

ANÁLISE PRELIMINAR DE DESEMPENHO DO CIRCUITO DE MOAGEM DA USINA DE BENEFICIAMENTO 312 DA VALE FERTILIZANTES DE ARAXÁ – MG

DELBONI JR, H.¹, ROCHA, B.G.²

¹Universidade de São Paulo. hdelboni@usp.br.

²Faculdades Integradas Pitágoras de Montes Claros. eng.minas@fip-moc.edu.br

RESUMO

O estudo tem por objetivo descrever os trabalhos já realizados, referentes ao estabelecimento de diagnósticos de desempenho do circuito industrial de moagem do CMA- Complexo Mineraloquímico de Araxá, da Vale Fertilizantes S/A. Este documento inclui a apresentação dos dados obtidos, bem como respectivas análises, de forma a registrar o resultado das simulações realizadas no referido circuito. A base de dados para a etapa de diagnóstico de desempenho foi formada por dados e informações obtidas a partir de uma campanha de amostragem realizada no referido circuito industrial. Estão descritos também, os índices selecionados de desempenho do processo, assim como as respectivas análises. Estas análises indicam que há potencial de melhorias em todas as etapas do circuito de moagem analisado.

PALAVRAS-CHAVE: fosfato; cominuição; simulação.

ABSTRACT

The study aims to describe the work already done, for the establishment of diagnostic performance of industrial circuit grinding of CMA-Complex Mineraloquímico Araxá, Vale Fertilizantes S / A. This document includes the presentation of data, as well as its analysis, in order to record the results of simulations in that circuit. The data base for step diagnostic performance was formed by data and information obtained from a sampling campaign held in said industrial circuit. Also described are the indices selected process performance as well as their analyzes. These analyzes indicate that there is potential for improvement in all stages of the grinding circuit analysis.

KEYWORDS: phosphate; comminution; simulation.

1. INTRODUÇÃO

A cominuição de sólidos é uma operação que pode destinar-se a vários objetivos. No beneficiamento de minérios, a cominuição é necessária para se obter uma granulometria adequada ao processo de concentração utilizado, assim como para consecução de uma liberação adequada dos minerais a serem separados (Beraldo, 1987).

A usina de beneficiamento 312 da Vale Fertilizantes de Araxá-MG opera com uma linha de moagem composta por um moinho de barras como moagem primária e um moinho de bolas em configuração fechada reversa com ciclones, cujos overflows combinados alimentam uma etapa de deslamagem. Neste processo há geração significativa de finos, que são então, descartados, acarretando em perda de material, que embora seja fino para ser incorporado ao produto, contém terores que atendem as especificações quanto aos contaminantes.

O presente trabalho descreve o processo de modelagem matemática para otimização do circuito de moagem da usina 312 da VFSA. Para tanto, utilizou-se o simulador JKSimMet. O modelo matemático de cominuição empregado leva em conta, tanto as características do equipamento, como as do minério (Foggiatto, 2009). Os trabalhos descritos no presente documento incluem as descrições dos resultados obtidos a partir das calibrações de modelos matemáticos, cujos produtos foram fluxogramas e balanços de massas consolidados do circuito integrado.

A campanha de amostragem incluiu a tomada de amostras em todos os pontos selecionados do circuito de moagem, incluindo moagem em moinho de barras, separação magnética de baixo campo, primeira e segunda pré-classificações, além da etapa de moagem em moinho de bolas. Nas campanhas foram também obtidas amostras da alimentação do moinho de barras, ou seja, do produto da respectiva pilha de homogeneização.

2. MATERIAS E MÉTODOS

2.1. Amostragem Industrial

A amostragem é o conjunto de operações destinado a obtenção de uma amostra representativa de uma dada população ou universo (OLIVEIRA; AQUINO; 2007). É a etapa que merece maior atenção no processo de modelagem e simulação, tendo em vista que caso sejam coletados dados e informações incorretas, tanto a calibração dos modelos como a simulação ficarão incorretos.

Neste trabalho, a amostragem foi realizada no dia 21 de janeiro de 2011 na pilha denominada 86 constituída pelo minério oxidado da mina do Barreiro. Esta foi realizada por equipe adequada, com a usina operando em “regime”, durante 2 horas com incrementos a cada 15 minutos. Após a amostragem em todos os pontos selecionados da usina, coletou a amostra da alimentação da mesma, ou seja, a amostra que representa a alimentação do moinho de barras. Para coleta dessa amostra, parou-se a correia transportadora que interliga a pilha de homogeneização a usina, para uma correta e segura amostragem.

