

Ensaios de concentração de sulfetos por flotação de um minério de Carajás no estado do Pará

Sulfide concentration by flotation of a Carajás' ore in the state of Pará

Yuri Soares da Conceição

Bolsista PCI, Químico.

Hudson Couto

Supervisora, Eng. Químico, D. Sc.

Resumo

Este trabalho teve como objetivo realizar ensaios de concentração por flotação de um minério da província mineral de Carajás no estado de Pará, visando avaliar a concentração de sulfetos associados a metais de interesse da empresa, tais como os metais do grupo da platina - MGP, ou platinum group metals – PGM em inglês, principalmente platina – Pt, paládio – Pd e ródio – Rh, assim como de ouro – Au, níquel – Ni e cobre – Cu. Foi possível alcançar teores de PGM+Au no concentrado entre 4 a 841 g/t, para recuperações metalúrgicas variando entre 6,4% a 76,8%, considerando todos os testes TB, com recuperações mássicas variando entre 0,4 a 7,3%., resultados estes considerados promissores.

Palavras-chave: Flotação; PGM; Luanga; Carajás; Sulfetos.

Abstract

The objective of this study was to perform concentration tests by flotation on an ore from the Carajás mineral province in the state of Pará, in order to evaluate the concentration of sulfides associated with metals of interest to the company, such as platinum group metals - PGM, mainly platinum - Pt, palladium - Pd and rhodium - Rh, as well as gold - Au, nickel - Ni and copper - Cu. It was possible to achieve PGM+Au contents in the concentrate between 4 and 841 g/t, for metallurgical recoveries ranging from 6.4% to 76.8%, considering all TB tests, with mass recoveries ranging from 0.4 to 7.3%. These results are considered promising.

Key words: Flotation; PGM; Luanga; Carajás; Sulfide.

1. Introdução

Uma das classes de minerais mais importantes é a dos sulfetos metálicos, sendo essa a maior fonte de metais não ferrosos da Terra. A maioria dos sulfetos está associada com outros minerais, como óxidos de ferro, ouro ou carvão mineral e não existem em grande escala na crosta terrestre (VAUGHAN, 2006; KYDROS et al., 1993).

Por raramente ser possível separar um sulfeto dos demais por uma única etapa, para o beneficiamento de polissulfetos são necessárias etapas específicas, denominadas de flotação coletiva ou flotação bulk, esta etapa é necessária para que haja a separação dos minerais sulfetados dos demais minerais. Um exemplo deste processo é a flotação do ouro, em que inicialmente são flotados, em conjunto, os minerais sulfetados e as partículas de ouro e em seguida esse concentrado coletivo é tratado por processos hidrometalúrgicos. Os fluxogramas empregados no beneficiamento destes minerais podem variar de acordo com a mineralogia. Para o ouro, por exemplo, é importante saber se está associado a sulfetos ou livre, sua granulometria de liberação, etc. Os fluxogramas de processo podem empregar britagem, moagem e classificação e as etapas de concentração são geralmente feitas por métodos gravíticos (com a utilização de jiques, mesas vibratórias, e concentradores centrífugos, calhas, etc.) e flotação. Fatores com a mineralogia dos minerais portadores ou associados aos metais de interesse, os minerais de ganga presentes, bem como a liberação e distribuição granulométrica irão influenciar na operação unitária de concentração a ser utilizada.

2. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi o de realizar ensaios de concentração por flotação de um minério de rocha fresca (RF) da província mineral de Carajás no estado de Pará, a jazida denominada LUANGA. O minério contém minerais contendo paládio – Pd, platina – Pt, ródio – Rh e ouro – Au, além de níquel – Ni e cobre – Cu que também são recuperados no processamento coletivo e geram crédito na venda de concentrados.

Visa ainda avaliar o tempo de moagem do minério e a dosagem do reagente CMC para deprimir o talco antes da flotação de sulfetos associados aos PGM e Au.

