

INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DE ÁGUA DE PROCESSO NA FLOTAÇÃO DA MINA DE SOSSEGO

Anderson. M. Mendonça¹, Lidiane. F. Rabelo¹, Marcos. A. N. Rosa¹, Ronaldo. A. Fonseca¹, Luis.C.R. Machado¹

¹ Vale, Diretoria de Cobre, Garoy, Mina do Sossego, Canaã dos Carajás, PA, 68537-000
email: Luis.machado@vale.com

RESUMO

Na mina de Sossego (Vale, Canaã dos Carajás, PA) a água de processo empregada na flotação de sulfetos de cobre tem como principal fonte de origem a água recirculada. Em média valores acima de 90% são alcançados de reaproveitamento da água em relação à entrada de água nova (rio Parauapebas). Com os anos, longos períodos de estiagem têm proporcionado a água altos valores de sais dissolvidos como sulfatos, cloretos e íons metálicos. O objetivo do estudo foi identificar como esses componentes iônicos influenciavam na recuperação metalúrgica da flotação através de testes de bancada. Empregou-se a água de processo comparando-a com o uso da água deionizada, com a água da ETA e uma água hipersalina (para testar os extremos). Foram analisados os seguintes parâmetros: alcalinidade, sulfatos, carbonatos, cloretos, cálcio, magnésio, potássio, cobre total, cobre oxidado, ferro, enxofre, flúor e cloro. Foram avaliados tanto a alimentação como o concentrado e rejeito da flotação. Os resultados indicaram que dependendo da quantidade e tipos de íons a flotação era afetada ora positivamente ou ora negativamente e que não necessariamente o excesso de sais prejudicava a flotação.

PALAVRAS-CHAVE: flotação, água, qualidade, calcopirita, Sossego.

1. INTRODUÇÃO

A água representa 70 a 85% do volume de polpa processada em circuitos de flotação. Um bem abundante há apenas algumas décadas atrás e que agora se tornou fator determinante em muitas avaliações econômicas de novos projetos de mineração. Atualmente, para efeito de economia, atendimento de exigências legais e postura “eco-correta”, as proporções de emprego da reciclagem das águas de overflow de espessadores, de barragens, desaguadores, filtros, etc. são muito elevadas e comuns em quase a totalidade das instalações de beneficiamento minerais. Evita-se o excesso na captação de água nova de cursos d’água bem como o retorno de fluxos.

O reuso contínuo, principalmente de fontes como barragens de rejeito, ao longo dos anos tem alterado a qualidade e composição deste bem tão precioso que é água (Coetzer e outros, 2003). Efeitos como aumento da corrosão das tubulações, surgimento de odores diferenciados, de algas, etc. são relatados (Levay e outros, 2001). Outro fator importante é que a qualidade da água pode causar a ativação ou depressão indesejada de vários metais, afetar a estrutura da espuma, o consumo de espumantes e de outros reagentes, provocar a agregação não seletiva de partículas finas, etc (Baltar, 2008). Vários casos são conhecidos em que a qualidade da água tem um efeito significativo durante uma flotação seletiva de sulfetos (Levay e outros, 2001; Finkelstein, 1997, Wang e outros, 1989). E muitas vezes esses processos passam despercebidos ou confundidos com outros problemas.

Na mina de Sossego, no norte do país (Vale, Canaã dos Carajás, PA), a água de processo empregada na flotação de sulfetos de cobre tem como principal fonte de origem a água recirculada. Esta é a que sai da planta segue para a barragem de rejeitos, é retomada e reenviada novamente para a usina de beneficiamento. Em média valores acima de 95% são alcançados de reaproveitamento da água em relação à entrada de água nova (procedente do rio Parauapebas). Após a entrada em operação em 2004 e alguns longos períodos de estiagem a água empregada na usina tem se caracterizado pela presença, em concentrações elevadas, de sais dissolvidos como sulfatos, cloretos e íons metálicos como cálcio, potássio e magnésio. Esses valores também apresentam diferenças sazonais em função da estação do ano.

Desta forma este trabalho busca entender como a alteração da composição da água utilizada nos processos de uma usina de concentração pode afetar, ou não, os índices de qualidade de seu produto final.

