

COMPARAÇÃO DA TÉCNICA DE ROBERTS PARA DIMENSIONAMENTO DE ESPESSADORES COM UNIDADES INDUSTRIAIS DE LODO BIOLÓGICO E SALMOURA¹

*Thiago César de Souza Pinto²
José Renato Baptista de Lima³*

Resumo

A técnica de Roberts, a partir de ensaios em provetas, é uma das mais antigas para o projeto de espessadores contínuos visando a separação sólido/líquido. O trabalho teve por objetivo comparar este método com dados de unidades industriais contínuas. Obteve-se um desvio no diâmetro de 75% para um espessador de Salmoura e 55% para uma unidade de lodo biológico, demonstrando que esta técnica precisa ser usada com cuidado na seleção deste equipamento para tais aplicações.

Palavras-chave: Espessadores; Ensaios de espessamento; Modelo de Roberts; Decantação.

¹ 60º Congresso Anual da ABM – 25 a 28 de julho de 2005 - Belo Horizonte – MG

² Mestrando do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP

³ Professor Associado do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP

INTRODUÇÃO

Espessadores são equipamentos comumente empregados para a separação contínua de suspensões sólido-líquido por trabalhar com um grande volume de líquido a um custo reduzido em relação a outros separadores.

Os espessadores típicos compõem-se de um tanque cilíndrico, com fundo ligeiramente cônico, dotado de um rastelo que auxilia na remoção do concentrado (*underflow*) onde é extraído pela região central do fundo cônico.

Apresenta ainda um dispositivo de alimentação da suspensão e outro para a descarga do líquido clarificado (*overflow*)

A Figura 1 ilustra o equipamento descrito.

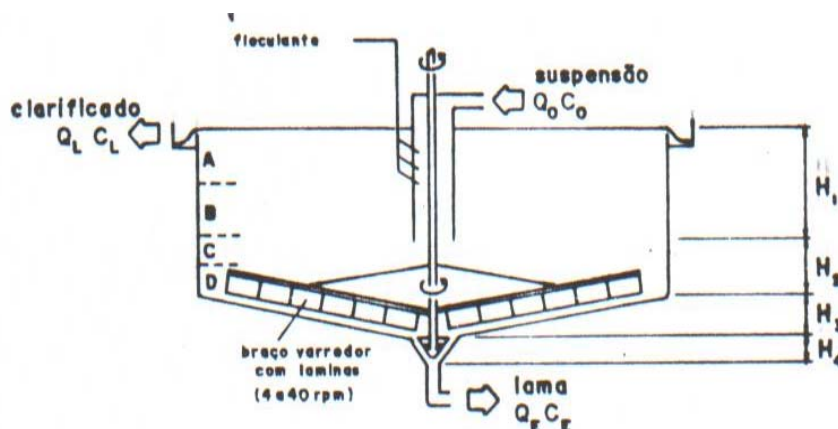


Figura 1. Esquema típico de um espessador convencional.

Os espessadores são baseados em processos físicos de separação aplicados industrialmente em tratamentos primários de concentração de polpas tanto para beneficiamento como para tratamento de resíduos.

Geralmente os volumes de polpas são elevados e estes equipamentos adequam-se bem a grandes volumes, operando continuamente.

Os espessadores podem receber soluções bastante diluídas, de menos de 1 a mais de 10% de sólidos e adensá-los em geral a 65-70% de sólidos.

As técnicas de dimensionamento de espessadores, apesar de antigas, não estão completamente dominadas devido a complexidade dos fenômenos envolvidos, mas há princípios básicos que fornecem métodos para o dimensionamento e operação dos espessadores.

Os primeiros requisitos para o dimensionamento de espessadores são a capacidades requeridas, que é essencialmente função das características dos sólidos, como tamanho e distribuição das partículas, forma, peso específico, estado de floculação dos sólidos, como também o peso específico do líquido, viscosidade e a razão sólido-líquido, dentre outros (CHAVES, 1996).

Outros fatores que também podem influenciar são os arranjos da alimentação e a velocidade do sistema, lembrando que o mínimo de turbulência é desejado no processo.

Os fundamentos que regem o dimensionamento de espessadores começaram a ser estudados por Coe e Clevenger em 1916, ensaios em provetas foram utilizados desde o princípio.

O ensaio consiste em se colocar a polpa em provetas graduadas e agitá-las para uma maior homogeneidade, agitação esta feita de forma mecânica evitando-se

que ocorra sedimentação. Após a retirada do misturador da polpa, inicia-se o ensaio de sedimentação, com a marcação da altura da interface de decantação em função do tempo.

