



## ESPESSAMENTO CONJUNTO DE REJEITO/LAMAS\*

Andreize Raphaela Costa<sup>1</sup>  
 Carlos Magno de Lima Leone<sup>2</sup>  
 Juliana Cristina Freitas Da Silva<sup>3</sup>  
 Kleber Menezes Reis<sup>4</sup>  
 Paulo Henrique Santana<sup>5</sup>  
 Simão Célio de Carvalho<sup>6</sup>  
 Thiago Santos Guedes<sup>7</sup>

### Resumo

O espessamento é o método mais amplamente utilizado para desaguamento na indústria mineral. O objetivo desse trabalho foi verificar a viabilidade de espessamento conjunto de rejeito e lamas, considerando a utilização de sistemas existentes de espessamento, bombeamento e disposição de rejeitos, para reduzir capex em projeto de expansão. A metodologia utilizada nesse trabalho consistiu na realização de ensaios de sedimentação em proveta variando a proporção de rejeito/lamas, dosagem de floculante e a concentração de sólidos na alimentação. Os resultados indicaram que o espessamento conjunto reduz a área unitária e aumenta a concentração de sólidos no underflow (UF) do espessador.

**Palavras-chave:** Espessamento; Rejeito; Lamas.

### COMBINED THICKENING OF TAILINGS/SLIME

#### Abstract

The thickening is the most widely used method for dewatering in the mineral industry. The aim of this study was to verify the feasibility of combined thickness of tailings/slime considering the use of existing systems of thickening, pumping and disposal of tailings to reduce capex in expansion project. The methodology used in this work consisted in conventional graduated cylinder test by varying the proportion of tailings/slime, dosage of flocculant and solids content in the feed. The results indicate that the combined thickness reduce unit area and increase the solids content in the thickener underflow (UF).

**Keywords:** Thickening; Tailings; Slime.

<sup>1</sup> Engenheiro de Minas, Gerdau, Miguel Burnier, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro de Minas, Doutor em Engenharia de Minas, Gerdau, Miguel Burnier, MG, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro de Minas, Especialista em Gestão de Negócios, Gerdau, Miguel Burnier, MG, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro de Produção, Especialista em Beneficiamento Mineral, Gerdau, Miguel Burnier, MG, Brasil.

<sup>5</sup> Técnico em Mineração, Gerdau, Miguel Burnier, MG, Brasil.

<sup>6</sup> Engenheiro de Minas, Mestre em Engenharia de Minas, Gerdau, Miguel Burnier, MG, Brasil.

<sup>7</sup> Engenheiro Químico, Especialista em Engenharia de Recursos Minerais, Gerdau, Miguel Burnier, MG, Brasil.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



## 1 INTRODUÇÃO

A Gerdau está desenvolvendo projeto de expansão de uma de suas unidades de tratamento de minério contemplando etapas de deslamagem e concentração de minérios de ferro itabiríticos por flotação.

O estudo aqui apresentado se insere na avaliação do sistema de espessamento atual para atender a expansão, alimentando o sistema com os seguintes materiais: rejeito da flotação conjuntamente com lamas de itabiritos + lamas de hematitas.

### 1.1 Objetivos

Verificar a viabilidade de espessamento conjunto de rejeito e lamas considerando a utilização de sistemas existentes de espessamento, bombeamento e disposição de rejeitos.

Para avaliar a utilização dos sistemas atuais foram realizados testes de sedimentação em proveta, com o objetivo de identificar a influência do espessamento conjunto de lamas e rejeito na área unitária e concentração de sólidos no underflow (UF) do espessamento.

### 1.2 Revisão da literatura

O espessamento é o método mais amplamente utilizado para o desaguamento na indústria mineral. É um método de baixo custo, com altas capacidades e que envolve baixas forças de cisalhamento, o que favorece a floculação/coagulação das partículas finas. Resende [1].

O espessamento é usado para aumentar a concentração da suspensão através da sedimentação e também para formar uma fase líquida clarificada. Os espessadores consistem basicamente de um tanque de grande profundidade pelo qual o líquido clarificado é retirado pela parte superior e o sólido sedimentado pela parte inferior. Suttill [2].

