

CARACTERIZAÇÃO DO MINÉRIO DA MINERAÇÃO CARAÍBA. MINÉRIO MARGINAL E MINÉRIO DA MINA SUBTERRÂNEA

Irineu A.S. Brum & Washington Aliaga

Laboratório de Processamento Mineral. Centro de Tecnologia da Escola de Engenharia. UFRGS Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15021, 90501-970 - Porto Alegre - RS.
Tel. 51 3308 7070 Fax. 51 330807116. E-mail: irineu.brum@ufrgs.br

RESUMO

A partir de problemas observados no processo de flotação do minério sulfetado de cobre da Mineração Caraíba foi dado início a este estudo, o qual buscou a análise dos produtos do processo de flotação da usina de beneficiamento, com relação às diferentes composições do fluxo de alimentação, e do minério marginal. Com relação à caracterização dos produtos do processo (alimentação, concentrado e rejeito) de flotação, foi dada maior importância ao fluxo de rejeito obtido quando a usina opera apenas com minério marginal, uma vez que neste se concentram as principais perdas de cobre. Por outro lado, a análise do minério marginal busca o melhor conhecimento deste, assim como uma explicação para o seu desempenho na etapa de concentração. Também se analisaram rotas e/ou alternativas que resultem na obtenção de um pré-concentrado e/ou na remoção de uma parcela significativa de material, em uma etapa prévia ao circuito de moagem. É importante ressaltar a heterogeneidade deste material na sua fonte, pilha de minério marginal, no tocante, principalmente, a granulometria e teor de cobre. Este fato, em particular, justifica o aprofundamento do atual estudo e a tentativa e viabilização de um sistema de homogeneização.

PALAVRAS-CHAVE: Caracterização, flotação, cobre.

ABSTRACT

Due to efficiency problems in the flotation of mineral from Caraíba Mining, a characterization analysis was carried out to compare flotation products with the minerals which are fed to the plant taking into consideration the volume of marginal mineral added. In relation to the products (feed, concentrate and tailings) the highest concern was on the tailings when the plant was operated using solely marginal mineral due to that the highest metallurgical lost was found when this mineral was treated. The analysis of marginal mineral aimed at understanding copper lost in the concentration stage. In addition, alternative flow diagrams such as the production of a pre-concentrate or removing a fraction of mineral before grinding circuit were tested. It is important to notice that the marginal mineral presents high heterogeneity in relation to particle size and copper content. This single fact justifies a study of marginal mineral in great detail.

KEY WORDS: Characterization, flotation, copper.

1. INTRODUÇÃO

A partir de informações recebidas da Mineração Caraíba, relacionadas a problemas na operação de concentração pelo processo de flotação, foi dado início a este estudo, o qual objetiva análise dos produtos do processo de flotação da usina de beneficiamento, com relação às diferentes composições do fluxo de alimentação, e do minério marginal.

Com relação a caracterização dos produtos do processo (alimentação, concentrado e rejeito) de flotação, foi dado maior importância ao fluxo de rejeito obtido quando a usina opera apenas com minério marginal, uma vez que neste se concentram as principais perdas de cobre.

Por outro lado, a análise do minério marginal busca o melhor conhecimento deste, assim como uma explicação para o seu desempenho na etapa de concentração. Também se buscam rotas e/ou alternativas que resultem na obtenção de um pré-concentrado e/ou na remoção de uma parcela significativa de material, em uma etapa prévia ao circuito de moagem. É importante ressaltar a heterogeneidade deste material na sua fonte, pilha de minério marginal, no tocante, principalmente, a granulometria e teor de cobre. Este fato, em particular, justifica o aprofundamento do atual estudo e a tentativa e viabilização de um sistema de homogeneização.

2. ANÁLISE DOS FLUXOS DO PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO

As amostras recebidas da Mineração Caraíba foram: alimentação, concentrado e rejeito do processamento por flotação de minério marginal (MM) e alimentação, concentrado e rejeito do processamento de uma blendagem de minério marginal e minério da mina subterrânea (MS).

A análise inicial do material busca identificar diferenças granulométricas e metalúrgicas, assim como diagnosticar possíveis características que expliquem os motivos que leva a ineficiência no processo de flotação.

2.1 Análise granulométrica.

Buscando avaliar as perdas no processo de flotação, procurou-se identificar, nas frações de rejeito, a faixa granulométrica em que o cobre (sulfeto) poderia estar concentrado. Foi realizada uma separação granulométrica a úmido dos rejeitos, tanto do processo alimentado apenas com minério marginal como do processo alimentado com minério misto (minério marginal blendado com minério subterrâneo).

