

## AVALIAÇÃO DA GRANULOMETRIA DE ALIMENTAÇÃO E DOS PRODUTOS DA ETAPA ROUGHER DE FLOTAÇÃO DA USINA DO SOSSEGO

MIRANDA, A.<sup>1</sup>, FONSECA, R.<sup>2</sup>, OLEGARIO, F.<sup>3</sup>, SOUZA, M.<sup>4</sup>, OLIVEIRA, G.<sup>5</sup>,  
BERGERMAN, M.G.<sup>6</sup>, DELBONI JR., H.<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Vale S.A., e-mail: anderson.miranda@vale.com

<sup>2</sup>Vale S.A., e-mail: ronaldo.fonseca@vale.com

<sup>3</sup>Vale S.A., e-mail: olegario.francisco@vale.com

<sup>4</sup>Vale S.A., e-mail: marlon.souza@vale.com

<sup>5</sup>Vale S.A., e-mail: geovan.oliveira@vale.com

<sup>6</sup>Universidade de São Paulo, e-mail: mbergerman@usp.br

<sup>7</sup>Universidade de São Paulo, e-mail: hdelboni@usp.br

### RESUMO

A usina do Sossego processa um minério sulfetado de cobre e ouro. A etapa de flotação compreende estágios *rougher*, *cleaner* e *scavenger* do *cleaner*, sendo que os concentrados das etapas *rougher* e *scavenger* do *cleaner* passam por um estágio de remoagem antes de seguir para a etapa *cleaner*. Ao longo dos primeiros anos de operação, observou-se que a granulometria de alimentação da remoagem estava consistentemente mais fina que o esperado, mesmo considerando-se que a granulometria de alimentação da flotação (etapa *rougher*) estava dentro dos parâmetros esperados e significativamente mais grossa que o concentrado *rougher*. Este trabalho apresenta os resultados das amostragens de campo para identificar a origem de tal diferença e quantificar a mesma, assim como ilustra os impactos de tal diferença na etapa de remoagem do concentrado.

**PALAVRAS-CHAVE:** flotação; remoagem; cobre; classificação.

### ABSTRACT

Sossego plant processes a copper and gold sulfide ore. The flotation process comprises the rougher, cleaner and scavenger of cleaner stages. The concentrate from the rougher and scavenger of cleaner stages goes through a regrinding process before being fed into the cleaner stage. During the first years of operation, it was noticed that the regrinding feed size was consistently finer than expected, even though the flotation feed size (rougher stage) was within the planned parameters and significantly coarser than the concentrate from the rougher stage. This paper describes the results of field samplings to identify the factors behind such difference in size and to quantify it. Moreover, it shows the impacts of such size difference on the concentrate regrinding stage.

**KEYWORDS:** flotation; regrinding; copper; classification.

## 1. INTRODUÇÃO

A mina do Sossego, da Vale, localizada em Canaã dos Carajás, estado do Pará, iniciou suas operações em 2004, sendo a primeira mina de cobre da empresa. Esta possui uma reserva estimada de 245 milhões de toneladas com teores de 0,98% de cobre e 0,28 g/t de ouro (para um *cut off* de 0,33% de cobre equivalente), divididos em dois corpos, denominados Sequeirinho (principal) e Sossego. Este último representa aproximadamente 15% das reservas. Há também cerca de 16,5 milhões de toneladas de minério de cobre oxidado (VALE, 2001).

O minério de cobre é basicamente calcopirítico, com pequena presença de bornita e calcocita. A usina do Sossego processa 41.000 toneladas de minério de cobre por dia e está projetada para uma produção superior a 470.000 toneladas de concentrado de cobre por ano. O fluxograma de processo é apresentado na Figura 1.

