

ESPESSADORES NA INDÚSTRIA DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIOS DE FERRO¹

Nilton Carlos Torquato²
José Aurélio Medeiros da Luz³

Resumo

Este trabalho visa a comparar estudos de espessamento realizados em escala industrial com ensaios de sedimentação realizados em escala de bancada e propõe a utilização de fatores de correção nos métodos clássicos de dimensionamento de espessadores. A prática industrial tem consolidado uma modificação substancial no método clássico de Kynch (com traçado de Talmage & Fitch), a qual consiste em adotar, para o traçado, a concentração mássica de sólidos na proveta após 24 horas, no lugar da concentração nominal do *underflow* no espessador industrial. Os ensaios indicam que a área unitária assim obtida, ainda deve ser afetada com os fatores de correção. Esse fator, multiplicativo, é de 0,64 para espessadores de lamas e de 1,3 para espessadores de concentrado/ *pellet feed*.

Palavras-chave: Espessador; Dimensionamento; Sedimentação.

THICKENERS IN THE IRON ORE BENEFICIATION INDUSTRY

Abstract

This paper displays a comparison among an industrial scale campaign test and some settling bench scale tests and proposes correction factors for thickener sizing purpose. As iron ore processing is concerned, the industrial operation practice has been leading to substantial change in the classical Kynch's method (under the Talmage & Fitch's graphical procedure), which consists in the adoption, for the bottom line, the one which corresponds to height of pulp/supernatant interface after 24 hours of rest in the conventional graduated cylinder test, instead of that correspondent to the nominal underflow concentration in the industrial thickener. The test work indicates that the calculated solids loading area still should be affected by correction factors. This factor, multiplicative, is 0.64 for slimes thickeners and 1.3 for the concentrate thickener / pellet feed.

Key words: Thickener; Sizing, Settling.

¹ Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Mestrado em Engenharia Mineral (PPGEM/UFOP) – Gerência de Otimização de Processos de Tratamento de Minério da Vale

³ Engenheiro de minas – Professor Adjunto do DEMIN/EM/UFOP

1 INTRODUÇÃO

Falar de dimensionamento de espessador significa falar de tempo e dinheiro (tempo para implantação e custo de implantação).

O espessador é um equipamento praticamente indispensável na aplicação industrial da separação sólido-líquido. Devido a seu princípio de funcionamento relativamente simples, o espessador convencional é muito utilizado em empreendimentos de grande escala, apesar de ocupar grande espaço físico, quando comparado com outras operações unitárias, tais como a filtragem e a centrifugação. O espessador recebe alimentação em forma de polpa diluída e – sob a influência da gravidade – gera dois produtos; um transbordado, dito *overflow*, normalmente água clarificada, e um espessado, dito *underflow*, produto com maior concentração de sólidos.

A vasta utilização dos espessadores promove um crescente interesse em se entender a operação e o dimensionamento desses equipamentos, com a finalidade de melhorar seu desempenho no atendimento às suas diferentes características operacionais. Exemplo de tentativas de metodologia alternativa de previsão do processo de sedimentação pode ser vista em Luz.⁽¹⁾

O projeto dos espessadores está basicamente relacionado ao cálculo da área da secção de sedimentação. É exatamente a metodologia de dimensionamento desta área que será abordada neste trabalho, o qual tem como objetivos precípuos:

- obter uma correlação entre resultados de ensaios em escala de laboratório com proveta *versus* os resultados de operações em equipamentos industriais;
- estabelecer fatores de correção para garantir a assertividade do dimensionamento;
- padronizar o método de tratamento dos dados dos ensaios de sedimentação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Dimensionamento dos Espessadores

Normalmente o dimensionamento de espessadores é realizado com base em ensaios de sedimentação em escala de bancada, utilizando-se provetas graduadas de 1.000 ml ou 2.000 ml. Seu dimensionamento também pode ser realizado em escala piloto. No entanto, é muito difícil a obtenção do regime operacional para garantir a constância da vazão, da concentração mássica de sólidos e de sua granulação na alimentação, durante todo o período do ensaio, pois a lama geralmente representa uma porção pequena da alimentação (3% a 15%) e o concentrado (*pellet feed*) geralmente é obtido em equipamentos de baixa capacidade unitária. A utilização de equipamento piloto fica muito restrita também porque não é recomendado recircular os fluxos (*underflow* e *overflow*) na alimentação (o que poderia resultar a quebra de flocos e alteração na dosagem de reagente).

