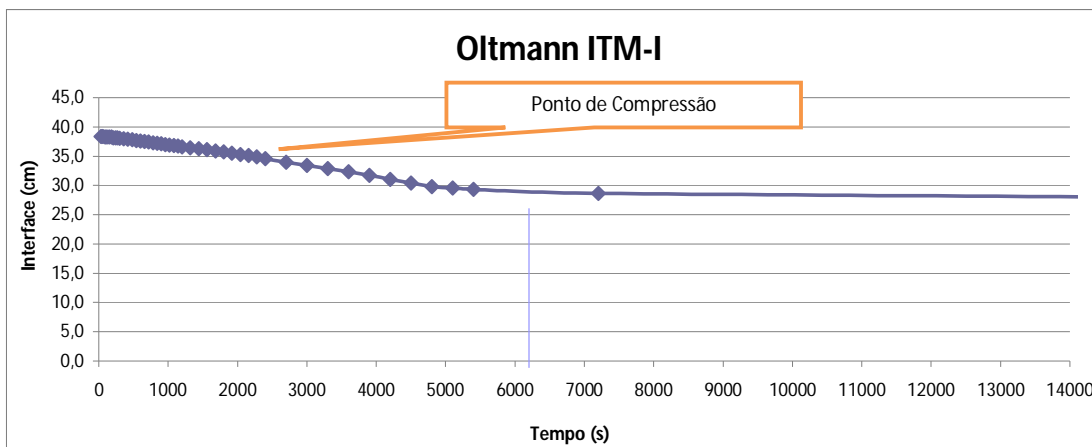
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,8014
0,3835
1,1700
0,2627



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

6200

G (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,18

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

5,59

Área Total (m<sup>2</sup>) =

1087,05

Diâmetro (m) =

37,20

### Oltmann - Combinado 20% sólidos

$$H_u = C_o \cdot H_o / C_u$$

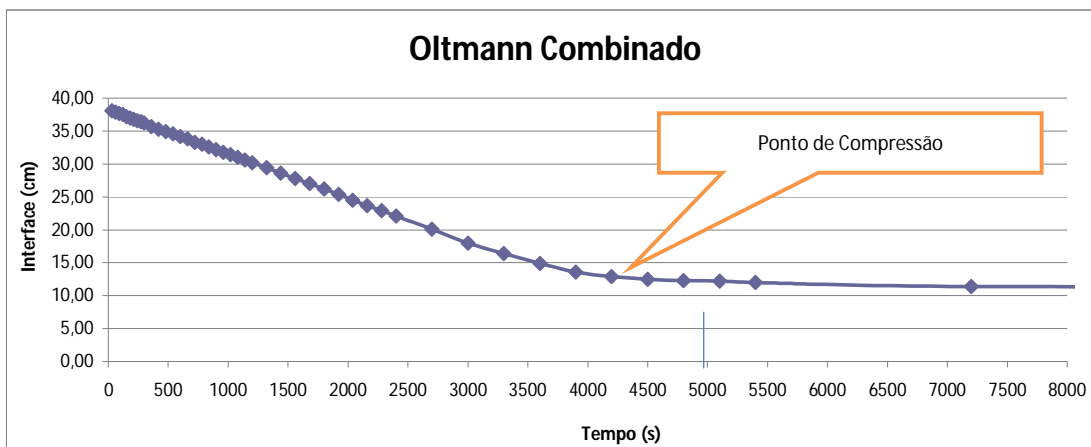
$C_o$  = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

$H_o$  = altura da polpa no início do teste (m)

$C_u$  = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

$H_u$  = Altura da interface para a concentração  $C_u$  (m)

0,2355
0,3810
1,1197
0,0801



$$G = C_o \cdot H_o / T_u$$

$T_u$  = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow ( $C_u$ )

$T_u$  encontrado no gráfico (s)

4950

$$G \text{ (t/h/m}^2\text{)} =$$

$$\text{Área unitária (m}^2\text{/t/h)} =$$

$$\text{Área Total (m}^2\text{)} =$$

$$\text{Diâmetro (m)} =$$

0,07
15,33
2979,57
61,59

### Oltmann - Rejeito de Flotação 20% sólidos

$$H_u = C_o \cdot H_o / C_u$$

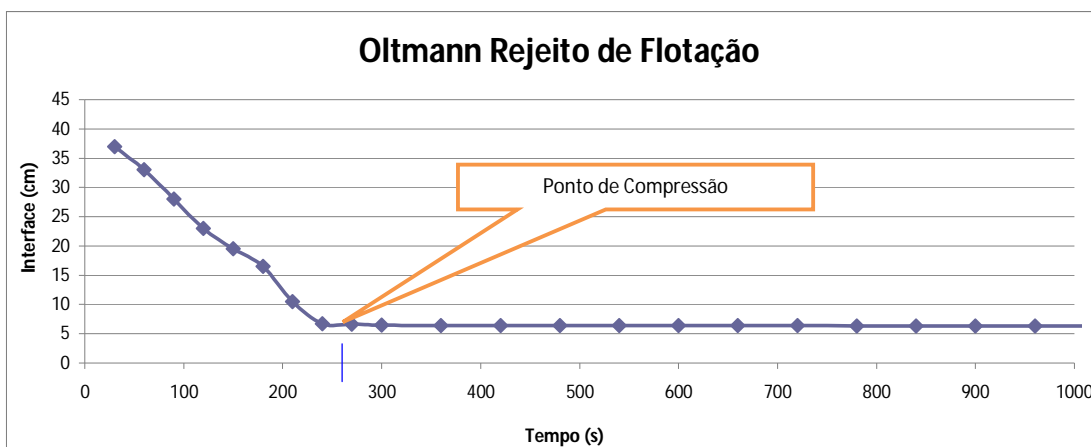
$C_o$  = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

$H_o$  = altura da polpa no início do teste (m)

$C_u$  = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

$H_u$  = Altura da interface para a concentração  $C_u$  (m)

0,2332
0,3700
1,7491
0,0493



$$G = C_o \cdot H_o / T_u$$

$T_u$  = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow ( $C_u$ )

$T_u$  encontrado no gráfico (s)

260

$$G \text{ (t/h/m}^2\text{)} =$$

$$\text{Área unitária (m}^2\text{/t/h)} =$$

$$\text{Área Total (m}^2\text{)} =$$

$$\text{Diâmetro (m)} =$$

1,24
0,81
156,50
14,12

### Oltmann - Combinado 30% sólidos

$$H_u = C_o.H_o / C_u$$

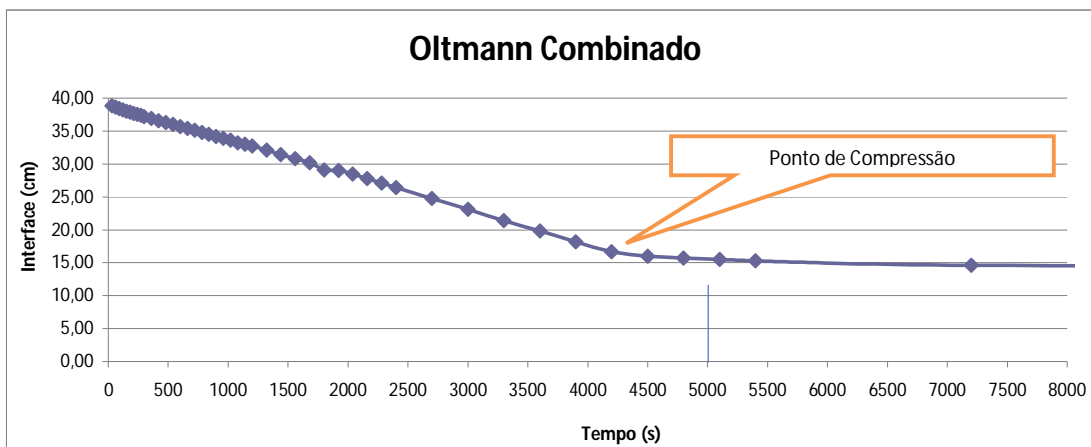
$C_o$  = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

$H_o$  = altura da polpa no início do teste (m)

$C_u$  = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

$H_u$  = Altura da interface para a concentração  $C_u$  (m)

0,3876
0,3880
1,2092
0,1244



$$G = C_o.H_o / T_u$$

$T_u$  = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow ( $C_u$ )

$T_u$  encontrado no gráfico (s)

5000

$$G \text{ (t/h/m}^2\text{)} =$$

$$\text{Área unitária (m}^2\text{/t/h)} =$$

$$\text{Área Total (m}^2\text{)} =$$

$$\text{Diâmetro (m)} =$$

0,11
9,24
1795,58
47,81

### Oltmann - Rejeito de Flotação 30% sólidos

$$H_u = C_o.H_o / C_u$$

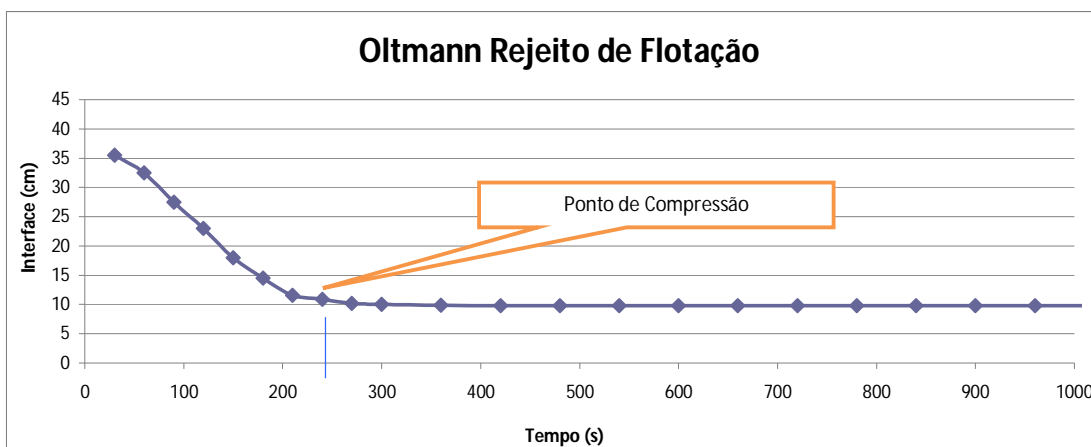
$C_o$  = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

$H_o$  = altura da polpa no início do teste (m)

$C_u$  = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

$H_u$  = Altura da interface para a concentração  $C_u$  (m)

0,3814
0,3550
1,5740
0,0860



$$G = C_o.H_o / T_u$$

$T_u$  = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow ( $C_u$ )

$T_u$  encontrado no gráfico (s)

240

$$G \text{ (t/h/m}^2\text{)} =$$

$$\text{Área unitária (m}^2\text{/t/h)} =$$

$$\text{Área Total (m}^2\text{)} =$$

$$\text{Diâmetro (m)} =$$

2,26
0,44
86,19
10,48

### Oltmann - Combinado 40% sólidos

$$Hu = Co.Ho / Cu$$

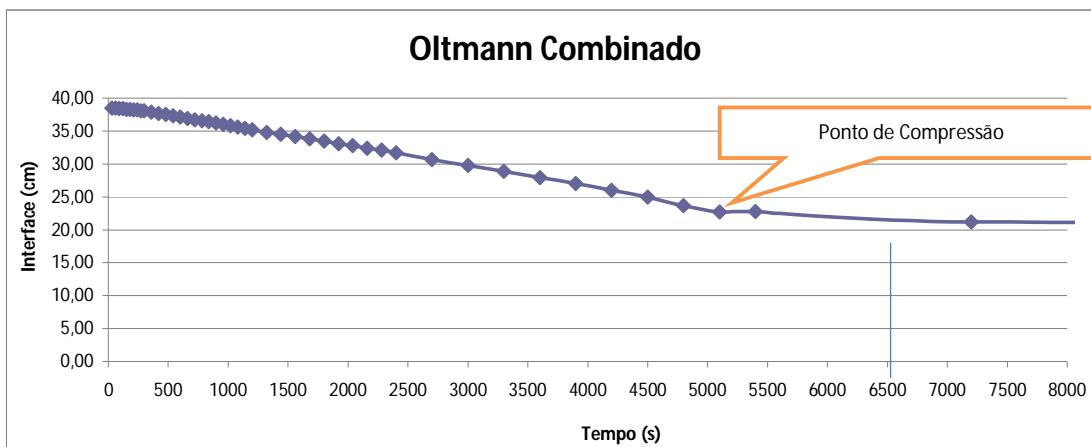
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,5724
0,3850
1,2832
0,1717



$$G = Co.Ho / Tu$$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

6500

$$G \text{ (t/h/m}^2\text{)} =$$

0,12

$$\text{Área unitária (m}^2\text{/t/h)} =$$

8,19

$$\text{Área Total (m}^2\text{)} =$$

1592,70

$$\text{Diâmetro (m)} =$$

45,03

### Oltmann - Rejeito de Flotação 40% sólidos

$$Hu = Co.Ho / Cu$$

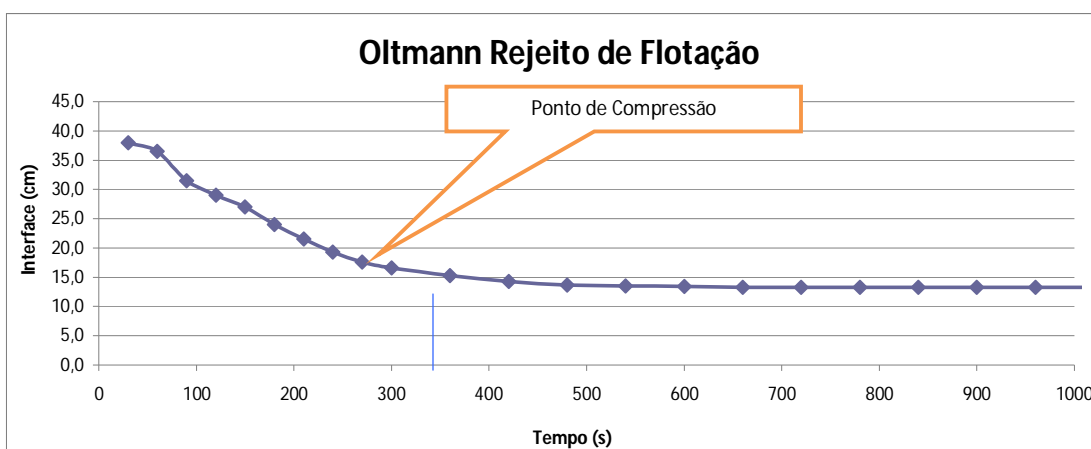
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,5591
0,3800
1,7142
0,1239



$$G = Co.Ho / Tu$$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

330

$$G \text{ (t/h/m}^2\text{)} =$$

2,40

$$\text{Área unitária (m}^2\text{/t/h)} =$$

0,42

$$\text{Área Total (m}^2\text{)} =$$

80,86

$$\text{Diâmetro (m)} =$$

10,15

### Oltmann - Combinado 50% de sólidos

$$Hu = Co.Ho / Cu$$

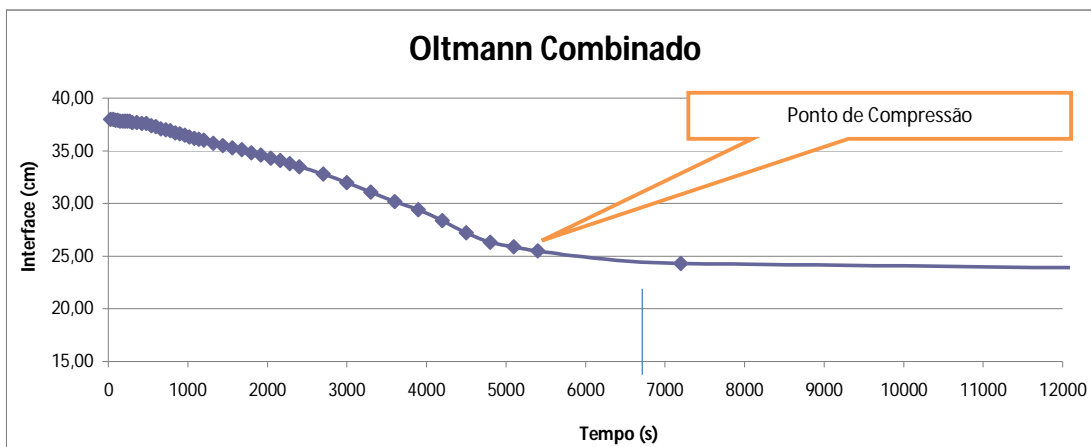
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,8019
0,3800
1,3786
0,2211



$$G = Co.Ho / Tu$$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

6700

$$G \text{ (t/h/m}^2\text{)} =$$

$$\text{Área unitária (m}^2\text{/t/h)} =$$

$$\text{Área Total (m}^2\text{)} =$$

$$\text{Diâmetro (m)} =$$

0,16
6,11
1187,25
38,88

### Oltmann - Rejeito de Flotação 50% de sólidos

$$Hu = Co.Ho / Cu$$

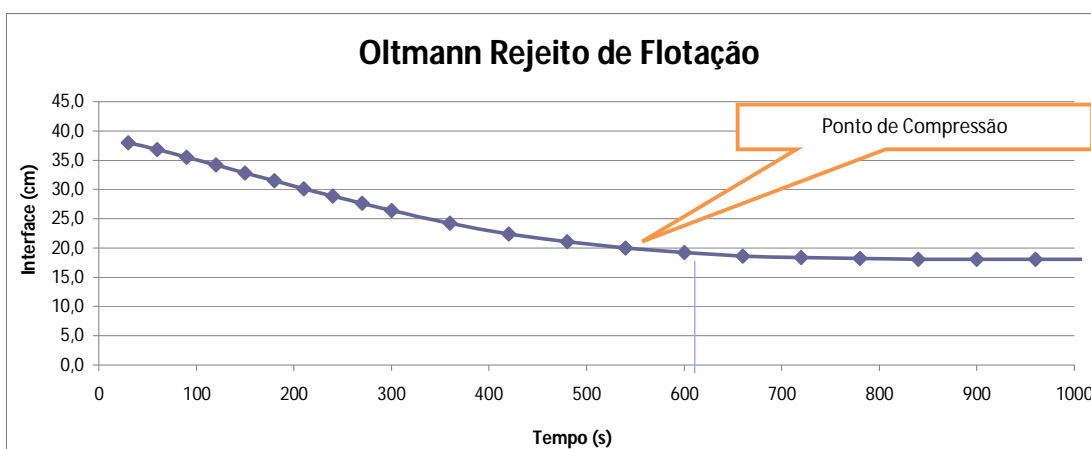
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,7761
0,3800
1,7172
0,1717