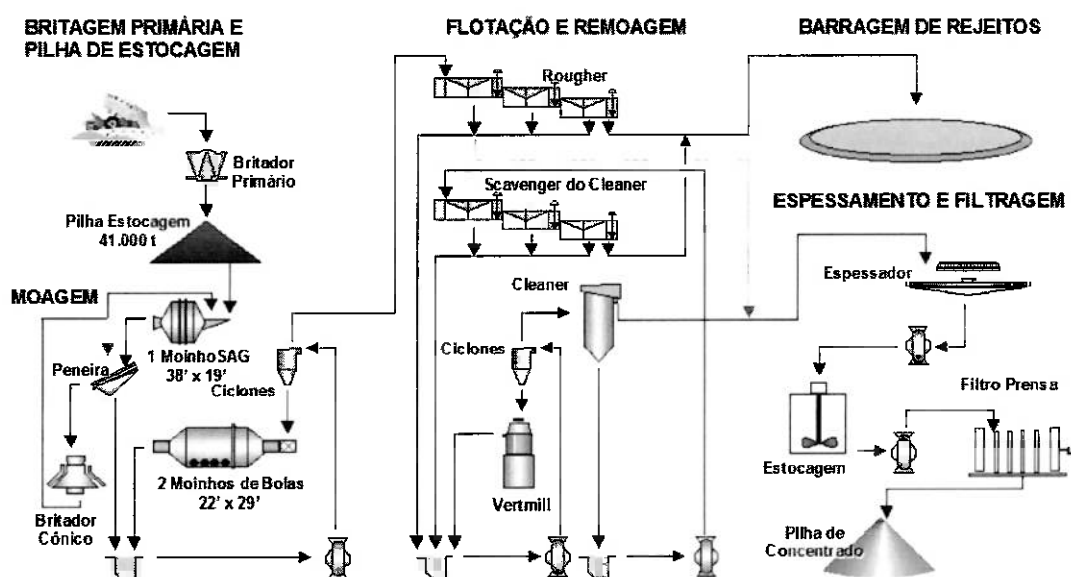


Figura 1. Fluxograma de processo da usina do Sossego (Fonte: ROSA et al., 2007).

O circuito da usina do Sossego é descrito em detalhes por Bergerman (2009) e Rosa et al. (2007). A seguir é apresentada uma breve descrição do circuito de flotação do Sossego, foco do presente trabalho. O *overflow* dos ciclones da moagem de bolas, com um  $P_{80}$  da ordem de 210  $\mu\text{m}$ , segue para a etapa *rougher* de flotação. Os concentrados *rougher* e *scavenger* do *cleaner* da flotação alimentam, por meio de bombas de velocidade variável, duas baterias de ciclones. O *underflow* da ciclonagem é direcionado, por gravidade, para a caixa de alimentação dos moinhos verticais, os quais são alimentados pela porção inferior do mesmo por meio de uma bomba que também opera com velocidade variável. Os dois moinhos verticais operam em circuito fechado com a ciclonagem. A descarga do moinho vertical passa por uma classificação interna, na qual o material grosseiro retorna diretamente ao moinho, em conjunto com a alimentação nova, e o material fino segue para a classificação em ciclones. O produto da remoagem (*overflow* dos ciclones), com  $P_{80}$  da ordem de 44  $\mu\text{m}$ , é submetido à flotação *cleaner* em colunas de flotação, sendo o

concentrado *cleaner* o produto final e o rejeito *cleaner* a alimentação da etapa *scavenger* do *cleaner*.

Como medida para avaliar o desempenho da flotação, criou-se uma rotina de amostragens mensais do circuito completo de flotação. As amostras coletadas eram submetidas a análises granulométricas e química por faixa. Os resultados permitiam que a equipe de processo do Sossego pudesse sempre buscar otimizações nesta etapa do circuito. Uma avaliação dos dados quanto ao comportamento da distribuição granulométrica ao longo do circuito (Bergerman, 2013) mostrou que eram observadas significativas diferenças de granulometria entre a alimentação da flotação *rougher* e o concentrado da mesma etapa. Tal diferença não foi prevista em projeto, tendo em vista que a granulometria esperada para a alimentação dos moinhos verticais proveniente do concentrado *rougher* foi determinada como a mesma granulometria da alimentação da etapa *rougher*. O presente trabalho tem por objetivo quantificar tal diferença e avaliar o impacto da mesma sobre a flotação e remoagem da usina do Sossego.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a etapa de diagnóstico do circuito, foram coletadas amostras nos seguintes pontos da usina do Sossego:

- *Overflow* dos ciclones da moagem de bolas (alimentação da flotação *rougher*);
- Concentrado *rougher*;
- Rejeito *rougher*;
- Alimentação *cleaner*;
- Concentrado *cleaner*;
- Rejeito *cleaner* (alimentação da flotação *scavenger* do *cleaner*);
- Concentrado *scavenger* do *cleaner*;
- Rejeito *scavenger* do *cleaner*;
- Rejeito final (tubulação que reúne o rejeito *rougher* e o rejeito *scavenger* do *cleaner*).

A Figura 2 ilustra o amostrador utilizado para a tomada das amostras da ciclonagem e a Tabela 1 ilustra os fatores utilizados no cálculo da massa mínima a ser coletada em cada fluxo.



Figura 2. Amostrador utilizado para amostragem da ciclonagem.

Tabela 1. Cálculo das massas mínimas utilizando a fórmula proposta por Gy (1992).

Fluxo	Fator de forma do material	Densidade do material (g/cm <sup>3</sup> )	Tamanho máximo do intervalo de interesse (mm)	Nível de confiança (%)	Precisão (%)	Proporção esperada no intervalo de interesse	Ordenada normal no nível de confiança escolhido	Massa mínima (g)
Alimentação rougher	0,60	3,62	0,05	95	10	20	1,96	260
Concentrado e rejeito rougher	0,60	3,62	0,3	99,9	10	35	3,29	93
Concentrado e rejeito scavenger e Concentrado e rejeito cleaner	0,60	4,00	0,3	99,9	10	35	3,29	104
Alimentação cleaner	0,60	3,62	0,3	99,9	10	35	3,29	93

As amostragens foram sempre realizadas durante um período de duas horas, no qual a usina foi considerada sob operação estável, com incrementos tomados a cada 15 minutos. Um ponto importante de atenção durante a amostragem foi quanto à operação de bombas de poço, que caso em operação, podem desestabilizar o circuito. No presente trabalho, adotou-se o procedimento de não operar as mesmas 2 h antes da realização das amostragens.

As amostras foram enviadas para o laboratório de processo da usina do Sossego. Inicialmente, foram determinadas as porcentagens de sólidos de todas as amostras. Em seguida, foi realizado o peneiramento a úmido, com telas nas seguintes aberturas: 425, 212, 150, 106, 75, 45 e 38  $\mu\text{m}$ . O produto retido em cada malha foi encaminhado para análise química no Laboratório Químico da usina do Sossego, para determinação do teor de cobre por meio de absorção atômica.

Para a realização deste trabalho, foram realizadas 38 amostragens entre os anos de 2008 e 2012.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados das amostragens no circuito industrial, foram reunidos dados da granulometria de alimentação da flotação *rougher* e comparados com os dados da granulometria do concentrado *rougher*, que constitui a alimentação nova do circuito de remoagem. Estes dados estão ilustrados na Figura 3.

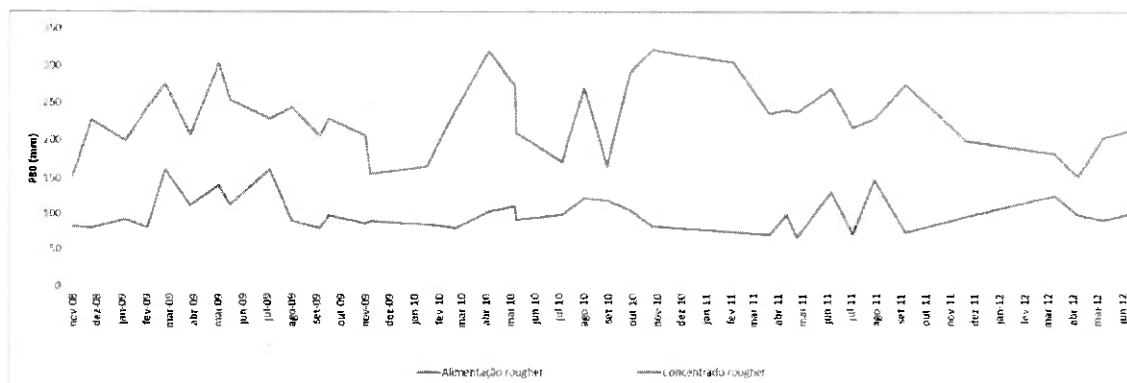


Figura 3. Comparação da granulometria de alimentação *rougher* e do concentrado *rougher*.