As malhas escolhidas para análise dos rejeitos de *MM* e *MM+MS* são apresentadas nas tabelas 1 e 2, juntamente com os respectivos balanços metalúrgicos.

Tabela 1. Análise granulométrica e metalúrgica do rejeito do processo de flotação, quando a usina é alimentada com minério marginal.

Fração (#)	Retido acum. (%)	Teor de Cu (%)	Recup. (%)	Recup. Acum. (%)
+100	0	0	0	0
-100+325	17,9	0,05	8,5	8,5
-325+400	24,2	0,03	2,2	10,6
-400	100,0	0,12	89,4	100,0
Alim.		0,10		

A tabela 1 mostra que as perdas de cobre, quando a usina é alimentada apenas com minério marginal, parecem estar relacionadas com a expressiva concentração de cobre nas frações mais finas. É possível observar que cerca 90% do cobre perdido no rejeito encontra-se na fração -400#, sendo que nesta fração está contida 76% da massa total da corrente. Análises anteriores realizadas no granulômetro CILAS 1064 mostram que mais da metade da massa de rejeito está abaixo de 10 μ m e cerca de 40% abaixo de 5 μ m. Diversos sistemas de concentração mostram que essas frações são problemáticas no processo de flotação, em particular em células convencionais.

Tabela 2. Análise granulométrica e metalúrgica do rejeito do processo de flotação, quando a usina é alimentada com minério marginal + minério subterrâneo.

Fração (#)	Retido acum. (%)	Teor de Cu (%)	Recup. (%)	Recup. Acum. (%)
+100	14,4	0,34	17,5	17,5
-100+325	61,2	0,25	41,9	59,4
-325+400	66,1	0,17	3,0	62,4
-400	100,0	0,31	37,6	100,0
Alim.		0,28		

Por outro lado, quando da blendagem de *MM* e *MS* a eficiência do processo tende a aumentar. As perdas nos finos do rejeito caem para menos de 40% e a concentração de massa fica em torno de 34%. Nesse material a fração menor do que 10 μm cai para menos de 20% e a fração menor do que 5 μm para cerca de 10%.

Análise desses dados mostra que o melhor produto de moagem da composição *MM+MS* afeta de forma significativa a qualidade da alimentação do processo de flotação. Assim sendo, é possível concluir que o excesso de finos gerados pelo minério marginal acarreta as perdas de cobre observadas na flotação.

2.2 Ensaio de afunda-flutua.

Neste ensaio foi adotada uma densidade de 2,7 g/cm³. O resultado é apresentado na tabela 3.

Como se pode observar, a fração flutuada na densidade adotada não foi significativa na maioria dos produtos, exceção à alimentação e rejeito *MM+MS* (entre 15 e 20%), sugerindo que a densidade testada não foi eficiente na separação dos produtos em duas fases. Assim sendo, não foram realizadas análises de fluorescência para cobre dos produtos.

Tabela 3. Análise em meio denso dos fluxos do processo de flotação.

	Massa		Flutuado (-2,7)		Afundado (+2,7)	
	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
Alim. MM	169,7	1,8	1,1		168,0	99,0
Alim MM+MS	301,3	57,3	19,0		244,0	81,0
Conc. MM	317,7	1,4	0,4		316,3	99,6
Conc. MM+MS	265,8	0,5	0,2		265,3	99,8
Rej. MM	219,5	0,7	0,3		218,9	99,7
Rej. MM+MS	257,0	42,5	16,5		214,5	83,5

2.3 Mesa de Mozley

As parcelas restantes não-ensaiadas dos minérios marginal e misto (alimentação e concentrado) foram processadas na mesa *Mozley* (ajustada com inclinação mínima de modo a não reter material sobre a mesa em V), objetivando verificar se os minerais de cobre, presentes na amostra, poderiam ser concentrados nesse equipamento. A Tabela 4 apresenta os resultados do ensaio de afunda-flutua do minério marginal e do minério marginal + minério subterrâneo.

A análise d tabela 4 mostra que quando a alimentação do processo de flotação é composta por uma mistura de minério marginal e minério subterrâneo a partição entre material leve e pesado é praticamente igual.

Entretanto, quando a alimentação do sistema é composta apenas por minério marginal é possível observar que a fração mais densa dessa corrente concentra cerca de 20% da massa total e 15% do cobre. Esses resultados indicam que seria possível, a partir de uma pré-concentração por gravimetria prévia a moagem, eliminar cerca de 20% da massa com uma perda de 15% de cobre. Poderia haver ainda uma leve melhora na qualidade da alimentação com relação ao teor de cobre, o que talvez se refletisse nos parâmetros de separação (teor e recuperação) do concentrado final.