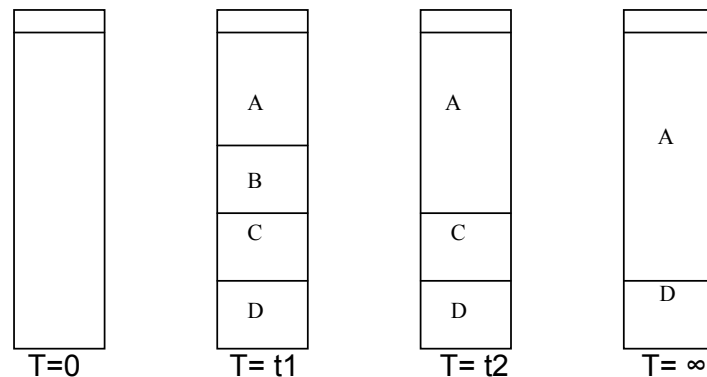
Segundo Coe e Clevenger (1917) no início a sedimentação é mais rápida, pois há uma maior diluição e as partículas sedimentam-se em um regime adotado pelos autores de sedimentação livre.

Com o andamento do ensaio, as partículas diminuem a velocidade de queda, pois a polpa se encontra mais densa e o atrito entre as partículas se torna mais intenso.

Logo após esta fase atinge-se um estágio de compressão onde o próprio peso das partículas, umas sobre as outras, causam a compactação da polpa.

Com isso determinou-se que a velocidade de sedimentação depende da concentração inicial da polpa na zona de sedimentação livre. Estes autores determinaram também as descontinuidades do processo. Tal método é esquematizado na Figura 2.

Kynch (1952) estabeleceu um modelo matemático baseando-se na dispersão das partículas em um meio fluido, permitindo a elaboração de um modelo que permite tratar os resultados teoricamente. Com isto, o autor chegou à conclusão de que a velocidade de queda da partícula é função apenas do local de concentração e sua vizinhança.



A-Líquido limpo; **B**-Região de concentração constante; **C**-Região de concentração variável; **D**-Região de compactação

Figura 2. Esquema do método proposto por Coe e Clevenger (1916).

Com base no princípio da continuidade, o autor demonstra que a interface entre estas concentrações se propaga com velocidade constante V_c fornecida por:

$$V_c = \frac{-dG_c}{dC} \quad (1)$$

Sendo G_c é a vazão de sólidos (massa de sólidos que atravessa uma secção de área por unidade de tempo)

$$G_c = V_c \times C \quad (2)$$

Em que C é a concentração de sólidos em massa por unidade de volume da polpa e V_c é a velocidade de sedimentação das partículas. O autor adota o sentido ascendente com o positivo.

Outra relação estabelecida por Kynch, foi entre dois pontos da descontinuidade:

$$V_2 = \frac{(G_1 - G_2)}{(C_2 - C_1)} \quad (3)$$

As curvas de sedimentação também contribuíram de forma importante para a análise de dados e experimentos, como mostra a Figura 3.

Outra curva estabelecida por Kynch, com a nomenclatura de Coe e Clevenger é mostrada na Figura 4.

Outros autores ampliaram os estudos sobre espessamento contribuindo também de uma maneira satisfatória descritos em GOMIDE (1980) e WILHELM & NAIDE (1981), MORAES (1990).

Talmage e Fitch (1955) criaram um método gráfico que visa o cálculo da área do sedimentador através de ensaios feitos em provetas propostos por Coe e Clevenger (1917).

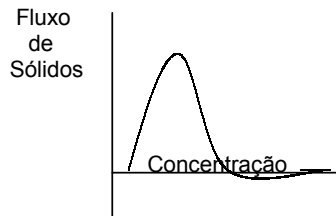


Figura 3. Fluxo de sólidos (Kg/h m²) em função da concentração (Kg/m³).

Altura (cm)

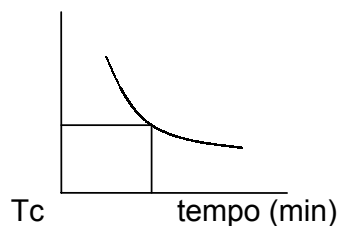


Figura 4. Altura em função do tempo da interface sólido/líquido.

O método consiste em se traçar tangentes à curva de ensaio altura em função do tempo uma pela zona de clarificação e outra pela zona de espessamento. A bissetriz entre essas duas retas localiza o ponto crítico C, início da zona de espessamento.