Ainda com relação a preocupação de garantir que a amostragem fosse realizada dentro da estabilidade operacional da usina (“regime”), deve-se ressaltar que, ao longo do período de tempo em que a mesma foi realizada, os técnicos responsáveis pelo sistema supervisorio estiveram atentos para comunicar via rádio qualquer anormalidade identificada na operação. Estiveram também comprometidos em garantir o mínimo de flutuação possível na vazão de alimentação da usina. O início da coleta das amostras esteve sempre condicionado a um sinal positivo da sala de controle da usina. Não houve necessidade de interromper os trabalhos durante toda a amostragem.

Ao final da amostragem, os baldes foram devidamente tampados e as amostras foram transportadas ao laboratório para início do processamento do material obtido, tanto no que diz respeito a determinação granulométrica quanto a apuração das porcentagens de sólidos.

As amostras para determinação da porcentagem de sólidos foram coletadas em baldes previamente pesados e identificados. Os outros materiais envolvidos nesse procedimento foram: balança eletrônica, bandejas de alumínio e estufa. Tomou-se muito cuidado para se evitar perdas de material.

É de suma importância na avaliação das operações de cominuição e classificação, as análises granulométricas. Devido a quantidade mínima de amostra determinada, segundo a teoria de Pierre Gy, para cada ponto coletado – aproximadamente 2 kg para os quinze pontos após o moinho de barras – não houve necessidade de realização de quartejamento ou de qualquer outro procedimento de redução de tamanho das amostras primárias. Os cálculos para determinação de massa mínima foram efetuados nos dois pontos onde o material é mais grosseiro.

O equipamento utilizado no peneiramento, um peneirador mecânico, comportava bem a massa integral de cada amostra coletada na usina, sem acarretar acúmulos prejudiciais em nenhuma das várias malhas utilizadas. O peneiramento foi realizado a úmido, com o *timer* do peneirador ajustado para 30 minutos, intervalo de tempo usualmente necessário para que a água de saída do processo se tornasse clara, ou seja, livre do excesso de lamas. Ao longo do processamento, a água de saída foi recolhida para determinação do passante em 0,038 mm.

As taxas de fluxo foram devidamente monitoradas durante a amostragem, verificando-se a condição de estado estacionário dos processos. Todas as variáveis relevantes de processo foram medidas, tais como pressão na alimentação dos ciclones, número de ciclones em operação e potência nos motores dos moinhos. Os parâmetros de processo, tais como diâmetro e comprimento interno (entre revestimentos) dos moinhos, carga de corpos moedores e geometria dos ciclones foram informados.

2.2. Fluxograma e Balanço de Massas

A Figura 1 apresenta o fluxograma e o sumário do balanço de massas relativo a campanha de amostragem considerada neste trabalho. As Tabelas I e II apresentam os resultados dos balanços de massas incluindo vazões de sólidos, água e polpa, densidade e porcentagem de sólidos da polpa, assim como distribuições granulométricas completas.