$$G = Co.Ho / Tu$$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

610

$$G \text{ (t/h/m}^2\text{)} =$$

$$\text{Área unitária (m}^2\text{/t/h)} =$$

$$\text{Área Total (m}^2\text{)} =$$

$$\text{Diâmetro (m)} =$$

1,80
0,56
108,09
11,73

Oltmann - 25% Rejeito / 75% Lamas a 20% sólidos

$H_u = Co.Ho / Cu$

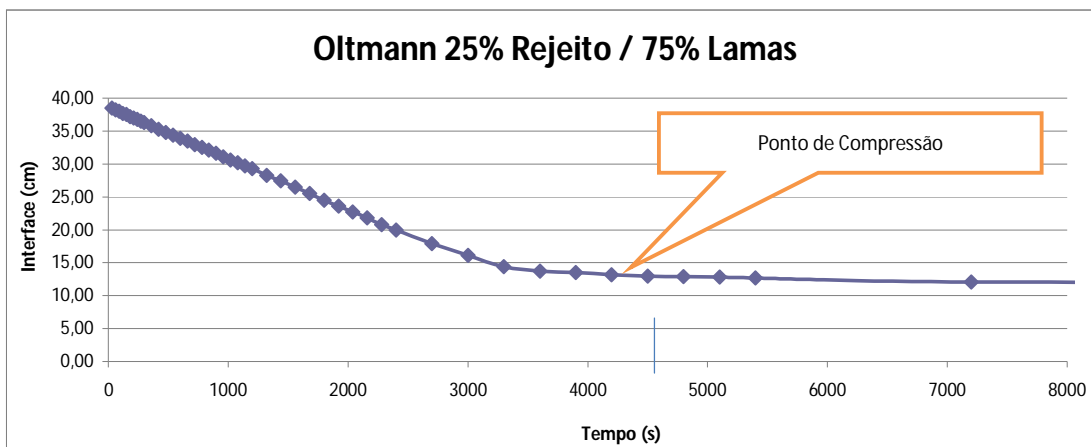
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,2349
0,3850
1,2920
0,0700



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

4600

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,07

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

14,13

Área Total (m<sup>2</sup>) =

2747,20

Diâmetro (m) =

59,14

Oltmann - 50% Rejeito / 50% Lamas a 20% sólidos

$H_u = Co.Ho / Cu$

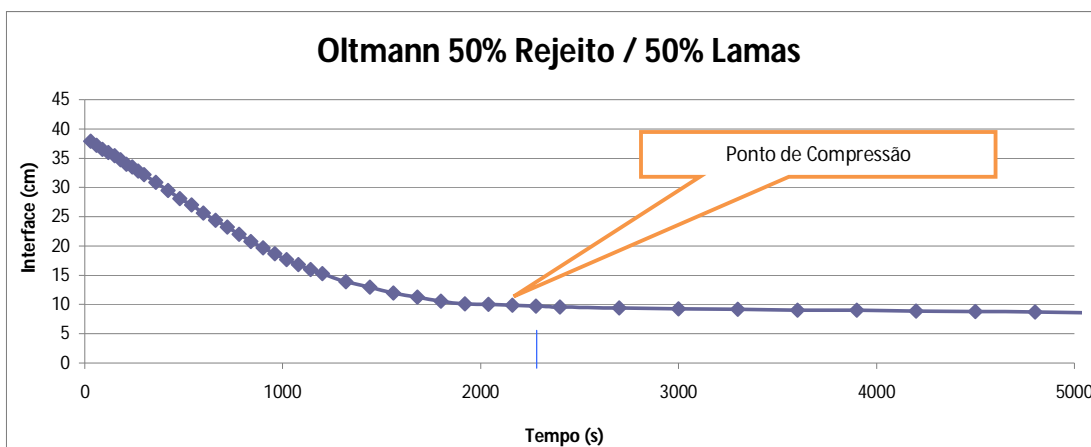
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,2343
0,3790
1,3314
0,0667



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

2300

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,14

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

7,07

Área Total (m<sup>2</sup>) =

1373,60

Diâmetro (m) =

41,82

**Oltmann - 25% Rejeito / 75% Lamas a 30% sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

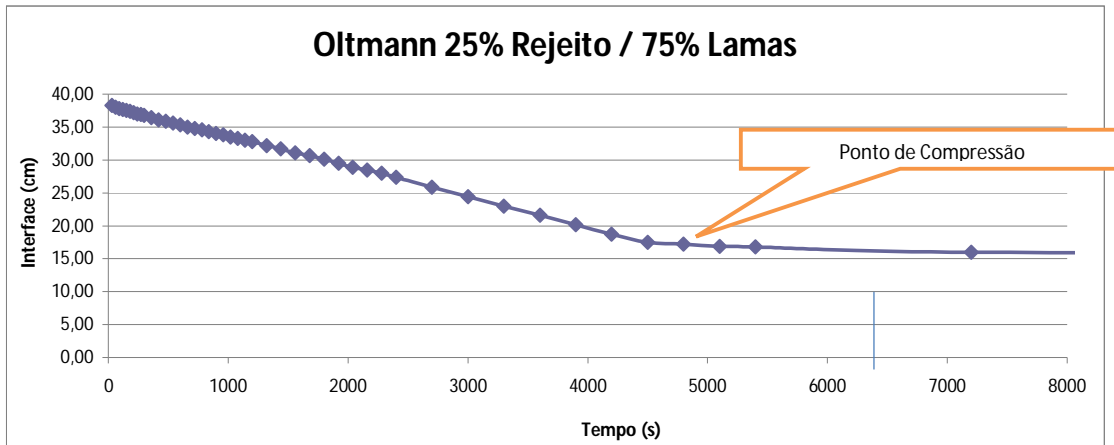
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,3859
0,3830
1,3771
0,1073



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

6300

$G (t/h/m^2) =$

0,08

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

11,84

Área Total (m<sup>2</sup>) =

2301,69

Diâmetro (m) =

54,14

**Oltmann - 50% Rejeito / 50% Lamas a 30% sólidos**

$H_u = Co.Ho / Cu$

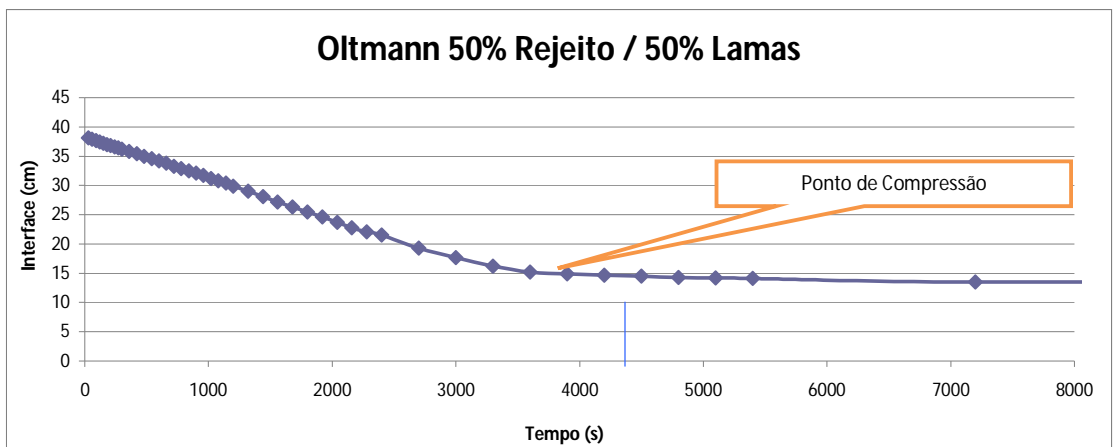
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,3844
0,3810
1,2641
0,1159



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

4300

$G (t/h/m^2) =$

0,12

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

8,08

Área Total (m<sup>2</sup>) =

1571,00

Diâmetro (m) =

44,72



Oltmann - 25% Rejeito / 75% Lamas a 40% sólidos

$H_u = Co.Ho / Cu$

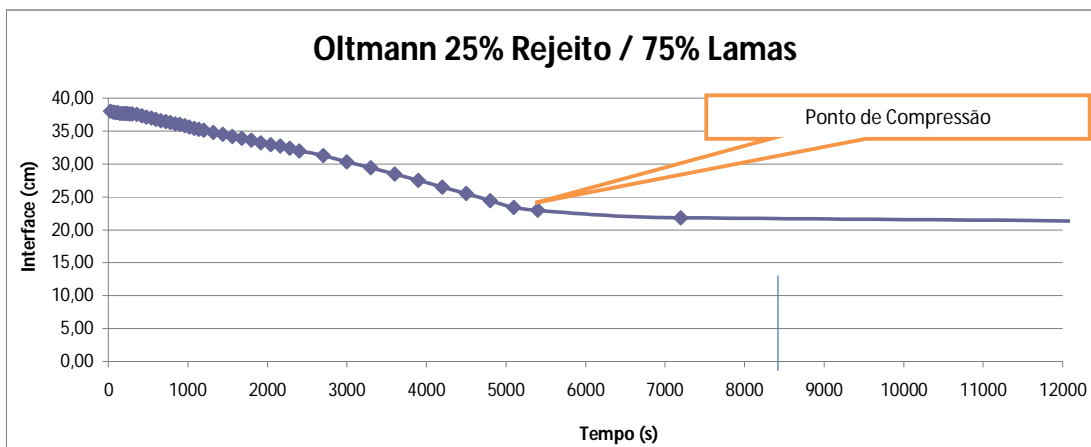
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,5689
0,3800
1,5336
0,1409



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

8300

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,09

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

10,67

Área Total (m<sup>2</sup>) =

2073,43

Diâmetro (m) =

51,38

Oltmann - 50% Rejeito / 50% Lamas a 40% sólidos

$H_u = Co.Ho / Cu$

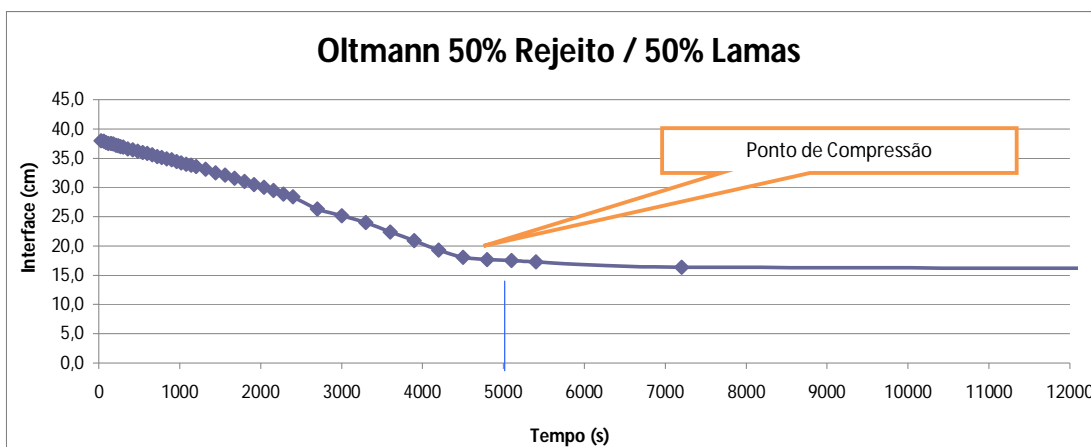
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,5656
0,3800
1,3928
0,1543



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

5000

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,16

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

6,43

Área Total (m<sup>2</sup>) =

1249,06

Diâmetro (m) =

39,88

Oltmann - Combinado 50% de sólidos

$H_u = Co.Ho / Cu$

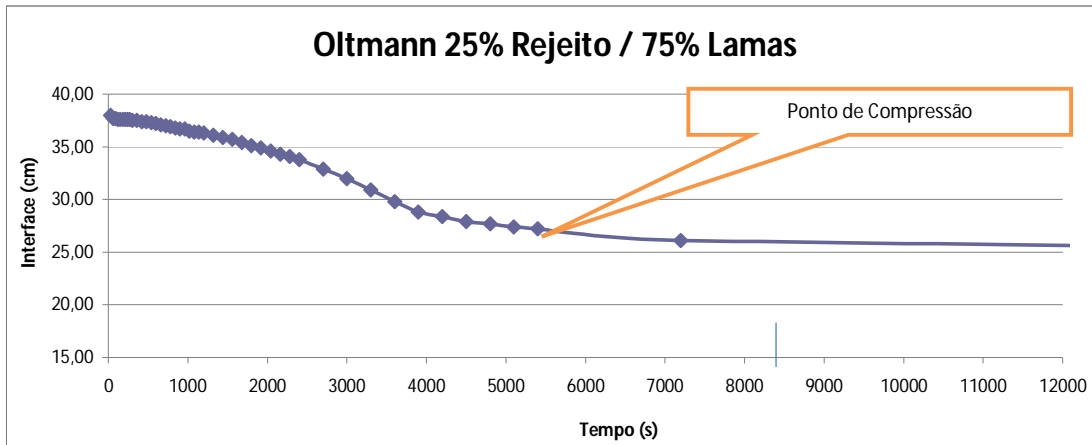
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,7950
0,3800
1,6261
0,1858



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

8200

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,13

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

7,54

Área Total (m<sup>2</sup>) =

1465,82

Diâmetro (m) =

43,20

Oltmann - Rejeito de Flotação 50% de sólidos

$H_u = Co.Ho / Cu$

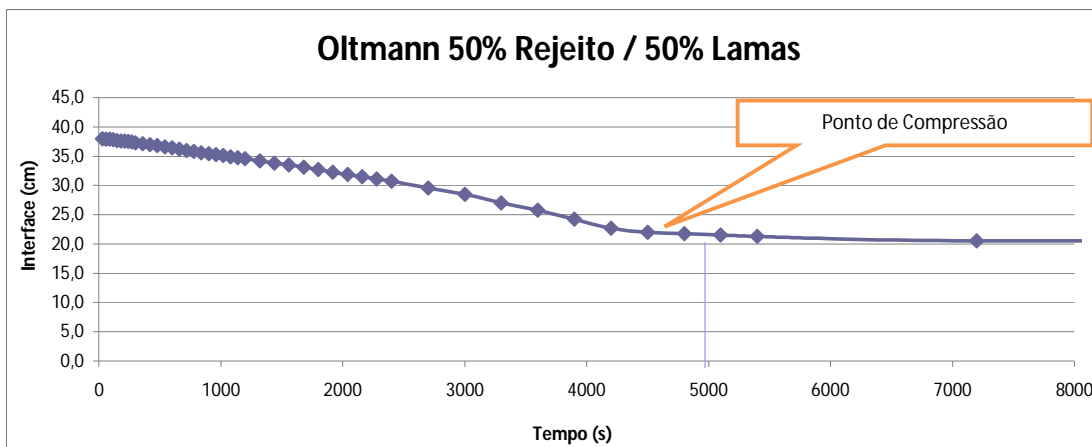
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,7886
0,3800
1,4742
0,2033



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

4950

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

0,22

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

4,55

Área Total (m<sup>2</sup>) =

884,86

Diâmetro (m) =

33,57

Oltmann - 75% Rejeito / 25% Lamas a 20% sólidos

$H_u = Co.Ho / Cu$

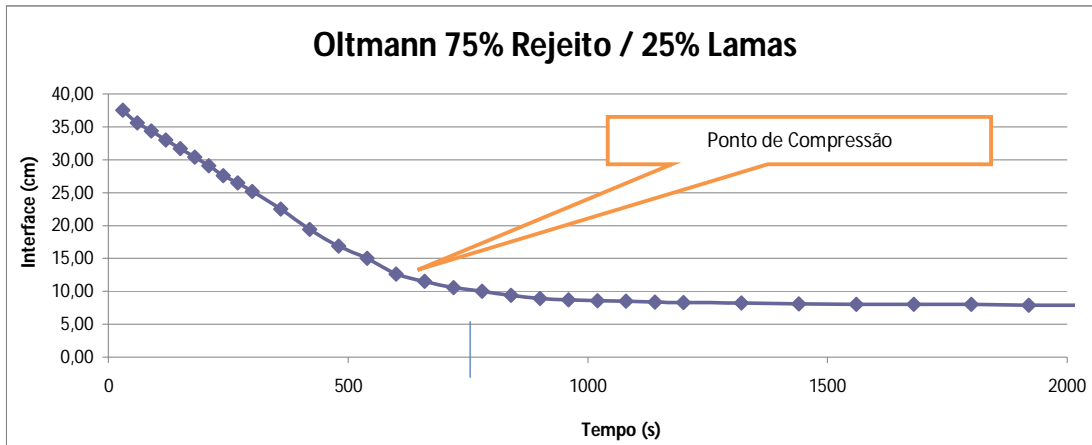
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,2337
0,3750
1,2588
0,0696



