



AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE REAGENTES SURFATANTES E POTENCIAL APLICAÇÃO NA FLOTAÇÃO DE REJEITO AURÍFERO

COSTA, D.S.¹, LOUZADA, J.C.G.¹, GONÇALVES, M.S.¹, COSTA, D.R.¹

¹ Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa), Instituto de Geociências e Engenharias, Laboratório de Tratamento de Minérios. E-mail: denilson@unifesspa.edu.br

RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar o desempenho de coletores sulfidrílicos no processo de flotação para elevar o teor de ouro contido em um rejeito de ouro. Foi feita a caracterização granulométrica, mineralógica e química do rejeito de ouro por peneiramento, Difração de Raios-X (DRX) e Espectrofotômetro de Absorção Atômica, respectivamente. Nos testes de flotação foram analisados o desempenho de dois coletores, amil xantato de potássio (PAX) e mercaptobenzotiazol (MBT), separadamente e a combinação dos dois em diferentes condições de pH e dosagem. Avaliou-se também a dosagem do ativador (CuSO_4) e manteve-se fixos o tipo e dosagem de espumante (MIBC a 60 g/t). Através da análise granulométrica verificou-se que, aproximadamente, 60% do rejeito de ouro está abaixo de $37\mu\text{m}$. A análise mineralógica mostrou que a fase dominante do rejeito é a pirita (FeS_2), com uma quantidade relevante de ilmenita (FeTiO_3) e quantidades suplementares de calcopirita (CuFeS_2) e pirrotita (FeS). O teor médio de ouro encontrado no rejeito foi de 0,6 ppm. O coletor PAX usado isoladamente, na dosagem de 250g/t e em pH 4, proporcionou um concentrado da flotação com teor de ouro de 1,65% e recuperação metalúrgica de 19,65%. Resultado similar (teor de ouro de 1,81% e recuperação metalúrgica de 18,52%) foi obtido pela combinação do MBT com o PAX nas mesmas condições.

PALAVRAS-CHAVE: Rejeito, Ouro, Flotação.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the performance of sulfhydryl collectors in the flotation process to raise the gold content of tailings dam. Granulometric, mineralogical and chemical characterization of the gold tailings were made by screening, X-ray Diffraction (XRD) and Atomic Absorption Spectrophotometer, respectively. In the flotation tests, the performance of two collectors, amyl xanthate of potassium (PAX) and mercaptobenzothiazol (MBT), was analyzed separately and the combination of the two in different conditions of pH and dosage. Activator dosage (CuSO_4) was also evaluated and the type and dosage of frother (MIBC at 60 g/t) was kept fixed. Through particle size analysis it was found that approximately 60% of the gold waste is below $37\mu\text{m}$. The mineralogical analysis showed that the dominant phase is pyrite (FeS_2), with a significant amount of ilmenite (FeTiO_3) and additional amounts of chalcopyrite (CuFeS_2) and pyrrhotite (FeS). The average gold content in the tailings was 0.6 ppm. The PAX collector used alone, at a dosage of 250g/t and pH 4, provided a flotation concentrate with 1.65% gold content and 19.65% metallurgical recovery. Similar result (gold content of 1.81% and metallurgical recovery of 18.52%) was obtained by combining MBT with PAX under the same conditions.

KEYWORDS: Tailing, Gold, Flotation.

1. INTRODUÇÃO

A mineração é de suma importância para a qualidade de vida do homem e os insumos requeridos para isso são não renováveis. Há tempos extraem-se minérios para serem transformados em bens de consumo, mas nunca nas proporções atuais. Os gastos com pesquisas para serem descobertas novas jazidas são muito elevados, então busca-se aproveitar o máximo das minas já em funcionamento. Para isso são feitos investimentos em novas tecnologias a fim de viabilizar empreendimentos que antes não se mostravam viáveis.

A usina de processamento mineral da empresa Reinarda Mineração, localizada no município de Rio Maria, estado do Pará, opera com minérios característicos da província Carajás, mais especificamente, do domínio *greenstones belts* Rio Maria, oriundos de um processo metamórfico. O material é lavrado subterraneamente através de métodos de lavra pareados - *shrinkage* e *cut and fill*. Utiliza o beneficiamento clássico para minérios auríferos, ou seja, processo de lixiviação em tanques agitados.

As minas pertencentes à empresa já se encontram em fase de esgotamento devido ao baixo teor de ouro presente no minério lavrado. A continuidade da atividade industrial da Reinarda Mineração naquela localidade depende fundamentalmente da viabilidade de recuperação do ouro presente no rejeito.