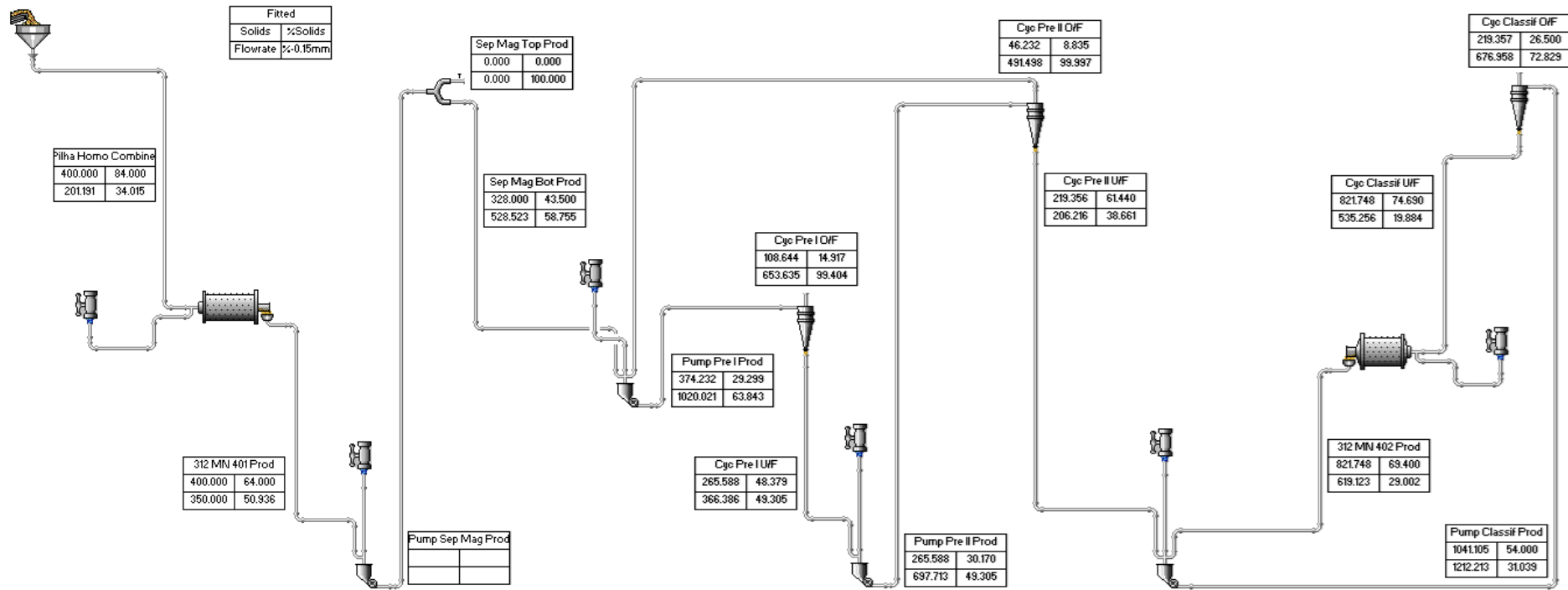


Figura 1. Fluxograma do circuito de moagem e sumário de balanço consolidado – Usina 312 – Minério oxidado Pilha 86.

Tabela I. Balanço de massas detalhado - Parte I – Usina 312 – Minério oxidado Pilha 86.

	Moinho de Barras -312 MN 401	
	Alimentação	Produto
Vazão de Sólidos (t/h)	400	400
Densidade dos Sólidos (t/m ³)	3.2	3.2
Vazão de Água (t/h)	76	225
% de Sólidos	84.0	64.0
Densidade da Polpa (t/m ³)	2.367	1.786
Vazão de Polpa (m ³ /h)	201	350
P ₈₀ (mm)	51.5	0.728
Tamanho (mm)		
76.2	100	100
50.8	77.9	100
38.1	73.6	100
25.4	68.9	100
19.1	67.6	100
12.7	65.4	100
9.52	64.2	99.9
5.66	61.0	99.6
4.75	60.0	99.4
3.35	58.2	98.7
2.36	56.1	96.9
1.70	54.4	93.6
1.18	52.2	88.4
0.850	50.0	82.8
0.600	47.4	76.4
0.425	44.0	69.7
0.300	41.2	63.4
0.212	36.9	56.6
0.150	34.0	50.9
0.106	29.9	44.8
0.075	26.2	39.3
0.053	23.8	35.0
0.038	20.4	30.4

Tabela II. Balanço de massas detalhado - Parte II – Usina 312 – Minério oxidado Pilha 86.