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

740

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

0,43
2,35
455,90
24,09

Oltmann - 75% Rejeito / 25% Lamas a 30% sólidos

$H_u = Co.Ho / Cu$

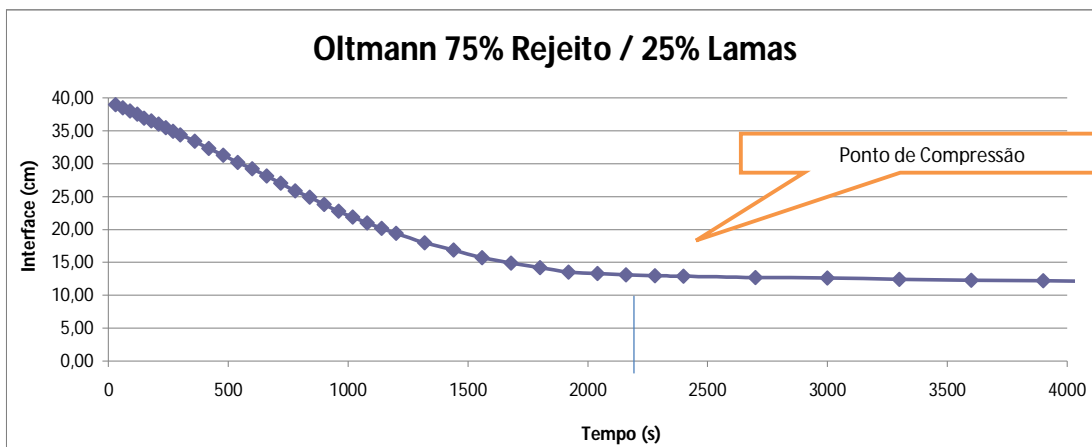
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,3829
0,3900
1,4527
0,1028



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

2200

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

0,24
4,09
795,55
31,83

Oltmann - 75% Rejeito / 25% Lamas a 40% sólidos

$H_u = Co.Ho / Cu$

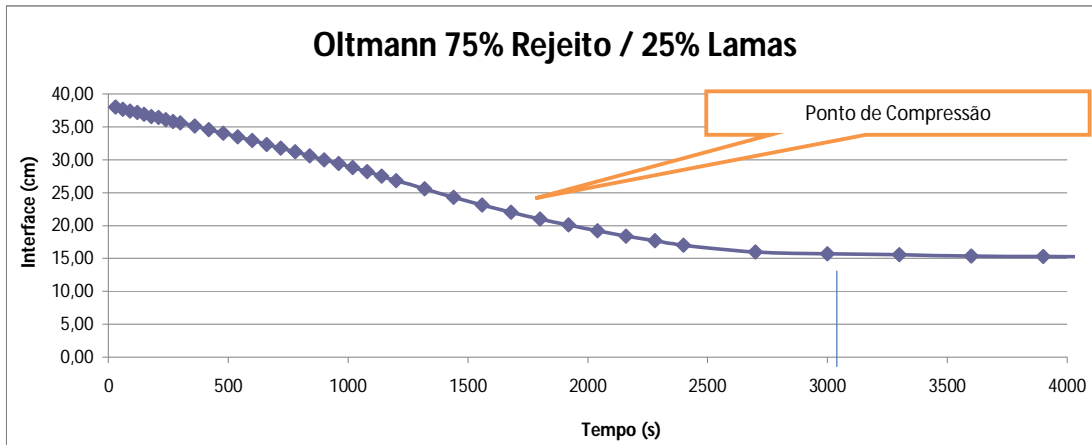
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,5623
0,3800
1,5118
0,1413



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

3050

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

Diâmetro (m) =

0,25
3,96
770,76
31,33

Oltmann - 75% Rejeito / 25% Lamas a 50% sólidos

$H_u = Co.Ho / Cu$

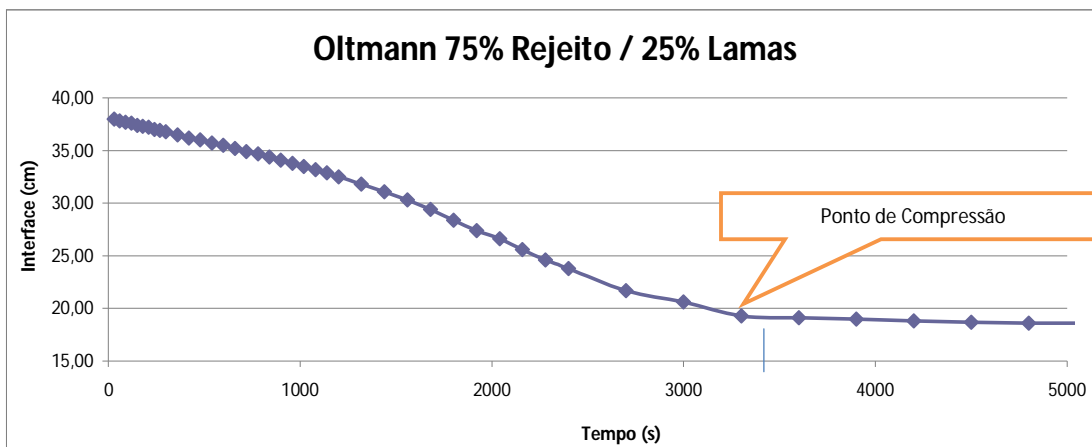
Co = concentração inicial de sólidos (t/m<sup>3</sup>)

Ho = altura da polpa no início do teste (m)

Cu = concentração de sólidos para o underflow (t/m<sup>3</sup>)

Hu = Altura da interface para a concentração Cu (m)

0,7823
0,3800
1,6062
0,1851



$G = Co.Ho / Tu$

Tu = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (Cu)

Tu encontrado no gráfico (s)

3400

$G$  (t/h/m<sup>2</sup>) =

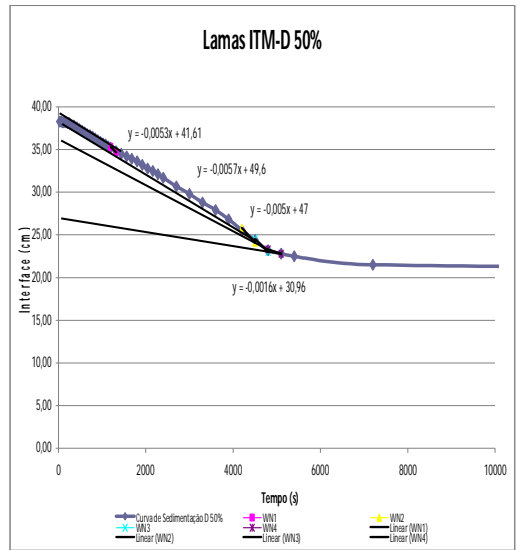
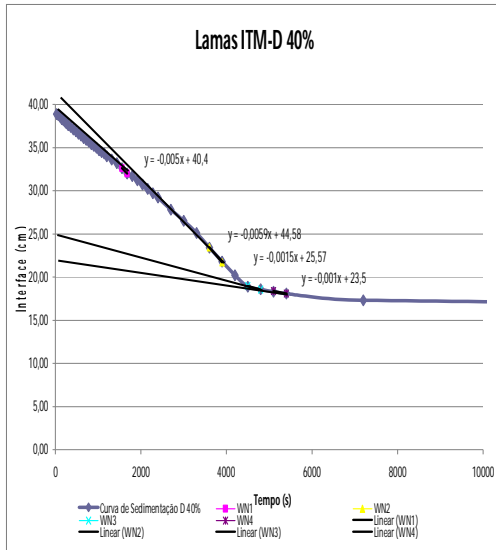
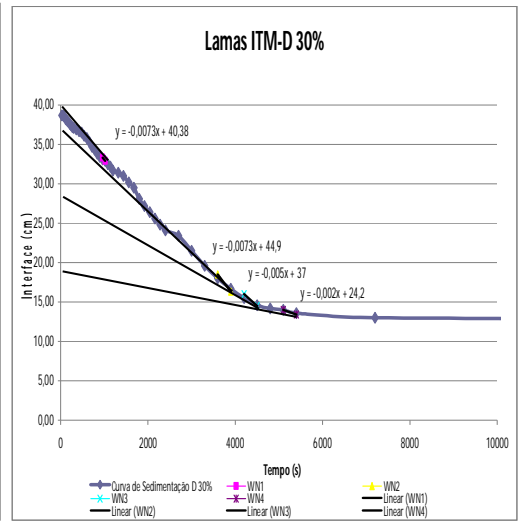
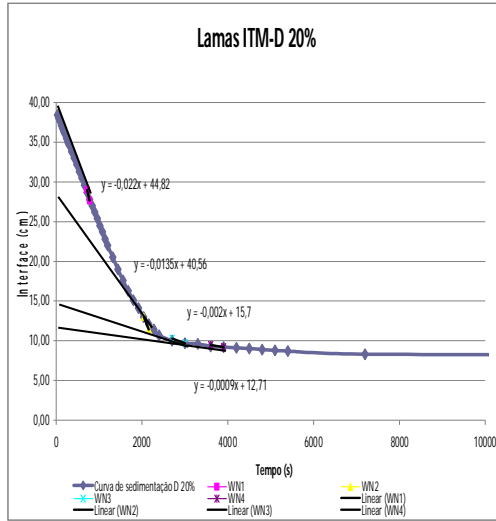
Área unitária (m<sup>2</sup>/t/h) =

Área Total (m<sup>2</sup>) =

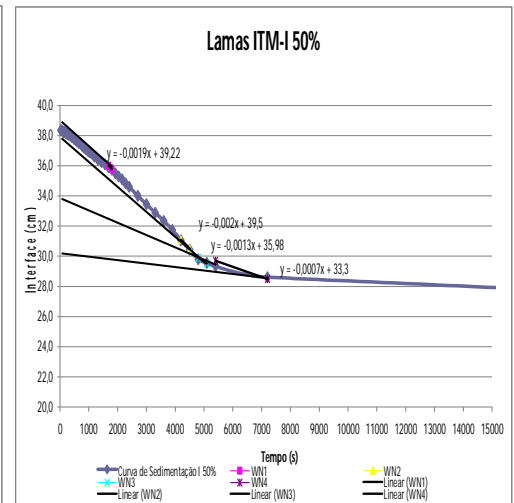
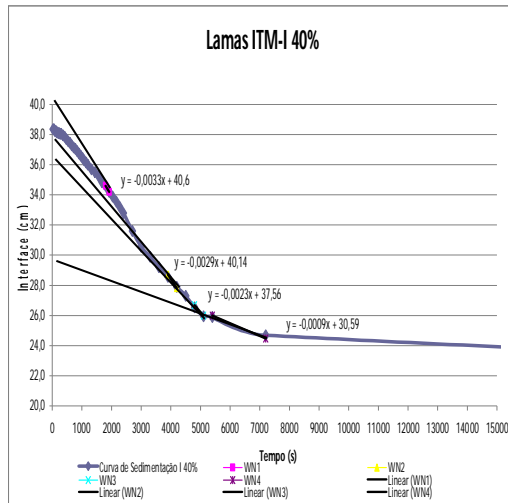
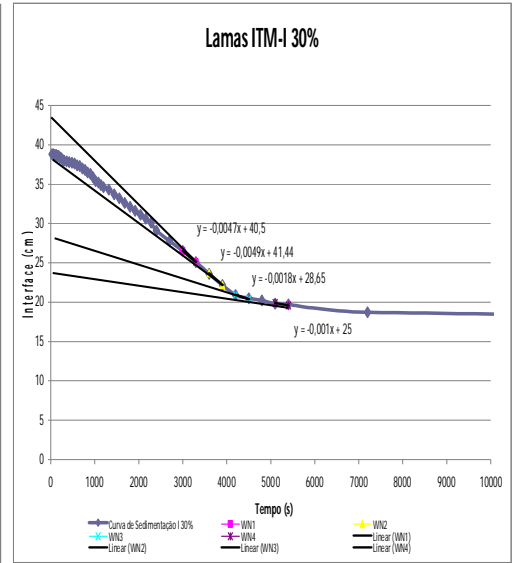
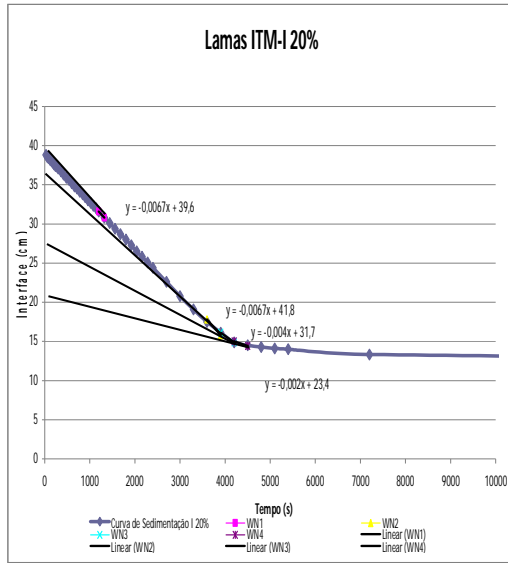
Diâmetro (m) =

0,31
3,18
617,63
28,04

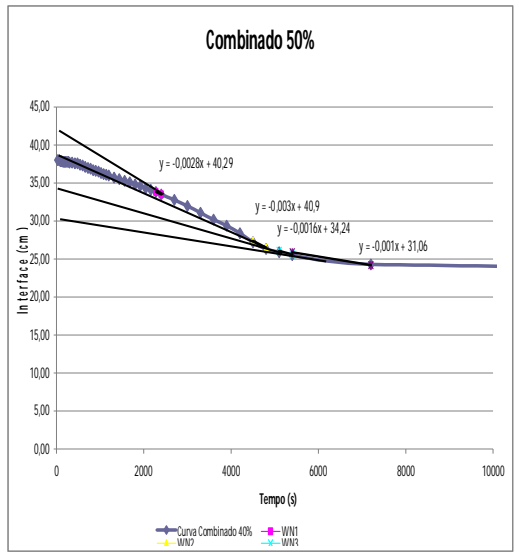
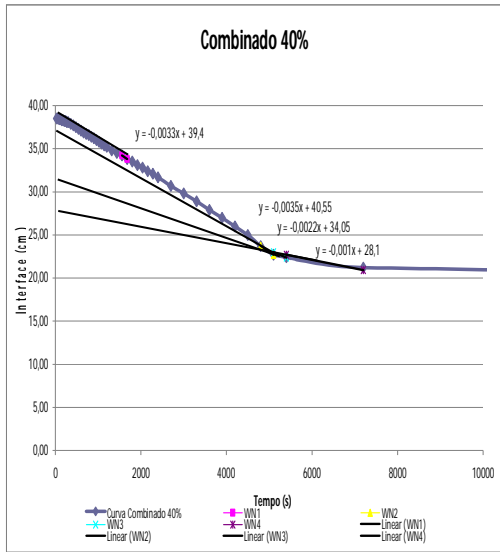
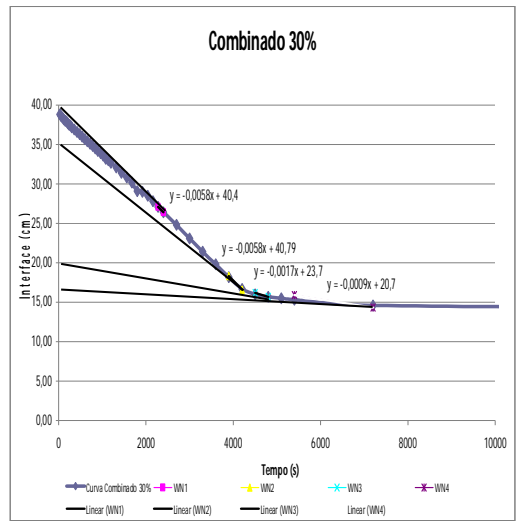
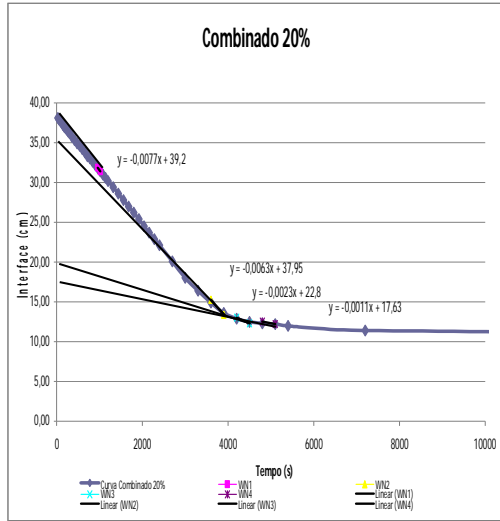
Lamas ITM-D						
T (min)	T (s)	20%	30%	40%	50%	60%
		(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)
		h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)
0,5	30	38,40	38,70	38,90	38,30	28,98
1	60	38,00	38,70	38,80	38,30	27,66
1,5	90	37,60	38,50	38,70	38,20	33,34
2	120	37,10	38,20	38,50	38,20	32,90
2,5	150	36,70	38,00	38,30	38,20	32,60
3	180	36,30	37,80	38,20	38,20	32,00
3,5	210	36,00	37,60	38,10	38,10	35,31
4	240	35,50	37,40	37,90	38,10	34,68
4,5	270	35,00	37,20	37,80	38,00	
5	300	34,70	37,10	37,60	37,90	
6	360	33,80	36,90	37,40	37,80	
7	420	33,00	36,70	37,10	37,60	13,02
8	480	32,20	36,50	36,90	37,40	11,40
9	540	31,30	36,10	36,60	37,20	18,50
10	600	30,50	35,80	36,40	37,00	16,30
11	660	29,60	35,30	36,10	36,80	23,46
12	720	28,70	34,70	35,90	36,70	21,70
13	780	27,80	34,30	35,70	36,50	25,80
14	840	27,00	33,80	35,40	36,30	24,10
15	900	26,20	33,40	35,20	36,10	
16	960	25,40	33,10	35,00	35,90	
17	1020	24,50	32,90	34,70	35,70	
18	1080	23,70	32,50	34,50	35,60	10,30
19	1140	22,80	32,20	34,30	35,40	9,70
20	1200	22,00	31,70	34,00	35,20	16,00
22	1320	20,50	31,40	33,60	34,80	14,50
24	1440	19,00	31,00	33,20	34,50	18,97
26	1560	17,60	30,20	32,60	34,20	18,53
28	1680	16,30	29,50	32,00	33,90	24,50
30	1800	15,10	28,10	31,70	33,60	23,00
32	1920	14,10	27,20	31,20	33,20	
34	2040	13,00	26,40	30,70	32,80	
36	2160	12,10	25,60	30,20	32,50	
38	2280	11,40	24,80	29,70	32,10	
40	2400	10,70	24,10	29,20	31,70	
45	2700	10,00	23,40	27,80	30,70	9,47
50	3000	9,70	21,50	26,50	29,80	9,20
55	3300	9,60	19,60	25,10	28,80	14,00
60	3600	9,30	18,00	23,40	27,90	13,40
65	3900	9,20	16,70	21,80	26,80	18,40
70	4200	9,10	15,50	20,20	25,50	18,10
75	4500	9,00	14,60	18,90	24,40	23,28
80	4800	8,90	14,20	18,60	23,20	22,80
85	5100	8,80	14,00	18,30	22,80	
90	5400	8,70	13,60	18,10	22,50	
120	7200	8,30	13,00	17,30	21,50	
1440	86400	6,80	10,20	13,50	17,10	