O número de trabalhos existentes em espessamento conjunto de rejeito e lamas ainda é relativamente pequeno. Guimarães [3] estudou a sedimentação desses materiais e, avaliou que apenas para altos valores de rejeito na composição com lamas é que se obtém um aumento na velocidade de sedimentação. Uma causa provável para este fato se dá na alta viscosidade da polpa com maior percentual de lamas, em comparação ao rejeito de flotação. Mesmo para o rejeito de flotação, a velocidade aumenta muito a baixas concentrações de sólidos na alimentação, e vai diminuindo à medida que aumenta a concentração.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Na indústria mineral, testes de sedimentação em bancada ou ensaios descontínuos de sedimentação são amplamente utilizados. Dentre os principais objetivos destes testes, pode-se destacar:

- Avaliação de diferentes tipos de reagentes;
- Verificação do comportamento de diferentes tipos de minérios;
- Dimensionamento de espessadores (Coe e Clevenger, Talmage-Fitch, Oltmann, etc). Resende [1].

\* *Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*



O teste consiste basicamente da utilização de uma proveta graduada preenchida com uma polpa mineral. A polpa é agitada e os reagentes a serem utilizados são adicionados e homogeneizados com a ajuda de um plunger. A polpa é então deixada em repouso e as partículas sólidas começam a sedimentar. Inicialmente existe somente uma fase, o que começa a mudar quando a polpa é deixada em repouso. A fase de líquido clarificado vai aumentando até que ao final do teste só existam duas fases: uma do sobrenadante clarificado e a outra do sólido sedimentado compactado.

Os cálculos do dimensionamento do espessador foram realizados utilizando a metodologia de Talmage-Fitch.

## 2.1 Materiais

### 2.1.1 Equipamentos

- Balança analítica; chapa; pHmetro; agitador; balão volumétrico; cronômetro; proveta; béquer; plate plunger.

### 2.1.2 Insumos

- Floculante: o reagente utilizado nos testes de sedimentação foi o Mafloc 1115A;
- Hidróxido de sódio;
- Cal hidratada.

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Preparação do floculante

- Pesar 300g de água, adicionar em um recipiente e agitar;
- Pesar 0,09g de floculante, adicioná-lo lentamente no recipiente com água e manter em agitação de acordo com a especificação do fornecedor, obtendo-se uma solução inicial com 0,03% de concentração em peso com validade de 1 semana.

### 2.2.2 Amostras

Os testes de sedimentação foram realizados com os seguintes materiais:

- Testes de sedimentação conjunto: rejeito da flotação + lamas de itabirito + lamas de hematita;
- Testes de sedimentação de lamas: lamas de itabirito + lamas de hematita.

Para a realização dos testes foram coletadas 10 amostras representativas de cada tipo de material. A amostragem foi realizada em diferentes pilhas de ROM que alimentaram as plantas de beneficiamento.

Para cada tipo de material (rejeito da flotação, lama de itabirito e lama de hematita) foi composta uma amostra única.

Foram retiradas alíquotas dos três materiais e composta amostra com a mistura, de acordo com a proporção desejada nos testes.

A figura 1 mostra de forma esquemática a composição das amostras.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