Tabela 4. Análise dos fluxos do processo de flotação em mesa *mozley*.

Minério marginal + Minério subterrânea			
Denso-Aliment.	52,7	1,92	58,1
Leve-Aliment.	47,3	1,54	41,9
Aliment. Mozley		1,74	100,0
Denso-Concent.	36,3	7,93	38,3
Leve-Concent.	63,7	7,27	61,7
Aliment. Mozley		7,51	100,0
Minério marginal			
Denso-Aliment.	19,6	0,33	14,8
Leve-Aliment.	80,4	0,47	85,2
Aliment. Mozley		0,44	100,0
Denso-Concent.	53,9	6,40	67,0
Leve-Concent.	46,1	3,69	33,0
Aliment. Mozley		5,15	100,0

2.4 Minério marginal

2.4.1 Ensaio granulométrico

A amostra de minério marginal recebida, com um *top size* aproximado de 6", foi separada em três aliquotas de cerca de 10 kg cada, sendo que a primeira foi tomada para análise granulométrica, visando definir a malha de liberação do cobre existente na amostra. A amostra selecionada foi então reduzida a 100% passante em 25,4 mm e classificada em 2 mm e 0,1 mm. A tabela 5 contempla os resultados obtidos no primeiro ensaio granulométrico.

Tabela 5. Análise granulométrica do minério marginal.

Fração (mm)	Massa (g)	Retido (%)	Ret. Acum. (%)
-25,4+2,0	9.935,2	94,5	94,5
-2,0+0,1	449,8	4,3	98,8
-0,1	123,6	1,2	

Nas frações apresentadas na tabela 5 a técnica de observação à lupa não identificou calcopirita em nenhuma das faixas analisadas. Assim sendo, optou-se por reduzir ainda mais a fração 25,4 mm x 2,0 mm a um produto 100% menor do que 9,5 mm e assim tentar aumentar o grau de liberação. As frações -2,0+0,1 e -0,1, apresentadas na tabela 5, foram reunidas com o produto -9,5 mm e submetidas ao ensaio de afunda-flutua. A nova distribuição granulométrica está na Tabela 6.

Tabela 6. Análise granulométrica do minério marginal, 100% abaixo de 9,5mm.

Fração (mm)	Massa (g)	Retido (%)	Ret. Acum. (%)
-9,5+2,0	8.256,0	78,8	78,8
-2,0+0,1	1.774,4	16,9	95,7
-0,1	443,9	4,3	

As amostras foram preparadas em britadores de mandíbula e de duplo rolo.

2.2 Ensaio de afunda-flutua

Com as frações anteriormente citadas foram realizados ensaios de afunda-flutua, visando verificar em qual faixa granulométrica o cobre contido poderia estar concentrado na densidade de 2,7 g/cm³. Os percentuais de afundado e flutuado encontram-se discriminados na Tabela 7. Após, cada fração resultante desse ensaio foi submetida à técnica de fluorescência para cobre, objetivando identificar se o cobre se concentrado nas frações ensaiadas. Os dados estão na Tabela 8.

Tabela 7. Resultado do ensaio afunda-flutua.

Fração (mm)	Massa no ensaio (g)	Flutuado		Afundado	
		(g)	(%)	(g)	(%)
-9,5+2,0	2.186,8	1.645,4	75,24	541,4	24,76
-2,0+0,1	1.718,8	1.297,6	75,49	421,2	24,51
-0,1	383,8	381,8	99,47	2,0	0,53

Tabela 8. Balanço metalúrgico do ensaio afunda-flutua.

Os cálculos foram feitos em relação a massa total, conforme tabela 6.

Fração (mm)		Massa (%)	Teor Cu (%)	Recup.(%)
-9,5+2,0	Alimentação	78,8	0,31	90,69
	Flutuado	59,3	0,33	71,62
	Afundado	19,5	0,24	17,13
-2,0+0,1	Alimentação	16,9	0,10	6,27
	Flutuado	12,8	0,07	3,28
	Afundado	4,1	0,29	4,35
-0,1	Alimentação	4,3	0,19	3,03
	Flutuado	4,3	0,23	3,62
	Afundado	0,0	---- ⁽¹⁾	----
Alimentação recalculada		100,0	0,27	

(1) Amostra insuficiente para análise química.

Os resultados apresentados na tabela 8 confirmam que para o minério marginal uma etapa de classificação por granulometria, posterior a uma fragmentação grosseira, possibilita a redução de 20% na massa de minério a ser submetida a moagem, com uma perda de cobre de cerca de 10%. Esta redução de massa poderia ser maior, se a fração +2 mm, que concentra 90% do cobre, fosse submetida a processos gravimétricos. Neste caso a redução de massa na alimentação da moagem poderia variar até 40% com uma recuperação em torno de 70% do cobre contido. Entretanto, estes últimos valores não podem ser considerados ideais e mais estudos devem ser realizados para confirmar esses resultados, assim como para a otimização da operação de concentração gravimétrica, objetivando o aumento na recuperação de cobre.

