

Estudo de solubilização de ouro utilizando tiosulfato produzido por rota biotecnológica

Gold solubilisation Study using Thiosulphate out of biotechnological route.

Thuanny Honório Soares

Bolsista Capacitação Institucional, Técnico em Química, IFRJ

Luís Gonzaga Santos Sobral

Supervisor, Engenheiro Químico, Ph.D

Resumo

Diversos processos podem ser utilizados na extração de ouro a partir de minérios. Na rota mais utilizada industrialmente, é realizado o beneficiamento do minério de ouro visando elevar o teor do metal, para, em uma etapa posterior o concentrado gerado ser submetido ao processo extrativo que consiste em uma lixiviação utilizando cianeto de sódio (cianetação). Considerando os efeitos danosos ao meio ambiente e os riscos inerentes ao transporte e manuseio de cianeto, diversos estudos vêm sendo realizados visando o desenvolvimento de rotas tecnológicas alternativas à cianetação como, por exemplo, a lixiviação com tiosulfato. Alguns estudos científicos têm descrito o acúmulo transitório de íons tiosulfato durante bio-oxidação do enxofre elementar por bactérias do gênero *Thiobacillus* em pH próximo à neutralidade. No intuito de realizar um estudo de lixiviação de ouro utilizando tiosulfato produzido por rota biotecnológica foi feito, em um primeiro momento, um pré-tratamento no minério (bio-oxidação) que visou reduzir o teor de sulfeto mineral. Para realizar o experimento de solubilização de ouro, isolou-se um micro-organismo capaz de oxidar enxofre, duas cepas desses micro-organismos foram isoladas, inoculando os sedimentos dos lagos do CETEM em caldo de tiosulfato seguido por dois sucessivos isolamentos de colônias simples em meio solidificado.

Palavras chave: Ouro, bio-oxidação, tiosulfato.

Abstract

Several processes can be used for extracting gold from ores. In the most industrially used route, the gold ore beneficiation is carried out so as to increase the gold content, so that at a later stage the concentrate is submitted to the extraction process, which consists of a sodium cyanide leaching. Considering the harmful effects on the environment and the risks inherent to the transport and handling of cyanide, several studies have been carried out aiming at developing a technological alternative route to cyanide, such as leaching with thiosulphate. Some scientific studies have described the transient accumulation of thiosulphate ions during bio-oxidation of elemental sulphur by bacteria of the genus *Thiobacillus* at pH close to neutrality. In order to carry out a study of gold leaching using thiosulphate produced by biotechnological route, an initial pre-treatment in the ore (bio-oxidation) was made, which aimed at reducing the content of mineral sulphide. In order to perform the gold solubilisation experiment, a microorganism capable of oxidizing sulphur was isolated; two strains of these microorganisms were isolated, inoculating the lakes sediments of CETEM in thiosulphate broth followed by two successive isolations of single colonies in solidified medium.

Key words: Gold, bio-oxidation, thiosulphate.

1. Introdução

Ao longo da história, sabe-se que o ouro é um metal de grande importância, podendo ser aplicado em diversos setores; desde então a exploração dele se torna muito intensa, fazendo com que os jazimentos minerais que contém altos teores nesse metal se esgotem com o decorrer do tempo. Dessa forma há a necessidade de um beneficiamento do minério de ouro envolvendo processos físicos e químicos, visando à obtenção da substância mineral de interesse.

Atualmente o processo mais comum para extração do ouro é a lixiviação com o uso do cianeto de sódio (NaCN). A cianetação é uma técnica conhecida desde o final do século passado, 1887 e, até hoje, é o processo mais utilizado pela maioria das mineradoras do mundo. O cianeto, quando na presença de um agente oxidante, o oxigênio do ar atmosférico, tem a capacidade de oxidar e dissolver o ouro produzindo um sal solúvel à base de ouro, sódio e cianeto. Entretanto o cianeto de sódio é um composto altamente tóxico e pode ser letal ao homem e ao meio ambiente.

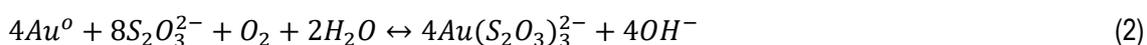
Diversos estudos vêm sendo realizados visando o desenvolvimento de rotas tecnológicas alternativas à cianetação como, por exemplo, a lixiviação com tiosulfato. Em escala industrial, o tiosulfato de sódio é produzido, principalmente, a partir de efluentes líquidos da fabricação do sulfeto de sódio ou corantes de enxofre. Um dos principais problemas da lixiviação com tiosulfato é o elevado consumo desse reagente durante a extração; além disso, o processo é geralmente lento (HILSON e MONHEMIUS, 2005)

Nos processos biológicos de oxidação de compostos reduzidos de enxofre, o tiosulfato é produzido, como um intermediário de reação.

De acordo com Madigan et. al., (2004) ocorre a geração de tiosulfato durante a bio-oxidação do enxofre elementar por bactérias dos gêneros *Thiobacillus* e *Acidithiobacillus*, conforme a Equação 1, a seguir.

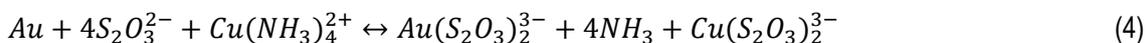
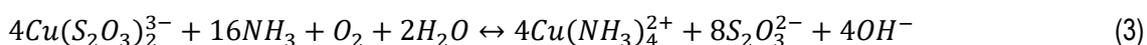


Em pH baixo (inferior a 4) o tiosulfato é instável e sua taxa de decomposição química depende da concentração. Nas culturas em ambiente limitado em tiosulfato, a taxa de decomposição química é insignificante em comparação à taxa de bio-oxidação do tiosulfato devido às baixas concentrações de substrato residual. Da mesma forma, se o ouro estiver presente no sistema, para formar um complexo estável com o tiosulfato, que reage com o ouro, na presença de oxigênio, antes de ser oxidado fazendo, dessa forma, com que o ouro em seu estado elementar (Au^0) seja solubilizado. O ouro se dissolve em solução alcalina de tiosulfato usando o oxigênio dissolvido como agente oxidante para formar o complexo com $Au(I)$, como mostra a Equação 2, a seguir.



Para que a reação de solubilização do ouro aconteça é necessário, ainda, a presença de oxigênio que é o agente oxidante. O tiosulfato atua como agente complexante da reação para formar um complexo aniônico com íons $Au(I)$.

A taxa de dissolução depende das concentrações de tiosulfato e oxigênio e da temperatura. Essa taxa de lixiviação é aumentada na presença de cobre (*i.e.*, soluções amoniacais de tiosulfato de cobre), como demonstrado por Zipperian *et al.*, 1986, que propuseram a seguinte reação (Equações 3 e 4):



Nos minérios que contêm elevados teores de sulfetos minerais, uma prática comum é realizar um pré-tratamento que pode ser a ustulação, lixiviação sob pressão ou bio-oxidação. Neste estudo, o pré-tratamento utilizado foi a bio-oxidação que envolve a ação de micro-organismos capazes de oxidar ferro e compostos reduzidos de enxofre. Trata-se de bactérias acidofílicas que promovem um processo natural de dissolução de sulfetos minerais, disponibilizando os metais, constituintes dessas espécies mineralógicas, em suas formas iônicas solúveis (Rojas, 1998).

2. Objetivo

Avaliar a solubilização de ouro a partir da utilização de tiosulfato produzido por rota biotecnológica com controle analítico do processo.

3. Material e Métodos

O pré-tratamento do minério de ouro consistiu na bio-oxidação utilizando um micro-organismo capaz de oxidar ferro e compostos reduzidos de enxofre cultivado sob temperatura de 35°C. Esse tratamento teve como objetivo reduzir o teor de sulfeto mineral contido no minério, e, dessa forma, aumentar a eficiência do processo extrativo, visto que sulfetos minerais também reagem com o reagente utilizado na lixiviação do ouro.

Previamente ao ensaio de bio-oxidação foi feita a adaptação do micro-organismo a partir de subcultivos sucessivos nos quais se aumentava, gradativamente, a quantidade de minério de ouro enquanto se reduzia, na mesma proporção, a concentração de fonte solúvel de energia. Dessa forma, o micro-organismo se acostumou a utilizar, como fonte de energia, os sulfetos minerais contidos no minério. Uma vez adaptado, o cultivo foi utilizado no experimento de bio-oxidação que foi realizado em frasco Erlenmeyer contendo os sais básicos do meio de cultivo MKM [(NH₄)₂SO₄ 0,4 g.L⁻¹; MgSO₄.7H₂O 0,4 g.L⁻¹ e K₂HPO₄ 0,04 g.L⁻¹] dissolvidos em água destilada e com pH ajustado para na faixa de 1,7 a 1,8 com H₂SO₄. A esse sistema foi adicionado 10% p/v de minério de ouro. Os frascos foram incubados sob temperatura de 35°C e agitação orbital de 150 rpm, por um período de 21 dias. Como monitoramento do processo foram feitas medidas de pH e Eh, além das amostragens para análise das concentrações de Ferro e Sulfato.

Para os ensaios de lixiviação do ouro será utilizada a rota biotecnológica; para tanto será utilizada uma bactéria oxidante de enxofre, mais especificamente do gênero *Thiobacillus*. Sabendo que é possível obter

esse micro-organismo a partir de lama, solo e sedimento, inoculou-se amostras de solo em frascos Erlenmeyers contendo meio de cultura S6 [Na_2HPO_4 : 1,2 g.L⁻¹; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 0,205 g.L⁻¹; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$: 0,1 g.L⁻¹; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: 0,04 g.L⁻¹ e $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 0,02 g.L⁻¹] (HUTCHINSON, 1965) com pH ajustado para 6,6 e autoclavado a 120 °C durante 20 minutos. Os frascos foram incubados sob temperatura de 30°C e agitação orbital de 150 rpm e, para evitar a decomposição do tiosulfato, os cultivos foram mantido ao abrigo da luz (envolvidos por folha de alumínio). A cada três dias, uma propagação 2% v/v era feita em meio de cultivo S6 recém preparado. Após quatro propagações, os melhores cultivos foram isolados fazendo-se diluição seriada de uma alíquota do cultivo em solução salina (NaCl 0,85 %). As diluições foram plaqueadas em meio S6 solidificado com 12 g.L⁻¹ de agarose.

4. Resultados e Discussão

4.1. Experimento de bio-oxidação

Durante os 21 dias de processo observou-se a contínua solubilização de ferro e de enxofre, conforme mostrado na Figura 1.

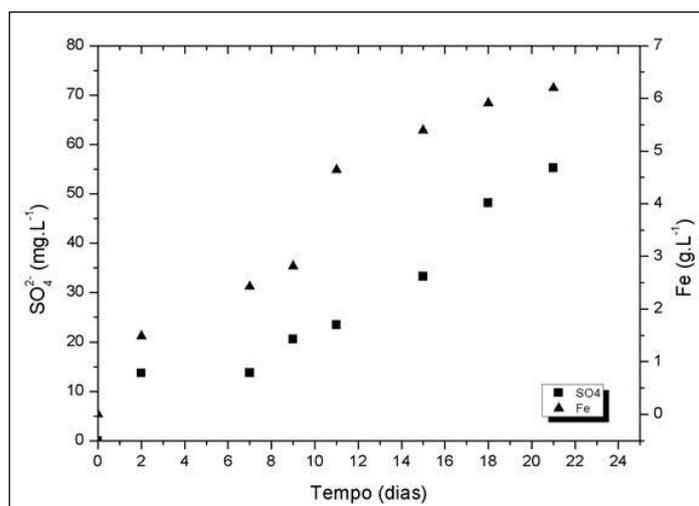


Figura 1. Solubilização de Ferro e de enxofre no experimento de bio-oxidação de minério de ouro.

Os micro-organismos oxidante de ferro promoveram a dissolução da pirita e da arsenopirita que compõem o minério em estudo, conforme mostra as Equações 5 e 6 (Oliveira, 2009).



O sulfato férrico, gerado a partir da Equação 36, é um eficiente agente lixiviante/oxidante, capaz de promover a dissolução de sulfetos minerais em geral, retornando ao estado ferroso, como mostra a Equação 7 (YAHYA e JOHNSON 2002).



A Figura 2 mostra a variação de pH ao longo do experimento. Nota-se a elevação do pH durante as primeiras 24 horas do seu início, sendo necessário adicionar uma quantidade de ácido equivalente a 24 kg de H₂SO₄ por tonelada de concentrado para ajustar o pH para 1,8.

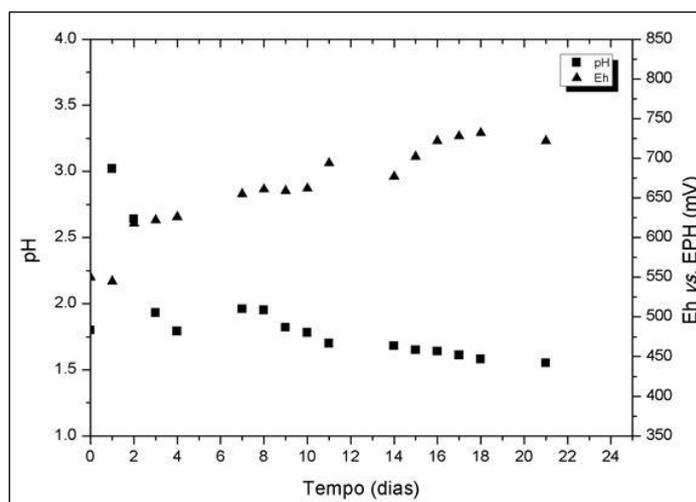


Figura 2. Variação de pH e de potencial redox no experimento de bio-oxidação de minério de ouro.

À medida que o processo oxidativo acontece, ocorre a geração de ácido no sistema reacional como consequência da reação de oxidação da pirita e, dessa forma, o pH se mantém em valores inferiores a 3,0 que é apropriado para evitar a precipitação de íons férricos que podem comprometer a eficiência do processo.

4.2. Isolamento de *Thiobacillus* sp.

Dentre todos os isolados, a cepa denominada AGA-A foi considerada o melhor cultivo por apresentar maior turvação do meio (Figura 3A) e maior número de células, sendo alcançada cerca de 10⁸ células/mL de caldo de tiosulfato. A partir do isolamento de colônias simples, em meio solidificado agarose, obteve-se colônias de aspecto esbranquiçado que promoviam depósito de enxofre (Figura 3B).

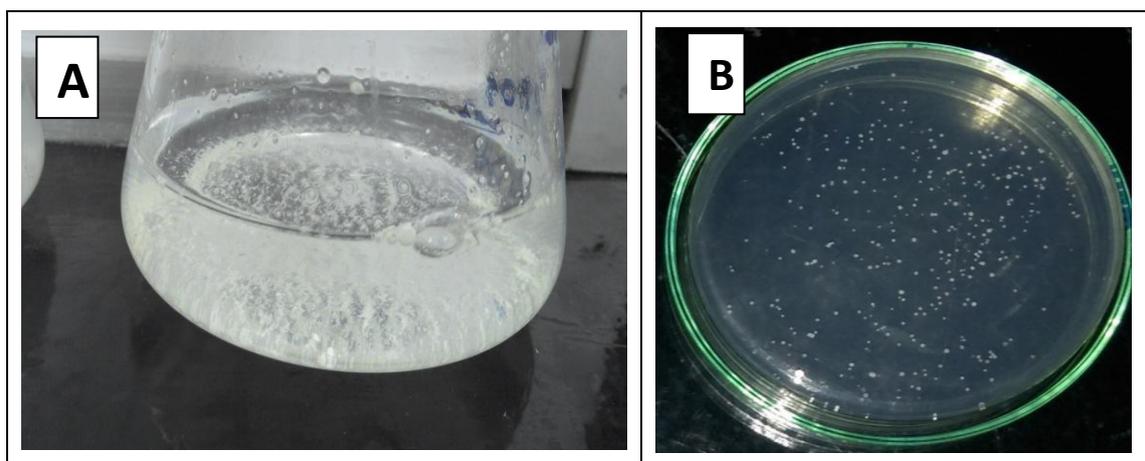


Figura 3. Cultivo enriquecido de bactéria oxidante de enxofre (A); e Colônias dos isolados oxidantes de enxofre (B).

Na continuidade do estudo, esses isolados serão submetidos ao procedimento de identificação metabólica de acordo com métodos descritos na literatura por Hutchinson *et al.*, e serão utilizados em ensaios de lixiviação do minério que foi submetido ao processo de bio-oxidação.

5. Conclusão

O micro-organismo oxidante de ferro utilizado no experimento de bio-oxidação foi capaz de solubilizar parte do ferro e do enxofre contido no minério na estrutura de sulfetos minerais. Com a redução do teor de sulfetos, pretende-se aumentar a eficiência do processo de extração de ouro, estudo que será realizado na continuidade do projeto.

A partir da inoculação de amostras de lama em meio de cultivo contendo sais inorgânicos como fonte de nutrientes e tiosulfato como única fonte de energia, foi possível isolar bactérias oxidantes de enxofre. Tais micro-organismos serão, na continuidade do estudo, utilizados em experimentos de lixiviação de minério de ouro com produção biológica (*in situ*) de tiosulfato.

6. Agradecimentos

Gostaria de primeiramente agradecer pela oportunidade dada a mim pelo CNPq, pois sem este apoio esta pesquisa não seria possível. Agradeço também aos meus orientadores Luís Sobral e Débora Monteiro pela orientação acadêmica, ao CETEM pela infraestrutura, a COAMI pelas análises, e a Andriela Dutra pelo apoio ao longo do ano.

7. Referências Bibliográficas

- HILSON, G., MONHEMIUS, A. J. "Alternatives to Cyanide in the Gold Mining Industry: What Prospects for the Future?", **Journal of Cleaner Production**, 2005.
- MADIGAN, M. T., MARTINKO, J. M., PARKER, J., **Microbiologia de Brock**, São Paulo: Prentice Hall, 2004;
- OLIVEIRA, D. M.. Potencial do tensoativo biológico (Ramnolipídio) comercial na biolixiviação de minério primário de cobre. 2009. 94f. Dissertação, Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2009.
- YAHYA A., D.; JOHNSON B. Bioleaching of pyrite at low pH and low redox potentials by novel mesophilic Gram-positive bacteria. **Hydrometallurgy**, v. 63, p. 181– 188, 2002;
- ZIPPERIAN, D., RAGHAVAN , S. & WILSON, J. P. (1986), Thiosulphate technology for precious metal recovery. *Presentation at 115th AIME Convention, New Orleans, March 1986.*