3. Material e Métodos

Os estudos de flotação de sulfetos foram realizados em célula mecânica convencional. Os minerais de sulfeto contendo os elementos de interesse (Pt, Pd, Rh, Au, Ni, Cu) são coletados na fração de espuma (concentrado) e as principais gangas são obtidas no afundado (rejeito). Nos estudos de flotação de sulfetos foram avaliadas as seguintes variáveis de processo:

- Efeito da dosagem e do tipo coletor e espumante;
- Efeito da cominuição (P80) no desempenho da flotação;
- Avaliação do circuito de flotação (rougher, cleaner e scavenger);

Os ensaios de flotação foram realizados em uma célula mecânica da marca DENVER, modelo D12, equipada com inversor de frequência, conforme ilustrado na Figura 7. A flotação rougher (RG) foi realizada em uma cuba de 3 L e para a etapa cleaner (CL) foi utilizada a cuba de 1,5 L, na maior parte dos casos.



Figura 1. Máquina de flotação mecânica Denver, modelo D12 do CETEM utilizada nos ensaios de flotação.

A dispersão de ar foi realizada por meio de um rotâmetro, marca OMEL[®], com faixa de vazão de ar entre 1 – 5 L/min. A maior parte dos ensaios de flotação foram realizados sem o ajuste de pH, ou seja, em pH natural.

Condições da flotação em células mecânicas em escala bancada:

- Rotação de condicionamento = 1050 rpm;
- Rotação de flotação = 800 - 1050 rpm;
- Vazão de ar = 3 L/min;
- Porcentagens de sólidos no condicionamento = 60%;
- Porcentagens de sólidos na flotação = 27%;
- Tempo de moagem = 70 min à 80 min;
- Tempo de condicionamento do depressor de talco = 1 min (atuação rápida depressor);
- Tempo de condicionamento do coletor e espumante = 1 min (atuações rápidas);
- pH flotação (adição de reagentes) = 9,8-10 (pH natural).

Reagentes:

- Depressor – CMC
- Coletores: Amil Xantato de Potássio (PAX), Aerofloat 3894 (A-3894) e Aerofloat 208 (A-208);
- Espumantes: MIBC e Aero 65.

Amostras:

- Blend Composta (600009, 600013, 600014, 600015, 600016, 600026, 600030, 600031, 600032, 600033, 600034). Blend Composta (600013, 600015, 600031); Rocha Fresca 60009, 60013, 60014, 60015, 60026, 60030, 60031, 60032 e 60034.

Foi usado 1 kg de amostra para cada ensaio, CMC para deprimir o talco contido na amostra, seguido da adição do coletor Amil Xantato de Potássio (PAX) e uma mistura 1:1 de Aerofloat 3894 e Aerofloat 208 e, por fim, foi adicionado o espumante MIBC ou Aero 65. Os tempos de condicionamentos variaram. Após o ajuste da porcentagem de sólidos, foi injetado o ar, sob vazão controlada para geração de bolhas. As etapas da flotação mudaram entre os testes, buscando sempre aperfeiçoar os resultados. Amostras de concentrado e rejeito de

cada ensaio foram filtrados, secos, pesados e enviados para a análise química, através da técnica de fluorescência de raios X (FRX) ou Fire-Assay para avaliação da recuperação metalúrgica dos ensaios.

4. Resultados e Discussão

4.1. Ensaio dos Testes T

Foram realizados alguns ensaios de flotação em bancada exploratórios para avaliar o tempo de moagem do minério e o uso de CMC para deprimir o talco antes da flotação de sulfetos com PGM e Au. O circuito consistiu em uma flotação *rougher* rápida (CRGH rápido) para retirar um concentrado inicial com maior teor de PGM, seguida de duas etapas adicionais *rougher* para gerar o rejeito final (RRGH) sendo realizados apenas nos três primeiros testes, sendo este circuito adotado para os demais ensaios de flotação denominados TB.

4.2. Ensaio dos Testes TB

As Figuras 2 e 3 apresentam a distribuição granulométrica das amostras TB obtidas via difração laser no equipamento da Malvern, cujas compostas e tempo de moagem variaram para ajuste do P_{80} da amostra para os ensaios de flotação. A Tabela 4 apresenta os tamanhos característicos das amostras usadas nos testes TB.

