



ESTUDO DO DESEMPENHO DE DEPRESSORES DE CARBONATOS NA FLOTAÇÃO DO MINÉRIO SULFETADO DE OURO

MAGALHÃES, D.G.¹, MAGALHÃES, M.F.², SANTOS, L.H.¹
SOUZA, T.F.¹ ALVES, J.V.S¹

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET MG),
Departamento de Minas e Construção Civil. E-mail douglasmagalhães@gmail.com;
leandro.ufmg.minas@gmail.com; tamiris.fonseca@hotmail.com; joaoalves@cefetmg.br
²AngloGold Ashanti, Complexo Córrego do Sítio. E-mail: mfmagalhaes@anglogoldashanti.com.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi investigar o desempenho da flotação de minério sulfetado de ouro, na presença de depressores, a partir de ensaios de dispersão e flotação em bancada, visando a diminuição do teor de carbonato no concentrado e para conseqüente redução no consumo específico de ácido sulfúrico na posterior etapa de acidulação. O minério em estudo é proveniente do corpo Cachorro Bravo da AngloGold Ashanti Mineração, apresentando um teor médio de 4,69 % de carbonatos. Foram avaliados os dados de índice de dispersão dos depressores, teor de carbonatos no concentrado e recuperação de ouro. Dentre os depressores testados, a CMC da Akzo Nobel (Depramin 96) foi o melhor dispersante para a ganga carbonática do minério, constituída principalmente de ankerita, siderita e calcita. No entanto, notou-se pelos ensaios de flotação que o depressor não apresentou influência significativa nos parâmetros analisados.

PALAVRAS-CHAVE: minério sulfetado de ouro; flotação; depressores.

ABSTRACT

The aim of this paper was to investigate the performance of the flotation of sulphide gold ores, in the presence of depressants, based on dispersion and bench scale flotation experiments. Aimed to decrease the carbonate content in the concentrate to thereby decrease the specific consumption of sulfuric acid in the subsequent step of acidification. The ore in study comes from the Cachorro Bravo's body from AngloGold Ashanti Mining, with a carbonates content of 4,7 %. Dispersion degree of the depressants, content of carbonates in the concentrate and gold recovery were evaluated. Among the tested depressants, CMC from Akzo Nobel (Depramin 96) was the best dispersant for the carbonate gangue constituted by ankerite, siderite and calcite. However, it was noted by flotation tests that the depressant had no significant influence on the analyzed parameters.

KEYWORDS: sulphide gold ore; flotation; depressants

1. INTRODUÇÃO

Quando um minério refratário de ouro possui um teor elevado de carbonatos, a oxidação ácida sob pressão não é aconselhada, uma vez que os minerais ricos em carbonato consomem uma quantidade expressiva de ácido. Tal situação não somente impacta o processo, tornando-o mais caro, como também diminui a eficiência da oxidação devido à liberação do gás CO₂, que ocupa espaço no interior da autoclave, excluindo o O₂ do sistema (Fraser *et al.*, 1991). Para evitar tal situação, remover a ganga carbonática presente em minérios sulfetados de ouro é indispensável antes da etapa de hidrometalurgia.

A depressão dos materiais carbonatados na etapa de flotação torna-se então uma opção viável para realizar a separação da ganga carbonática do minério, contribuindo para a redução no consumo de ácido sulfúrico e conseqüentemente, tornando o processo menos oneroso. Em geral, o emprego de dispersantes e/ou depressores melhora a seletividade do processo, garantindo concentrados com maiores teores do elemento útil.

Neste trabalho buscou-se investigar o comportamento de diferentes depressores, a fim de promover a dispersão e depressão de carbonatos no minério sulfetado de ouro, sem influenciar a recuperação metalúrgica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos experimentais incluíram preparação das amostras, ensaios de dispersão e flotação em bancada. As amostras foram provenientes do complexo Córrego do Sítio – AngloGold Ashanti Mineração localizado em Santa Bárbara/MG e os trabalhos foram desenvolvidos no laboratório de processos interno. A figura 1 ilustra as etapas de preparação para os ensaios de dispersão e flotação.