No contexto da busca pela sustentabilidade, o presente trabalho visa o processamento de um rejeito já depositado nas barragens da empresa Reinarda Mineração, visto que ainda contém ouro em baixo teor, com possibilidade de ser recuperado por flotação.

Assim, os objetivos principais do presente trabalho são:

- Avaliar o comportamento de coletores sulfidrílicos no processo de flotação;
- Buscar um conjunto de reagentes que sejam capazes de elevar o teor de ouro contido no material;
- Alcançar uma recuperação metalúrgica que torne viável implementar o sistema de flotação na empresa supracitada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostra de Rejeito

A amostra estudada é proveniente da barragem de rejeito da Reinarda Mineração Ltda (RML) e é constituída de um rejeito fino da planta de lixiviação. Foram realizadas 10 coletas, em pontos diferentes da barragem de rejeito, totalizando 67 kg de material que, após o processo de filtragem a vácuo e secagem a 30°C em estufa, reduziu-se a 60 kg de material seco. Procedeu-se a homogeneização e o quarteamento da amostra, até chegar a uma massa de 7,4 kg.

A densidade da amostra foi obtida pelo método do picnômetro. A análise granulométrica do material utilizado foi feita por peneiramento a seco, em triplicata, utilizando peneiras da série Tyler. O tempo de peneiramento foi de 10 minutos e a massa utilizada no ensaio foi de aproximadamente 340 g.

A análise mineralógica foi realizada em difratômetro de raios-X marca Rigaku Miniflex II, operando a 30kV/15 mA, usando tubo de Cobre, radiação Cu K α e monocromador de grafite pirolítico. A identificação das fases cristalinas foi feita por comparação do difratograma da amostra com o banco de dados. Para a determinação do teor de ouro no rejeito foi usado Espectrofotômetro de Absorção Atômica SOLAAR Série S & VP 100.

2.2 Ensaios de Flotação

Os ensaios de flotação em escala de bancada foram realizados em célula de flotação modelo CFB 1000N. Utilizou-se uma cuba de aço com volume 3,4 litros. Foram realizados 18 ensaios de flotação em bancada, utilizando uma porcentagem de sólidos de 30%. No que se refere ao sistema de aeração, foram realizados ensaios com aeração forçada e outros com a célula subaerada.

A Tabela 1 mostra o sistema de reagentes empregados e na Tabela 2 encontram-se os ensaios realizados e suas respectivas condições.

Tabela 1. Sistema de reagentes utilizado.

Reagente	Função	Representação
Amil Xantato de Potássio	Coletor	PAX
Mercaptobenzotiazol	Coletor	MBT
Metil Isobutil Carbinol	Espumante	MIBC
Ácido Sulfúrico	Regulador de pH	H ₂ SO ₄
Hidróxido de Sódio	Regulador de pH	NaOH
Sulfato de Cobre	Ativador	CuSO ₄

Tabela 2. Condições detalhadas dos ensaios de flotação realizados.

Ensaio	pH	Ativador		Coletor		Espumante		Regulador de pH
		Tipo	Dosagem (g/t)	Tipo	Dosagem (g/t)	Tipo	Dosagem (g/t)	
1	4,0	CuSO ₄	150	PAX	150	MIBC	60	H ₂ SO ₄
2	4,0	CuSO ₄	200	PAX	250	MIBC	60	H ₂ SO ₄
3	3,5	CuSO ₄	150	PAX	150	MIBC	60	H ₂ SO ₄
4	3,5	CuSO ₄	200	PAX	250	MIBC	60	H ₂ SO ₄
5	4,0	CuSO ₄	150	MBT	150	MIBC	60	H ₂ SO ₄
6	4,0	CuSO ₄	200	MBT	250	MIBC	60	H ₂ SO ₄
7	3,5	CuSO ₄	150	MBT	150	MIBC	60	H ₂ SO ₄
8	3,5	CuSO ₄	200	MBT	250	MIBC	60	H ₂ SO ₄
9	4,0	CuSO ₄	150	PAX+MBT	150	MIBC	60	H ₂ SO ₄
10	4,0	CuSO ₄	200	PAX+MBT	250	MIBC	60	H ₂ SO ₄
11	3,5	CuSO ₄	150	PAX+MBT	150	MIBC	60	H ₂ SO ₄
12	3,5	CuSO ₄	200	PAX+MBT	250	MIBC	60	H ₂ SO ₄
13	9,0	CuSO ₄	150	PAX	150	MIBC	60	NaOH
14	9,0	CuSO ₄	200	PAX	250	MIBC	60	NaOH
15	9,0	CuSO ₄	150	MBT	150	MIBC	60	NaOH
16	9,0	CuSO ₄	200	MBT	250	MIBC	60	NaOH
17	9,0	CuSO ₄	150	PAX+MBT	150	MIBC	60	NaOH
18	9,0	CuSO ₄	200	PAX+MBT	250	MIBC	60	NaOH