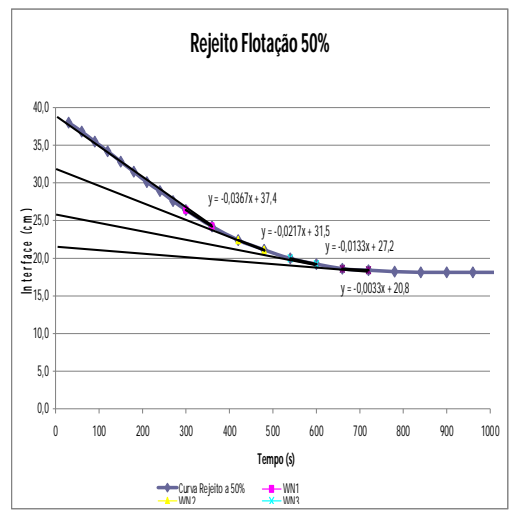
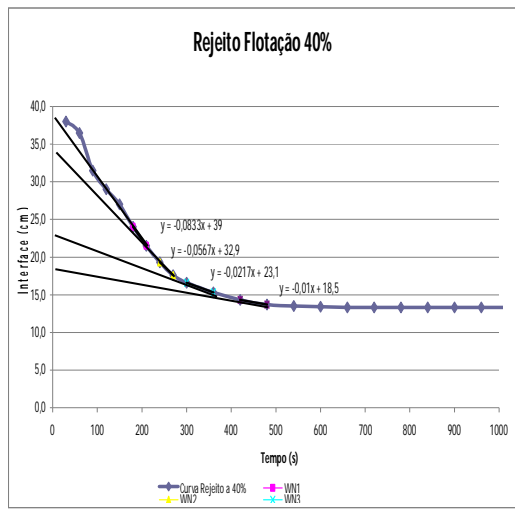
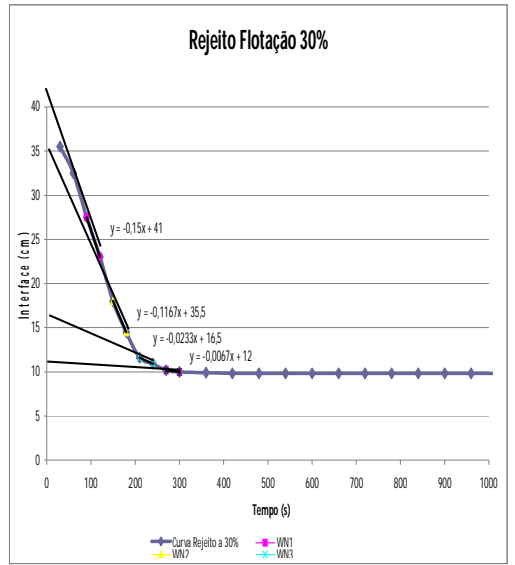
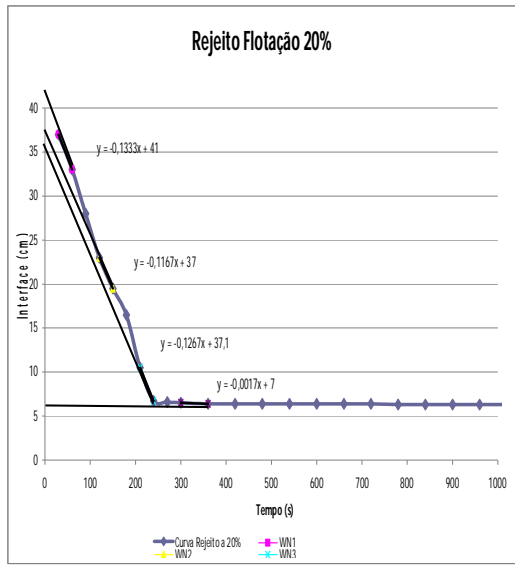
Lamas ITM-I						
T (min)	T (s)	20%	30%	40%	50%	60%
		(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)
		h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)
0,5	30	38,8	38,8	38,4	38,4	<b>31,60</b>
1	60	38,5	38,8	38,4	38,4	<b>30,80</b>
1,5	90	38,4	38,7	38,3	38,3	<b>26,50</b>
2	120	38,2	38,7	38,3	38,3	<b>25,10</b>
2,5	150	38	38,6	38,2	38,3	<b>34,60</b>
3	180	37,8	38,6	38,2	38,3	<b>34,20</b>
3,5	210	37,6	38,4	38,1	38,2	<b>36,00</b>
4	240	37,4	38,3	38,1	38,2	<b>35,77</b>
4,5	270	37,3	38,1	38,1	38,1	
5	300	37,1	38	38,1	38,1	
6	360	36,7	37,9	38,0	38,0	
7	420	36,3	37,8	37,9	37,9	<b>17,80</b>
8	480	35,9	37,7	37,7	37,8	<b>15,80</b>
9	540	35,6	37,6	37,6	37,7	<b>23,68</b>
10	600	35,2	37,4	37,5	37,6	<b>22,20</b>
11	660	34,8	37,3	37,3	37,5	<b>28,70</b>
12	720	34,5	37	37,2	37,5	<b>27,82</b>
13	780	34,1	36,8	37,1	37,3	<b>31,10</b>
14	840	33,8	36,5	36,9	37,2	<b>30,50</b>
15	900	33,4	36,3	36,8	37,1	
16	960	33	36,9	36,6	37,0	
17	1020	32,7	36,4	36,5	36,9	
18	1080	32,3	36,2	36,3	36,9	<b>16,10</b>
19	1140	32,0	36,0	36,2	36,8	<b>14,90</b>
20	1200	31,60	34,60	36,0	36,6	<b>20,95</b>
22	1320	30,80	34,30	35,7	36,4	<b>20,40</b>
24	1440	30,10	33,70	35,5	36,3	<b>26,68</b>
26	1560	29,40	33,20	35,3	36,1	<b>26,00</b>
28	1680	28,70	32,60	34,9	35,9	<b>29,90</b>
30	1800	28,00	32,10	34,6	35,8	<b>29,52</b>
32	1920	27,30	31,60	34,2	35,5	
34	2040	26,50	31,10	33,9	35,3	
36	2160	25,80	30,60	33,6	35,1	
38	2280	25,10	30,10	33,2	34,9	
40	2400	24,40	29,10	32,8	34,6	
45	2700	22,60	27,80	31,6	34,0	<b>15,00</b>
50	3000	20,80	26,50	30,6	33,5	<b>14,40</b>
55	3300	19,10	25,10	29,9	32,9	<b>19,90</b>
60	3600	17,50	23,60	29,2	32,4	<b>19,60</b>
65	3900	16,10	22,20	28,6	31,8	<b>26,00</b>
70	4200	14,90	20,90	27,9	31,1	<b>24,47</b>
75	4500	14,50	20,50	27,3	30,5	<b>29,70</b>
80	4800	14,30	20,20	26,6	29,8	<b>28,50</b>
85	5100	14,10	19,80	26,0	29,6	
90	5400	14,00	19,70	25,9	29,4	
120	7200	13,30	18,70	24,7	28,6	
1440	8640	8,50	12,80	17,5	22,1	



Combinado						
T (min)	T (s)	20%	30%	40%	50%	60%
		(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)
		h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)
0.5	30	38,10	38,80	38,50	38,00	31,84
1	60	37,90	38,60	38,50	38,00	31,38
1.5	90	37,70	38,40	38,40	37,90	15,27
2	120	37,50	38,20	38,40	37,90	13,38
2.5	150	37,20	38,00	38,30	37,80	13,00
3	180	37,00	37,90	38,30	37,80	12,30
3.5	210	36,80	37,70	38,20	37,80	12,51
4	240	36,60	37,50	38,20	37,80	12,19
4.5	270	36,40	37,40	38,10	37,80	
5	300	36,20	37,20	38,10	37,70	
6	360	35,70	36,90	37,90	37,70	
7	420	35,30	36,60	37,70	37,60	27,10
8	480	34,90	36,30	37,50	37,60	26,40
9	540	34,60	36,00	37,30	37,40	18,30
10	600	34,20	35,70	37,10	37,30	16,57
11	660	33,80	35,40	36,90	37,10	16,20
12	720	33,30	35,10	36,70	37,00	15,70
13	780	33,00	34,80	36,60	36,90	15,90
14	840	32,60	34,50	36,40	36,70	14,30
15	900	32,20	34,20	36,20	36,60	
16	960	31,80	33,90	36,00	36,50	
17	1020	31,40	33,60	35,80	36,30	
18	1080	31,00	33,20	35,60	36,20	34,20
19	1140	30,60	33,00	35,40	36,10	33,80
20	1200	30,20	32,70	35,20	36,00	23,75
22	1320	29,40	32,10	34,80	35,70	22,70
24	1440	28,60	31,40	34,50	35,50	23,00
26	1560	27,80	30,80	34,20	35,30	22,35
28	1680	27,00	30,20	33,80	35,10	22,70
30	1800	26,20	29,10	33,50	34,80	20,90
32	1920	25,40	29,00	33,10	34,60	
34	2040	24,50	28,50	32,80	34,30	
36	2160	23,70	27,80	32,40	34,10	
38	2280	22,90	27,10	32,10	33,80	
40	2400	22,10	26,40	31,70	33,50	
45	2700	20,10	24,80	30,70	32,80	33,83
50	3000	18,00	23,10	29,80	32,00	33,49
55	3300	16,40	21,40	28,90	31,10	27,40
60	3600	14,90	19,80	27,90	30,20	26,50
65	3900	13,60	18,20	27,00	29,40	26,08
70	4200	12,90	16,70	26,00	28,40	25,60
75	4500	12,50	16,00	25,00	27,20	25,90
80	4800	12,30	15,70	23,70	26,30	24,18
85	5100	12,20	15,50	22,70	25,90	
90	5400	12,00	15,30	22,40	25,50	
120	7200	11,40	14,60	21,20	24,30	
1440	86400	7,80	10,50	15,30	18,40	

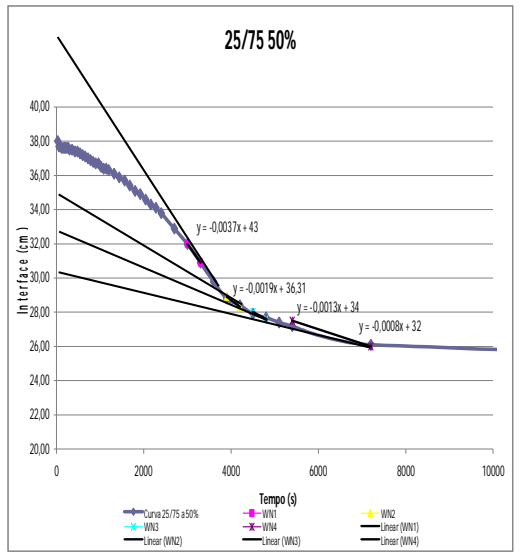
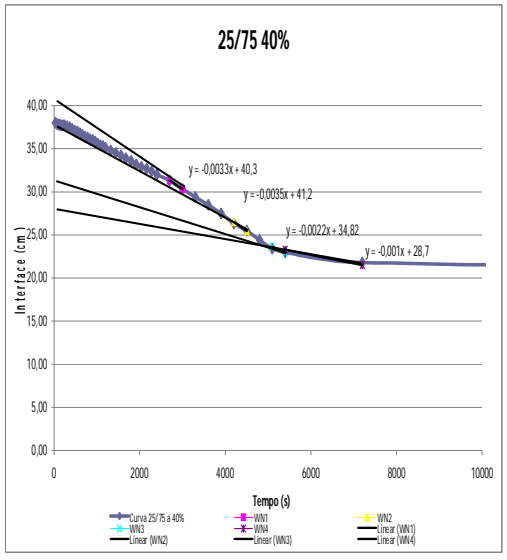
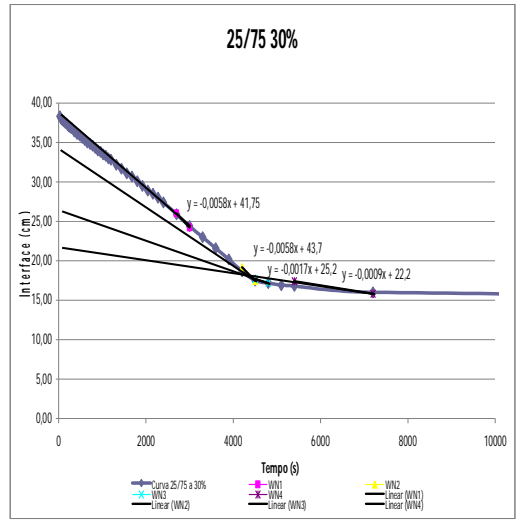
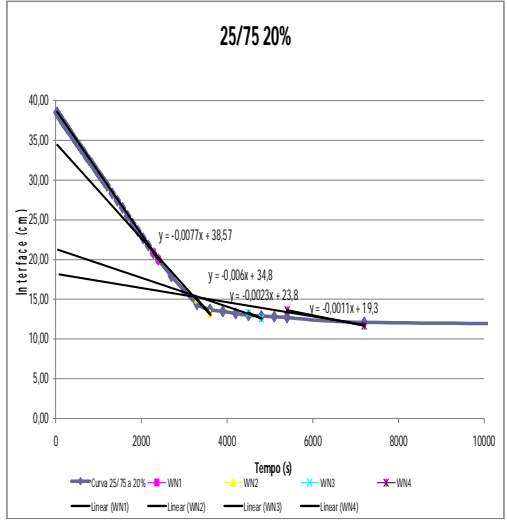


		Rejeito				
		20%	30%	40%	50%	60%
		(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)
T (min)	T (s)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)
0,5	30	37	36,5	38,0	38,0	
1	60	33	32,5	36,5	36,8	
1,5	90	28	27,5	31,5	35,5	
2	120	23	23	29,0	34,2	
2,5	150	19,5	18	27,0	32,8	
3	180	16,5	14,5	24,0	31,5	
3,5	210	10,5	11,6	21,5	30,1	
4	240	6,7	10,9	19,3	28,9	
4,5	270	6,6	10,2	17,6	27,6	
5	300	6,5	10	16,6	26,4	
6	360	6,4	9,9	15,3	24,2	
7	420	6,4	9,8	14,3	22,4	
8	480	6,4	9,8	13,7	21,1	
9	540	6,4	9,8	13,5	20,0	
10	600	6,4	9,8	13,4	19,2	
11	660	6,4	9,8	13,3	18,6	
12	720	6,4	9,8	13,3	18,4	
13	780	6,3	9,8	13,3	18,2	
14	840	6,3	9,8	13,3	18,1	
15	900	6,3	9,8	13,3	18,1	
16	960	6,3	9,8	13,3	18,1	
17	1020	6,3	9,8	13,3	18,1	
18	1080	6,3	9,8	13,3	18,1	
19	1140	6,30	9,80	13,3	18,1	
20	1200	6,30	9,80	13,3	18,1	
22	1320	6,30	9,80	13,3	18,1	
24	1440	6,30	9,80	13,3	18,1	
26	1560	6,30	9,80	13,3	18,0	
28	1680	6,30	9,80	13,3	18,0	
30	1800	6,30	9,80	13,3	18,0	
32	1920	6,30	9,80	13,3	18,0	
34	2040	6,30	9,80	13,3	18,0	
36	2160	6,30	9,80	13,3	18,0	
38	2280	6,30	9,80	13,3	18,0	
40	2400	6,30	9,80	13,3	18,0	
45	2700	6,30	9,80	13,3	18,0	
50	3000	6,30	9,80	13,3	18,0	
55	3300	6,30	9,80	13,3	18,0	
60	3600	6,30	9,80	13,3	18,0	
65	3900	6,30	9,80	13,3	18,0	
70	4200	6,30	9,80	13,3	18,0	
75	4500	6,30	9,80	13,3	18,0	
80	4800	6,30	9,80	13,3	18,0	
85	5100	6,30	9,80	13,3	18,0	
90	5400	6,30	9,80	13,3	18,0	
120	7200	6,30	9,80	13,3	18,0	
140	86400	6,10	9,70	12,9	16,7	