3. CONCLUSÕES

1. A fração fina do rejeito do processamento de minério marginal (-400# (37 μ m)) concentra 90% das perdas de cobre nessa corrente.
2. Este mesmo rejeito possui mais de 50% da sua massa abaixo de 10 μ m. Nessa granulometria o problema pode não estar relacionado ao grau de liberação e sim com o processamento de partículas minerais finas. A tentativa de flotação dessa fração fina tende a ser bastante problemática em função da não seletividade desse tipo de material.
3. Nesse caso é importante considerar um déficit de reagente coletor, em função da elevada área superficial e/ou por adsorção não seletiva. Condições hidrodinâmicas de um sistema de flotação convencional e distribuição tempo de residência podem também ser considerados críticos nessas frações mais finas.
4. A análise da alimentação e do concentrado do processo de flotação de minério marginal (tabela 4) mostra ser possível descartar, em um processo gravimétrico, 20% da massa de alimentação e ainda recuperar 85% do cobre contido nesse minério.
5. A análise do minério marginal mostrou que a fração 9,5 mm x 2,0 mm concentra mais de 90% do cobre e 80% da massa de minério. Esses dados conferem com o observado no item anterior. Assim sendo, é possível concluir que uma etapa de classificação seria suficiente para reduzir a massa de minério marginal na etapa de moagem.
6. O aprofundamento dos estudos de concentração gravimétrica para minério marginal é necessário para melhoria dos parâmetros de separação. Nesse caso a avaliação em equipamentos de separação se faz necessária.

4. PROPOSTAS PARA CONTINUAÇÃO DOS TRABALHOS

1. Redução da granulometria em britadores de impacto. Na fragmentação por impacto, com esforços aplicados rapidamente, as partículas sofrem uma pressão elevada e como resultado absorvem mais energia do que a necessária para uma simples fratura e fragmenta-se principalmente por tensão, não havendo deformação. O produto apresenta-se como partículas de tamanhos e formas semelhantes. Desta forma, esta etapa do estudo objetiva uma distribuição granulométrica mais homogênea e um maior grau de liberação para os minerais de cobre.
2. Ensaio e otimização de parâmetros operacionais em concentrador gravimétrico objetivando uma maior recuperação de cobre e um maior descarte de massa de ganga. Esta etapa deve, a princípio, ser realizada em mesa *moly*.
3. Avaliação do desempenho de flotação em coluna para os rejeitos, principalmente para o processamento de minério marginal.

5. BIBLIOGRAFIA

- BRUM, I.A.S. Efeito da forma de condicionamento na flotação de minérios sulfetados de cobre e molibdênio. Dissertação de Mestrado. PPGEM/UFRGS, 1993.
- CABRAL, S.A. Desenvolvimento de um processo de Beneficiamento para o minério sulfetado de chumbo e zinco da Companhia Brasileira do Cobre. Dissertação de Mestrado. PPGEM/UFRGS, 1995.
- CHANDER, S. Recent developments in floatability of very fine particles - A Review. Transactions of the Indian Inst. of Metals, 1979, Vol. 31, pp 12-19.
- FUERSTENAU, D.W.; CHANDER, S.; ABOUZEID, A.M. The recovery of fine particles by physical separation methods. In: Beneficiation of minerals fines: Problems and research needs, 1978, Sterling Forest, N.Y. Workshop Report, Ann Arbor, AIME, 1979, pp. 3-59.
- FUERSTENAU, D.W. Flotation science and engineering: Advances and challenges. In: International mineral processing, 16., 1988. Stockholm. Congress... Amsterdam: Elsevier Science Publishing Co., 1988. v.10^A, p.63-80.
- GAUDIN, A.M.; GROH, J.O.; HENDERSON, H.B. Effect of particle size on flotation. American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, 1931, Vol. 414, pp 3-23.

- SHANNON, L.K. and TRAHAR, W.J. The role of collector in sulphide ore flotation. *Advances in mineral processing*, 1986. SME, Littleton, Colorado, pp. 408-425.
- TRAHAR, W.J.; WARREN, L.J. The flotability of very fine particles - A review. *International Journal of Mineral Processing*, 1976, Vol. 3, pp 103-131.
- TRAHAR, W.J. A rational interpretation of the role of particle size in flotation. *International Journal of Mineral Processing*, 1981, Vol. 8, pp 289-327.