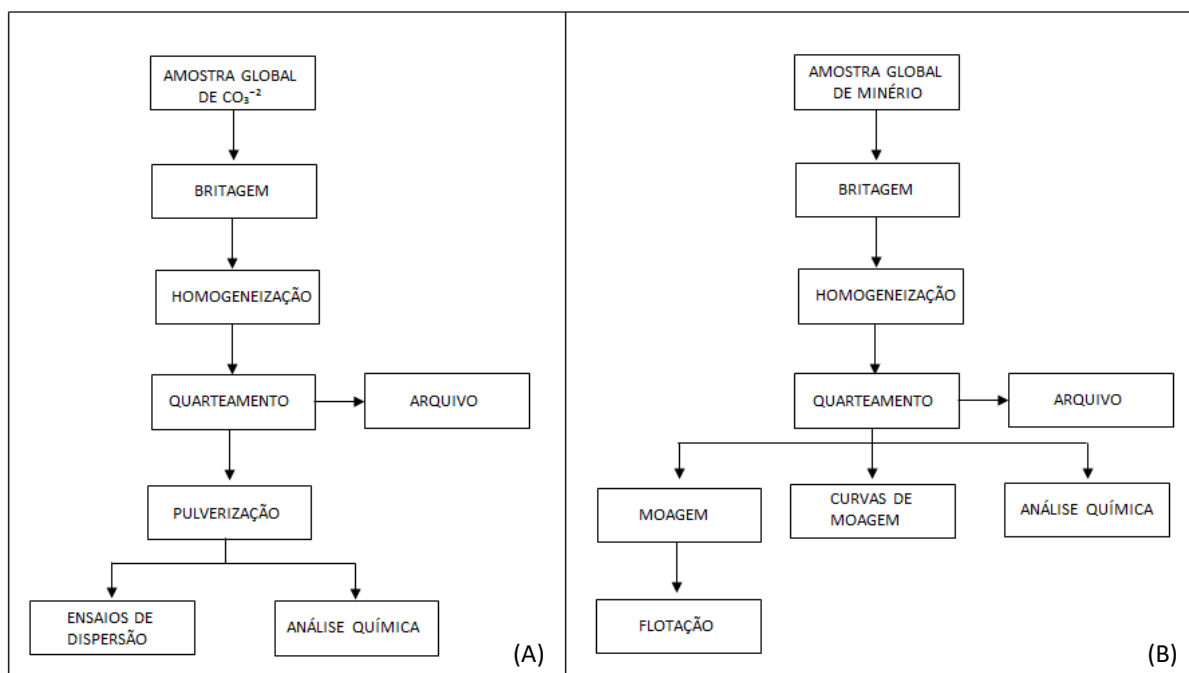


Figura 1 – Etapas de preparação das amostras para: (A) Ensaios de dispersão e (B) Ensaios de flotação

2.1 Ensaios de dispersão

Para os ensaios de dispersão foram utilizadas amostras ricas em CO_3^{-2} , devidamente coletadas de um dique carbonático, proveniente da mina subterrânea da AngloGold Ashanti – Córrego do sítio. Essa amostra foi utilizada devido à indisponibilidade de minerais puros de ankerita, siderita e calcita, os quais constituem a ganga carbonática do minério.

A amostra global foi britada, quarteada em alíquotas de aproximadamente 100 gramas e devidamente pulverizada para adequação granulométrica aos ensaios de dispersão. Os reagentes utilizados estão apresentados na tabela 3.

Tabela 1 – Parâmetros dos ensaios de flotação

Reagente	Dosagens (g/t)
CMC (indústria alimentícia)	800 - 1200
Depramin C (CMC – AkzoNobel)	800 - 1200
Depramin 96 (CMC – AkzoNobel)	800 - 1200
Goma guar (indústria alimentícia)	800 - 1200
Amido de milho (tipo gritz)	800 - 1200

O procedimento adotado para os ensaios de dispersão se baseia na metodologia adotada por Galéry (1985), que investigou a influência do estado de dispersão na flotabilidade do sistema willemita/dolomita.

2.2 Ensaios de flotação

Para os ensaios de flotação foi utilizada uma amostra global de 120 kg que foi inicialmente britada, em um britador de mandíbulas em escala laboratorial de APF = 19 mm e posteriormente no mesmo modelo de britador com APF = 2 mm. Logo após, foi homogeneizada pelo método de pilha cônica e quarteada pelo método JIS, até 1400 g, as quais foram identificadas e armazenadas em sacos plásticos para evitar a oxidação. Para análise química da alimentação da flotação foi escolhida uma amostra final, aleatoriamente.

A fim de evitar que a oxidação do minério interferisse na flotabilidade, os ensaios de flotação foram realizados imediatamente após a etapa de moagem. Foi necessária a construção de um gráfico de regressão linear, através de curvas de moagem, para que fosse possível o cálculo do tempo ideal para atingir um P_{80} de 74 μm .

Os reagentes utilizados foram escolhidos de acordo com o padrão já utilizado pelo laboratório de processos e estão descritos na tabela 2

Tabela 2 – Parâmetros dos ensaios de flotação

Reagente	Função	Concentração (% v/v)	Dosagem (g/t)	Condicionamento (min)
CuSO_4	Ativador	1	150	1
CMC/Goma guar/Amido	Depressor	1	600 - 800 - 1000	5
F-5460 (60%) + F-3430 (40%)	Coletor	1	150	-
D250	Espumante	1	60	-

Os ensaios de flotação foram desenvolvidos seguindo o padrão *rougher*, até a exaustão da espuma e em duplicata. Foi utilizada a célula de flotação CDC, modelo GFB-1000

EEPEN, com uma cuba em acrílico e volume útil de 2.600 ml. A velocidade do impelidor foi ajustada em 1250 rpm, com a vazão de ar controlada em 4 l/min. O pH foi medido com um medidor pH-DM22 do fabricante Digimed. Os ensaios foram realizados com os depressores que tiveram os melhores resultados de índice de dispersão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos nas análises químicas das amostras e nos ensaios de dispersão e flotação serão abordados neste tópico.

3.1 Ensaios de dispersão

A caracterização química da amostra para o ensaio de dispersão é apresentada na tabela 3. De acordo com a análise, o teor de carbonato na amostra corresponde em média a 32,73 % do total. Os elementos Ca (8,86 %), Fe (4,60 %) e Mg (3,24 %), são formadores dos minerais calcita (CaCO_3), Ankerita ($\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg})(\text{CO}_3)_2$) e Mg-Siderita ($(\text{Fe},\text{Mg})\text{CO}_3$) e constituem os principais minerais de ganga do minério sulfetado de ouro.

Tabela 3 – Análise química da amostra para os ensaios de dispersão

Au (ppm)	S (%)	C (%)	CO_3^{-2} (%)	Al (%)	As (%)	Ca (%)	Fe (%)	Mg (%)	Si (%)
0,74	0,05	6,82	32,73	0,36	0,05	8,86	4,6	3,24	12

Foram realizados 11 ensaios de dispersão, em duplicata, na presença de diferentes reagentes dispersantes e as médias dos resultados estão apresentados na figura 2.

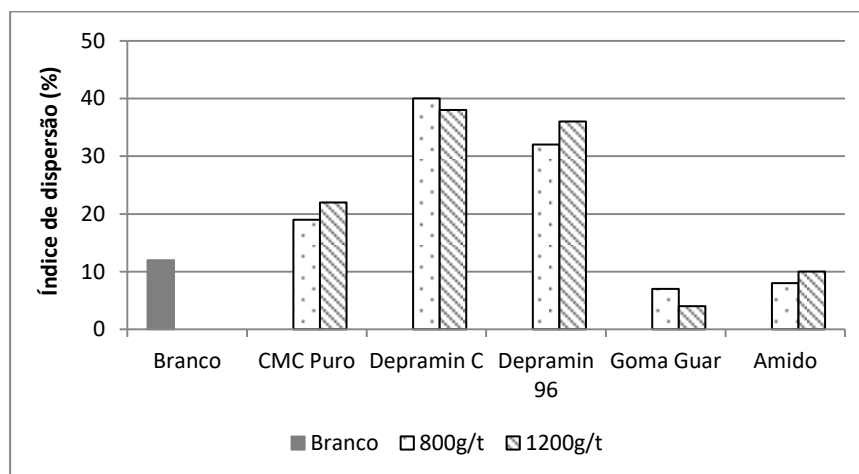


Figura 2 – Índices de dispersão dos reagentes

Analisando os vários reagentes testados, o Depramin C e o Depramin 96 (CMCs da Akzo Nobel), foram os mais eficientes para a dispersão da ganga carbonática. A CMC evita o efeito de *slime-coating*, podendo aumentar a seletividade entre os sulfetos (Pietrobon, 1996). A goma guar e o amido não foram eficientes como dispersantes, mostrando o caráter depressor, porém floculante.

Imbelloni (2013) realizou ensaios de dispersão utilizando goma guar, em seu estado puro e combinado com outros reagentes. Entretanto, a goma guar não foi eficiente como dispersante, mesmo na presença de Na_2CO_3 .

Leite Nunes (2011) em uma revisão sobre depressores de carbonatos cita que macromoléculas que formam o amido são hidrofílicas e são capazes de atuar como pontes entre as partículas, formando agregados. Correia *et al.* (1997) e Leal Filho *et al.* (1998), em estudos realizados pelo CETEM, no campo de modelagem molecular, observaram que as gomas possuem boas condições de substituição do amido, no que tange a parte da eficiência de depressão, por apresentarem propriedades físico-químicas semelhantes ao amido devido serem da mesma família dos polissacarídeos.

3.1 Ensaios de Flotação

A análise química da alimentação para os ensaios de flotação é apresentada, em triplicata, na tabela 3. De acordo com a análise, os teores de Au e CO_3^{-2} da alimentação da flotação correspondem em média a 8,02 ppm e 4,69%, respectivamente.

Tabela 3 – Análise química da amostra de alimentação da flotação

Au (ppm)	S (%)	C (%)	CO_3^{-2} (%)	Al (%)	Ca (%)	Fe (%)	Mg (%)	Si (%)
8,02	1,04	1,02	4,69	5,01	1,64	4,85	2,52	30,8

A figura 3 apresentam os teores de carbonato no concentrado *rougher*, para os ensaios com os depressores de melhor índice de dispersão.

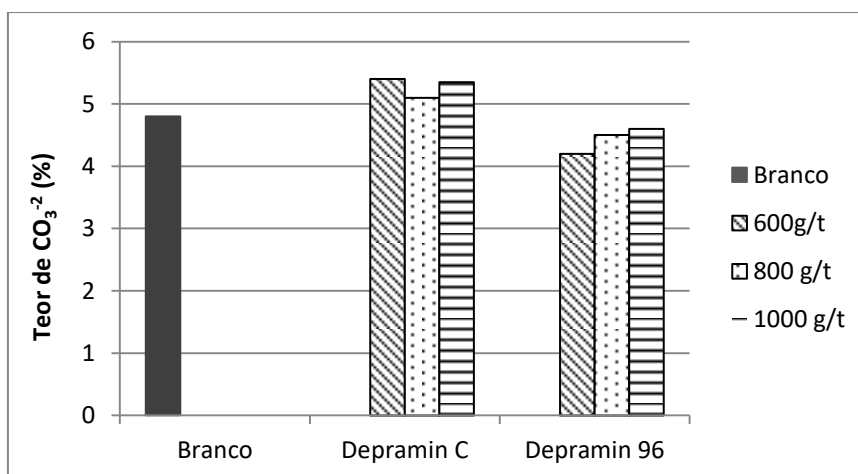


Figura 3: Teor de carbonato no concentrado *rougher*.

O Depramin 96 obteve o melhor resultado com relação ao teor de carbonato no concentrado, se comparado ao ensaio sem o reagente. Entretanto observa-se que os teores de carbonato no concentrado em presença dos dispersantes não sofreram variações consideráveis, apesar de ambos reagentes terem sobressaído nos ensaios de dispersão.

Em um estudo de depressores de ganga carbonática em minério de níquel, realizado por Imbelloni (2013), foi utilizado um percentual de sólidos para a flotação de 24,4%. O

arraste de ganga se torna maior com o aumento do percentual de sólidos na flotação dos sulfetos. Para o presente estudo, trabalhou-se um percentual de sólidos padrão de 40%, não sendo o escopo avaliar essa variável. Assim, é possível afirmar que a baixa seletividade pode estar diretamente ligado ao percentual de sólidos aplicado. A figura 4 mostram os resultados das recuperações de ouro obtidas nos ensaios de flotação.

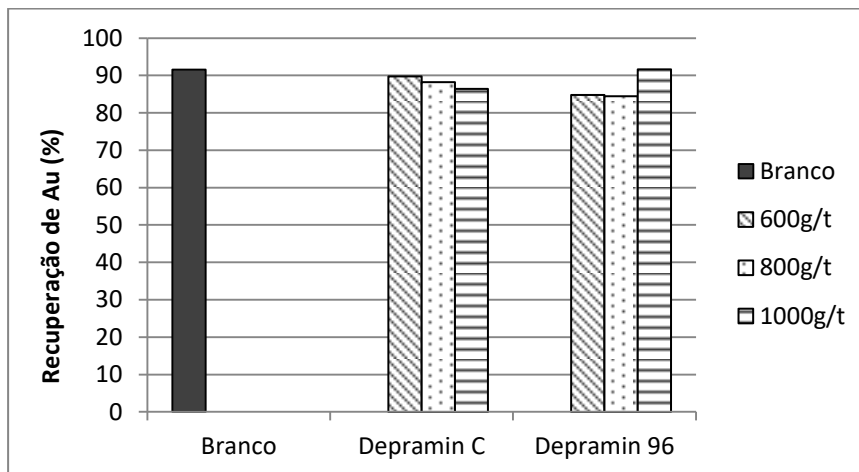


Figura 4: Recuperação de Au nos ensaios de Flotação

Com relação Depramin 96, percebe-se uma queda na recuperação de ouro se comparados ao ensaio branco. Nota-se que os depressores selecionados podem não ser seletivos para o minério em questão. Hanna e Somasundaran (1976) escreveram sobre os fatores que dificultam a seletividade. Entre esses fatores, ressalta-se a alta atividade superficial dos coletores utilizados, interações entre espécies iônicas dissolvidas de um mineral sobre o outro e interações entre espécies iônicas dissolvidas e reagentes.

Como citado acima, podemos correlacionar a atração dos grupos -OH para a superfície do ouro livre. O alto peso específico da partícula de ouro livre e a hidrofilição da superfície, garantindo molhabilidade, pôde ter causado ao sistema um aglomerado tão pesado e hidrofílico que nem um percentual elevado de sólidos pode promover flotabilidade a essa partícula.

4. CONCLUSÕES

A CMC (Depramin 96), atuou como o melhor dispersante para a ganga, em comparação aos outros reagentes testados no ensaio de dispersão. Porém no que se diz respeito aos ensaios de flotação, notou-se uma queda na recuperação de ouro e resultados pouco expressivos na variação do teor de carbonatos no concentrado.

Conclui-se que, para os padrões de ensaios adotados, não foi identificado um reagente que deprima significativamente a ganga carbonática para o minério de ouro avaliado. Entretanto, o trabalho abre portas para outros estudos, sendo sugerida a avaliação da redução do percentual de sólidos e ensaios com outros reagentes, em estado puro e combinado com outros.

5. REFERÊNCIAS

- Correia, J. C. G, Leal Filho, L. S. & Seidl, P. R. Desenvolvimento de novos depressores para o processo Fosfertil via estudos de modelagem molecular. Relatório de Pesquisa RT-40/97. CETEM/CNPQ. Rio de Janeiro. 1997.
- Fraser, K.S., Walton, R.H., Wells, J.A.. Processing of refractory gold ores. *Minerals Engineering* 4, 1991; 1029–1041.
- Galéry, R.. Influência do estado de dispersão na flotabilidade do sistema willemita/dolomita. [Dissertação de Mestrado]. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte. 1985
- Hanna, H. S.; Somasundaran, P. Flotation of Salt-Type Minerals. *Flotation*, A. M. Gaudin Memorial, AIME, New York, p.197-272, 1976.
- Imbelloni, A. M. Concentração do minério de níquel da Mineração Fortaleza de Minas. [Dissertação de Mestrado] – Engenharia Mineral; Universidade Federal de Ouro Preto, 2013.
- Leal Filho, L. S., Correia, J. C. G, & Seidl, P. R. Estudos de modelagem molecular visando à otimização da depressão de hematita. Projeto realizado para a companhia Vale do Rio Doce, 1998.
- Leite Nunes, A.P.; Peres, A. E. C. Reagentes depressores de carbonatos - uma revisão. *Serie Tecnologia Mineral*, v. 1, p. 1-47, 2011.
- Pietrobon M.C. Chemical aspects in the flotation of pentlandite in Western Australian nickel ores. [manuscript]. Australia: Applied Science in Chemical Technology, University of South Australia; 1996