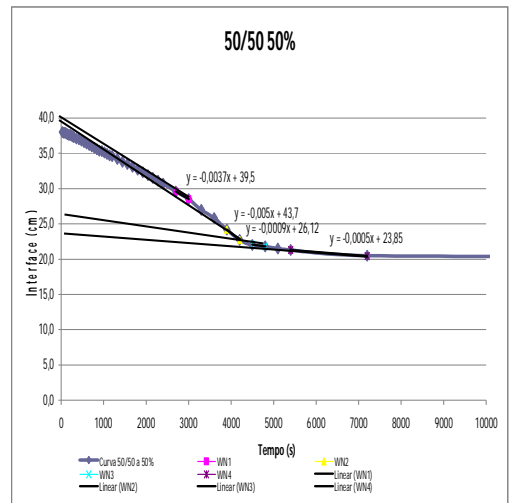
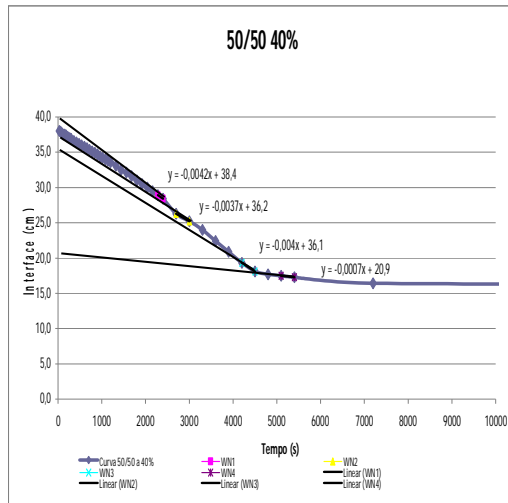
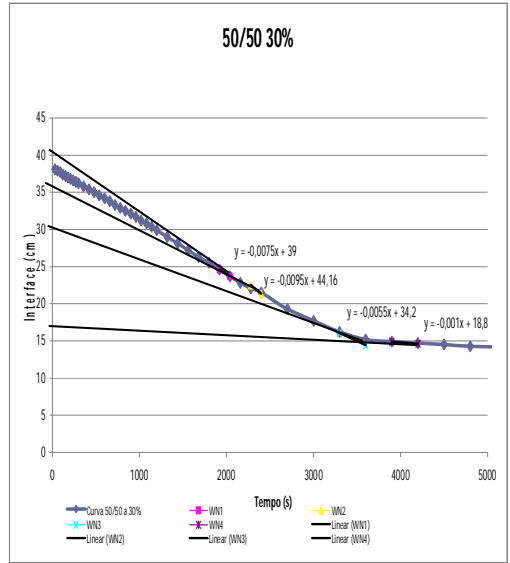
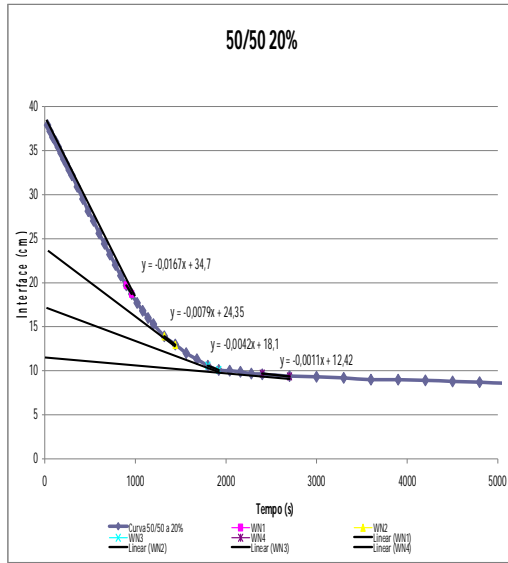




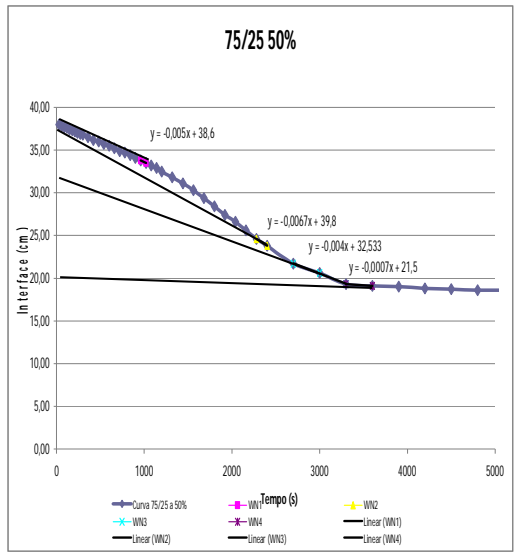
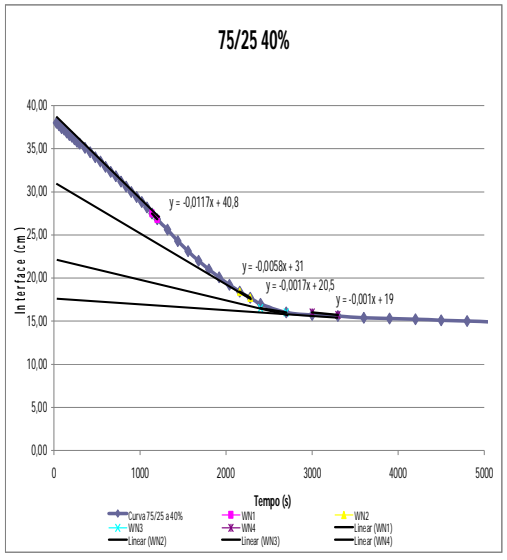
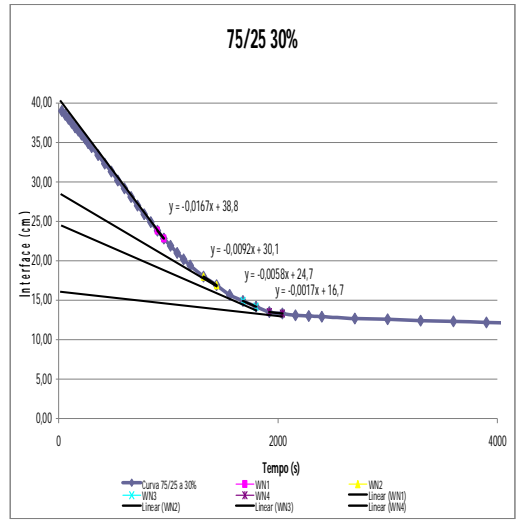
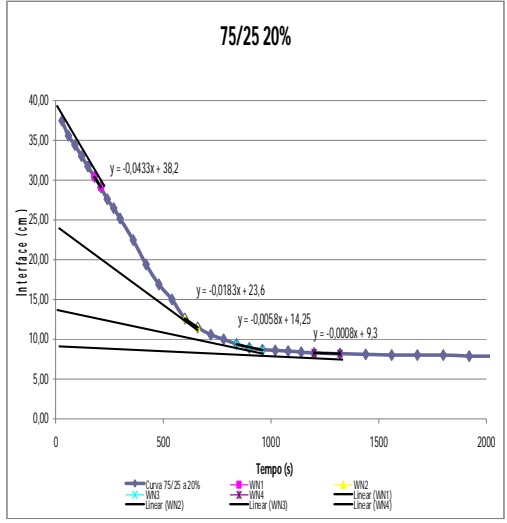
25% Rejeito / 75% Lamas						
T (min)	T (s)	20%	30%	40%	50%	60%
		(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)
		h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)
0.5	30	38,50	38,30	38,00	38,00	20,90
1	60	38,20	38,00	37,90	37,70	19,97
1.5	90	38,00	37,80	37,80	37,70	15,00
2	120	37,70	37,70	37,80	37,60	13,20
2.5	150	37,50	37,50	37,70	37,60	13,30
3	180	37,20	37,40	37,70	37,60	12,60
3.5	210	37,00	37,20	37,70	37,60	13,60
4	240	36,80	37,00	37,70	37,60	11,70
4.5	270	36,50	36,90	37,60	37,60	
5	300	36,30	36,80	37,60	37,50	
6	360	35,80	36,40	37,50	37,50	
7	420	35,30	36,10	37,30	37,40	26,00
8	480	34,80	35,90	37,10	37,40	24,25
9	540	34,40	35,60	37,00	37,30	19,20
10	600	33,90	35,33	36,80	37,20	17,45
11	660	33,50	35,00	36,60	37,10	17,70
12	720	32,90	34,80	36,40	37,00	17,20
13	780	32,50	34,60	36,30	36,90	17,40
14	840	32,10	34,30	36,10	36,80	15,80
15	900	31,60	34,00	36,00	36,70	
16	960	31,10	33,80	35,80	36,70	
17	1020	30,60	33,50	35,60	36,50	
18	1080	30,20	33,30	35,40	36,40	31,30
19	1140	29,70	33,00	35,30	36,40	30,30
20	1200	29,30	32,80	35,10	36,30	26,50
22	1320	28,30	32,20	34,80	36,10	25,45
24	1440	27,43	31,70	34,50	35,90	23,60
26	1560	26,50	31,10	34,20	35,70	22,94
28	1680	25,50	30,70	33,90	35,40	23,30
30	1800	24,50	30,10	33,60	35,10	21,50
32	1920	23,60	29,50	33,20	34,90	
34	2040	22,70	28,90	32,90	34,60	
36	2160	21,80	28,50	32,70	34,30	
38	2280	20,80	28,00	32,40	34,10	
40	2400	20,00	27,40	32,00	33,80	
46	2700	17,90	25,90	31,30	32,90	32,00
50	3000	16,10	24,40	30,30	32,00	30,90
55	3300	14,40	23,00	29,40	30,90	28,90
60	3600	13,70	21,60	28,50	29,80	28,33
66	3900	13,50	20,20	27,50	28,80	28,00
70	4200	13,20	18,70	26,30	28,40	27,60
75	4500	13,00	17,50	25,50	27,90	27,50
80	4800	12,90	17,20	24,40	27,70	26,00
85	5100	12,80	16,90	23,40	27,40	
90	5400	12,70	16,80	23,00	27,20	
120	7200	12,10	16,00	21,80	26,10	
1440	86400	8,30	11,30	15,10	18,80	



50% Rejeito / 50% Lamas						
T (min)	T (s)	20%	30%	40%	50%	60%
		(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)
		h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)
0,5	30	37,9	38,1	38,0	38,0	19,70
1	60	37,2	37,9	37,9	37,9	18,70
1,5	90	36,5	37,7	37,7	37,9	13,90
2	120	36	37,4	37,5	37,8	12,95
2,5	150	35,4	37,2	37,5	37,7	10,60
3	180	34,7	37	37,4	37,6	10,10
3,5	210	34	36,8	37,2	37,6	9,70
4	240	33,5	36,6	37,1	37,5	9,36
4,5	270	32,8	36,4	37,0	37,4	
5	300	32,2	36,2	36,9	37,3	
6	360	30,9	35,8	36,6	37,1	
7	420	29,5	35,4	36,4	37,0	24,60
8	480	28,1	35	36,2	36,8	23,70
9	540	27	34,6	36,0	36,6	22,50
10	600	25,6	34,2	35,8	36,4	21,36
11	660	24,4	33,8	35,6	36,2	16,05
12	720	23,2	33,3	35,3	36,0	14,40
13	780	22	32,9	35,1	35,8	14,90
14	840	20,8	32,5	34,9	35,6	14,60
15	900	19,7	32,1	34,7	35,4	
16	960	18,7	31,7	34,4	35,3	
17	1020	17,7	31,2	34,2	35,1	
18	1080	16,8	30,8	34,0	34,9	28,90
19	1140	16,00	30,40	33,8	34,7	28,40
20	1200	15,30	29,90	33,6	34,6	26,30
22	1320	13,90	29,00	33,1	34,2	25,20
24	1440	13,00	28,10	32,5	33,8	19,30
26	1560	12,00	27,20	32,1	33,5	18,10
28	1680	11,30	26,30	31,6	33,1	17,50
30	1800	10,60	25,50	31,0	32,7	17,30
32	1920	10,10	24,60	30,5	32,3	
34	2040	10,00	23,70	30,0	31,9	
36	2160	9,90	22,80	29,5	31,5	
38	2280	9,70	22,10	28,9	31,1	
40	2400	9,60	21,50	28,4	30,7	
45	2700	9,40	19,30	26,3	29,6	29,60
50	3000	9,30	17,70	25,2	28,5	28,50
55	3300	9,20	16,20	24,0	27,0	24,20
60	3600	9,00	15,20	22,4	25,8	22,70
65	3900	9,00	14,90	20,9	24,2	22,07
70	4200	8,90	14,70	19,3	22,7	21,80
75	4500	8,80	14,50	18,1	22,0	21,30
80	4800	8,70	14,30	17,7	21,8	20,45
85	5100	8,60	14,20	17,5	21,5	
90	5400	8,60	14,10	17,3	21,3	20,90
120	7200	8,30	13,50	16,4	20,5	20,50
140	8640	7,00	10,80	13,9	17,9	



75% Rejeito / 25% Lamas						
T (min)	T (s)	20%	30%	40%	50%	60%
		(massa)	(massa)	(massa)	(massa)	(massa)
		h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)	h (cm)
0,5	30	37,50	39,00	38,00	38,00	
1	60	36,60	38,50	37,70	37,80	
1,5	90	34,40	38,00	37,40	37,70	
2	120	33,00	37,50	37,20	37,60	
2,5	150	31,70	36,90	36,90	37,40	
3	180	30,40	36,50	36,60	37,30	
3,5	210	29,10	36,00	36,40	37,20	
4	240	27,60	35,50	36,10	37,00	
4,5	270	26,50	34,90	35,80	36,90	
5	300	25,20	34,40	35,60	36,80	
6	360	22,50	33,40	35,10	36,50	
7	420	19,40	32,30	34,60	36,20	
8	480	16,90	31,30	34,00	36,00	
9	540	15,00	30,20	33,50	35,70	
10	600	12,60	29,20	32,90	35,50	
11	660	11,50	28,10	32,30	35,20	
12	720	10,60	27,00	31,80	34,90	
13	780	10,00	25,90	31,20	34,70	
14	840	9,40	24,90	30,60	34,40	
15	900	8,90	23,80	30,00	34,10	
16	960	8,70	22,80	29,40	33,80	
17	1020	8,60	21,90	28,80	33,50	
18	1080	8,50	21,00	28,20	33,20	
19	1140	8,40	20,20	27,50	32,90	
20	1200	8,30	19,40	26,80	32,50	
22	1320	8,20	18,00	25,60	31,80	
24	1440	8,10	16,90	24,30	31,10	
26	1560	8,00	15,70	23,10	30,30	
28	1680	8,00	14,90	22,00	29,40	
30	1800	8,00	14,20	21,00	28,40	
32	1920	7,90	13,50	20,10	27,40	
34	2040	7,90	13,30	19,20	26,60	
36	2160	7,80	13,10	18,40	25,60	
38	2280	7,80	13,00	17,70	24,60	
40	2400	7,80	12,90	17,00	23,80	16,50
46	2700	7,70	12,70	16,00	21,70	16,00
50	3000	7,60	12,60	15,70	20,60	
55	3300	7,50	12,40	15,60	19,30	
60	3600	7,40	12,30	15,40	19,10	
66	3900	7,40	12,20	15,30	19,00	
70	4200	7,30	12,10	15,20	18,80	
75	4500	7,30	12,00	15,10	18,70	
80	4800	7,30	12,00	15,00	18,60	
85	5100	7,20	11,90	14,90	18,60	
90	5400	7,20	11,80	14,80	18,50	
120	7200	7,10	11,50	14,40	18,20	
1440	86400	7,10	10,70	13,40	17,40	



Dimensionamento para o Método Wilhelm&Naide

Lamas ITM-D								
% sólidos	20%		30%		40%		50%	
WN1 (cm/s)/Ci	0,0220	0,1714	0,0073	0,2875	0,0050	0,3851	0,0053	0,4602
WN2(cm/s)/Ci	0,0135	0,1893	0,0083	0,2586	0,0059	0,3490	0,0057	0,3861
WN3(cm/s)/Ci	0,0020	0,4892	0,0050	0,3138	0,0015	0,6085	0,0050	0,4074
WN4(cm/s)/Ci	0,0009	0,6042	0,0021	0,4798	0,0010	0,6621	0,0016	0,6185
Lamas ITM-I								
% sólidos	20%		30%		40%		50%	
WN1 (cm/s)/Ci	0,0067	0,1960	0,0047	0,2874	0,0033	0,3778	0,0019	0,4889
WN2(cm/s)/Ci	0,0067	0,1856	0,0049	0,2809	0,0029	0,3822	0,0020	0,4854
WN3(cm/s)/Ci	0,0040	0,2448	0,0018	0,4063	0,0023	0,4084	0,0013	0,5329
WN4(cm/s)/Ci	0,0020	0,3316	0,0010	0,4656	0,0009	0,5015	0,0007	0,5758
Combinado								
% sólidos	20%		30%		40%		50%	
WN1 (cm/s)/Ci	0,0077	0,1944	0,0058	0,2881	0,0033	0,3909	0,0028	0,4716
WN2(cm/s)/Ci	0,0063	0,2008	0,0058	0,2854	0,0035	0,3798	0,0030	0,4645
WN3(cm/s)/Ci	0,0023	0,3342	0,0017	0,4911	0,0022	0,4100	0,0016	0,5549
WN4(cm/s)/Ci	0,0011	0,4322	0,0009	0,5623	0,0010	0,5034	0,0010	0,6117
25% Rejeito / 75% Lamas								
% sólidos	20%		30%		40%		50%	
WN1 (cm/s)/Ci	0,0067	0,1996	0,0050	0,2752	0,0033	0,3772	0,0037	0,4419
WN2(cm/s)/Ci	0,0043	0,2213	0,0045	0,2629	0,0027	0,3689	0,0019	0,5233
WN3(cm/s)/Ci	0,0013	0,3235	0,0016	0,4560	0,0017	0,4365	0,0013	0,5588
WN4(cm/s)/Ci	0,0006	0,3990	0,0006	0,5176	0,0006	0,5296	0,0008	0,5938
50% Rejeito / 50% Lamas								
% sólidos	20%		30%		40%		50%	
WN1 (cm/s)/Ci	0,0167	0,2184	0,0075	0,2931	0,0042	0,3958	0,0037	0,4810
WN2(cm/s)/Ci	0,0079	0,3113	0,0095	0,2588	0,0037	0,4199	0,0050	0,4348
WN3(cm/s)/Ci	0,0042	0,4188	0,0055	0,3342	0,0040	0,4211	0,0009	0,7274
WN4(cm/s)/Ci	0,0011	0,6103	0,0010	0,6080	0,0007	0,7273	0,0005	0,7966
75% Rejeito / 25% Lamas								
% sólidos	20%		30%		40%		50%	
WN1 (cm/s)/Ci	0,4330	0,1963	0,0167	0,3015	0,0117	0,3725	0,0050	0,4922
WN2 (cm/s)/Ci	0,0183	0,3178	0,0092	0,3887	0,0058	0,4903	0,0067	0,4774
WN3(cm/s)/Ci	0,0058	0,5263	0,0058	0,4737	0,0017	0,7415	0,0040	0,5841
WN4(cm/s)/Ci	0,0008	0,8065	0,0017	0,7006	0,0010	0,8000	0,0007	0,8837
Rejeito de Flotação								
% sólidos	20%		30%		40%		50%	
WN1 (cm/s)/Ci	0,1333	0,1805	0,1500	0,2598	0,0833	0,3897	0,0367	0,5080
WN2(cm/s)/Ci	0,1167	0,2000	0,1167	0,3000	0,0567	0,4620	0,0217	0,6032
WN3(cm/s)/Ci	0,1267	0,1995	0,0233	0,6455	0,0217	0,6580	0,0133	0,6985
WN4(cm/s)/Ci	0,0017	1,0571	0,0067	0,8875	0,0100	0,8216	0,0033	0,9135