	Separadores Magnéticos	Bomba Pré I	Bateria de Pré-Classificação I			Bomba Pré II	Bateria de Pré-Classificação II				Bomba da Classificação	Moinho de Bolas - 312 MN 402		Bateria de Classificação (Reciclones)		
	Não- Magnético	Recalque	Alimentação	U/F	O/F	Recalque	Alimentação	U/F	O/F	Recalque	Alimentação	Produto	Alimentação	U/F	O/F	
Vazão de Sólidos (t/h)	328	374	374	266	109	266	266	219	46	1041	822	822	1041	822	219	
Densidade dos Sólidos (t/m ³)	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	
Vazão de Água (t/h)	426	903	903	283	620	615	615	138	477	887	362	362	887	279	608	
% de Sólidos	43.5	29.3	29.3	48.4	14.9	30.2	30.2	61.4	8.8	54.0	69.4	69.4	54.0	74.7	26.5	
Densidade da Polpa (t/m ³)	1.427	1.252	1.252	1.498	1.114	1.262	1.262	1.731	1.065	1.590	1.913	1.913	1.590	2.055	1.223	
Vazão de Polpa (m ³ /h)	529	1020	1020	366	654	698	698	206	492	1212	619	619	1212	535	677	
P ₈₀ (mm)	0.524	0.458	0.458	0.643	0.000	0.643	0.643	0.774	0.000	0.527	0.600	0.489	0.527	0.600	0.183	
Tamanho (mm)																
9.52	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
5.66	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
4.75	99.6	99.6	99.6	99.5	100	99.5	99.5	99.4	100	100	99.7	99.9	100	100	100	
3.35	99.1	99.2	99.2	98.9	100	98.9	98.9	98.6	100	99	99.3	99.7	99.5	99.3	100	
2.36	97.8	98.1	98.1	97.3	100	97.3	97.3	96.7	100	98.7	98.3	99.2	98.7	98.3	100	
1.70	95.5	96.0	96.0	94.4	100	94.4	94.4	93.2	100	97.1	96.4	98.2	97.1	96.4	100	
1.18	92.0	93.0	93.0	90.2	100	90.2	90.2	88.1	100	94.5	93.0	96.2	94.5	93.0	100	
0.850	88.0	89.5	89.5	85.2	100	85.2	85.2	82.0	100	90.6	88.1	92.9	90.6	88.1	100	
0.600	82.7	84.8	84.8	78.6	100	78.6	78.6	74.1	100	84.2	80.0	86.9	84.2	80.0	100	
0.425	75.6	78.6	78.6	69.8	100	69.8	69.8	63.4	100	72.3	65.1	74.6	72.3	65.1	99.2	
0.300	70.8	74.4	74.4	64.0	100	64.0	64.0	56.4	100	59.2	49.4	60.0	59.2	49.4	95.9	
0.212	63.2	67.8	67.8	54.6	99.8	54.6	54.6	45.0	100	41.5	29.9	40.5	41.5	29.9	84.7	
0.150	58.8	63.9	63.9	49.3	99.4	49.3	49.3	38.7	100	31.0	19.9	29.0	31.0	19.9	72.8	
0.106	52.4	58.3	58.3	42	97.7	42.1	42.1	29.9	100	22.3	12.7	20.3	22.3	12.7	58.4	
0.075	46.6	53.1	53.1	36.1	94.6	36.1	36.1	22.9	99.1	16.4	8.5	14.7	16.4	8.5	46.1	
0.053	42.6	49.3	49.3	32.3	90.9	32.3	32.3	18.7	96.7	12.8	6.3	11.3	12.8	6.3	37.5	
0.038	35.3	41.7	41.7	25.5	81.2	25.5	25.5	12.6	86.9	9.3	4.3	8.4	9.3	4.3	28.0	

3. RESULTADOS

3.1. Classificações em ciclones

A etapa denominada Pré-classificação I indicou 43,5% de *by-pass* de finos (0,037 mm ou 400# Tyler) para o *underflow*. A distribuição granulométrica deste último fluxo incluiu 25,5% passantes na mesma malha de 0,037 mm, ante a 81,2% passantes no *overflow*. O *by-pass* de água para o *underflow* foi calculado em 31,4%, enquanto que a percentagem de sólidos em peso do *underflow* foi praticamente de 48%.

Analogamente, a etapa denominada Pré-classificação II indicou 40,9% de *by-pass* de finos (0,037 mm ou 400# Tyler) para o *underflow*. A distribuição granulométrica deste último fluxo incluiu 12,6% passantes na mesma malha de 0,037 mm, ante a 86,9% passantes no *overflow*. O *by-pass* de água para o *underflow* foi calculado em 22,4%, enquanto que a percentagem de sólidos em peso do *underflow* foi praticamente de 61%. Notam-se portanto desempenhos praticamente coincidentes, no que se refere a *by-pass* de finos, para ambas as etapas de pré-classificação na amostragem considerada. Também de forma análoga, a etapa de classificação do estágio de moagem em moinho de bolas indicou 50,5% de *by-pass* na malha de moagem (0,15 mm ou 100# Tyler) para o *underflow*. A distribuição granulométrica deste último fluxo incluiu 19,9% passantes na mesma malha de 0,15 mm, ante a 72,8% passantes no *overflow*. O *by-pass* de água para o *underflow* foi calculado em 31,4%, enquanto que a percentagem de sólidos em peso do *underflow* foi praticamente de 75%.