2. METODOLOGIA

Ensaio de flotação em bancada (*rougher* e *cleaner*) foram executados empregando como alimentação uma amostra padrão preparada a partir da alimentação do moinho semi-autogéno (SAG) da usina de sossego. Para preparação da polpa foram utilizados quatro tipos de águas para determinar a influência nos resultados da flotação. São elas: (i) água deionizada (obtida do deionizador do laboratório químico), (ii) água da estação de tratamento de água da usina (ETA), (iii) a utilizada no processo de concentração da usina (provinda da barragem), (iv) água artificialmente preparada com excessos de sais a partir da água de processo (adicionado sulfato de sódio – 700 ppm, cloreto de potássio – 500 ppm e cloreto de cálcio – 500 ppm).

Com relação a qualidade das águas acompanhou-se os seguintes parâmetros: alcalinidade, condutividade, cálcio, magnésio, potássio, cloretos, sulfatos. As amostras foram enviadas para um laboratório externo para as análises. Coletaram-se alíquotas de água antes do contato com o minério, após a moagem (com e sem reagentes) e após a flotação (concentrado e rejeito).

Durante a flotação, como na moagem e no emprego da água de repolpagem, foi utilizada somente a água que se queria testar. Na flotação foram avaliados os seguintes parâmetros: recuperação metalúrgica, teor de cobre total, cobre oxidado, ferro, níquel, cloro e flúor. Todos os dados foram obtidos no laboratório de análise química da usina de Sossego empregando técnicas de absorção atômica e fluorescência de raios-X.

Para a flotação, na etapa *rougher*, uma amostra de 1600g foi moída pelo tempo determinado de 15 minutos para atingir um P_{80} de 210#. As alíquotas moídas foram flotadas em cubas de 3,5 litros (porcentagem de sólidos de 35%). Na etapa *cleaner* o concentrado *rougher* foi filtrado e remoído por 6 minutos (P_{80} de 400#) e a água filtrada foi reutilizada nas etapas posteriores. A porcentagem de sólidos considerada foi de 20%. As amostras de alimentação foram preparadas a partir de uma amostragem da alimentação do SAG seguida de britagem, homogeneização, quarteamento e análise granulométrica.

Os testes foram realizados em célula da Engedrar com rotor aberto e ar aspirado. Os reagentes utilizados foram: coletores amil xantato de potássio (Cytec) e ditiofosfato de sódio (Flomin); espumantes propileno glicol (Clariant) e MIBC (Rhodia). As dosagens e tempos de flotação estão indicados na tabela I. Todas as amostras foram executadas em triplicatas, em pH natural, e o balanço de massas e teores foi fechado com auxílio do software Bilco.

Tabela I - Condições da flotação *rougher/cleaner*

Etapas	Condições			Reagentes			
	Tempo (min)	Volume (L)	Rotação (rpm)	Xantato (g/t)	Ditiofosfato (g/t)	Propileno (g/t)	MIBC (g/t)
Diluição	-	-	-	1%	1%	1%	0,1%
Moagem	80%<65#	-	45	5	5	-	-
Condicion. 1	1	3,45	1450	-	-	5	5
<i>Rougher 1</i>	5	3,45	1450	-	-	-	-
Condicion. 2	3	3,45	1450	3	-	5	5
<i>Rougher 2</i>	4	3,45	1450	-	-	-	-
Remoagem	80%<325#	1,80	45	-	1	-	-
Condicion. 3	1	1,8	1200	-	-	-	1
<i>Cleaner</i>	3	1,8	1200	-	-	-	-

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Abaixo, na tabela II e figura 1, são apresentados os resultados obtidos na flotação *rougher/cleaner* realizada no laboratório de processo de Sossego em março de 2009.

Na flotação *rougher* a água deionizada determinou significativamente a maior recuperação metalúrgica (e menor teor de cobre total) enquanto os outros testes, executados com polpas tendo como base águas diferentes, se mantiveram num mesmo patamar de recuperação e teor.

Na etapa seguinte, após a filtragem e remoagem, na flotação *cleaner* a água de processo e deionizada conferiram, proporcionalmente, maior recuperação embora o teor para a água deionizada tenha caído mais. A água hipersalina e da ETA apresentaram menor recuperação e maiores teores nesta etapa, sendo que a hipersalina foi mais seletiva (maior teor com maior recuperação).

Em termos globais, os dados revelaram que os testes que empregaram as águas da ETA e hipersalina obtiveram menores valores de recuperação metalúrgica e maiores teores finais de concentrado, portanto mais seletivas que a dos testes que utilizaram a água de processo e deionizada. Destas duas primeiras, a hipersalina apresentou maior seletividade com maior recuperação e teor.