ITM-D	20% de Sólidos	30% de Sólidos	40% de Sólidos	50% de Sólidos
	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>
	106,92	160,50	222,36	313,69
	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>
	38,4	38,7	38,9	38,3
	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>
	8,5	8,5	8,5	8,5
	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>
	4,106	4,106	4,106	4,106
	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>
	439	659	913	1288
	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>
	66,02%	66,30%	67,13%	71,28%
	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>
	0,20	0,30	0,40	0,50
	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>
WN1	44,82	40,38	40,40	41,61
WN2	40,56	44,90	44,58	49,60
WN3	15,70	37,00	25,57	47,00
WN4	12,71	24,2	23,5	30,96
	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>
WN1	0,17	0,29	0,39	0,46
WN2	0,19	0,26	0,35	0,39
WN3	0,49	0,31	0,61	0,41
WN4	0,60	0,48	0,66	0,62

ITM-I	20% de Sólidos	30% de Sólidos	40% de Sólidos	50% de Sólidos
	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>
	91,43	138,75	201,93	302,03
	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>
	38,8	38,8	38,35	38,35
	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>
	8,5	8,5	8,5	8,5
	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>
	4,036	4,036	4,036	4,036
	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>
	369	560	815	1219
	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>
	54,42%	56,39%	59,36%	62,23%
	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>
	0,20	0,30	0,40	0,50
	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>
WN1	39,60	40,50	40,60	39,22
WN2	41,80	41,44	40,14	39,50
WN3	31,70	28,65	37,56	35,98
WN4	23,40	25,00	30,59	33,30
	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>
WN1	0,20	0,29	0,38	0,49
WN2	0,19	0,28	0,38	0,49
WN3	0,24	0,41	0,41	0,53
WN4	0,33	0,47	0,50	0,58

Combinado	20% de Sólidos	30% de Sólidos	40% de Sólidos	50% de Sólidos
	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>
	176,83	246,23	351,94	467,03
	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>
	38,1	38,8	38,5	38,0
	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>
	8,5	8,5	8,5	8,5
	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>
	4,049	4,049	4,049	4,049
	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>
	716	997	1425	1891
	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>
	60,75%	63,29%	65,26%	67,64%
	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>
	0,20	0,30	0,40	0,50
	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>
WN1	39,20	40,40	39,40	40,29
WN2	37,95	40,79	40,55	40,90
WN3	22,80	23,70	37,56	34,24
WN4	17,63	20,70	30,59	31,06
	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>
WN1	0,19	0,29	0,39	0,47
WN2	0,20	0,29	0,38	0,46
WN3	0,33	0,49	0,41	0,55
WN4	0,43	0,56	0,50	0,61

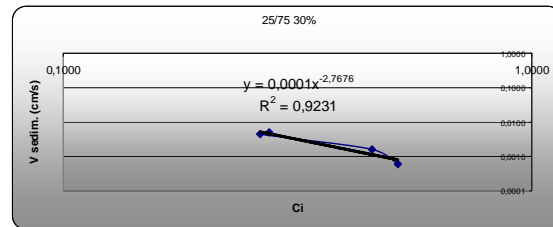
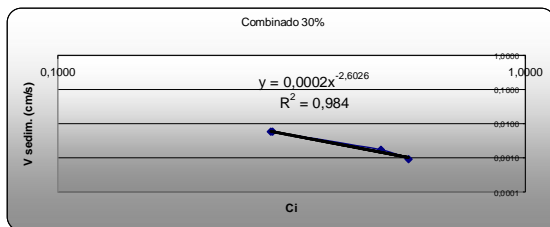
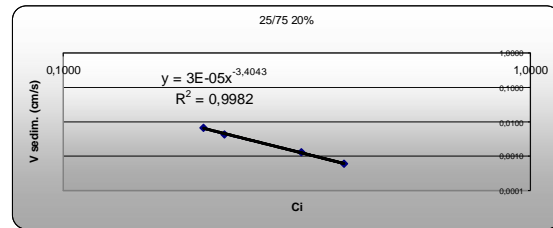
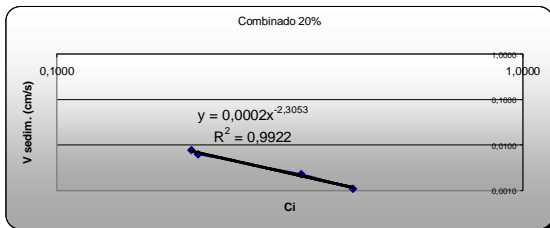
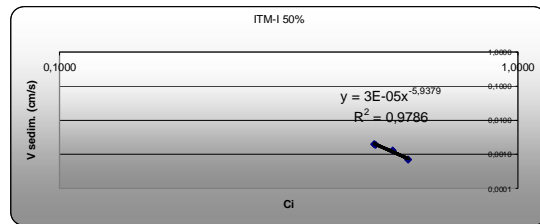
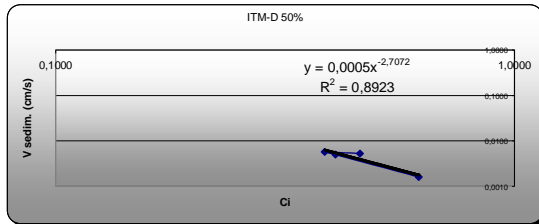
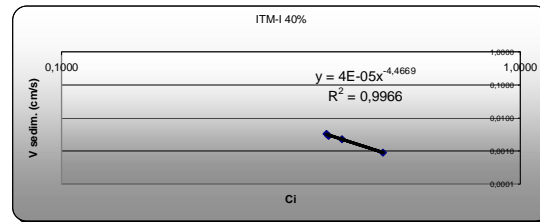
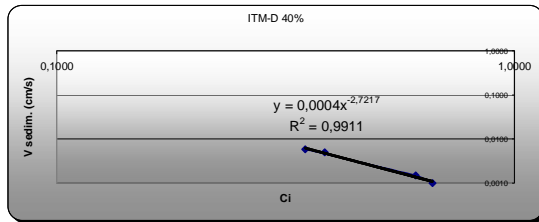
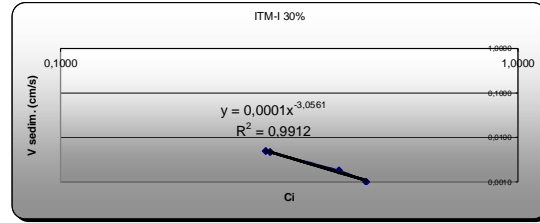
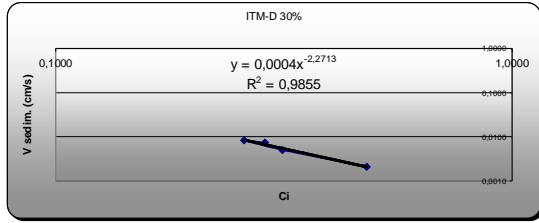
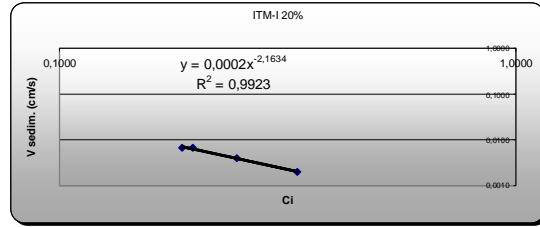
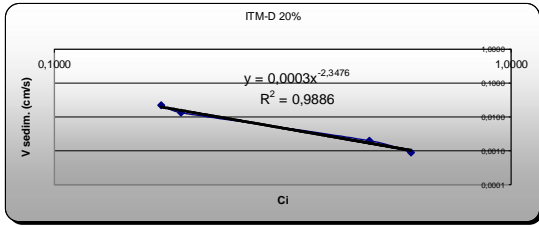
25/75	20% de Sólidos	30% de Sólidos	40% de Sólidos	50% de Sólidos
	<b>Volume de sólidos (cm3)</b>	<b>Volume de sólidos (cm3)</b>	<b>Volume de sólidos (cm3)</b>	<b>Volume de sólidos (cm3)</b>
	182,62	268,51	366,78	462,73
	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>
	38,5	38,3	38	38
	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>
	8,5	8,5	8,5	8,5
	<b>Densidade do Sólido (g/cm3)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm3)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm3)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm3)</b>
	3,877	3,877	3,877	3,877
	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>
	708	1041	1422	1794
	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>
	65,96%	68,11%	71,73%	73,69%
	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>
	0,20	0,30	0,40	0,50
	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>
WN1	38,57	41,75	40,30	43,00
WN2	34,80	43,70	41,20	36,31
WN3	23,80	25,20	34,82	34,00
WN4	19,30	22,20	28,70	32,00
	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>
WN1	0,20	0,28	0,38	0,44
WN2	0,22	0,26	0,37	0,52
WN3	0,32	0,46	0,44	0,56
WN4	0,40	0,52	0,53	0,59

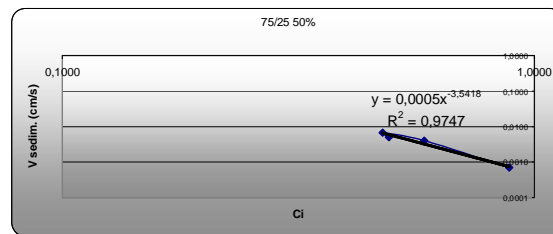
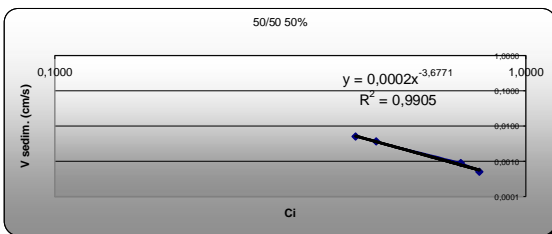
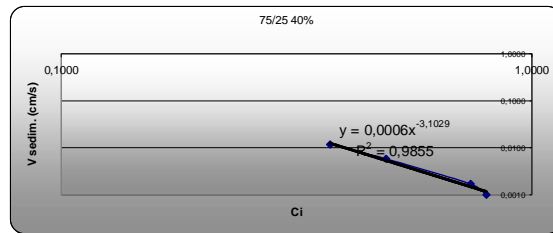
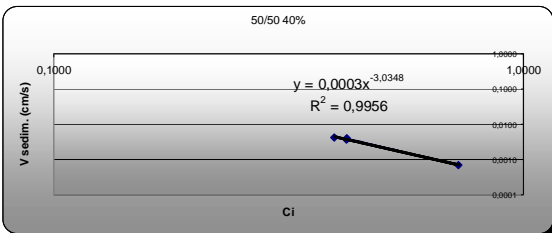
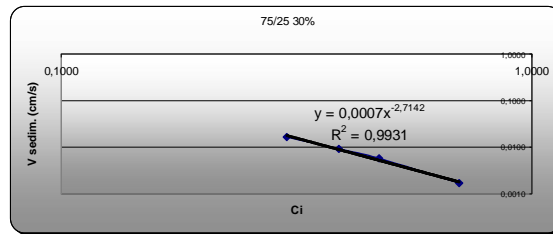
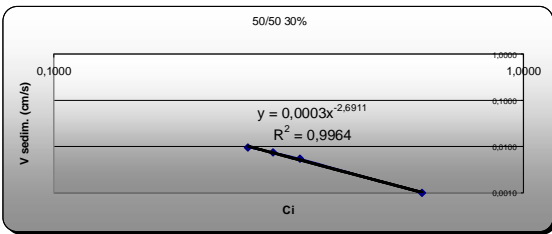
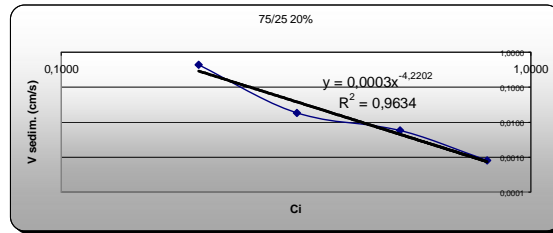
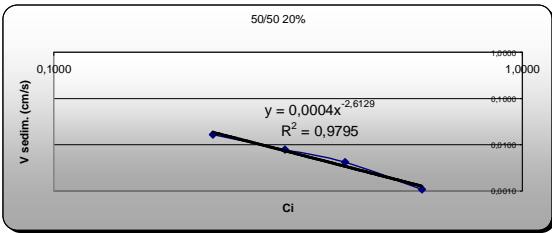
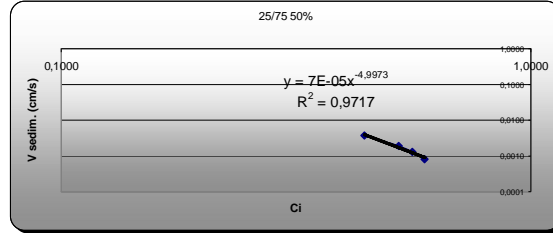
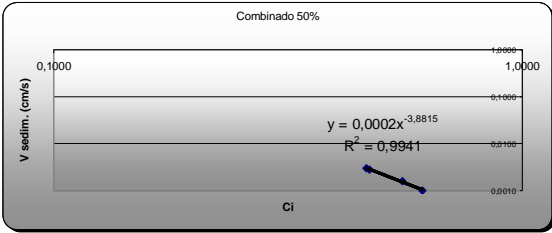
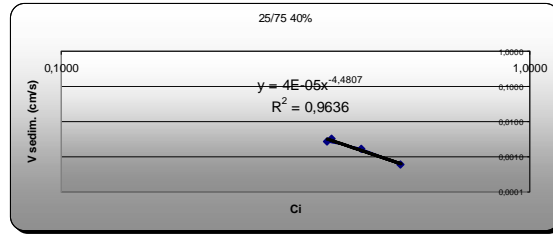
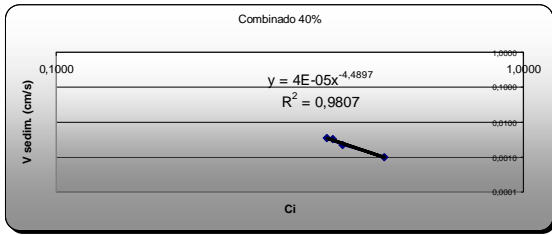


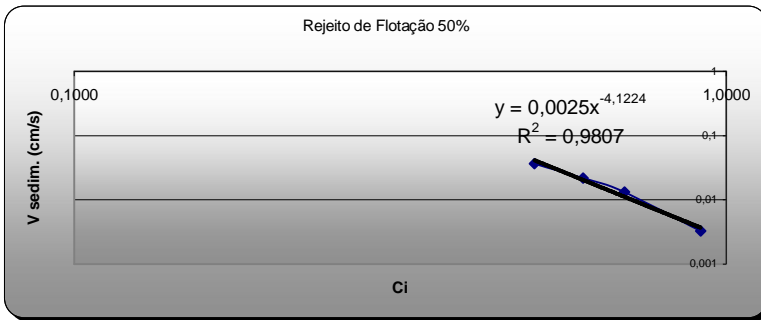
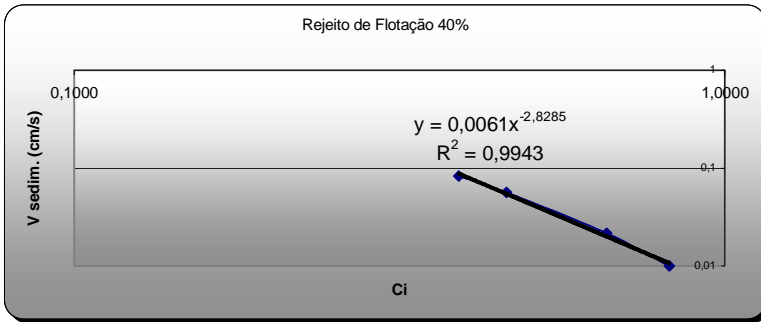
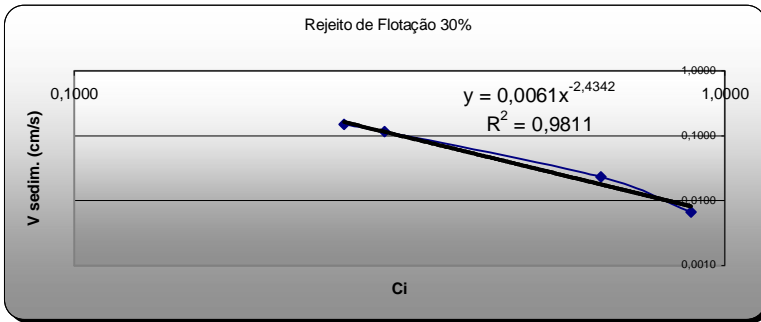
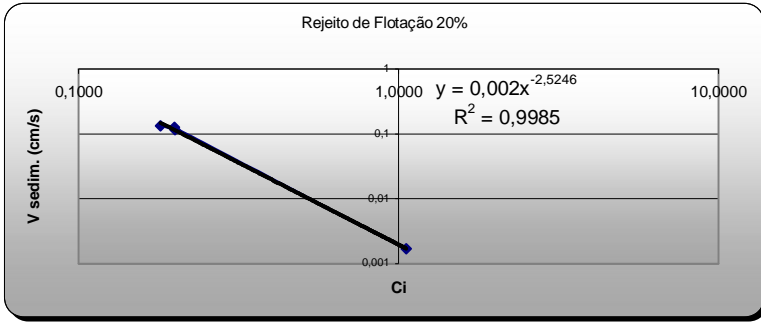
50/50	20% de Sólidos	30% de Sólidos	40% de Sólidos	50% de Sólidos
	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>
	188,47	273,99	395,71	488,47
	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>
	37,9	38,1	38,0	38,0
	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>
	8,5	8,5	8,5	8,5
	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>
	3,730	3,730	3,730	3,730
	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>
	703	1022	1476	1822
	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>
	67,43%	68,59%	68,97%	70,91%
	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>
	0,20	0,30	0,40	0,50
	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>
WN1	34,70	39,00	38,40	39,50
WN2	24,35	44,16	36,20	43,70
WN3	18,10	34,20	36,10	26,12
WN4	12,42	18,80	20,90	23,85
	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>
WN1	0,22	0,29	0,40	0,48
WN2	0,31	0,26	0,42	0,43
WN3	0,42	0,33	0,42	0,73
WN4	0,61	0,61	0,73	0,80