3.2. Moagem

A etapa de moagem em moinho de barras indicou uma relação de redução considerada altíssima, de 71:1, calculada com base no P_{80} de alimentação (F_{80}) de 51,5 mm e P_{80} de produto de 0,728 mm. Trata-se de um valor excepcionalmente alto em se tratando de circuito aberto, mesmo se considerando o efeito de classificação promovido pelas barras na dinâmica de movimentação da carga do moinho. Mesmo na malha 0,15 mm (100# Tyler) houve uma geração significativa de massa de 16,9% da alimentação, calculada com base na diferença entre 34,0% e 50,9% passantes, respectivamente na alimentação e produto do moinho.

Os cálculos de WI operacional indicaram valor de 5,7 kWh/t, para um consumo específico de energia de apenas 1,87 kWh/t., este último índice calculado com base no consumo de potência de 747 kW e vazão de alimentação de 400 t/h. O excelente desempenho do moinho de barras na amostragem considerada tem por base também o valor de energia de 11 kWh por tonelada de material passante na malha 0,15 mm gerado na moagem (kWh/t-0,15 mm).

De forma análoga, na etapa de moagem em moinho de bolas uma relação de redução considerada baixíssima, de 4,2:1, calculada com base no P_{80} de alimentação (F_{80}) de 0,774 mm e P_{80} de produto de 0,183 mm. Trata-se de um valor excepcionalmente baixo para um circuito de moagem configurado de modo fechado. Na malha 0,15 mm (100# Tyler) houve uma geração pouco significativa de massa de 34,2% da alimentação, calculada com base na diferença entre 38,7% e 72,8% passantes, respectivamente na alimentação e produto do circuito. Os cálculos de WI operacional indicaram valor de 16,4 kWh/t, para um consumo específico de energia de 6,2 kWh/t., este último índice calculado com base no consumo de potência de 1370 kW e vazão de alimentação de 219 t/h. O baixo desempenho do moinho de bolas na amostragem considerada tem por base também o valor de energia de 18 kWh por tonelada de material passante na malha 0,15 mm gerado na moagem (kWh/t-0,15 mm).

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

De acordo com a simulação realizada, verificou-se que os estágios realizados em hidrocilones estão operando com pressões alteradas, porcentagens de sólidos baixas e, conseqüentemente, alto arraste de finos para o *underflow*. Na bateria da classificação, os reciclones estão funcionando como ciclones normais, ou seja, a segunda câmara de classificação que deveria funcionar como uma segunda classificação, não está operando de forma adequada.

O moinho de barras está operando com uma relação de redução de 71:1. Mesmo se considerando a ação da dinâmica das barras dentro da câmara de moagem, a relação de redução adotada na moagem de barras de 15 a 20:1 (CHAVES *et al.*, 2002). E, dessa forma, o moinho de bolas recebe o minério numa fração granulométrica abaixo da ideal.

O moinho de bolas está operando com uma relação de redução de 4,2:1, considerada na prática baixa, e, considerando também que o circuito em questão está configurado de modo fechado (CHAVES *et al.*, 2002).

5. CONCLUSÕES

O circuito estudado neste trabalho possui várias oportunidades de melhorias com baixo custo operacional e de implantações imediatas.

6. REFERÊNCIAS

BERALDO, J.L. Moagem de minérios em moinhos tubulares. São Paulo, 1987. Editora Edgard Blucher Ltda.

CHAVES, A.P. *et al.* Teoria e prática do tratamento de minérios. Volume 1. Editora Signus. 2002.

DELBONI JUNIOR, H. Ajuste de modelos empíricos de operação de ciclones. São Paulo, 1989. 182p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

DELBONI JUNIOR, H. Circuitos de cominuição e classificação de minérios. Apostila, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

FOGGIATTO, B. Previsão de desempenho do circuito de moagem de Carajás. São Paulo, 2009. 230 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

JKSimMet – Steady state mineral processing simulator – Version 5, JKTech, JKMRRC, Australia, 1999.

KAHN, H. Caracterização mineralógica e tecnológica da jazida de fosfato do maciço alcalino de Anitápolis, SC. São Paulo, 1988. 219 p. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

LYNCH, A.J. Mineral crushing and grinding circuits – Their simulation, optimization and control. Amsterdam: Elsevier, 1977.

WHITEN, W. J. The simulation of crushing plants with models developed using multiple spline regression. 10th International Symposium on the Application of Computer Methods in the Min. Ind., p. 317-323, Johannesburg, 1972.