Os dados da Figura 3 ilustram uma clara tendência de uma granulometria significativamente mais fina do concentrado *rougher* em relação à alimentação da mesma etapa. Essa diferença se deve possivelmente a dois fatores. O primeiro é que partículas mais grosseiras podem não estar liberadas ou são pesadas demais para serem flotadas, sendo encaminhadas assim para o rejeito. O segundo é que os sulfetos presentes no minério do Sossego, que são concentrados na etapa *rougher*, apresentam densidade significativamente maior que o restante da ganga, constituída principalmente de óxidos e silicatos. Essa diferença de densidade provavelmente faz com que partículas de sulfetos de mesmo tamanho das partículas de ganga sejam encaminhadas para o *underflow* do ciclone da moagem de bolas, sendo assim moídas além do necessário. Tal diferença possui um significativo impacto positivo sobre a operação dos moinhos verticais da usina do Sossego, que recebem uma alimentação com granulometria aproximadamente 50% mais fina que a projetada.

A fim de avaliar o impacto na recuperação da etapa *rougher* desta diferença entre as granulometrias da alimentação e do concentrado, foi determinada a recuperação por faixa granulométrica para todos os resultados de amostragens. Os resultados dos valores médios para as amostragens realizadas estão ilustradas na Tabela 2.

Tabela 2. Recuperação metalúrgica de cobre por faixa granulométrica – média das amostragens de 2008 a 2011.

Malha (mm)	Recuperação metalúrgica de cobre (%)	Partição do cobre por fração (%)
425	7,1	1,2
212	67,8	8,0
150	86,5	5,9
106	93,1	7,9
75	95,1	10,5
45	96,2	11,2
38	95,2	5,1
<38	95,0	50,3
Média etapa	92,9	100

Pode-se observar que existe uma queda significativa da recuperação de cobre nas frações mais grosseiras. Esta menor recuperação não impacta de forma significativa a recuperação média da etapa, tendo em vista que a quantidade de cobre presente nas frações mais grosseiras é muito baixa, aproximadamente 10%, como também pode ser visto na Tabela 2. Como informação, a etapa *rougher* representa de 85 a 95% do rejeito final da usina, conforme resultados das amostragens industriais realizadas para o presente estudo.

Nas etapas *cleaner* e *scavenger* do *clenaer*, não se observou o mesmo comportamento da etapa *rougher* – as granulometrias das alimentações e dos concentrados possuem distribuições semelhantes.

#### 4. CONCLUSÕES

O presente trabalho mostrou que existe uma significativa diferença entre a distribuição granulométrica da alimentação e do concentrado da etapa *rougher* de flotação da usina do Sossego. Uma significativa parcela da porção mais grosseira segue diretamente para o rejeito da etapa. Tal situação não impacta de forma significativa a recuperação metalúrgica do processo, tendo em vista que apenas aproximadamente 10% do cobre contido na alimentação da flotação se encontra nas frações mais grosseiras. Observa-se, no entanto, um impacto positivo significativo sobre a operação dos moinhos verticais, que recebem uma alimentação muito mais fina que a planejada em projeto. Tal característica pode ocorrer em outras usinas que processem minerais sulfetados e deve ser levada em conta no dimensionamento dos moinhos verticais.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Vale S.A. pela autorização para a publicação deste trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Bergerman MG. Dimensionamento e simulação de moinhos verticais [tese de doutorado]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2013.
- Bergerman MG. Modelagem e simulação do circuito de moagem do Sossego [dissertação de mestrado]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2009.
- Gy P. Sampling of heterogeneous and dynamic material systems: theories of heterogeneity, sampling and homogenizing. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1992. 653 p.
- Rosa MAN, Bergerman MG, Miranda A, Oliveira JL, Souza M, Batista Filho J, Cardoso W. Controle operacional da usina do Sossego. In: Meeting of the southern hemisphere on mineral technology e Encontro nacional de tratamento de minérios e metalurgia extrativa. Proceedings do VII Meeting of the southern hemisphere on

mineral technology e XXII Encontro nacional de tratamento de minérios e metalurgia extrativa. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2007. v. III. p. 505-512.

Vale. Relatório de viabilidade do Projeto Sossego. Carajás: Minerconsult, Bechtel, ECM e Concremat, 2001. 451 p. (Relatório Interno)\*.