Com relação a presença de cloretos no concentrado final tem-se que a água da ETA e hipersalina apresentaram menores valores (290,3 e 298,7 ppm respectivamente) do que a de processo e deionizada (314,4 e 339,1 ppm respectivamente). É um indicativo que a presença de íons Cl^- no concentrado seguiu a lógica do teor de cobre: quanto mais rico em Cu mais pobre em cloretos. Os outros elementos analisados no concentrado (Fe, Ni, F) também não indicaram qualquer tendência que revelasse uma influência da qualidade da água. Os valores encontrados estão atrelados ao de cobre do concentrado. A exceção para a relação de “cobre oxidado/cobre total” que se manteve constante independente do tipo de água empregada (ETA=2,11%, processo=2,03%, deionizada=2,09% e hipersalina=2,32%).

Tabela II – Resultados da flotação *rougher/cleaner* de bancada empregando águas de diferentes qualidades (referência ao cobre total).

Flotação		Águas de teste							
		ETA		Processo		Deionizada		Hipersalina	
Etapas	Fluxo	Cu (%)	Recup. (%)	Cu (%)	Recup. (%)	Cu (%)	Recup. (%)	Cu (%)	Recup. (%)
<i>Rougher</i>	Alim	0,98		0,97		1,00		0,98	
	Conc.	8,05	82,57	8,17	82,30	7,56	87,25	8,77	83,32
	Rej.	0,19		0,19		0,14		0,18	
<i>Cleaner</i>	Alim	8,05		8,17		7,56		8,77	
	Conc.	21,22	77,89	19,60	84,68	17,24	82,95	21,21	79,19
	Rej.	2,53		1,94		2,02		2,71	
Global	Alim	0,98		0,97		1,00		0,98	
	Conc. final	21,22	64,31	19,60	69,69	17,24	72,59	21,21	65,92
	Rej. final	0,36		0,30		0,27		0,35	

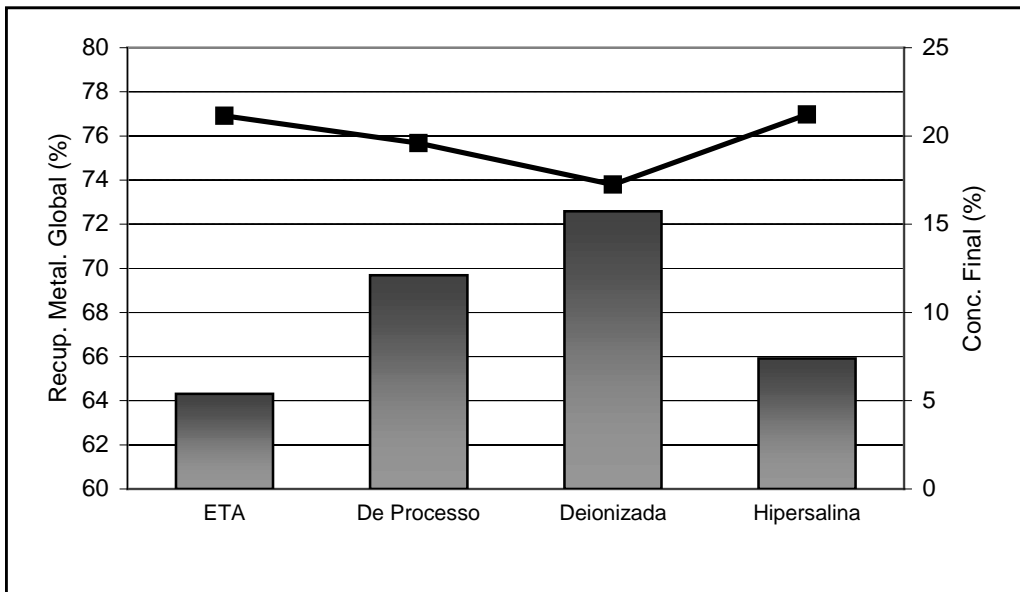


Figura 1 – Resultados de recuperação global e teor do concentrado final.