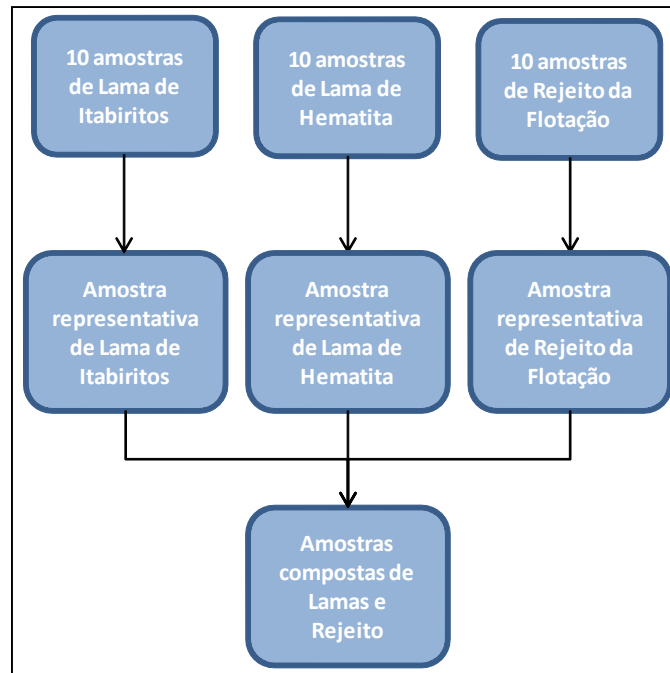


Figura 1. Esquema de composição das amostras.

A composição da amostra de rejeito e lamas foi realizada utilizando as proporções em massa apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Composição da amostra (Lamas de itabirito e hematita + rejeito da flotação)

MATERIAIS	ALTO %REJEITO	MÉDIO %REJEITO	BAIXO %REJEITO
Rejeito da flotação (%)	95	79	65
Lamas de itabirito (%)	2,5	13	20
Lamas de hematita (%)	2,5	8	15

Foram compostas amostras exclusivamente com as lamas e os testes foram realizados utilizando as proporções em massa apresentadas na tabela 2.

Tabela 2. Composição das lamas (Lamas de itabirito e hematita)

MATERIAIS	PROPORÇÃO
Lamas de hematita (%)	62
Lamas de itabirito (%)	38

### 2.2.3 Execução dos ensaios

Foram realizados ensaios padrão de sedimentação com as características específicas de metodologia apresentadas abaixo.

- Ajuste inicial do pH da polpa de rejeito e lama de itabirito, com hidróxido de sódio, para 9,2;
- Alimentação da proveta com a lama de hematita e acréscimo de água até completar exatamente o volume máximo da proveta (em função da concentração de sólidos desejada);
- Ajuste do pH da polpa, com cal, para 10,5;
- Após 24 horas de iniciado o ensaio, retirar o excesso de água da proveta, filtrar o conteúdo da proveta, secar e registrar a massa seca;
- Determinar o percentual de sólidos final do sedimentado.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



## 2.2.4 Metodologia para planejamento e análise dos dados

Foi realizado um planejamento de experimentos (DOE – Design of Experiments) através do software Minitab, para garantir que os testes fossem conduzidos de forma estruturada. O DOE permitiu avaliar o efeito de diferentes variáveis de forma simultânea. Ao usar o DOE, as variáveis controladas (ou fatores, ou "inputs") foram modificadas sistematicamente e simultaneamente e os efeitos destas mudanças foram medidos, modelados e mapeados.

O planejamento de experimentos adotou planejamento fatorial completo com três fatores, três níveis e sem réplica (para a amostra composta de rejeito e lamas).

O planejamento de experimentos foi realizado considerando como variáveis de entrada a proporção de rejeito e lamas, concentração de sólidos na alimentação e dosagem de floculante. Foram considerados três níveis de simulação para cada fator, conforme descrito na tabela 3.

**Tabela 3.** Condições de entrada utilizadas no planejamento dos experimentos para amostra composta de rejeito + lamas

FATORES	NÍVEIS		
	Alto	Médio	Baixo
1. Proporção de rejeito e lamas			
massa de rejeito Itabirito (%)	95	79	65
massa de lama Itabirito (%)	2,5	13	20
massa de lama Hematita (%)	2,5	8	15
2. Concentração de sólidos da alimentação (%)	30	16	10
3. Dosagem de floculante (g/t)	35	25	15

Para o caso do teste com lamas foi variada somente a dosagem de floculante, conforme ilustrado na tabela 4.

**Tabela 4.** Condições de entrada utilizadas no planejamento dos experimentos para amostra composta de lamas

FATORES	NÍVEIS		
1. Proporção de lamas	Lamas combinadas		
massa de lama Itabirito (%)	62		
massa de lama Hematita (%)	38		
2. Concentração de sólidos da alimentação (%)	5		
3. Dosagem de floculante (g/t)	30	20	15

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos testes de sedimentação, para a amostra composta de rejeito e lamas, são apresentados nas tabelas 5 e 6. Para o cálculo do parâmetro de saída dos testes (concentração de sólidos no UF do espessador) foi considerado um espessador com diâmetro fixo de 45m, em todas as situações. Além disso, a taxa de

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



alimentação (valores de projeto) considerada para o espessador foi a mesma em todos os testes, para as amostras compostas de rejeito e lamas.