As soluções dos espumantes, coletores e ativador foram preparadas na concentração de 1% (m/v). As soluções do ácido sulfúrico e hidróxido de sódio foram preparadas nas concentrações de 50 e 10% (m/v), respectivamente. Nos ensaios de flotação, realizou-se somente o estágio *rougher*. Inicialmente foi preparada uma polpa com 50% de sólidos, sob agitação (1200 rpm), para a fase de condicionamento dos reagentes. Em seguida adicionou-se o sulfato de cobre (ativador), cujo tempo de condicionamento foi de 3 minutos. Subsequentemente era adicionado o coletor, sendo o condicionamento feito durante 5 minutos. Finalmente era adicionado o espumante (MIBC) que ficava condicionado durante 1 minuto. Após a adição dos reagentes a polpa era avolumada e o pH ajustado.

Durante a flotação, a espuma era coletada de forma contínua com auxílio de duas espátulas. Ao término da flotação o concentrado (flotado) e o rejeito (afundado) eram filtrados, secos e pesados. Foram retiradas alíquotas de 25g do concentrado e do rejeito e encaminhadas ao laboratório da empresa Reinarda para serem realizadas as análises para a determinação do teor de ouro nos produtos de cada ensaio de flotação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características da Amostra de Rejeito

A densidade relativa do rejeito proveniente do beneficiamento de ouro utilizado para os testes de flotação foi determinada através do método do picnômetro e o valor encontrado foi de 2,67 g/cm³.

O resultado da análise granulométrica encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3. Condições detalhadas dos ensaios de flotação realizados.

Abertura (µm)	Massa Retida (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante Acumulada
177	7,0	2,04	2,04	97,95
148	2,7	0,79	2,83	97,16
105	17,4	5,08	7,92	92,08
74	26,1	7,63	15,55	84,45
44	10,8	3,16	18,70	81,30
37	69,7	20,37	39,07	60,93
FUNDO	208,5	60,93	100,00	0,00
TOTAL	342,2	----	----	----

O gráfico da Figura 1 representa a distribuição granulométrica da amostra de rejeito.

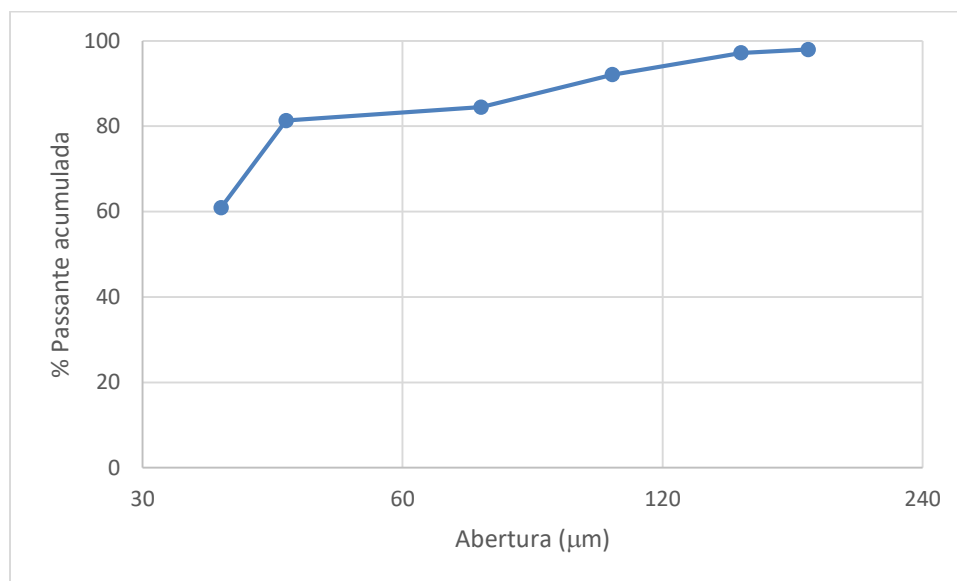


Figura 1. Distribuição granulométrica da amostra de rejeito.

Analisando a Tabela 3 e o gráfico da Figura 1, verifica-se que o material apresenta uma considerável quantidade de finos (aproximadamente 60% abaixo de $37\mu\text{m}$). As partículas finas possuem uma grande área superficial específica, depositam-se sobre as partículas maiores (*slime coating*) e, portanto, são responsáveis pelo grande consumo de reagentes. Além disso, possuem baixa quantidade de movimento, o que dificulta a etapa de colisão dessas partículas com as bolhas de ar no sistema de flotação (Baltar, 2010).