Não houve partição entre a água do concentrado e do rejeito com respeito a carga iônica bem como o acréscimo de reagentes na moagem não alterou a condutividade ou outro fator químico da polpa de concentrado e rejeito. As alterações aconteceram somente pelo efeito do contato da água com o minério durante a moagem e foram estas que influenciaram os resultados de recuperação e teor. Desta forma, infere-se que a água que segue com o rejeito para a barragem e depois retorna para a usina possui uma “carga circulante” iônica que com o passar dos anos, com a evaporação, contato com o minério, tubulações e reagentes vai incrementando a sua concentração. Os valores podem flutuar sazonalmente em função de períodos de chuva ou seca como se pode observar na Figura 2 em que a concentração de cloreto e sulfato da barragem de Sossego aumenta no período de estiagem (jun-nov) e diminui no de chuvas (jan-jun).

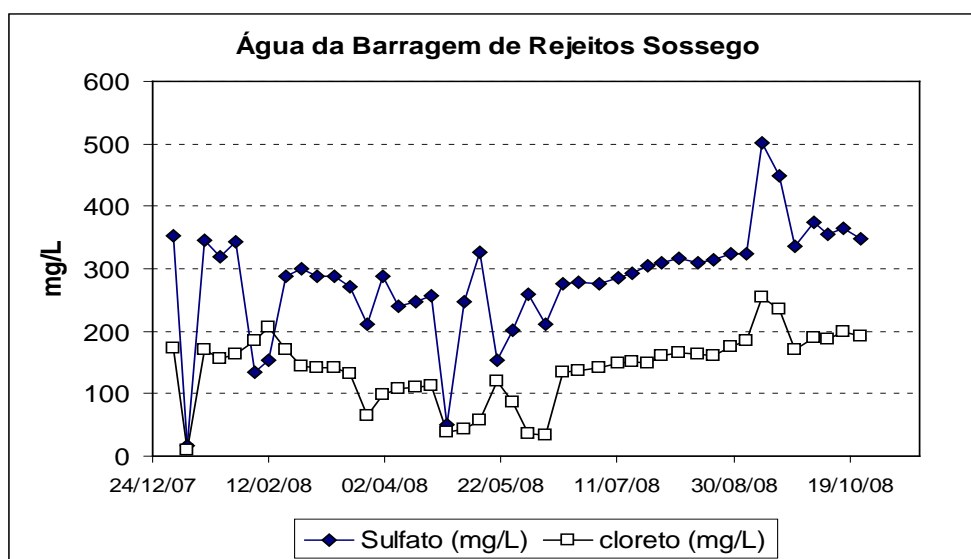


Figura 2 – Concentrações de sais da barragem de rejeitos da mina de Sossego durante o ano de 2008.

A tabela II apresenta os resultados obtidos das análises dos principais parâmetros das águas empregadas nos testes. Nota-se a semelhança entre a água da ETA e hipersalina com relação a condutividade e presença de cloretos. Isto é um indicativo que a estação estava sobredosando o íon hipoclorito em suas etapas de tratamento da água bruta provinda do rio Parauapebas. Essa composição afetou diretamente os resultados dos testes de flotação. Além deste fato, a água hipersalina, como esperado, apresenta valores elevados de todos os itens investigados enquanto as outras possuem valores intermediários. A água deionizada para alguns parâmetros apresenta índices acima dos esperados como para o magnésio e sulfato.

A tabela II também ilustra que normalmente há um acréscimo da carga iônica da água após seu contato com o minério na moagem, significando a solubilização de alguns metais contidos nas amostras durante esta fase. As únicas exceções são para o cálcio e magnésio em que se verifica uma redução da concentração após a moagem. Esse efeito é significativo para o cálcio na água hipersalina.

Tabela II – Análise das águas testadas antes e pós-moagem.

Águas	Alcalinidade (mg/L)		Condutividade (ms/cm)		Cloreto (mg/L)		Sulfato (mg/L)	
	natural	moagem	natural	moagem	natural	moagem	natural	moagem
ETA	38,3	43,0	7183,1	7561,2	757,9	789,5	407,8	438,5
Processo	24,3	27,3	2480,9	2787,5	311,0	330,8	549,0	616,8
Deionizada	41,8	48,1	877,4	1083,2	117,8	129,4	165,4	190,1
Hipersalina	126,2	135,7	8106,3	9007,0	974,6	1015,2	1458,0	1638,2

Águas	Potássio (mg/L)		Cálcio (mg/L)		Magnésio (mg/L)	
	natural	moagem	natural	moagem	natural	moagem
ETA	53,6	63,0	30,3	25,8	4,0	3,2
Processo	67,1	75,4	36,1	31,4	11,2	8,8
Deionizada	36,2	41,6	27,5	23,9	7,0	5,9
Hipersalina	372,6	405,0	438,6	5,6	12,6	2,7