As principais informações obtidas, a partir do ensaio de proveta, necessárias para o projeto dos espessadores, equipamentos de sedimentação contínua, estão destacadas a seguir:

- velocidade de sedimentação (m/h);
- concentração mássica de sólidos no *underflow* (c_{mu}); e

- tempo necessário para a sedimentação. Utilizado para calcular a área unitária de espessamento ($m^2/(t \times dia)$).

O dimensionamento do espessador consiste basicamente no cálculo da área unitária, utilizada para determinar o diâmetro do espessador. Para isso, vários métodos foram desenvolvidos ao longo do tempo. Na Tabela 1 estão apresentados os principais, ou os mais utilizados métodos de dimensionamento.

Tabela 1 - Principais métodos de dimensionamento de espessador ⁽²⁾

Método	Gráfico	Equação
Coe & Clavenger		$Au = \frac{1}{24} \times \frac{Co - Cu}{Vs}$
Kynch		$Au = \frac{\frac{tu}{1440}}{(31,3 \times Cs \times 10^{-6}) \times \frac{Ho}{30,48}} \times 1,1023 \times 0,093$
Talmage & Fitch	Mesmo gráfico do Kynch	
Oltmann		$Au = \frac{tu}{Co \times Ho}$
Wilhelm & Naide		$Ci = \frac{Co \times Ho}{Hi} \quad Vi = a \times ci^{-b}$ $Au = \frac{\left(\frac{b-1}{b}\right)^{b-1}}{a \times b} \times Cu^{b-1}$

Onde:

Au = área unitária ($m^2/(t \times dia)$); Co = massa inicial dos sólidos (t/m^3); Vs = Velocidade de sedimentação (m/h); Cs = concentração dos sólidos (g/l); Ho = altura inicial da interface (centímetros); Cu = massa final dos sólidos – underflow (t/m^3).

Na prática de tratamento de minérios de ferro brasileiros, o modo de execução e dimensionamento contraria a descrição original⁽³⁻⁵⁾ pois – após o registro dos pontos de sedimentação – a polpa permanece em repouso, na proveta, até o

tempo de 24 horas, tempo final de sedimentação ou compactação. O tempo, t_u , utilizado para dimensionamento da área unitária é então determinado pela intersecção da tangente à curva de sedimentação no ponto de compressão, C, com a ordenada da linha que representa a concentração final dos sólidos, conforme apresentado no gráfico "Kynch - método utilizado atualmente pela Vale", conforme representado na Tabela 1.

Desvio no dimensionamento normalmente resulta em superdimensionamento ou subdimensionamento da área de espessamento, sendo que o superdimensionamento leva ao maior investimento para implantação. Já o subdimensionamento pode acarretar os seguintes percalços operacionais:

- maior consumo de reagentes (floculante ou coagulante) em relação à condição inicialmente proposta (portanto, maior custo operacional);
- má qualidade d'água recirculada (maior concentração de sólidos), portanto, menor eficiência nas operações subseqüentes (ex: flotação);
- redução na taxa de alimentação do espessador; o que significa redução na produção final da instalação, visando a anular, ou a minimizar, os efeitos citados anteriormente; e
- menor concentração mássica de sólidos no *underflow*.

2.2 Custo de Implantação de um Espessador

O custo de implantação de espessadores convencionais de lama e de concentrado de minério de ferro na prática brasileira está ilustrado na figura 1. Esse tipo de custo, em função do diâmetro segue o modelo regressional preconizado por Parkinson et al.⁽⁶⁾

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Incluem-se aqui os estudos em escala industrial e em laboratório (proveta) com lamas e concentrados (*pellet feed*) de diversas instalações de tratamento de minério de ferro, oriundo das seguintes minas da companhia Vale:

- Capanema (localizada a 18 km da cidade de Itabirito);
- Timbopeba e Fábrica Nova (localizadas a 30 km da cidade de Mariana); e
- Brucutu (localizada a 9 km da cidade de Barão de Cocais).