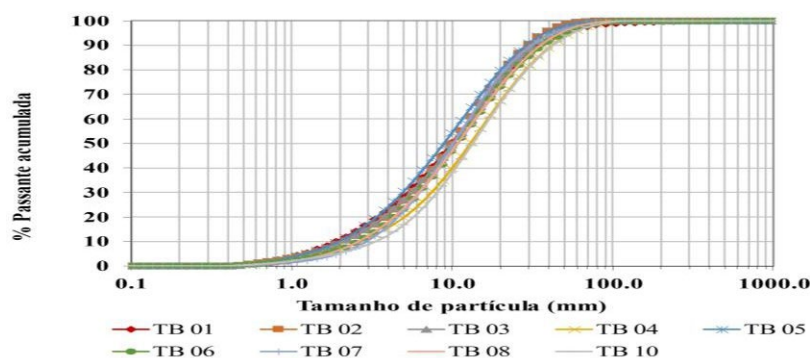


Figura 2. Distribuição granulométrica da composta TB 01 a 10.

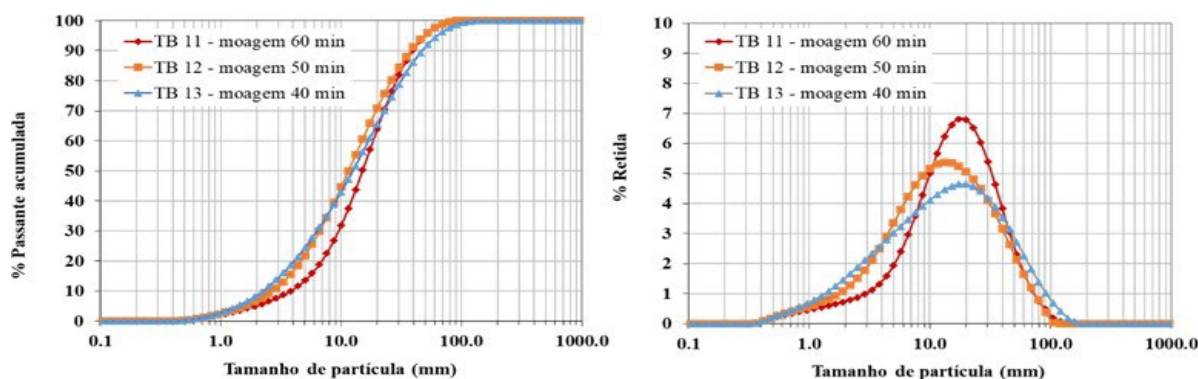


Figura 3. Distribuição granulométrica da composta TB 11, 12 e 13.

Observa-se na Figura 3 a variação de tempo de moagem e a distribuição granulométrica da composta de RF 600013, 600015 e 600031 (TB11, 12 e 13), onde o P_{80} pouco variou com valores entre 29 e 32 μm de tamanho, porém observa-se que a configuração da curva de porcentagem retida se torna mais abrangente com um tempo

de moagem de 40 minutos, ou seja, apresenta uma variação maior de tamanhos de partícula ainda que a média dos tamanhos seja próxima ao de moagem de 60 minutos. Para os ensaios de flotação TB relativos às amostras unitárias foi estabelecido um P80 de 25 µm.

Tabela 3. Amostras usadas nos testes TB e seus respectivos tamanhos característicos.

Teste de Flotação	Tipo de Amostra	Tempo de Moagem	Tamanhos característicos (mm)					
			D(0.1)	D(0.2)	D(0.5)	D(0.8)	D(0.9)	D(3,2)
TB 01	RF 600009	75 min	1.9	3.5	9.9	23.4	35.5	4.6
TB 02	RF 600014	90 min	2.1	3.8	10.0	21.4	29.7	4.9
TB 03	RF 600013	80 min	2.1	3.7	10.2	22.8	32.2	4.9
TB 04	RF 600030	80 min	2.7	5.1	13.0	28.8	42.0	5.9
TB 05	RF 600015	80 min	2.0	3.4	8.9	20.2	28.9	4.5
TB 06	RF 600026	80 min	2.6	4.4	10.9	24.7	37.0	5.7
TB 07	RF 600031	80 min	2.9	4.6	10.2	21.3	31.2	6.1
TB 08	RF 600032	80 min	2.6	4.4	10.8	24.4	35.5	5.8
TB 10	RF 600034	80 min	3.4	5.8	13.5	29.2	42.7	6.7
TB 11 - 60 min	RF 600013/15/31	60 min	3.8	6.9	15.0	28.7	39.2	7.2
TB 12 - 50 min	RF 600013/15/31	50 min	2.7	4.7	11.5	26.1	37.7	5.8
TB 13 - 40 min	RF 600013/15/31	40 min	2.2	4.1	12.5	31.5	47.1	5.4

Os ensaios de flotação (TB) visaram avaliar as dosagens de reagentes, o tempo ideal de moagem das amostras e o número ideal de etapas estagiadas de flotação, conforme detalhado na Tabela 5.

Tabela 4. Ensaios de flotação em escala de bancada para os testes de processo TB.

Teste	Amostra	Reagente (g/t)							
		CMC	Estagiado			Total final			
			PAX	MIX 1:1 A3894/A208	MIBC	CMC	PAX	MIX 1:1 A3894/A208	MIBC
TB-01	RF Baixa ALT 600009	200/0/0/100/0/0/50	20/20/20/20/5/10/10	20/20/5/5	30/20	350	105	50	50
TB-02	RF 6000 14	100	20/20/20/20/5/10/10	20/20/5/5	20/20	150	105	50	40
TB-03	RF 600013 (0,89/1,0 g/t)	100	20/20/20/20/5/5/10/10	20/20/5	40/30	100	115	45	70
TB-04	RF 600030 (1,89/2,6/3,2 g/t)	400	20/20/20/20/5/10/10	20/20/5/5	40/30	400	105	50	70
TB-05	RF 600015 (2,54/3,36 g/t)	100	20/20/20/20/5/10/10	20/20/5/5	20/20	100	105	50	40
TB-06	RF 600026 (0,79/2,12 g/t)	600	20/20/20/20/5/10/10	20/20/5/5	30/10	600	105	50	40
TB-07	RF 600031 (2,97/9,9 g/t)	500	20/20/20/20/5/10/10	20/20/5/5	40/10/10	550	105	50	60
TB-08	RF 600032 (5,95/7,49 g/t)	500	20/20/20/20/5/10/10	20/20/5/5	40/10	550	105	50	50
TB-09	RF 600033 (1,0/0,36 g/t)	500	20/20/20/20/5/10/10	20/20/5/5	40/10	550	105	50	50
TB-10	RF 600034 (1,0/0,25 g/t)	600/50	20/20/20/20/5/10/10	20/20/5/5	40/10	650	105	50	50

Os resultados dos testes de flotação do processo TB para PGM+Au são apresentados na Tabela 7 e para Ni e Cu na Tabela 8, conforme a seguir.

Tabela 5. Resumo dos testes de flotação Bravo (TB) para PGM+Au.

Teste	Alimentação	Concentrado final				Rejeito final	
	Teor (g/t)	Rec. Mass a (%)	Teor (g/t)	Rec. Met. (%)	Rec Massa (%)	Teor	Rec. Met. (%)
	PGM+Au		PGM+Au	PGM+Au		PGM+Au	PGM+Au
TB-01	1,1	7,3	9,8	67,4	92,7	0,4	32,6
TB-02	1,3	2,1	37,1	60,9	97,9	0,5	39,1
TB-03	2,2	1,1	131,5	75,4	97,5	0,6	24,6
TB-04	3,5	0,4	564,6	69,6	99,3	1,1	30,4
TB-05	2,0	1,4	89,8	62,3	98,1	0,8	37,7
TB-06	1,8	0,4	277,1	57,6	99,4	0,8	42,4
TB-07	13,2	1,2	841,0	76,8	98,8	3,1	23,2
TB-08	11,3	1,6	447,5	62,6	98,4	4,3	37,4
TB-09	1,4	2,7	9,2	18,3	97,3	1,1	81,7
TB-10	0,5	0,7	3,9	6,4	99,3	0,4	93,6
TB-11	5,5	0,9	257,4	41,7	99,1	3,3	58,3
TB-12	4,7	1,5	137,8	43,7	98,5	2,7	56,3
TB-13	4,9	1,3	258,0	66,4	98,7	1,7	33,6

Tabela 6. Resumo dos testes de flotação Bravo (TB) para Ni e Cu.

Teste	Alimentação		Concentrado final						Rejeito final			
	Teor (g/t)		Rec. Massa (%)	Teor (g/t)		Rec. Met. (%)		Rec Massa (%)	Teor		Rec. Met. (%)	
	Ni	Cu		Ni	Cu	Ni	Cu		Ni	Cu	Ni	Cu
TB-01	0,2	ND	7,3	0,2	ND	8,2	ND	92,7	0,2	ND	91,8	ND
TB-02	0,3	0,002	2,1	2,6	ND	17,5	ND	97,9	0,3	ND	82,5	ND
TB-03	0,3	0,001	1,1	1,9	ND	17,3	ND	97,5	0,2	ND	82,7	ND
TB-04	0,3	0,034	0,4	5,7	ND	14,0	ND	99,3	0,2	ND	86,0	ND
TB-05	0,3	0,004	1,4	3,6	ND	25,7	ND	98,1	0,2	ND	74,3	ND
TB-06	0,2	0,009	0,4	3,6	ND	10,4	ND	99,4	0,2	ND	89,6	ND
TB-07	0,4	0,014	1,2	5,2	ND	15,2	ND	98,8	0,4	ND	84,8	ND
TB-08	0,3	0,012	1,6	4,9	ND	26,1	ND	98,4	0,2	ND	73,9	ND
TB-09	0,1	0,003	2,7	0,4	ND	7,3	ND	97,3	0,1	ND	92,7	ND
TB-10	0,1	0,008	0,7	0,5	ND	2,6	ND	99,3	0,1	ND	97,4	ND
TB-11	0,3	0,008	0,9	5,9	ND	18,3	ND	99,1	0,2	ND	81,7	ND
TB-12	0,3	0,008	1,5	5,9	ND	26,4	ND	98,5	0,2	ND	73,6	ND
TB-13	0,3	0,008	1,3	7,7	ND	32,9	ND	98,7	0,2	ND	67,1	ND

Obs.: ND - Não definido (análise química do Cu abaixo do nível de detecção ou massa insuficiente para análise).

O teor de PGM+Au no concentrado variou de 4 a 841 g/t, para recuperações variando entre 6,4% a 76,8%, No rejeito, o teor de PGM+Au variou de 0,4 a 4,5 g/t, com recuperações metalúrgicas entre 23,2% a 94%. As recuperações mássicas dos concentrados variaram entre 0,3 a 7,3% considerando todos os testes. O teor de Ni das amostras (alimentação), considerando todos os testes TB, variou de 0,1 a 0,4% e chegaram a valores entre 0,4 a 7,7% no concentrado final, para recuperações metalúrgicas chegando a 33%. Para o Cu os teores das amostras variaram entre 0,001 a 0,039%.

4. Conclusão

- Para os testes TB, o teor de PGM+Au no concentrado variou de 4 a 841 g/t, para recuperações variando entre 6,4% a 76,8% e as recuperações mássicas dos concentrados variaram entre 0,3 a 7,3%;
- O teor de níquel - Ni das amostras de minério avaliadas (alimentação), considerando todos os testes TB variaram de 0,1 a 0,4% e chegaram a valores entre 0,4 a 7,7% no concentrado final, para recuperações metalúrgicas chegando a 33%. Para o cobre - Cu os teores das amostras variaram entre 0,001 a 0,039%;
- Outras rotas serão desenvolvidas para comparar qual ensaio apresentará melhor teor e recuperação mássica e menor consumo de reagentes.

5. Agradecimentos

Agradeço a orientação do Dr. Hudson Couto, aos colegas de trabalho pelo apoio na pesquisa, o CETEM pela infraestrutura e ao CNPQ pela bolsa concedida.

6. Referências Bibliográficas

VAUGHAN, D. J. **Sulfide Mineralogy and Geochemistry**. Miner. Soc. Am. 2006.

KYDROS, K.; MATIS, K.; STALIDIS, G. **Cationic Flotation of Pyrite**. J. Colloid Interface Sci., 155. p. 409-414. 1993.