75/25	20% de Sólidos	30% de Sólidos	40% de Sólidos	50% de Sólidos
	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>
	199,55	294,74	411,91	546,62
	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>
	37,5	39,0	38,0	38,0
	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>
	8,5	8,5	8,5	8,5
	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>
	3,593	3,593	3,593	3,593
	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>
	717	1059	1480	1964
	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>
	65,96%	70,92%	72,30%	74,39%
	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>
	0,20	0,30	0,40	0,50
	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>
WN1	38,20	38,80	40,80	38,60
WN2	23,60	30,10	31,00	39,80
WN3	14,25	24,70	20,50	32,53
WN4	9,30	16,70	19,00	21,50
	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>
WN1	0,20	0,30	0,37	0,49
WN2	0,32	0,39	0,49	0,48
WN3	0,53	0,47	0,74	0,58
WN4	0,81	0,70	0,80	0,88

Rejeito	20% de Sólidos	30% de Sólidos	40% de Sólidos	50% de Sólidos
	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de sólidos (cm<sup>3</sup>)</b>
	194,75	296,88	416,91	566,65
	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>	<b>Altura da Polpa (cm)</b>
	37	35,5	38	38
	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>	<b>Diâmetro da Proveta (cm)</b>
	8,5	8,5	8,5	8,5
	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade do Sólido (g/cm<sup>3</sup>)</b>
	3,466	3,466	3,466	3,466
	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>	<b>Massa de Sólido (g)</b>
	675	1029	1445	1964
	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>	<b>% sólidos no UF</b>
	77,13%	77,25%	77,26%	77,29%
	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>	<b>Concentração Inicial C<sub>0</sub></b>
	0,20	0,30	0,40	0,50
	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>	<b>Altura Hi (cm)</b>
WN1	41,00	41,00	39,00	37,40
WN2	37,00	35,50	32,90	31,50
WN3	37,10	16,50	23,10	27,20
WN4	7,00	12,00	18,50	20,80
	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>	<b>Concentração Ci</b>
WN1	0,18	0,26	0,39	0,51
WN2	0,20	0,30	0,46	0,60
WN3	0,20	0,65	0,66	0,70
WN4	1,06	0,89	0,82	0,91





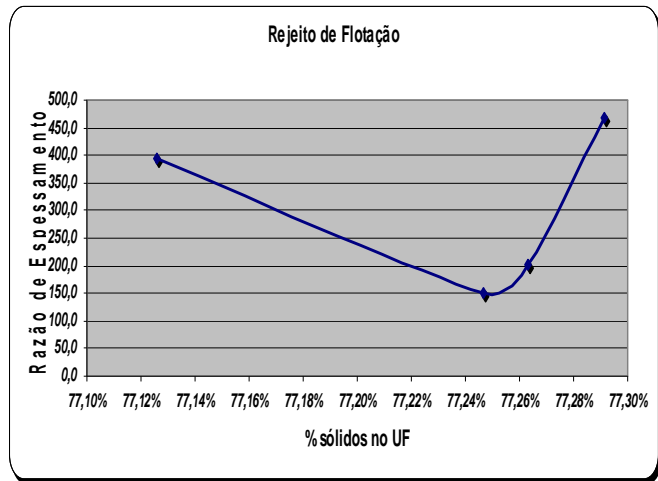
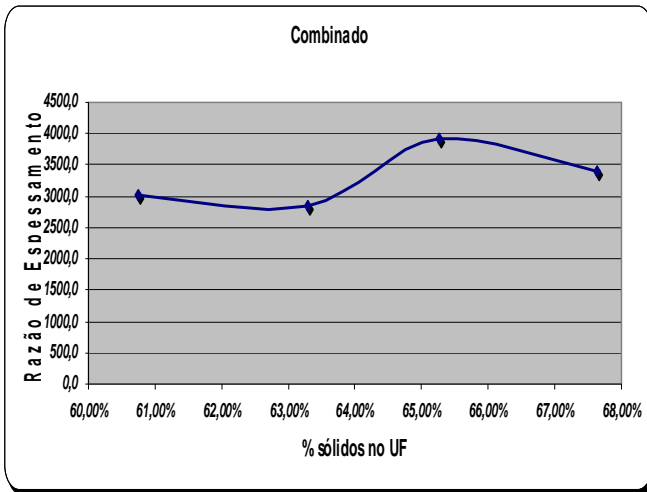
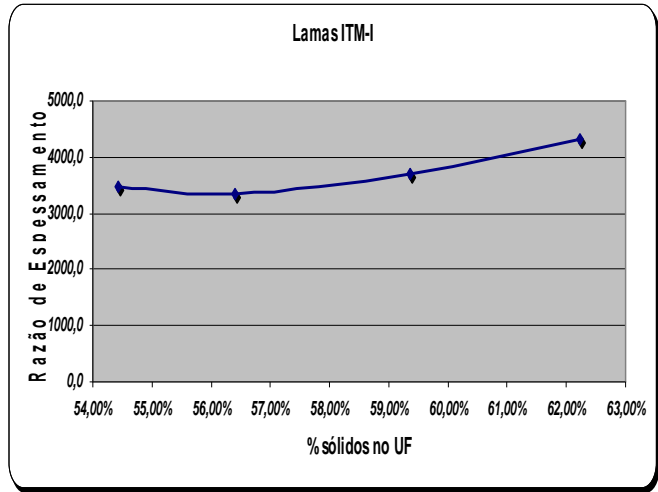
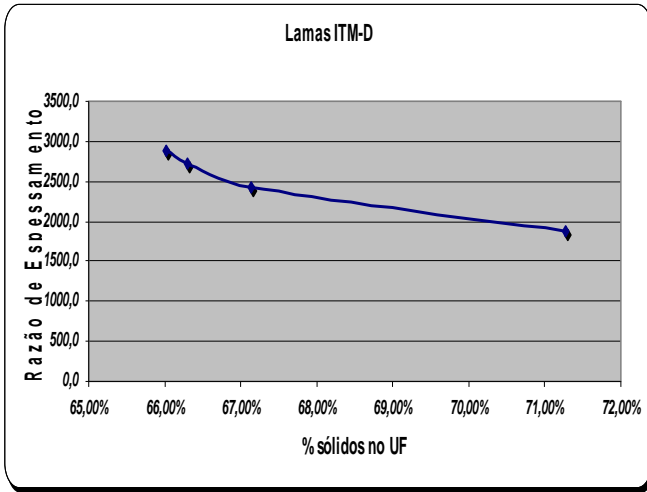


Lamas ITM-D								
% sólidos	20%		30%		40%		50%	
Parâmetros	a	b	a	b	a	b	a	b
WN	0,00030	2,3476	0,00040	2,2713	0,00040	2,7217	0,00050	2,7072
Lamas ITM-I								
% sólidos	20%		30%		40%		50%	
Parâmetros	a	b	a	b	a	b	a	b
WN	0,00020	2,1634	0,00015	3,0561	0,00009	4,4669	0,00010	4,4092
Combinado								
% sólidos	20%		30%		40%		50%	
Parâmetros	a	b	a	b	a	b	a	b
WN	0,00035	2,1634	0,00035	2,6026	0,00015	4,4827	0,00020	3,8815
25% Rejeito / 75% Lamas								
% sólidos	20%		30%		40%		50%	
Parâmetros	a	b	a	b	a	b	a	b
WN	0,00025	3,4043	0,00025	2,7676	0,00024	4,4807	0,00019	4,9973
50% Rejeito / 50% Lamas								
% sólidos	20%		30%		40%		50%	
Parâmetros	a	b	a	b	a	b	a	b
WN	0,00049	2,6129	0,00041	2,6911	0,00034	3,0348	0,00030	3,6771
75% Rejeito / 25% Lamas								
% sólidos	20%		30%		40%		50%	
Parâmetros	a	b	a	b	a	b	a	b
WN	0,00030	4,2202	0,00070	2,7142	0,00060	3,1029	0,00055	3,5418
Rejeito de Flotação								
% sólidos	20%		30%		40%		50%	
Parâmetros	a	b	a	b	a	b	a	b
WN	0,00250	2,5246	0,00610	2,4342	0,00610	2,8285	0,00250	4,1224

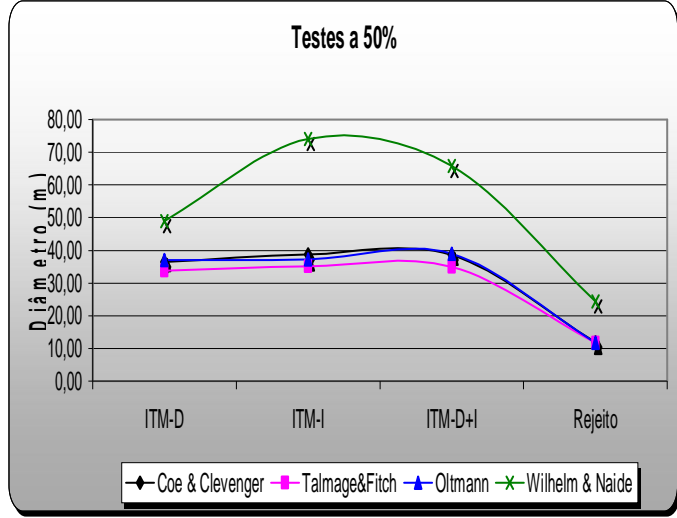
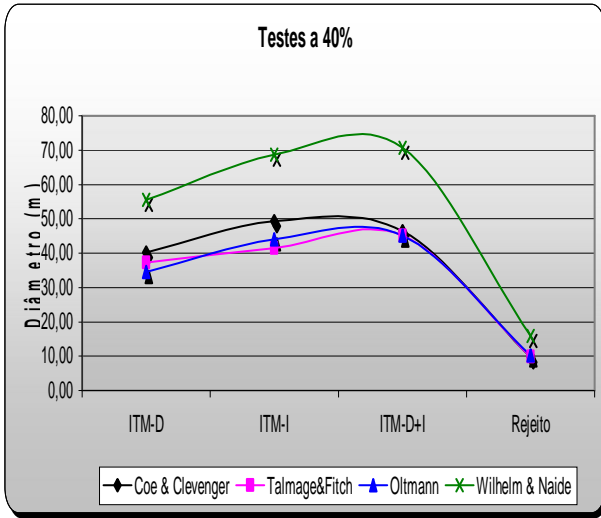
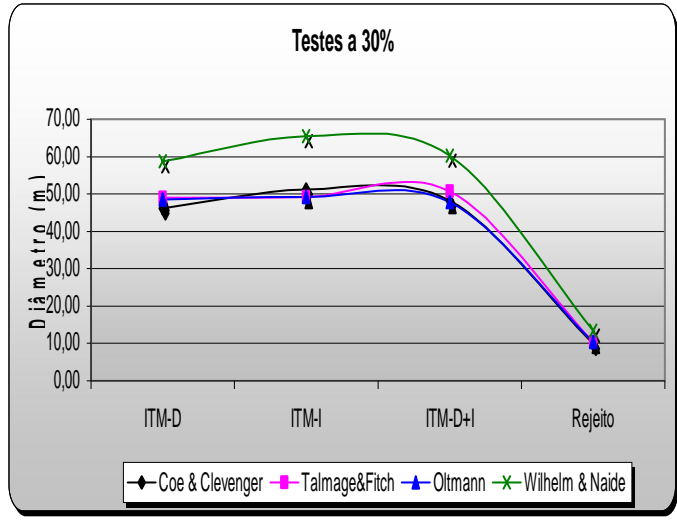
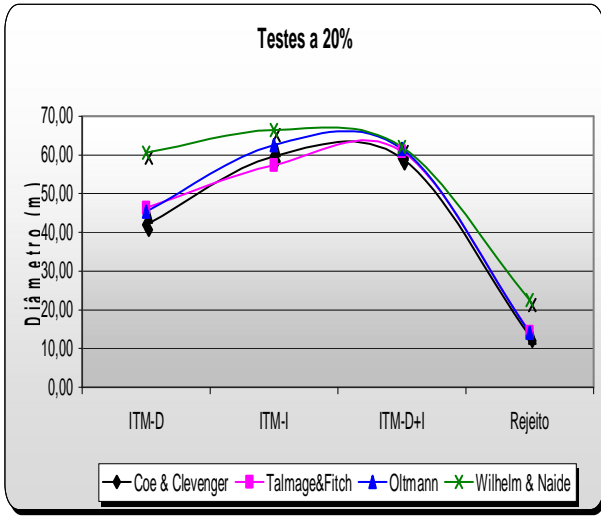
Lamas ITM-D				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Vi	0,0131	0,0062	0,0048	0,0033
Aueb	2116,4	1610,2	1557,4	1382,5
Auec	2879,8	2711,3	2418,9	1886,5
$\eta$	0,33	0,62	0,61	0,62
Lamas ITM-I				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Vi	0,0065	0,0059	0,0054	0,0021
Aueb	2590,0	2777,8	3379,7	3640,2
Auec	3462,5	3359,1	3695,8	4315,1
$\eta$	0,62	0,57	0,62	0,64
Combinado				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Vi	0,0114	0,0080	0,0091	0,0029
Aueb	1682,1	1642,4	2806,8	2665,7
Auec	3026,0	2844,5	3915,2	3407,0
$\eta$	0,57	0,62	0,63	0,64
25% Rejeito / 75% Lamas				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Vi	0,0599	0,0070	0,0146	0,0061
Aueb	2169,9	2541,9	2438,4	3179,5
Auec	3857,5	4131,1	3309,5	3796,8
$\eta$	0,59	0,62	0,63	0,64
50% Rejeito / 50% Lamas				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Vi	0,0328	0,0105	0,0055	0,0038
Aueb	1297,0	1581,4	1858,2	2087,9
Auec	2320,9	2597,0	2828,3	2903,5
$\eta$	0,44	0,58	0,62	0,64
75% Rejeito / 25% Lamas				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Vi	0,2672	0,0184	0,0103	0,0064
Aueb	1541,9	978,6	1153,8	1306,3
Auec	1655,2	1344,3	1752,9	1863,3
$\eta$	0,07	0,33	0,52	0,58
Rejeito de Flotação				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Vi	0,1454	0,1143	0,0815	0,0435
Aueb	315,0	129,0	130,3	309,9
Auec	393,4	149,7	200,5	468,3
$\eta$	0,13	0,13	0,56	0,61