Os resultados encontrados na flotação indicam que a presença de íons na polpa confere maior ou menor seletividade a essa operação. A maior seletividade quando se emprega a água da ETA e a hipersalina parece estar correlacionada a presença de íons cloretos. Ainda não é claro como se processa essa influência, mas provavelmente é devido a alterações no Eh da polpa, da polaridade, desativação de sítios de adsorção de coletores na superfície do mineral, reações inadvertidas, etc. (Levey e outros, 2001, Subrahmanyam, 1994, Shuhua, 2006). Estudos aqui apresentados ainda são preliminares e maior aprofundamento é necessário.

A redução da concentração de cálcio e magnésio após a moagem pode estar ligada a formação de sulfato ou hidróxido de cálcio e de hidróxido de magnésio que precipitariam ou formariam estruturas coloidais e portanto não seriam analisadas na fase aquosa. O sulfato de cálcio também pode adsorver na superfície do mineral sulfetado o que diminuiria sua recuperação e explicaria também os resultados nos testes com água hipersalina (Levey e outros, 2001, Coetzer e outros, 2003). Os íons sulfatos também são oxidantes suficientemente fortes para promover a oxidação da calcopirita e diminuir sua flotabilidade (Tolley e outros, 1996).

Da maneira que os testes foram encaminhados percebe-se que o aumento da concentração de sais não necessariamente prejudica o desempenho da flotação. Não gerou-se nenhuma situação catastrófica com o incremento da carga iônica, apenas novas possibilidades e formas de trabalhar a flotação. No entanto, mais estudos são necessários para que os efeitos oriundos

da alteração da qualidade da água de processo da usina de Sossego sejam plenamente conhecidos.

4. CONCLUSÕES

Os ensaios com águas de diferentes procedências revelaram que a presença de íons metálicos e sais influencia o comportamento da flotação. A presença de excesso de cloretos, cálcio e magnésio indicaram uma diminuição da recuperação metalúrgica do cobre, mas aumentaram a seletividade do processo, principalmente para o teste com água hipersalina. Com o emprego da água de processo da usina de sossego resultados intermediários de recuperação e teor foram alcançados.

Não foi detectada significativa partição da carga iônica entre a polpa do rejeito e do concentrado significando que, com o passar dos anos, há uma tendência da água da barragem se enriquecer com mais íons. Os parâmetros dos sólidos como teor de ferro, níquel, flúor, cloro não foram afetados individualmente ou diferencialmente pela presença da carga iônica.

Novos testes são necessários para qualificar e quantificar detalhadamente o efeito da presença de íons e cátions na água de processo da usina de Sossego. Ensaios de cinética, com íons isolados ou interagindo com outros, de flotação com recirculação de materiais e etc. devem ser realizados para melhor elucidar essas questões.

5. REFERÊNCIAS

Coetzer, G., du Preez, H.S. & Bredenhann, R. Influence of water resources and metal ions on galena flotation of Rosh Pinah ore. Journal South African Institute of Mining and Metallurgy, April, p 193-207, 2003.

Levay, G. Smart, R.St.C., Skinner, W.M. the Impact of water Quality on Flotation Performance. Journal South African Institute of Mining and Metallurgy, March/April, p 69-75, 2001.

Baltar, C.A.M. Flotação no Tratamento de Minérios, UFPE, Recife, 2008.

Finkelstein, N.P. The Activation of Sulphide Minerals for Flotation. A Review. Int. J. miner. Process, 52, p.81-120, 1997.

Wang, X. Forssberg, E. Bolin, N.J. The Aqueous and Surface Chemistry of Activation in the Flotation of Sulphide Minerals. A Review. Miner. Process Extra Metal Review, 4, p.167-199, 1989.

Subrahmanyam, T.V, Forssberg, K.S.V. Grinding and Flotation Pulp Chemistry of Low Grade Copper Ore. Minerals Engineering, 8-8, p.913-921, 1995.

Shuhua, H., Skinner, W., Fornasiero, D. Effect of Oxidation Potential and Zinc sulphate on the Separation of Chalcopyrite from Pyrite. Int. Jour. Mineral Processing, 80, p. 169-176, 2006.

Tolley, W., kotlyar, D., Van Wagoner, R. Fundamental Electrochemical studies of Sulfide Mineral Flotation. Minerals Engineering, 9-6, p. 603-637, 1996.