

# CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DE REJEITOS DA MINERAÇÃO DO OURO

**Fabiano Augusto Costa Mafra Passos**

Graduação em Química Industrial, 10º período/Escola de Química - UFRJ

Período ESTÁGIO/CETEM: Novembro 2015 a Outubro 2016

[fpassos@cetem.gov.br](mailto:fpassos@cetem.gov.br)

**Zuleica Carmen Castilhos**

Orientadora, Tecnologista Pleno 2, D.Sc.,

[zcastilhos@cetem.gov.br](mailto:zcastilhos@cetem.gov.br)

**Vanessa Pereira Ramiro da Silva**

Co-orientadora, Instituto de Química/UFRJ

Graduada em Química Industrial – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

[vanessa.prs89@gmail.com](mailto:vanessa.prs89@gmail.com)

## Resumo

Na mineração de ouro, a flotação e a cianetação são os processos de beneficiamento mais utilizados, os quais geram rejeitos cujas composições precisam ser caracterizadas para monitoramento desde o início até o fechamento da mina. Desta forma, o propósito deste trabalho foi compreender a composição dos resíduos contidos nas barragens de rejeito desta mineração. O processo de preparação das amostras consistiu, após a secagem em estufa a 50°C, de homogeneização em pilha cônica e prismática, seguida de quarteamento em alíquotas que foram denominadas RFOAT e RCOAT, para flotação e cianetação, respectivamente. As amostras foram caracterizadas por meio de distribuição granulométrica, DRX, FRX e análise elementar de carbono e enxofre. Verificou-se que a granulometria da RCOAT é menor que a da RFOAT, com 46 e 61% das partículas com granulometria de 6 e 148 µm, respectivamente, visto que o concentrado da cianetação passa por mais uma etapa de cominuição. De acordo com a DRX, observou-se uma maior concentração de minerais sulfetados na amostra RCOAT, pois nesta, além dos picos de minerais verificados no RFOAT, foram encontrados os minerais esfalerita, galena, pirrotita, microclínio e albita, uma vez que esses minerais podem estar associados ao ouro. A análise elementar confirmou os resultados da DRX, com teores de C e S de 2,5 e 0% e 0,64 e 15,4% para RFOAT e RCOAT, respectivamente. Análises como medidas de potencial zeta, TG/DTG, MEV, IV, ICP-OES estão sendo realizadas para a caracterização dos rejeitos que compõem a barragem, além dos ensaios de periculosidade e solubilidade (ABNT) e ecotoxicidade (CONAMA).

**Palavras-chave:** rejeito, flotação, cianetação, ouro.

## CHEMICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERIZATION OF GOLD MINING TAILINGS

### Abstract

Flotation and cyanidation, the most important ore dressing processes on gold mining, generate a large amount of tailings, whose compositions must be verified for monitoring from the beginning to the mine closure. The aim of this research was qualify and quantify these compositions on the tailings. The sample preparation process was conducted, after kiln-drying, by a conic and prismatic pile homogenizing, followed by quartering which generates aliquots called RFOAT and RCOAT for flotation and cyanidation waste, respectively. These aliquots were characterized by particle size distribution, DRX, FRX and carbon/sulfur elemental analysis. The results showed that RCOAT granulometry is smaller than RFOAT, 46 and 61% of particles with 6 and 148 µm, respectively, due to one more step of comminution for the cyanidation concentrate. According to XRD,

RCOAT sample has more sulphide minerals, since not only the mineral peaks in RFOAT but also sphalerite, galena, pyrrhotite, microcline and albite peaks were found, which means that these minerals are more associated to gold removed from the flotation tank. Elemental analysis confirmed the XRD data, where the carbon and sulfur percentage were 2.5 and 0.0% for RFOAT, and 0.64 and 15.4% for RCOAT, respectively. The Zeta Potential, Thermal Analysis, SEM, IR and ICP-OES has been made in order to characterization what type of tailing compound the dam, besides the dangerousness, solubility (ABNT) and ecotoxicity (CONAMA) tests.

**Keywords:** tailing, flotation, cyanidation, gold.

## 1. INTRODUÇÃO

O beneficiamento do minério de ouro envolve processos físicos e químicos, visando a obtenção da substância mineral de interesse, dentre os quais destacam-se a flotação e a cianetação. Os rejeitos provenientes destes processos podem ser fontes de contaminação, devido à presença de metais pesados e arsênio, provenientes de minerais sulfetados (SILVA *et al.*, 2004). Como geralmente os rejeitos são acondicionados em locais abertos, barragens de rejeitos, devem ser considerados passivos ambientais que precisam ser controlados e monitorados desde o início até o fechamento da mina.

A flotação é um método de separação entre partículas sólidas que explora diferenças superficiais baseadas no fato das mesmas apresentarem caráter hidrofóbico ou hidrofílico. O ouro, junto a outros componentes hidrofóbicos, fica retido no concentrado flotado, que é removido e enviado à próxima etapa, a cianetação, que se baseia na capacidade do cianeto em formar complexo com o ouro e com outros metais contidos na solução dentro do tanque de cianetação. O complexo formado com o ouro é separado dos demais por adsorção em carvão ativado (TRINDADE e FILHO, 2002).

## 2. OBJETIVOS

O propósito deste trabalho foi compreender a composição dos resíduos contidos nas barragens de rejeito da mineração de ouro para a escolha da melhor tecnologia disponível para a remediação e/ou limpeza da área durante e após o fim das atividades minerais, e, em caso de acidentes.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Duas amostras de rejeito provenientes dos processos de beneficiamento da mineração de ouro, uma da flotação e outra da cianetação, foram encaminhadas para o estudo. A primeira foi enviada na forma sólida, acondicionada em saco plástico com 60 kg. Já a segunda foi encaminhada na forma de polpa em tonel com 50 L.

A amostra de rejeito da cianetação foi homogeneizada por 30 min com 10 litros de água e coletados 6 litros para a preparação. As amostras de rejeito foram dispostas em bandejas de aço inoxidável e secas em estufa a 50°C. Após a secagem, foram desagregadas manualmente com o uso de um rolo liso, peneiradas em peneira de abertura de 2 mm, homogeneizadas em pilha cônica e prismática e quarteadas para obtenção de alíquotas que foram denominadas RFOAT e RCOAT, para rejeito de flotação e cianetação, respectivamente.

As amostras foram encaminhadas à distribuição granulométrica num analisador de partícula tipo *Mastersize 2000* (Malvern). Alíquotas de RFOAT e RCOAT foram

moídas em moinho de anel e peneirada numa peneira de abertura de 104  $\mu\text{m}$ . A fração passante foi homogeneizada e encaminhada à caracterização por difratometria de raios X (DRX), espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) e análise elementar de C e S. Na análise de distribuição granulométrica a laser, a amostra foi desagregada em água deionizada e posteriormente colocada no equipamento *Mastersize 2000* (Malvern). Os difratogramas de raios X das amostras foram obtidos pelo método do pó, no equipamento *Bruker-AXS D5005*, radiação Co K $\alpha$  (35 kV/40 mA); velocidade do goniômetro de 0,02° (2 $\theta$ ) por passo com tempo de contagem de 1 s por passo e coletados de 5 a 80° (2 $\theta$ ).

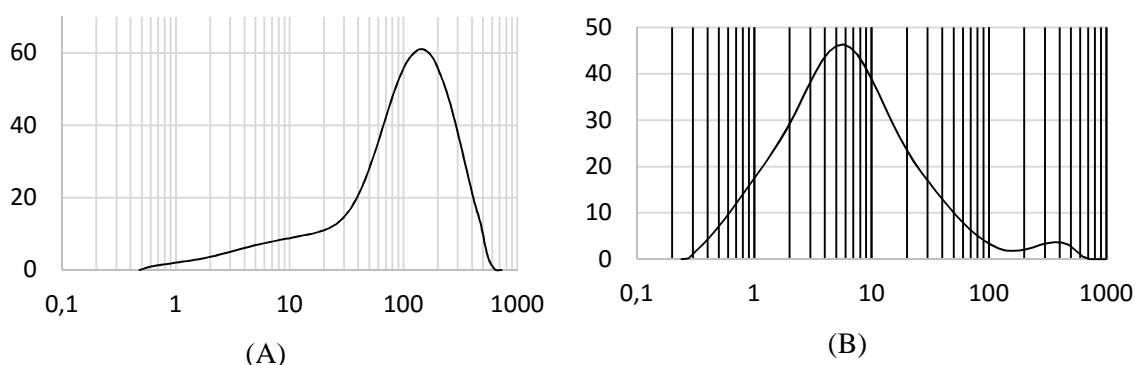
Na Fluorescência de Raios X, as amostras foram preparadas em prensa automática *VANEOX* (molde de 20 mm, P=20ton e t=30s), utilizando como aglomerante o ácido bórico (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>), na proporção de 1:0,2 – 0,6 g do ácido e 3g da amostra seca à 100°C. Os teores foram determinados, expressos em porcentagem e na forma de óxido, por análise semiquantitativa (modo *standardless method*) em espectrômetro por fluorescência de raio X (Panalytical WDS), modelo *AXIOS MAX*.

A análise elementar de C e S foi realizada pelo determinador de carbono/enxofre *VANEOX*, modelo *SC632*, por prensagem com prensa automática. A perda por calcinação foi determinada em mufla. As amostras foram submetidas ao aquecimento a 1.000°C por 24 h e, após resfriamento, foram pesadas para verificar a perda por calcinação.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

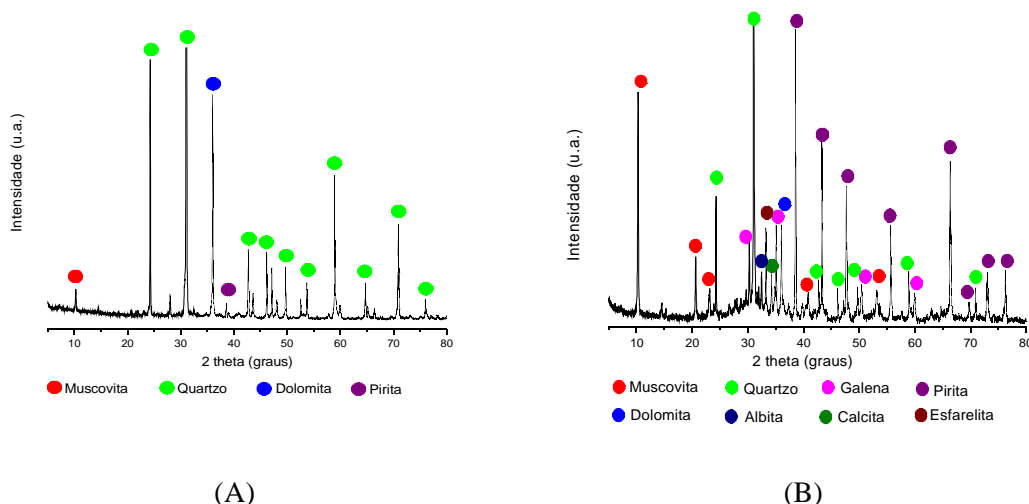
De acordo com o gráfico de distribuição granulométrica, ilustrado na Figura 1(A), para a amostra RFOAT foi verificado que 61% das partículas apresentam granulometria de, aproximadamente, 148  $\mu\text{m}$ . Já, para a amostra RCOAT foi verificada uma maior porcentagem de partículas na granulometria de, aproximadamente, 6  $\mu\text{m}$ , isto é, 46,3% das partículas nessa granulometria, Figura 1(B).

Nota-se que a distribuição de tamanho de partícula para a amostra RCOAT se dá em menor granulometria quando comparada à RFOAT, visto que o concentrado da cianetação passa por mais uma etapa de cominuição, e dessa forma, contém maior porcentagem de partículas de menor tamanho.



**Figura 1:** Distribuição granulométrica das amostras, em (A) RFOAT, e em (B) RCOAT.

Por meio da DRX foram observados, na amostra RFOAT, picos característicos dos minerais quartzo, dolomita, pirita, muscovita e traços de chamosita, com predominância do quartzo, Figura 2(A). A cristalinidade associada à maior quantidade de quartzo faz com que ele tenha maior intensidade perante aos outros picos.



**Figura 2.** Difratomogramas, radiação Co K $\alpha$ , das amostras de rejeito. Em (A) RFOAT e, em (B) RCOAT.

Na amostra RCOAT, foram identificados, por meio da DRX, picos característicos dos minerais quartzo, dolomita, pirita, muscovita, esfalerita, galena, pirrotita, microclínio intermediário, albita ordenada e traços de chamosita, com predominância de quartzo, Figura 2(B). De acordo com o processo, o material flotado que é encaminhado à cianetação contém minerais que podem estar associados ao ouro, como os minerais sulfetados.

O mineral arsenopirita pode estar presente no rejeito, apesar de não ter sido identificado. Isto deve-se à oxidação que alguns sulfetos sofrem durante o processo de flotação, como a pirita e a arsenopirita. A segunda, por ser um mineral sulfetado menos nobre que a primeira, deve sofrer processo de oxidação completo, gerando o ânion arsenato (HAsO $_4^{2-}$ ) (BEATTIE, 1987), que é amorfo e, por isso, não identificado na DRX. De acordo com Sanchez e Hiskey (1988), a arsenopirita se oxida segundo as reações descritas nas Equações 1 e 2:



A FRX e a análise elementar de carbono e enxofre permitiram uma análise semi-quantitativa dos elementos químicos presentes nas amostras do rejeito de flotação e de cianetação. Os resultados estão expressos em porcentagem mássica, convertido é óxidos, Tabela 1.

**Tabela 1.** Resultados, semi-quantitativos, da FRX e da análise elementar das amostras RCOAT e RFOAT.

Amostras	Elementos/Óxidos (%)						
	C	S	MgO	Al $_2$ O $_3$	SiO $_2$	SO $_3$	CaO
RFOAT	2,5	0,64	3,7	5,1	71,3	1,4	6,1
RCOAT	-	15,4	1,6	10,7	24,7	-	1,6

Amostras	Elementos/Óxidos (%)						*PPC: Perda por calcinação
	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CdO	PbO	*PPC	
RFOAT	0,86	0,20	3,0	-	-	7,9	
RCOAT	1,9	-	8,7	1,8	1,6	29,4	

A análise elementar mostrou que, em relação ao teor de S, a amostra RCOAT possui um teor mais elevado quando comparado à RFOAT. De acordo com a DRX e a FRX esse teor pode estar associado aos minerais galena, esfalerita, pirrotita, e, possivelmente, à arsenopirita. Além disso, fica evidente a prevalência do silício tanto na RFOAT quanto na RCOAT, confirmando, quantitativamente, o resultado qualitativo já obtido pela DRX.

## 5. CONCLUSÕES

As amostras de rejeito da mineração do ouro são compostas majoritariamente por sílica associada as estruturas cristalinas de aluminossilicatos, com diversos metais presentes na forma de sulfetos, este último verificado no rejeito de cianetação. Por meio das técnicas de caracterização utilizadas, não foi possível a identificação e a quantificação de dos elementos tóxicos, como o caso do As contido na arsenopirita, além de ouro. Desta forma, para uma melhor compreensão da composição destes rejeitos, estão sendo realizadas análises por meio de diferentes técnicas de caracterização, como espectrometria de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), medidas de potencial zeta, análise térmica, microscopia eletrônica de varredura, e espectroscopia vibracional no infravermelho. Além disso, serão realizados ensaios de periculosidade e solubilidade dos rejeitos segundo a Norma Brasileira, NBR 10005 e NBR 10006, respectivamente e de ecotoxicidade.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SILVA, S. R.; PROCÓPIO, S. O.; QUEIROZ, T. F. N.; DIAS, L. E.; “Caracterização de Rejeito de Mineração de Ouro para Avaliação de Solubilização de Metais Pesados e Arsênio e Revegetação Local”; Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28:189-196, 2004.
- TRINDADE, R.B.E.; FILHO, O.B. Extração de Ouro: Princípios, Tecnologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro. CETEM/CNPq, n. 2, p. 15 – 50, 2002
- BEATTIE, M.J.V.; POLING, G.W.; “A Study of the Surface Oxidation of Arsenopyrite Using Cyclic Voltammetry”, Int. J. Min. Process., 20: 87-108, 1987.
- SANCHEZ, V.; HISKEY, J. B.; “An Electrochemical Study of the Surface Oxidation of Arsenopyrite in Alkaline Media”. Metallurgical Transactions B, v. 19B, p. 943-949, 1988.