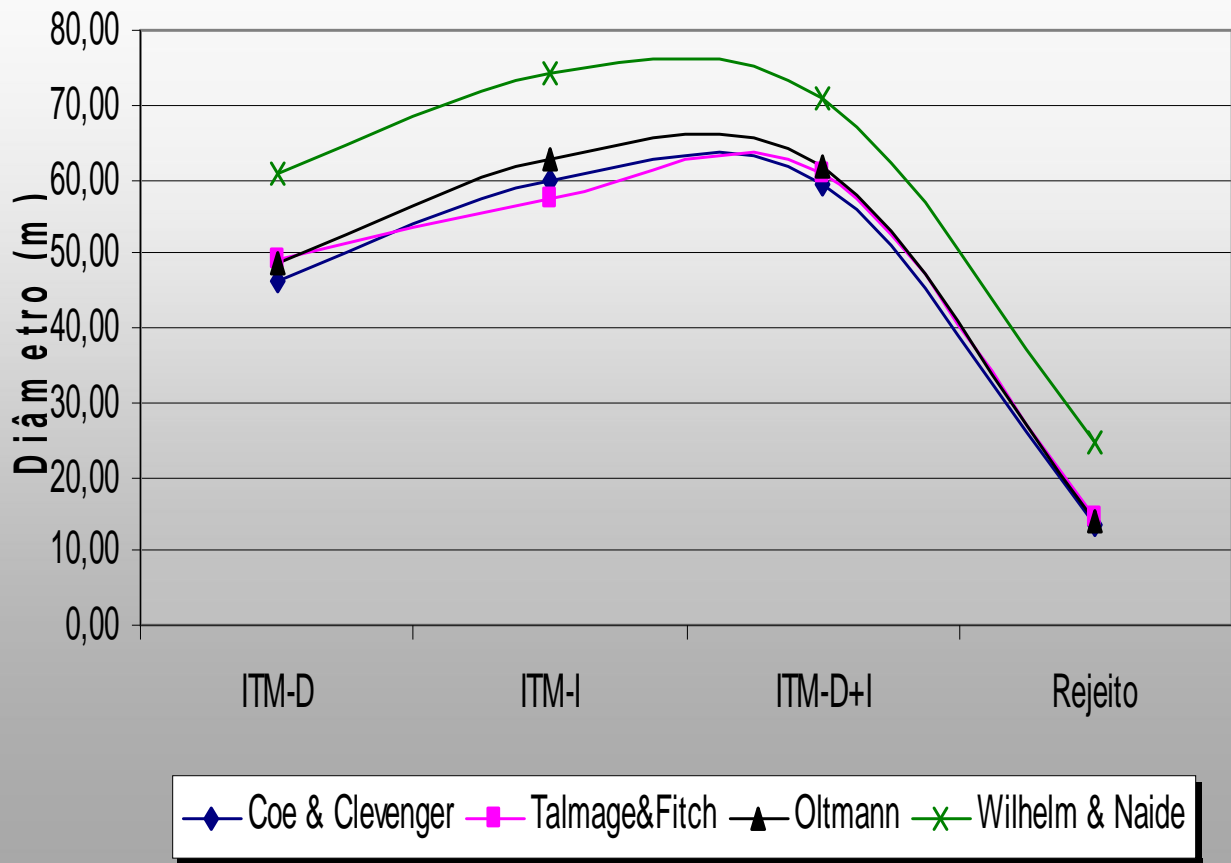
Lamas ITM-D					Lamas ITM-D				
% sólidos	20%	30%	40%	50%	% sólidos	20%	30%	40%	50%
A total	2879,81	2711,33	2418,91	1886,50	h	38,40	38,70	38,90	38,30
Diâmetro	60,6	58,8	55,5	49,0	H	15,10	16,70	18,90	23,20
Lamas ITM-I					Lamas ITM-I				
% sólidos	20%	30%	40%	50%	% sólidos	20%	30%	40%	50%
A total	3462,49	3359,11	3695,82	4315,14	h	38,80	38,80	38,35	38,35
Diâmetro	66,4	65,4	68,6	74,1	H	24,20	27,80	33,20	29,40
Combinado					Combinado				
% sólidos	20%	30%	40%	50%	% sólidos	20%	30%	40%	50%
A total	3025,95	2844,46	3915,17	3406,97	h	38,10	38,80	38,50	38,00
Diâmetro	62,1	60,2	70,6	65,9	H	13,60	16,00	22,70	25,90
25% Rejeito / 75% Lamas					25% Rejeito / 75% Lamas				
% sólidos	20%	30%	40%	50%	% sólidos	20%	30%	40%	50%
A total	3857,45	4131,05	3309,55	3796,76	h	38,50	38,30	38,00	38,00
Diâmetro	70,1	72,5	64,9	69,5	H	14,40	17,50	23,40	28,80
50% Rejeito / 50% Lamas					50% Rejeito / 50% Lamas				
% sólidos	20%	30%	40%	50%	% sólidos	20%	30%	40%	50%
A total	2320,90	2596,97	2828,27	2903,50	h	37,90	38,10	38,00	38,00
Diâmetro	54,4	57,5	60,0	60,8	H	10,10	16,20	19,30	22,70
75% Rejeito / 25% Lamas					75% Rejeito / 25% Lamas				
% sólidos	20%	30%	40%	50%	% sólidos	20%	30%	40%	50%
A total	1655,17	1344,35	1752,95	1863,28	h	37,50	39,00	38,00	38,00
Diâmetro	45,9	41,4	47,2	48,7	H	12,60	14,90	17,00	20,60
Rejeito de Flotação					Rejeito de Flotação				
% sólidos	20%	30%	40%	50%	% sólidos	20%	30%	40%	50%
A total	393,38	149,74	200,51	468,30	h	37,00	35,50	38,00	38,00
Diâmetro	22,4	13,8	16,0	24,4	H	6,70	11,60	17,60	19,20



	<b>ITM-D</b>	<b>ITM-I</b>	<b>ITM-D+I</b>	<b>Rej 25/75</b>	<b>Rej 50/50</b>	<b>Rej 75/25</b>	<b>Rejeito</b>
<b>Coe &amp; Clevenger</b>							
20% de sólidos	41,97	59,71	59,11	56,14	38,63	23,41	13,33
30% de sólidos	46,12	51,15	48,15	52,80	42,92	28,93	9,89
40% de sólidos	40,19	49,37	46,33	52,11	40,98	28,74	9,71
50% de sólidos	36,39	38,75	38,65	45,88	34,04	27,64	11,83
<b>Resultado</b>	<b>46,12</b>	<b>59,71</b>	<b>59,11</b>	<b>56,14</b>	<b>42,92</b>	<b>28,93</b>	<b>13,33</b>
<b>Talmage&amp;Fitch</b>							
20% de sólidos	46,40	57,38	60,86	56,85	43,60	26,20	14,30
30% de sólidos	49,03	49,22	50,71	51,72	42,68	32,78	10,33
40% de sólidos	37,24	41,48	45,18	48,30	38,35	30,19	9,94
50% de sólidos	33,82	35,04	34,96	42,67	31,41	26,34	11,68
<b>Resultado</b>	<b>49,03</b>	<b>57,38</b>	<b>60,86</b>	<b>56,85</b>	<b>43,60</b>	<b>32,78</b>	<b>14,30</b>
<b>Oltmann</b>							
20% de sólidos	45,29	62,55	61,59	59,14	41,82	24,09	14,12
30% de sólidos	48,56	49,26	47,81	54,14	44,72	31,83	10,48
40% de sólidos	34,44	44,06	45,03	51,38	39,88	31,33	10,15
50% de sólidos	37,05	37,20	38,88	43,20	33,57	28,04	11,73
<b>Resultado</b>	<b>48,56</b>	<b>62,55</b>	<b>61,59</b>	<b>59,14</b>	<b>44,72</b>	<b>31,83</b>	<b>14,12</b>
<b>Wilhelm &amp; Naide</b>							
20% de sólidos	60,55	66,40	62,07	70,08	54,36	45,91	22,56
30% de sólidos	58,76	65,40	60,18	72,52	57,50	41,37	13,42
40% de sólidos	55,50	68,60	70,60	64,91	60,01	47,24	15,97
50% de sólidos	49,01	74,12	65,86	69,53	60,80	48,71	24,42
<b>Resultado</b>	<b>60,55</b>	<b>74,12</b>	<b>70,60</b>	<b>72,52</b>	<b>60,80</b>	<b>48,71</b>	<b>24,42</b>



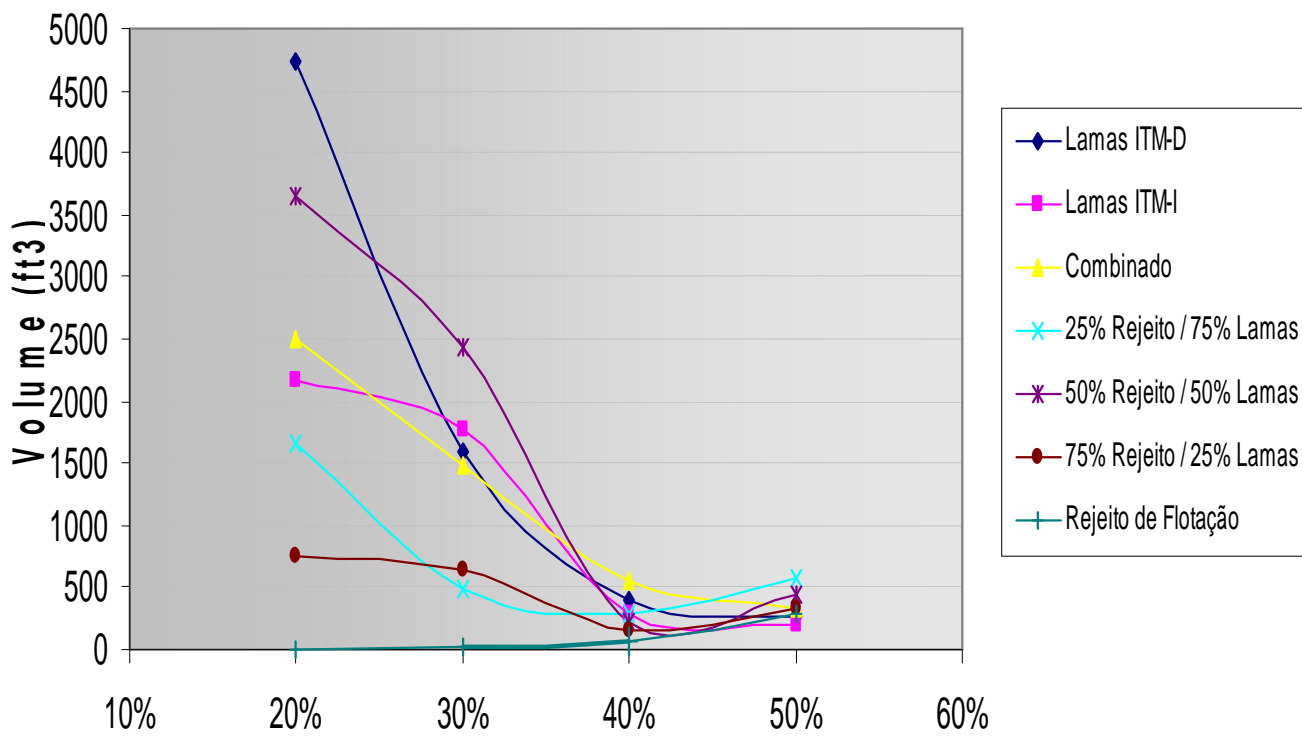
## Diâmetros



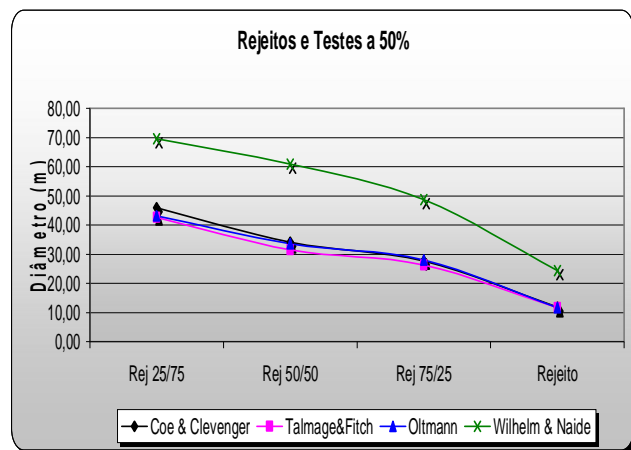
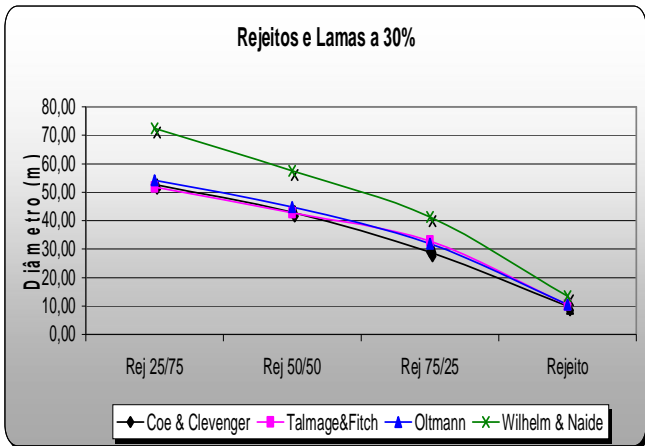
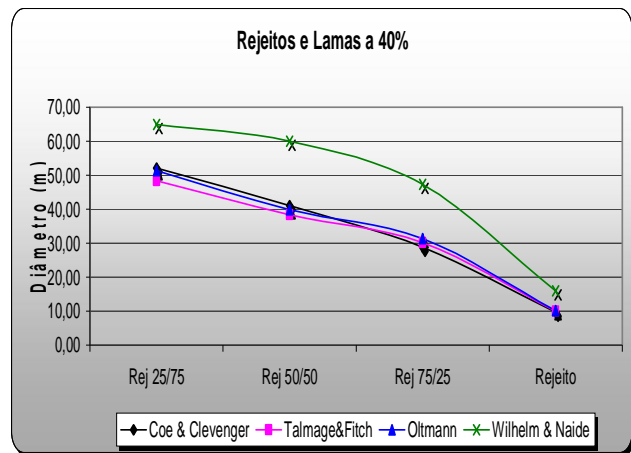
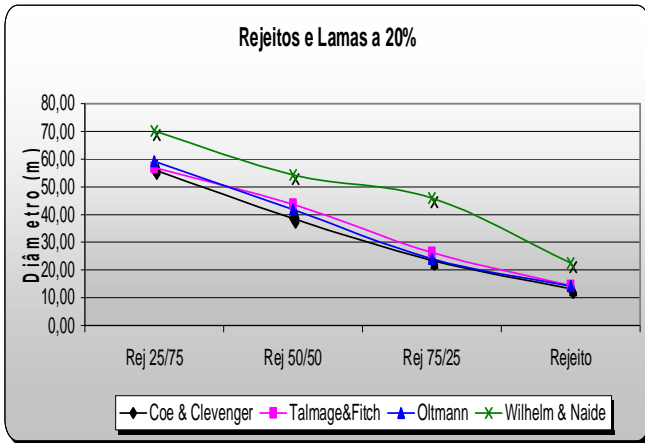
**ANEXO D**  
**Interferência da Granulometria**

Lamas ITM-D				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Tempo (s)	2460	3300	2700	2400
Volume (ml)	9,8	3,70	1,60	1,70
Vs	4733	1597	408	273
Lamas ITM-I				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Tempo (s)	3300	3300	2100	2400
Volume (ml)	2,80	3,50	1,26	1,20
Vs	2158	1778	280	204
Combinado				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Tempo (s)	3600	3000	2400	2400
Volume (ml)	3,50	3,60	2,50	2,00
Vs	2496	1475	556	323
25% Rejeito / 75% Lamas				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Tempo (s)	3900	2700	2100	3300
Volume (ml)	2,30	1,50	1,60	2,70
Vs	1655	492	284	581
50% Rejeito / 50% Lamas				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Tempo (s)	3780	2700	2700	3000
Volume (ml)	5,30	7,30	1,00	2,20
Vs	3643	2423	229	440
75% Rejeito / 25% Lamas				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Tempo (s)	840	1080	1200	1200
Volume (ml)	4,50	5,10	1,60	4,70
Vs	751	632	155	333
Rejeito de Flotação				
% sólidos	20%	30%	40%	50%
Tempo (s)	60,00	150,00	240,00	600,00
Volume (ml)	0,20	1,70	3,10	8,30
Vs	2	29	57	283

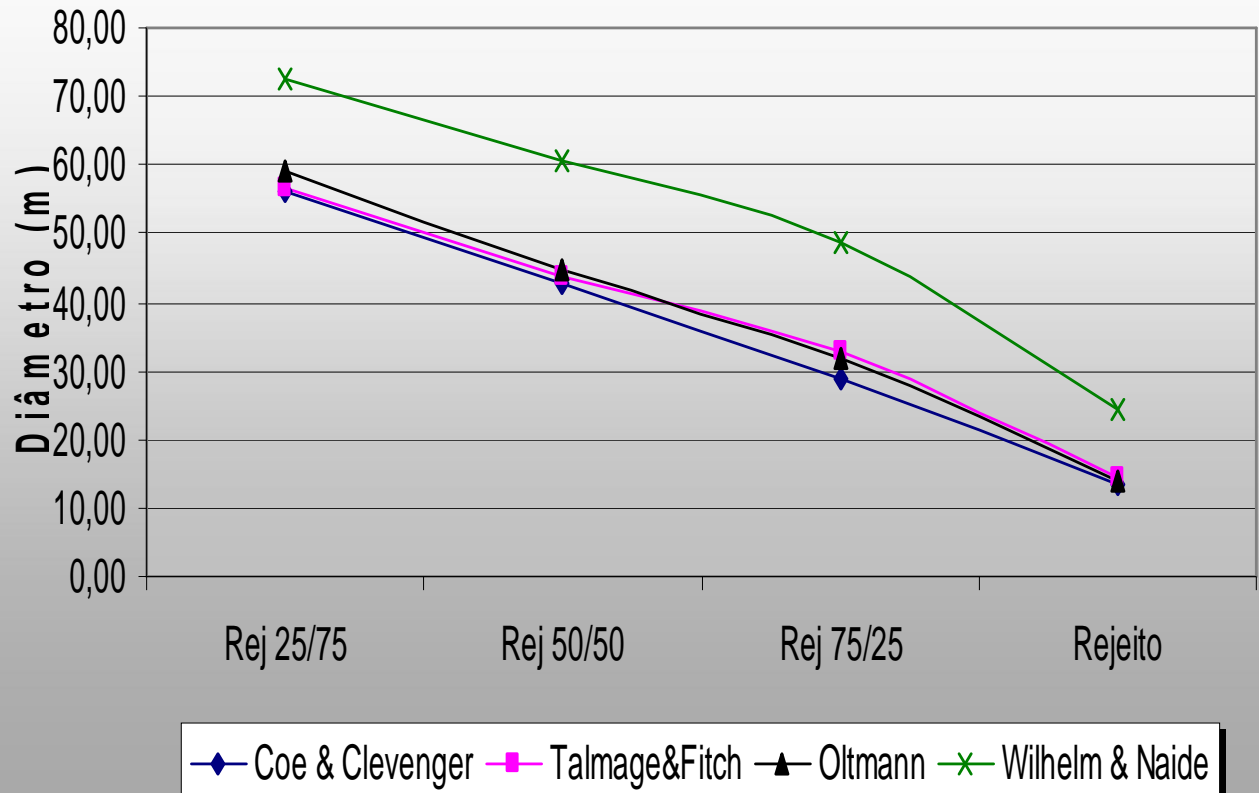
### Volume da zona de compressão







## Diâmetros



	ITM-D	ITM-D+I	Lamas	25/75	50/50	75/25	Rejeito
<b>Velocidade de Sedimentação</b>							
20% de sólidos	0,0136	0,0066	0,0061	0,0076	0,0162	0,0437	0,1439
30% de sólidos	0,0059	0,0052	0,0041	0,0046	0,0070	0,0158	0,1395
40% de sólidos	0,0043	0,0031	0,0023	0,0028	0,0043	0,0093	0,0879
50% de sólidos	0,0031	0,0024	0,0018	0,0021	0,0035	0,0059	0,0347
<b>Resultado Max.</b>	<b>0,0136</b>	<b>0,0066</b>	<b>0,0061</b>	<b>0,0076</b>	<b>0,0162</b>	<b>0,0437</b>	<b>0,1439</b>