Roberts (1949), também analisando o trabalho de Coe e Clevenger propôs um método gráfico que fornece uma curva traçada em papel mono log da altura em função do tempo. Este método evidencia e caracteriza o ponto crítico com a descontinuidade da curva.

A área mínima ($S_{mín}$) pela técnica de Roberts é dada por:

$$S_{mín} = \frac{QaCa \left(\frac{1}{C_c} - \frac{1}{C_e} \right)}{u} \quad (4)$$

Sendo Qa a vazão de alimentação (m³/s); Ca a concentração da alimentação (kg/m³), C_e a concentração da lama (kg/m³), C_c a concentração crítica (kg/m³) e u = velocidade de sedimentação (m/s).

$$C_c = \frac{Z_o C_o}{Z_{ic}} \quad (5)$$

$$u = \frac{Z_{ic} - Z_c}{\theta_c} \quad (6)$$

Em que Z_c e θ_c são obtidos pelo ponto de inflexão no gráfico $\log(Z - Z_f)$. Sendo Z_f a altura final da interface. O Z_c é determinado através da curva Z em função do tempo traçando-se uma tangente no ponto crítico.

E o diâmetro através da equação;

$$D_m = \left(\frac{4A}{\pi} \right)^{0,5} \quad (7)$$

Os desvios são dados por:

$$Desvio = \left| \frac{D_r - D_t}{D_r} \right| 100 \quad (8)$$

Onde:

D_r = Diâmetro real

D_t = Diâmetro teórico

Um fator de segurança é adotado, usualmente de 100%, nos diâmetros encontrados já prevendo as falhas nos processos de dimensionamento, recirculação de sólidos pelo gradiente de temperatura, canais preferenciais e possíveis formações de bolhas derivadas de processos fermentativos MORAES (1990).

OBJETIVO

O presente trabalho teve por objetivo comparar a técnica de dimensionamento de Roberts do diâmetro de espessadores, com dados reais obtidos em duas unidades de escala industrial com polpas de materiais diferentes daqueles para as quais os métodos foram definidos (salmoura e lodo biológico) verificando a sua aplicação para tais polpas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram feitas visitas em indústrias do pólo industrial de Cubatão, onde foram realizadas as coletas de amostra dos espessadores na alimentação, lama e clarificado. Os ensaios em provetas foram realizados nos laboratórios das indústrias.

As concentrações da alimentação, lama e clarificado do espessador foram obtidos secando-se em estufa amostras de 100ml.

$$C = \frac{M_s}{V} \quad (7)$$

Sendo C é a concentração, M_s é massa seca e V é o volume.

$$M_s = m(\text{béquer} + \text{pó}) - m(\text{béquer}) \quad (8)$$

Já a massa específica foi calculada através de um picnômetro de 50 ml (tabela 1). O procedimento foi realizado coletando-se uma amostra da alimentação e suas diluições, lama e clarificado, com a tara do picnômetro e o seu peso cheio.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de densidade.

Ensaio 1 C1 = 21 g/l	Ensaio 2 C2 = 17,3 g/l	Ensaio 3 C3 = 14,5 g/l	Ensaio 4 C4 = 12,7 g/l	Ensaio 5 C5 = 11,1 g/l	Ensaio 6 C6 = 10,0 g/l
-------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Tabelas 2, 3, 4 e 5 fornecem os dados obtidos nos ensaios. As Figuras 5, 6, 7 e 8 apresentam as curvas de lodo biológico e salmoura.

Através das vazões das unidades industriais de 13 m³/h para o lodo biológico e 80 m³/h para a salmoura e da equação 4 obteve-se para o lodo biológico a área de 11m² (diâmetro de 4,1 m) e para a Salmoura 15 m² (diâmetro de 5 m).

O diâmetro do espessador industrial era de 9 m e 20 m para o lodo biológico e a Salmoura respectivamente. O desvio para o lodo biológico foi de 55 % e de 75 % para a salmoura, isso sem se adicionar o fator de Segurança de aumento de área, adotado pelos projetistas.