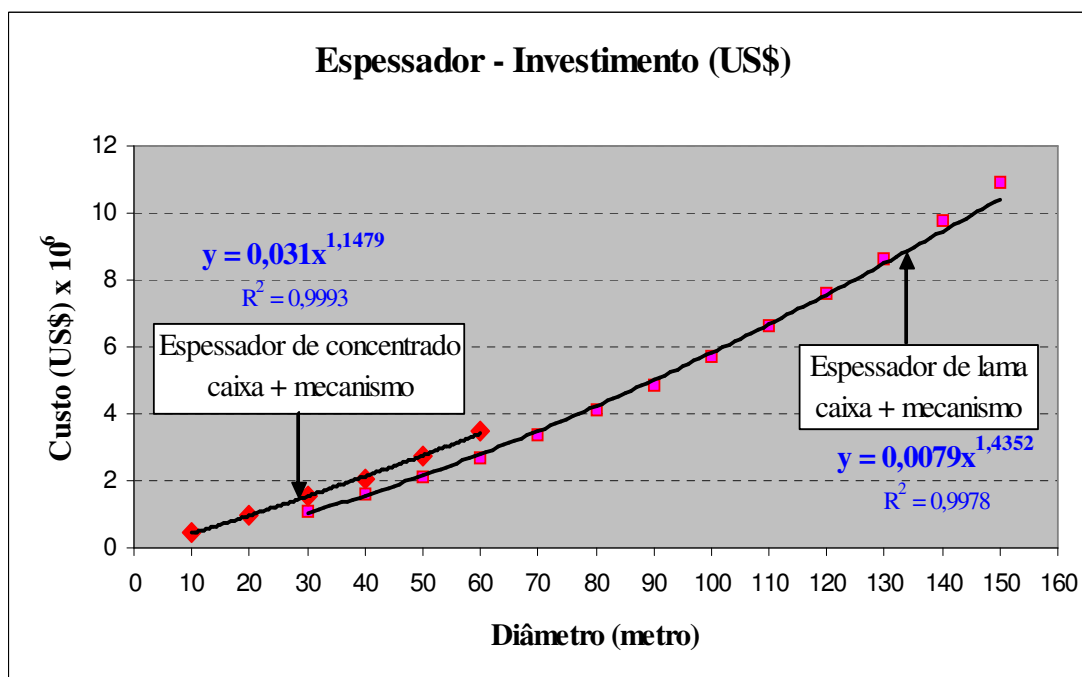


Figura 1 - Estimativa de investimento - Espessadores convencionais a partir de levantamento em banco de dados histórico da Vale (paridade monetária adotada: US\$ / R\$ = 1,65).⁽²⁾

3.1 Estudos com Lamas das Minas de Capanema e Timbopeba

Com o objetivo de identificar a real capacidade dos espessadores de lamas foi realizado um estudo, em escala industrial (sedimentação contínua), durante 30 dias, utilizando o espessador de 30 metros de diâmetro ou 706,86 m² de área. O resumo das condições reinantes no ensaio industrial encontra-se destacado na Tabela 2.

Tabela 2 - Resumo do estudo em escala industrial

Principais itens	Medidas	Comentários
Duração do ensaio	482 h	30 dias - horário administrativo
Utilização de floculante (Cyanamid-1202, equivalente ao atual Flonex 9073)	188 h	Durante 39% do tempo foi dosado 40 g/t para manter a interface de clarificação abaixo de 0,6 metro da superfície
Taxa de alimentação	57,8 t/h	Varição de 51,4 t/h a 64,2 t/h. Para determinação da área unitária foi utilizado 51,4 t/h (pior condição)
Concentração mássica de sólidos no <i>underflow</i>	38,50 %	Varição de 35% a 42%
Turbidez do <i>overflow</i>	20 ppm*	Varição de 10 ppm a 30 ppm

* ppm = partes por milhão.

$$\text{Área unitária real} \Rightarrow A_{ur} = \frac{706,86 \text{ m}^2}{(51,4 \text{ t/h} \times 24 \text{ h})} = 0,573 \text{ m}^2 / \text{t} / \text{dia}$$

Durante o estudo em escala industrial, apresentado na tabela 2, foram realizados vários ensaios em escala de bancada e o resumo dos principais ensaios estão destacados na Tabela 3.

O resultado da área unitária de espessamento (ensaio 3, da Tabela 3), obtida em escala de bancada, pelo método Kynch (0,898), foi dividido pelo resultado da área unitária obtida em escala industrial (0,573), resultando um fator de correção de 0,64.

Tabela 3 - Resultados de ensaios de sedimentação em bancada

Resumo dos ensaios de sedimentação - lama de Capanema							
Ensaio	Floculante (g/t)	% de sólidos		Vel. sed. (m/h)	Área unitária (m ² /t/dia)	Alim. esp (t/h)	Ø esp. (m)
		inicial	final				
1	-	3,53	44,02	1,34	1,040	157	71
2	20	3,60	42,00	1,77	0,901	157	66
3	20	4,16	42,97	1,63	0,898	157	66
4	28	3,43	40,54	1,98	0,765	157	61
5	40	4,03	38,03	2,23	0,654	157	56
6	-	3,87	43,80	1,22	0,968	157	68
7	27	3,11	41,70	1,68	0,880	157	65
Média da área unitária máxima					0,872	157	65

Obs.: O ensaio 3 representava bem a condição operacional (concentração mássica de sólidos e dosagem floculante)

3.2 Estudos com Lamas das Minas de Fábrica Nova e Brucutu

O fator de correção (0,64) multiplicativo para o valor da área unitária, determinada pelo métodos Kynch ou Talmage & Fitch, foi utilizado para o dimensionamento dos espessadores de lamas dos circuitos de tratamento das minas de Fábrica Nova e de Brucutu. Note-se que o desempenho industrial destes equipamentos está compatível com o dos ensaios de sedimentação realizados em escala de bancada (proveta), portanto, validando, assim, a aplicação da metodologia aqui preconizada.

A Figura 2 apresenta um gráfico comparativo dos métodos de dimensionamento, referentes aos ensaios de sedimentação com lama da mina Brucutu (durante o estágio inicial de desenvolvimento de processo), para os vários métodos de sedimentação. Neste gráfico pode ser observado que, à exceção dos métodos Kynch e de Talmage & Fitch, todos os demais “flutuam” em relação à curva denominada “Kynch (corrigido)”.

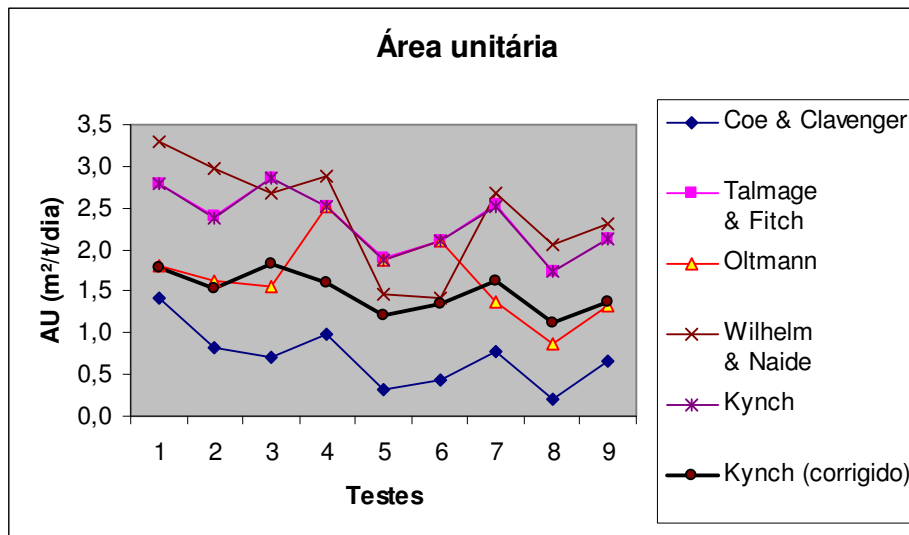


Figura 2 - Gráfico comparativo dos métodos de dimensionamento, referentes aos ensaios iniciais de sedimentação com lama da mina Brucutu.

3.3 Dimensionamento de Espessador de Concentrado / *Pellet Feed*

O método de preparação e de execução dos ensaios é o mesmo adotado para o estudo do espessamento de lamas; no entanto, deve-se ter uma atenção especial nos seguintes pontos:

- a associação de caracteres típicos – como o minério estar em granulação mais grossa, ser maior o teor de ferro, (portanto, com maior densidade) – resulta melhor visualização da interface; no entanto, a maior velocidade de sedimentação exige maior perícia do executante;
- a realização do ensaio com o mesmo valor do pH da polpa obtida nos ensaios em escala de bancada, piloto e/ou industrial é fundamental para a comparabilidade. Normalmente concentrado de flotação reversa de minério de ferro tem o pH básico, o que resulta dispersão das lamas remanescentes (silicáticas, cujos pontos isoelétricos caem na faixa ácida), ocasionando aumento da turbidez do clarificado;
- a turbidez, aparentemente excessiva, normalmente não causa dano ao espessador e à instalação de tratamento, pois, o volume d'água recirculada, no espessador de concentrado é muito pequeno em relação ao total d'água recirculada na instalação (normalmente menor que 8 %), tendo, portanto, seu impacto diluído (naturalmente esta afirmação é válida para aplicação no contexto aqui estudado); e
- nos casos atinentes ao escopo deste trabalho, a dosagem de floculante não deve ultrapassar a 7 g/t. Dosagens elevadas podem causar:
 - ☐ torque elevado no sistema de mecanismo dos braços (*rakes*), devido a grande velocidade de sedimentação e compactação do sedimento;
 - ☐ baixa eficiência da filtragem devido a colmatação ou cegamento do tecido, tornando-o pouco permeável.

Em alguns circuitos de tratamento de minério de ferro da Vale (Timbopeba, Alegria e Fábrica Nova) os espessadores de concentrado / *pellet feed* operaram, durante algum período, na capacidade máxima e os ensaios em escala de bancada / proveta mostraram compatibilidade com o dimensionamento. No entanto, foi aplicado o fator de correção, multiplicativo, de 1,3. Esse fator também foi defendido

por Simonsen e Almeida,⁽⁵⁾ principalmente para os concentrados de flotação, pois, a espuma remanescente perturba o processo de sedimentação, requerendo maior área unitária.

Curiosamente, para o espessador de concentrado, a concentração final dos sólidos, obtida em escala de bancada / proveta (normalmente acima de 75%) é sempre superior à concentração final dos sólidos, normalmente requerida industrialmente pela etapa subsequente do processo (65%). No entanto, contrariando a descrição dos métodos de dimensionamento, não é recomendado determinar, na curva de sedimentação, o ponto de concentração de sólidos de retirada do *underflow* e – a partir deste ponto – calcular a área unitária, pois, poderá ocorrer o subdimensionamento do equipamento.

4 CONCLUSÃO

Para se evitar o superdimensionamento dos equipamentos convencionais, aplicados no espessamento de lamas de minério de ferro, deve-se multiplicar por 0,64 o resultado da área unitária de espessamento, obtida através dos métodos Kynch ou Talmage & Fitch.

Para não acarretar subdimensionamento dos equipamentos convencionais, aplicados no espessamento de concentrado de minério de ferro (*pellet feed*), deve-se traçar a curva de sedimentação considerando a concentração final dos sólidos obtida em proveta e multiplicar por 1,3 o resultado da área unitária de espessamento, obtida através dos métodos Kynch ou Talmage & Fitch.

A metodologia aqui preconizada tem respaldo em escala industrial, circuitos de tratamento das minas de Capanema, Fábrica Nova e Brucutu, e vem sendo aplicada nos demais projetos da Vale. A extrapolação das conclusões aqui exaradas para o beneficiamento de minérios não similares àqueles estudados (ou em caso de grande divergência de rotas de processo), entretanto, deve ser feita com extrema cautela.

REFERÊNCIAS

- 1 LUZ, J. A. M. da. Aspectos reológicos de polpas em sedimentação. *64^o Congresso da ABM*. Belo Horizonte: ABM, 2009.
- 2 TORQUATO, Nilton Carlos. *Dimensionamento de Espessadores Convencionais Aplicados a Polpas de Minérios de Ferro* (dissertação de mestrado). Ouro Preto: UFOP, 2008.
- 3 OSBORNE, D. G. Gravity Thickening (Capítulo 05). In: SVAROVSKY, L. (ed.). *Solid-liquid separation*. Second edition. 1981 p. 121 - 155.
- 4 OLIVEIRA, L.M, LUZ, J. A. M. e e LACERDA, C. M. M.. Apostila de espessamento e filtração. Ouro Preto: Departamento de engenharia de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto. 2004, p. 16 - 46.
- 5 SIMONSEN, R. M. e ALMEIDA, C. H.. Análise comparativa de métodos de dimensionamento de espessadores e computarização do método Wilhelm & Naide. In: Fundação Christiano Ottoni. Curso de Sedimentação. 1991, p 654 – 666
- 6 PARKINSON, E. A. e MULLEN, A. L.. Mineral Processing Equipment Costs and Preliminary Capital Cost Estimations. Volume 13, 1972.