Para os testes com lamas, a taxa de alimentação do espessador (excluindo o rejeito) foi a mesma do nível médio do espessamento conjunto de rejeito e lamas, apresentado na tabela 3.

A tabela 5 apresenta apenas os dados para o nível médio de composição de amostra de rejeito e lamas e as médias das concentrações de sólidos para todos os casos, considerando um espessador de 45m de diâmetro com taxa de alimentação de 813,4 t/h (valor de projeto), conforme apresentado na tabela 3.

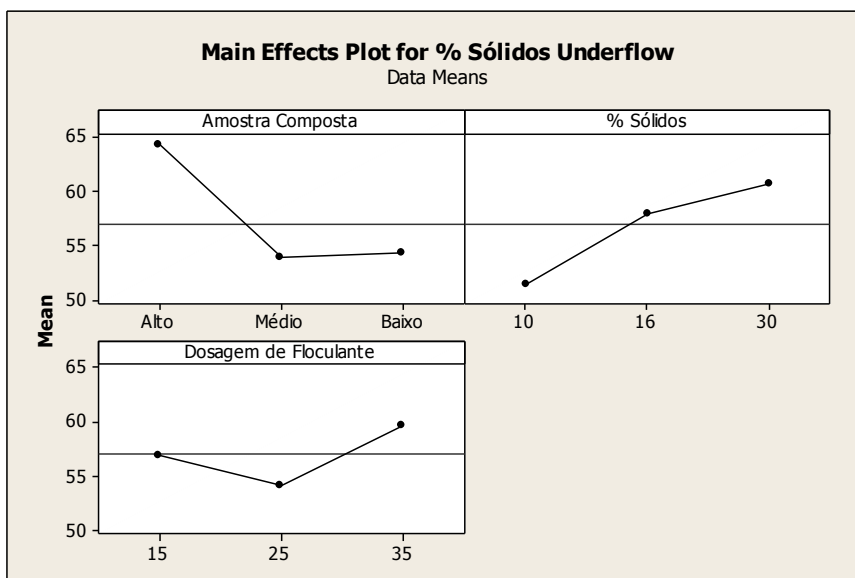
**Tabela 5.** Dados de entrada e resultados para amostra composta de rejeito e lamas

Variáveis de entrada					Variável de saída
Proporção de rejeito e lamas	Conc. de sólidos da alimentação (planejado) (%)	Conc. de sólidos da alimentação (real) (%)	Dosagem de floculante (planejada) (g/t)	Dosagem de floculante (real) (g/t)	Conc. de sólidos no UF (%)
Médio	10	11	25	22	41
Médio	10	10	15	12	50
Médio	10	11	35	30	54
Médio	16	18	15	14	55
Médio	16	18	35	30	56
Médio	16	18	25	23	57
Médio	30	30	15	15	53
Médio	30	31	25	24	59
Médio	30	33	35	33	60
Média do nível baixo	-	-	-	-	53
Média do nível médio	-	-	-	-	54
Média do nível alto	-	-	-	-	63

É possível notar que quanto maior a concentração de sólidos na alimentação do teste maior será a concentração de sólidos no UF do espessador. A dosagem de floculante também influencia nos resultados, onde há uma tendência de aumento na concentração de sólidos no UF do espessador com o aumento da dosagem.

A figura 2 ilustra o tratamento estatístico dos dados (incluindo os três níveis de composição de amostras – alto, médio e baixo).

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



**Figura 2.** Influência da composição de amostras, concentração de sólidos na alimentação e dosagem de floculante na concentração de sólidos no UF do espessador.

A figura 2 mostra que, o nível alto do teste (maior percentual de rejeito) apresentou um resultado melhor (maior concentração de sólidos no UF do espessador), como já era previsto, porém os níveis médio e baixo apresentaram resultados similares, indicando a possibilidade de aumento de lamas na composição sem prejuízo nos resultados.

Para a concentração de sólidos na alimentação, quanto maior, melhor será o resultado e para a dosagem de floculante o melhor resultado foi de 35g/t, sendo que a dosagem de 25g/t obteve um resultado inferior.

A tabela 6 mostra os dados de entrada e resultados para a amostra composta de lamas, considerando um espessador de 45m de diâmetro com taxa de alimentação de 187,2 t/h (valor de projeto).

**Tabela 6.** Dados de entrada e resultados para amostra composta de lamas

Variáveis de entrada					Variável de saída
Material	Conc. de sólidos da alimentação (planejado) (%)	Conc. de sólidos da alimentação (real) (%)	Dosagem de floculante (planejada) (g/t)	Dosagem de floculante (real) (g/t)	Conc. de sólidos no UF (%)
Lamas	5	5	15	15	19
Lamas	5	6	20	20	28
Lamas	5	5	30	30	26

Os resultados indicam que a dosagem de floculante de 20g/t foi a que apresentou a maior concentração de sólidos no UF do espessador.

Pelos resultados apresentados, para um espessador de 45m, estima-se 28% de sólidos no UF, considerando apenas lamas.

A tabela 7 apresenta uma comparação de simulações de projeto entre espessamento conjunto, espessamento das lamas e uma posterior mistura com rejeito sem espessar e as lamas e rejeito espessados separadamente (em dois espessadores).

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



No caso do espessamento conjunto de rejeito e lamas, estima-se uma concentração de sólidos no UF de 55%. Este valor atende às especificações do projeto com somente 01 espessador e é aplicável para o minério em que os testes foram realizados.

Para as lamas espessadas (28% de sólidos no UF) com o rejeito não espessado (concentração de sólidos de aproximadamente 40%), estima-se um bombeamento de polpa para a barragem com 37% de sólidos.

No caso do espessamento separado de lamas e rejeito, teríamos um espessador de lamas com 28% de sólidos no UF e um espessador de rejeito com 65% de sólidos no UF, onde a concentração de sólidos dos dois materiais seria de aproximadamente 50%.

**Tabela 7.** Comparação de simulações de projeto entre espessamento conjunto, espessamento das lamas e mistura com rejeito e espessamento separado de lamas e rejeito

Material	Concentração de sólidos (%)	Vazão de sólidos (t/h)	Vazão de água (m <sup>3</sup> /h)	Vazão de polpa (m <sup>3</sup> /h)
Rejeito da flotação + Lamas espessados juntos	55	813,4	665,5	915,8
Lamas Espessadas + Rejeito da Flotação	37	813,4	1385,0	1635,3
Lamas Espessadas + Rejeito da Flotação Espessado em dois espessadores separados	50	813,4	818,4	1065,4

Comparando-se os resultados, pode ser observado que, a mistura do rejeito e lamas aumenta significativamente a concentração de sólidos no UF do espessador e reduz o volume de água a ser bombeado para a barragem de rejeito.

## 4 CONCLUSÃO

Através dos testes de sedimentação os resultados indicam a viabilidade do espessamento conjunto de lamas e rejeito para aplicação específica no sistema atual da planta (espessamento, bombeamento e disposição de rejeitos), sem a necessidade de aquisição de um espessador adicional. Os resultados dos ensaios em bancada indicam que o espessamento conjunto de lamas e rejeito atingiu uma concentração de sólidos no UF de 55%, compatível com a capacidade dos sistemas projetados.

## REFERÊNCIAS

- 1 Resende AJC. Influência da perda por calcinação na sedimentação de concentrados de minério de ferro da Samarco Mineração S.A. [mestrado]. Belo Horizonte: UFMG; 2009.
- 2 Suttill KR. The ubiquitous thickener. Eng, and Min, J. 1991; 20:192.
- 3 Guimarães FAV. Revisão nos métodos de dimensionamento de espessadores e comparação dos modelos industriais. [mestrado]. Belo Horizonte: UFMG; 2010.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.