Tabela 2. lodo biológico – ensaios de sedimentação.

d1= 1214,2 g/l		d2= 1192,2 g/l		d3= 1167,4 g/l		d4= 1140,6 g/l		d5= 1119,6 g/l		d6=1090,8 g/l	
Z(cm)	θ(min)	Z(cm)	θ (min)	Z(cm)	θ(min)	Z(cm)	θ(min)	Z(cm)	θ(min)	Z(cm)	θ(min)
40	0	40	0	40	0	40	0	40	0	40	0
35	7	35	2,93	35	1,2	35	0,76	35	0,58	35	0,5
30	11,2	30	6,43	30	2,75	30	1,6	30	1,06	30	0,96
25	18,5	25	12	25	4,66	25	2,5	25	1,5	25	1,41
20	32	20	23	20	8,81	20	4,5	20	2,6	20	1,90
15	61	15	49,2	15	22,91	15	11	15	4,3	15	2,5
12	157,20	10	157,20	10	157,20	10	41	10	16,3	10	6,08
						7	157,20	6	157,20	5	59
										3	157,20

Tabela 3. Salmoura – Ensaios de sedimentação.

ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		ENSAIO 4		ENSAIO 5		ENSAIO 6	
C1= 313,9 g/l		C2= 256,3 g/l		C3= 216,5 g/l		C4= 190,5 g/l		C5= 166,8 g/l		C6= 149,4 g/l	
d1= 1026 g/l		d2= 1025,4 g/l		d3= 1023,4 g/l		d4= 1021,8 g/l		d5= 1019,6 g/l		d6=1018,2 g/l	
Z(cm)	θ(min)	Z(cm)	θ (min)	Z(cm)	θ(min)	Z(cm)	θ(min)	Z(cm)	θ(min)	Z(cm)	θ(min)
40	0	40	0	40	0	40	0	40	0	40	0
35	7,73	35	7,46	35	6,08	35	4,78	35	3,75	35	2,75
30	163	30	13,91	30	13,,29	30	9,01	30	7,4	30	5,5
25	22,68	25	20,75	25	19,51	25	12,8	25	11,16	25	7,66
20	29,13	20	28,08	20	25	20	15	20	15,25	20	10
15	36,25	15	35	15	31,4	15	19,73	15	18,43	15	12,91
10	44	10	42,41	10	38,2	10	24,91	10	22,2	10	15,16
5	61,27	5	58,5	5	55	5	34	5	30,25	5	22
2	120	2	105	2	95	2	70	2	60	2	45

Tabela 4. Lodo Biológico- Concentração.

Alimentação:	Lama	Clarificado
M(béquer) 108,09g	97,99 g	106,43 g
M(béquer)+ M(solução) 226,98 g	227,13 g	225,48 g
Mseca 110,1 g	101,54 g	107,51 g

Tabela 5. Salmoura – Concentração

Alimentação:	Lama	Clarificado
M(béquer) 108 g	97,99 g	106,38 g
M(béquer)+ M(solução) 208,47 g	198,8 g	206,43 g
Mseca 139,48 g	146,4 g	120,63 g

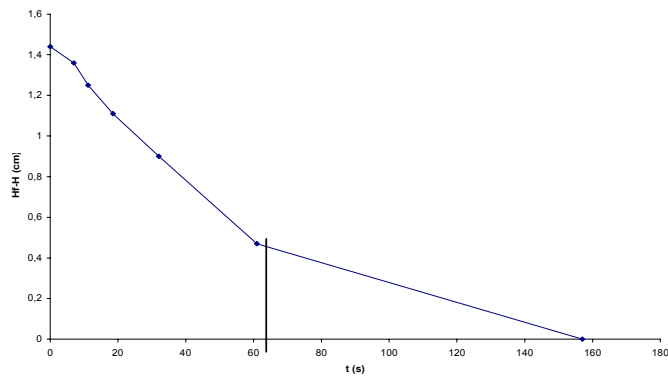


Figura 5. Lodo Biológico. Log (Z-Zf) em função do tempo.

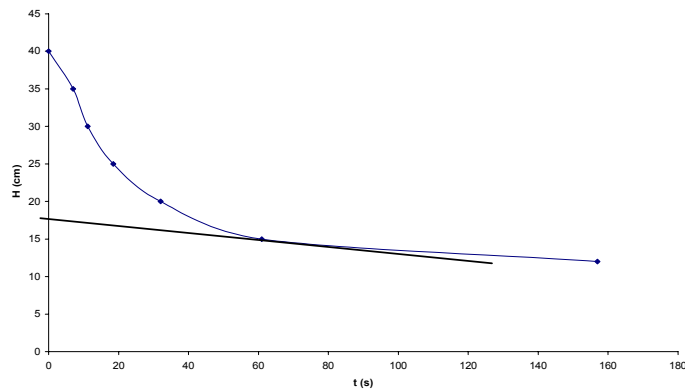


Figura 6. lodo biológico – altura da interface Z em função do tempo θ .