A análise mineralógica por difração de raios-X mostrou que a fase dominante é a pirita (FeS_2), com uma quantidade relevante de ilmenita (FeTiO_3) e quantidades suplementares de calcopirita (CuFeS_2) e pirrotita (FeS). O teor médio de ouro encontrado no rejeito, determinado por Espectrofotômetro de Absorção Atômica, foi de 0,6 ppm.

3.2 Ensaios de flotação

Nos testes de flotação, foram analisados o desempenho de dois coletores (amil xantato de potássio e mercaptobenzotiazol) separadamente e a combinação dos dois em diferentes condições de pH e dosagem. Avaliou-se também a dosagem do ativador (CuSO_4) e manteve-se fixos o tipo e dosagem de espumante (MIBC a 60 g/t).

Na Tabela 4 e Figura 2, que mostram as condições dos ensaios de flotação e os resultados de teor e recuperação metalúrgica obtidos, verifica-se que houve uma elevação do teor quando comparado o material da alimentação com o concentrado. Porém não houve resultado satisfatório da recuperação metalúrgica, já que esta está diretamente ligada à recuperação mássica e a mesma foi relativamente baixa. Vale ressaltar que os testes correspondiam apenas à primeira etapa da flotação, a etapa *rougher*, onde se obtém um concentrado pobre e um rejeito que ainda contém o mineral de interesse.

O presente estudo ainda está em andamento e acredita-se que a utilização de estágios subsequentes, *cleaner* e *scavenger*, bem como outros sistemas de reagentes de flotação de sulfetos, poderia proporcionar melhores recuperações do mineral de interesse.

Tabela 4. Condições e resultados dos ensaios de flotação em bancada.

Ensaio	pH	Alim. Teor Au-ppm	Ativador (CuSO ₄) Dosagem (g/t)	Coletor		Concentrado		Rejeito		Rec. Mássica (%)	Rec. Metalúrgica (%)
				Tipo	Dosagem (g/t)	Massa (g)	Teor Au-ppm	Massa (g)	Teor Au-ppm		
1	4,0	0,63	150	PAX	150	56,4	1,75	1018,8	0,57	5,24	14,54
2	4,0	0,63	200	PAX	250	80,2	1,65	991,5	0,55	7,48	19,65
3	3,5	0,67	150	PAX	150	58,4	1,18	992,2	0,64	5,56	9,77
4	3,5	0,61	200	PAX	250	48,8	1,84	1012,8	0,55	4,59	13,98
5	4,0	0,63	150	MBT	150	18,4	1,01	1055,2	0,63	1,71	2,73
6	4,0	0,63	200	MBT	250	11,4	1,30	1027,2	0,63	1,10	2,26
7	3,5	0,67	150	MBT	150	16,2	1,05	932,5	0,67	1,70	2,65
8	3,5	0,65	200	MBT	250	23,9	1,10	933,8	0,64	2,49	4,21
9	4,0	0,63	150	PAX+MBT	150	28,9	0,91	1053,1	0,63	2,67	3,84
10	4,0	0,64	200	PAX+MBT	250	77,9	1,81	1109,5	0,56	6,56	18,52
11	3,5	0,67	150	PAX+MBT	150	56,5	0,81	1090,9	0,67	4,92	5,90
12	3,5	0,60	200	PAX+MBT	250	78,6	0,84	1102,3	0,59	6,65	9,26
13	9,0	0,68	150	PAX	150	75,3	0,89	1027,2	0,67	6,83	8,88
14	9,0	0,64	200	PAX	250	91,0	0,84	995,6	0,63	8,37	10,87
15	9,0	0,71	150	MBT	150	14,0	1,06	1083,2	0,71	1,27	1,91
16	9,0	0,61	200	MBT	250	15,7	0,96	1086,2	0,60	1,42	2,25
17	9,0	0,68	150	PAX+MBT	150	38,9	0,80	1063,4	0,68	3,53	4,11
18	9,0	0,62	200	PAX+MBT	250	49,6	0,66	1011,9	0,61	4,67	5,04

PAX – Amil Xantato de Potássio; MBT - Mercaptobenzotiazol

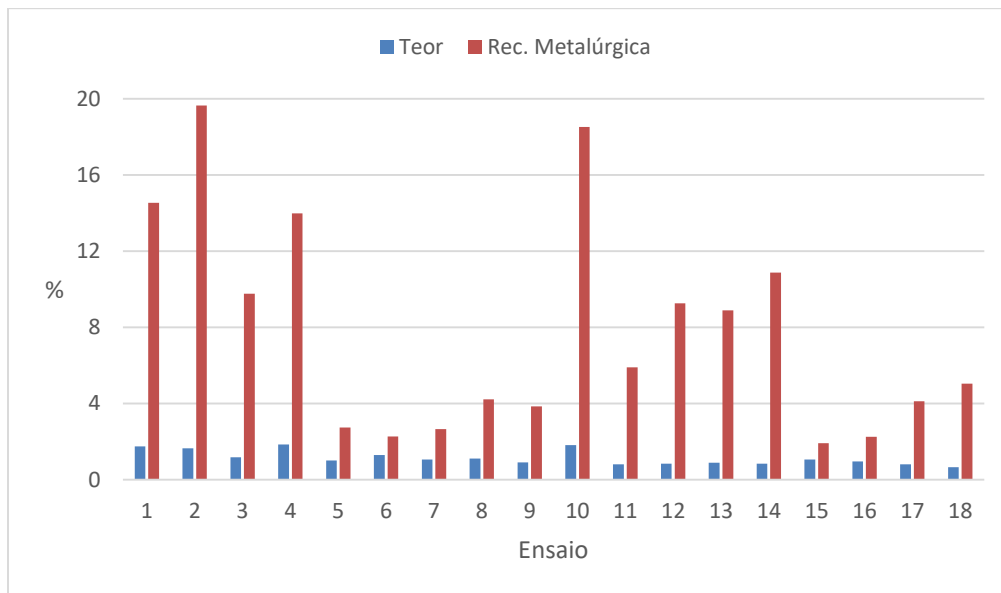


Figura 2. Teor e recuperação metalúrgica do concentrado em cada ensaio.

Pela tabela 4 e figura 2, verifica-se que os melhores resultados de recuperação metalúrgica ocorreram em meio ácido (pH 4), nos ensaios 1, 2 e 10. Verifica-se também que o aumento da dosagem de coletor de 150 para 250 g/t contribuiu significativamente para o aumento de recuperação metalúrgica do ouro, nos três valores de pH estudados (3,5, 4,0 e

9,0), tanto com os coletores usados individualmente quanto com a combinação de coletores (ensaios 1 e 2; 3 e 4; 7 e 8; 9 e 10). Isso se deve ao fato de o material ter uma matriz fina, fazendo com que ocorra alta demanda por reagente.

O coletor amil xantato de potássio (PAX) usado isoladamente foi o que apresentou o melhor resultado nos testes de flotação: teor de 1,65% e recuperação metalúrgica de 19,65% de ouro. Devido ao material ser essencialmente composto por partículas finas, o reagente se comportou melhor na dosagem de 250g/t e em pH 4, já que nesse pH as partículas se apresentam mais dispersas e isso diminuiu a tendência do *slime coating*.

O coletor MBT, usado individualmente, não apresentou resultado satisfatório para a flotação, mas os resultados obtidos da combinação deste com o PAX, em pH 4 e na dosagem de 250 g/t (ensaio 10 – teor de 1,81% e recuperação de ouro de 18,52%), se aproximou daqueles obtidos com o PAX nas mesmas condições.

Para uso industrial, a combinação dos dois coletores seria mais adequada e viável, já que os coletores da família do xantato são mais caros.

4. CONCLUSÕES

Os resultados da análise química mostraram que houve uma elevação do teor quando comparado o material da alimentação com o concentrado.

O meio ácido e o aumento da dosagem de coletor contribuíram favoravelmente para o aumento da recuperação metalúrgica do ouro.

O coletor amil xantato de potássio (PAX) usado isoladamente, na dosagem de 250g/t e em pH 4, apresentou um teor de 1,65% e recuperação metalúrgica de 19,65% de ouro.

O coletor Mercaptobenzotiazol (MBT) usado individualmente não apresentou resultado satisfatório para a flotação, mas a combinação deste com o PAX, na dosagem de 250g/t e em pH 4, apresentou um teor de 1,81% e recuperação de ouro de 18,52%, resultado muito próximo daqueles obtidos com PAX nas mesmas condições.

Para uso industrial, a combinação dos dois coletores seria mais adequada e viável, já que os coletores da família do xantato são mais caros.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro.

6. REFERÊNCIAS

Baltar, C.A.M. Flotação do tratamento de minérios. 2ª edição. Editora Universitária UFPE, 2010

Gaudin, A.M. Flotation. McGraw-Hill, New York, 1957.

Yianatos, J.B. Design, Modelling and Control of Flotation Equipment. Proceedings: XXII International Mineral Processing Congress, 3 October 2003, Cape Town, South Africa, 2003.