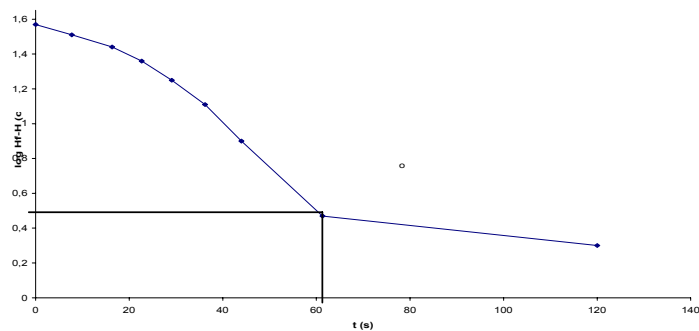


Figura 7. Salmoura – Log (Z - Zf) em função do tempo θ .

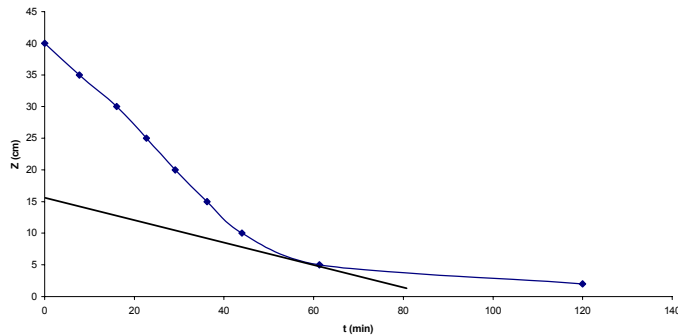


Figura 8. Salmoura – altura da interface Z em função do tempo θ

CONCLUSÕES

O trabalho permitiu concluir que, para as condições estudadas, a técnica de dimensionamento de Roberts, a partir de ensaios em provetas apresentou um desvio médio de 65% nas áreas obtidas em relação aos espessadores industriais.

Sendo uma técnica clássica, mostra a dificuldade que é o dimensionamento de espessadores, ainda que tomados todos os cuidados. Sugere ainda que uma técnica apenas pode ser comprometedor no que tange a confiabilidade dos resultados obtidos.

Por outro lado, é praticamente impossível ensaiar espessadores usando equipamentos piloto, pois o efeito de escala é tão grande que os ensaios tem pouca validade, a não ser que fossem adotados espessadores de ensaios muito grandes, o que tornaria a operação extremamente dispendiosa e de difícil execução.

Assim, a luz dos resultados, os desvios verificados sugerem que maiores estudos sejam feitos e outras técnicas analisadas para o projeto, não se considerando apenas este método para dimensionamento de espessadores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 CHAVES, A.P.; ET AL.; Teoria e Prática no Tratamento de Minérios, v.2 p.280-347. (1996) ed. Signus/Mineral.
- 2 COE, H.S.; CLEVINGER, G.H.; Methods for determining the capacities of slime Settling tanks. Transactions of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, v.60, p. 356-358; (1917).
- 3 GOMIDE, R; Operações Unitárias. V.3, cap.3 (1980)
- 4 KYNCH, G.J.; Theory of Sedimentation. Transactions Faraday Society; v.48, p.166-176 (1952)
- 5 MORAES JR., D. ; Separações Sólido-Líquido: moendas, centrífugas, espessadores e filtros. São Carlos (1990).
- 6 ROBERTS, E.J.; Thickening, art or science; Mining Engineering v.1; p. 61 (1949).
- 7 TALMAGE, W.P.; FITCH, E.B.; Determining Thickener unit areas, Ind. Eng. Chem., v.47 (1955)
- 8 WILHELM, J.H.; NAIDE, Y.; Sizing and Operation Continuous Thickener(1981) AIME n. 79.

*Thiago César de Souza Pinto¹
José Renato Baptista de Lima²*

Abstract

The method of Roberts, from assays in test tubes, it is one of the classic model for the project of continuous thickeners to the solid/liquid separation. This paper shows the results of tests that goal to compare this method with data of continuous industrial units. The tests results cause a super estimation for the diameter of the thickener in about 75% for a thickener of Pickling brine and 55% for a unit of biological silt. Those results demonstrate that this technique must be considered carefully.

Key-words: Thickener; Thickener tests; Roberts´model; Sedimentation.

¹ *Master student of Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP;*

² *Associated Professor of Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP*