

ESTUDO DE VIABILIDADE TECNICO DE MINÉRIO MARGINAL DE BAIXO TEOR DE OURO EM LIXIVIAÇÃO EM PILHA

G. G. Oliveira Junior¹, C. A. P. Fonseca¹, M. P. D. Gomes¹, R. B. Gomides¹, A. A. Jesus¹,
D. A. Guarino (*In Memoriam*)

¹ Kinross Paracatu, Estrada do Machado S/N. Morro do Ouro. Paracatu/MG. CEP 38600-000
E-mail: getulio.junior@kinross.com

RESUMO

A presença de minério marginal com teores aproximados de 0,20 g/tAu no atual modelo de lavra da unidade industrial da Kinross em Paracatu, e considerando toda a infra-estrutura da unidade, decidiu-se pelo estudo de aproveitamento deste material para extração de ouro por lixiviação em pilhas. Os baixos custos deste tipo de operação, tanto de capital como operacional, e a quantidade material gerada na atual escala de produção, são fatores que contribuem positivamente para o sucesso desta alternativa.

Para este estudo, duas rotas foram exploradas: sem aglomeração (dump leach) e com o uso de aglomerante. Os resultados demonstraram que a alternativa de não se usar aglomerante, embora de menor custo e, portanto, mais desejada, não apresentou resultados favoráveis, principalmente, em relação ao ciclo de extração.

A alternativa com aglomerante da ordem de 5,0 kg/t e reduzindo o tamanho do material abaixo de 50 mm apresentou resultados muito favoráveis possibilitando uma avaliação positiva do aproveitamento da rota de lixiviação em pilha para extrair ouro do minério marginal.

Para a confirmação dos resultados obtidos na primeira etapa foram realizadas mais duas etapas de testes que comprovaram ser possível alcançar extrações de ouro acima de 80%, com baixo consumo de cianeto e ótima percolabilidade.

Após esta fase de testes elaborou-se um estudo preliminar de viabilidade econômica, primeiramente objetivando tratar 40 milhões de toneladas em 10 anos. Neste estudo previu-se a montagem de pilhas pelo método de ponta e aterro sem reutilização das bases, fazendo-se os alteamentos durante a fase de montagem das pilhas. Para a consolidação dos valores alcançados e a verificação do comportamento do material em uma escala maior, optou-se pela construção de uma pilha experimental, incluindo uma fase de alteamento. Os resultados destes estudos são apresentados neste artigo.

PALAVRAS CHAVES: Lixiviação em Pilha, Métodos de Lixiviação, Recuperação de Ouro.

1. INTRODUÇÃO

O processo de lixiviação em pilhas foi introduzido por volta dos anos 70 com o objetivo de reduzir drasticamente os custos para a recuperação de ouro. Esta rota de processo viabilizou vários projetos que tinham como fator limitador a reserva e metal contido. Minas com teores de ouro abaixo de 0,300 g/t passaram a ser atrativos do ponto de vista econômico uma vez adotado o processo de lixiviação em pilhas.

Normalmente o ciclo de lixiviação por esta rota varia entre 60 a 90 dias e as recuperações podem atingir a 80% do total de metal contido. Embora apresente um desempenho inferior comparada com os processos de lixiviação sob agitação, este processo apresenta vantagens significativas que justificam a sua aplicação. Dentre as principais vantagens pode-se citar a granulometria de processo, a qual pode ser mais grosseira, minimizando os investimentos em equipamentos de cominuição e, portanto, economizando significativamente a demanda por energia. Outro aspecto importante a se destacar é que se pode reduzir as áreas de deposição de rejeitos aplicando-se métodos de alteamento que permitem uma redução da necessidade de aquisição de novas áreas. Por ser de fácil operação, o processo de lixiviação em pilhas não necessita de grandes investimentos em circuitos mais sofisticados podendo-se ter uma operação satisfatória com instrumentos mais simples e pouca aplicação de mão de obra especializada.

Por outro lado, as eventuais desvantagens que a rota apresenta se relacionam com a característica específica de cada material. A principal destas características é que haja uma camada permeável para favorecer o fluxo de solução aplicada. Muitas vezes o material necessita ser aglomerado para que tal permeabilidade seja alcançada. Adiciona-se a esta necessidade a aplicação de métodos especiais de empilhamento para favorecer este tipo especial de acomodação. Notadamente isto implica em custos que muitas vezes são elevados.

Uma vez utilizando o método de alteamento não seria necessária a neutralização do material lixiviado para sua colocação em locais de deposição para rejeitos. Isto reduz muito os custos operacionais. É relevante citar ainda que esta rota de processo com lixiviação em pilhas tem a seu favor sua aplicação em regiões mais áridas, dado a sua longa exposição ao tempo que poderia ser prejudicada pelo excesso de precipitação pluviométrica comum em regiões tropicais.

Considerando todos esses aspectos, rendimento da operação por lixiviação em pilha e o valor do ouro no mercado atualmente, a Kinross passou a se interessar na aplicação desta rota para um aproveitamento maior das suas reservas localizadas no município de Paracatu. Nesse sentido, estudou-se a extração de ouro por lixiviação em pilhas a partir de minério marginal com teores aproximados de 0,20 g/t de ouro.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Testes em garrafa – *Rolling Bottle Tests*:

Inicialmente foi realizada a análise granulométrica (peneirador vertical de laboratório) das amostras que iriam alimentar os testes de lixiviação em garrafa.

Os testes em garrafa, em duplicata, foram executados nas seguintes condições:

- 40% de sólidos;
- pH na faixa de 10,5;
- Concentração de cianeto em 1,0 kg/t.

Amostras foram coletadas em intervalos de 2, 6, 12, 24, 48 e 72 horas para correção da concentração de cianeto e ajuste do pH, se necessário. Após 72 horas, o material foi filtrado e analisado os teores de ouro no carvão, na solução e no minério. Para o minério foi realizada análise granulométrica.

Os elementos determinados nesta fase serviram de referência ao que se poderá alcançar como extração de ouro em função do tempo. Isto indicou a extração máxima de ouro a ser obtida na etapa seguinte que é a coluna de lixiviação.

2.2 Testes em colunas:

Em colunas, ensaios exploratórios com apenas uma fração granulométrica, 50 mm, foram realizados, tendo em vista o sucesso dos testes em etapas anteriores. Foram realizadas duas baterias de testes em coluna (Figura 1), sendo a primeira para avaliar o comportamento do minério marginal sob lixiviação por gotejamento e a segunda para assegurar a repetibilidade do primeiro e avaliar a melhor relação de aglomerante e minério. Para tal procedimento foram montadas 04 colunas com as seguintes características:

- Altura: 2,9 m
- D interno: 0,295 m
- Volume: 0,198 m³



Figura 1 – Colunas de Lixiviação em Pilha

Os principais parâmetros considerados nesta etapa foram:

- Taxa de percolação;
- Consumo de Cianeto;
- Taxa de extração;
- Ciclo de extração;
- Recuperação metalúrgica.

2.2.1 Procedimentos para enchimento das colunas:

Para a primeira bateria de ensaios as colunas foram preenchidas da seguinte forma (Figura 2):

- Foi reduzido todo o material abaixo de 50 mm;
- Homogeneizou-se todo o material em pilha cônica;
- Retirou-se uma amostra para análise granulométrica por fração e determinação da umidade;
- As duas primeiras colunas foram preenchidas com material sem aglomerar;
- As outras duas colunas foram preenchidas com material aglomerado com cimento Portland tipo II na razão de 10 kg/t.

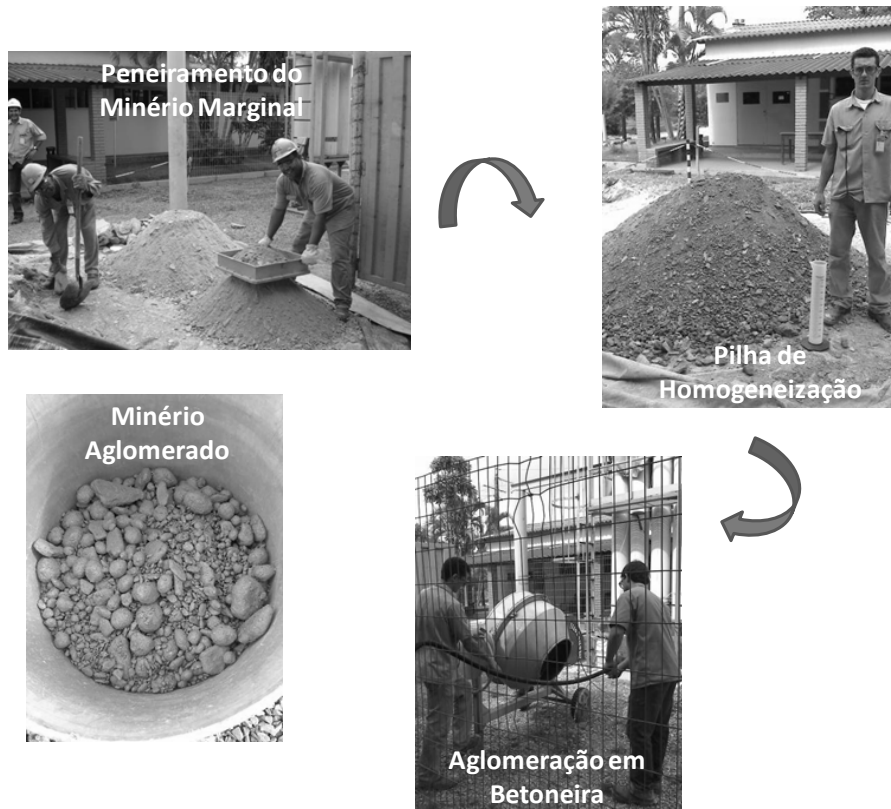


Figura 2: Fluxograma de preparação das amostras para as colunas de lixiviação

Os resultados obtidos nesta primeira bateria de testes em coluna sinalizaram que poderia ser alcançada boa taxa de extração com o material aglomerado. Desta forma, mais quatro colunas foram preparadas.

O material para a segunda bateria, composto por quatro colunas e preenchidas com diferentes relações de cimento minério, 0, 2, 4 e 6 kg/t, foi aglomerado via betoneira e ajustada a umidade em 12% com água.

A aspersão de solução contendo cianeto de sódio foi na razão de 600 mg/l e uma vazão correspondente a 10 l/m².h. Diariamente foi anotado o volume percolado e coletou-se uma alíquota de amostra para dosagem de ouro em solução e concentração de cianeto.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Testes em Garrafa – “Rolling Bottle Tests”:

Na Tabela 1 é apresentada a distribuição granulométrica do minério que alimentou os testes de lixiviação.

Tabela 1 – Distribuição Granulométrica

Tamanho (µm)	Análise Química			Distribuição por Faixa (%)				Passante Acumulado (%)			
	Au (g/t)	S (%)	As (ppm)	Au	S	As	Massa	Au	S	As	Massa
50000	0,020	0,02	487	0,12	1,40	0,79	0,92	99,88	98,60	99,21	99,08
38000	0,090	0,01	788	0,60	0,90	1,39	1,01	99,28	97,70	97,82	98,07
25400	0,403	0,01	881	16,36	4,48	9,44	6,12	82,92	93,22	88,38	91,94
6300	0,366	0,01	842	13,90	4,62	8,45	5,73	69,02	88,60	79,94	86,21
1000	0,087	0,01	1138	2,98	4,20	10,27	5,16	66,03	84,40	69,66	81,05
500	0,144	0,01	1210	4,56	4,88	10,14	4,79	61,48	79,51	59,52	76,26
212	0,055	0,01	1094	1,57	4,05	8,26	4,32	59,91	75,47	51,26	71,94
150	0,043	0,01	1074	0,53	1,51	3,46	1,84	59,38	73,95	47,80	70,10
106	0,168	0,01	950	2,70	2,17	4,02	2,42	56,68	71,79	43,78	67,68
75	0,168	0,01	735	1,11	0,51	1,28	1,00	55,57	71,28	42,49	66,69
-75	0,126	0,01	364	55,57	71,28	42,49	66,69	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	0,151	0,01	572	100,00	100,00	100,00	100,00				

Com relação às massas:

- 90% do minério passante em 50 mm;
- 80% passante em 6,3 mm;
- 52% do material está abaixo de 75µm

Com relação aos teores:

- O teor de Au é maior nas faixas 25,4 e 6,3 mm (0,40 – 0,37 g/t);
- Maior % de Au está abaixo de 75µm;
- O teor cabeça é de 0,16 gAu/t.
- Os teores de S estão na faixa de 0,01%

As garrafas mostraram uma recuperação de 80% em 48 horas e mais de 90% em 72 horas (Figura 3).

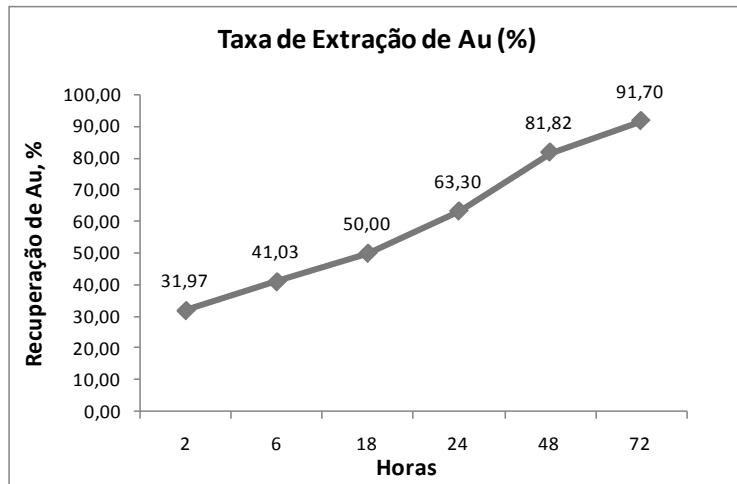


Figura 3 – Taxa de Extração de Au nos Testes de Garrafa

3.2 Testes em coluna:

Ao todo foram realizadas duas baterias de testes em colunas. A primeira bateria com duas colunas contendo minério sem aglomerar e mais duas colunas com minério aglomerado na relação de 10 kg/t cimento/minério (Tabela 2).

Tabela 2 – 1° Bateria de Testes de Lixiviação em Coluna

Coluna	Cimento/Minério (kg/t)	Percolação (l/m ² .h)	Ciclo (m ³ /t)	Taxa de Extração (%)	Subsistência (%)	Tempo (h)	Consumo de NaCN (g/t)
1	0	5,52	0,74	69,3	24,1	529	189
2	0	5,70	0,66	79,4	17,2	467	206
3	10	10,24	1,29	84,5	3,4	501	183
4	10	11,05	1,43	88,0	5,2	510	242

Na figura 4 é apresentada a taxa de extração em cada coluna.

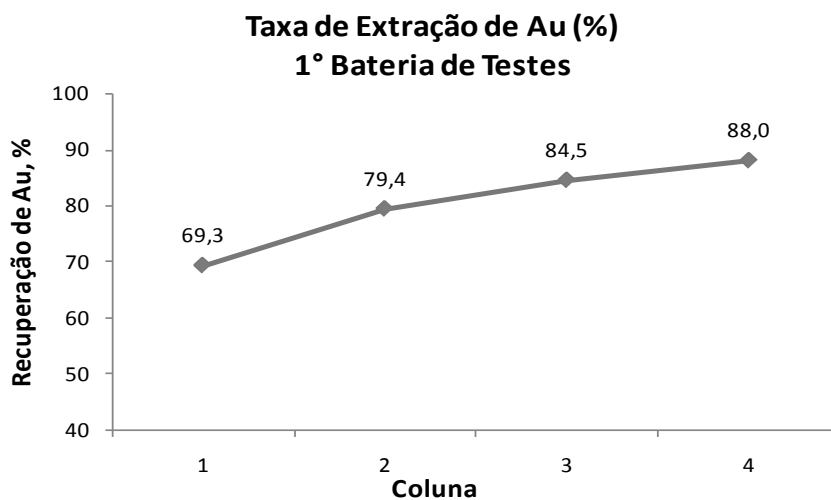


Figura 4 – Taxa de Extração de Au na 1° Bateria de Testes de Lixiviação em Coluna

A segunda bateria, também com quatro colunas, sendo que cada uma foi preenchida com as seguintes relações de cimento/minério: 0, 2, 4 e 6 kg/t. A tabela a seguir (Tabela 3) apresenta um resumo das duas baterias:

Tabela 3 – 2º Bateria de Testes de Lixiviação em Coluna

Coluna	Cimento/Minério (kg/t)	Percolação (l/m ² .h)	Ciclo (m ³ /t)	Taxa de Extração (%)	Subsistência (%)	Tempo (h)	Consumo de NaCN (g/t)
1	0	1,65	0,203	13,8	27,6	488	101
2	2	6,16	0,77	71,6	10,30	496	139
3	4	8,60	1,09	75,5	7,90	503	142
4	6	13,04	1,74	90,6	4,50	492	225

Na Figura 5 é possível visualizar a taxa de extração em cada coluna.

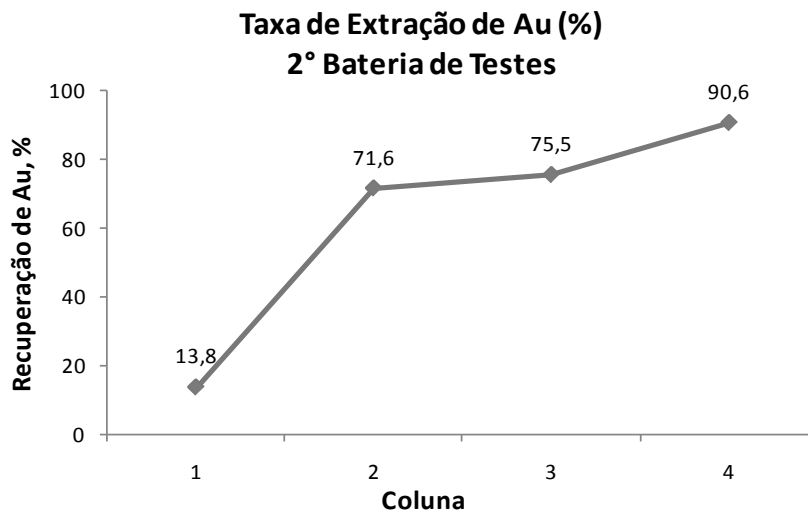


Figura 5 – Taxa de Extração de Au na 1º Bateria de Testes de Lixiviação em Coluna

Pelos resultados obtidos nas duas baterias pode-se argumentar que é imprescindível a necessidade de se fazer aglomeração do material. As taxas de percolação aumentam consideravelmente com o minério aglomerado e a subsistência, por sua vez, decresce também de forma considerável com a utilização da aglomeração. Os resultados de extração sinalizam que é possível atingir acima de 80% no total e que o consumo de NaCN não será superior a 250 g/t. Na figura abaixo (Figura 6) se tem o gráfico com o melhor resultado da 2º bateria de testes.

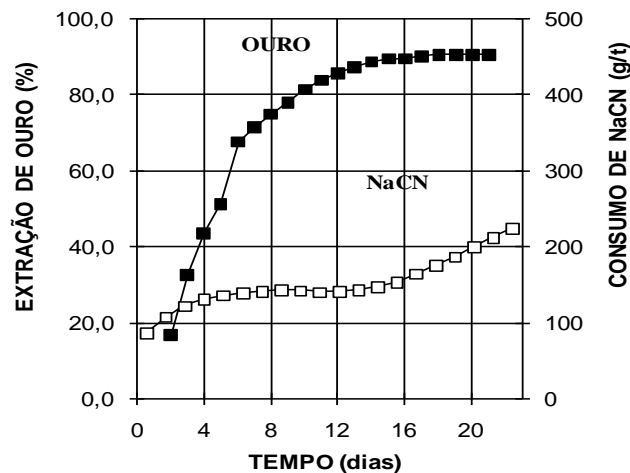


Figura 6 – Gráfico de Extração de Au x Consumo de Cianeto

Tendo em vista que os resultados alcançados foram bastantes promissores uma 3ª etapa de teste foi programada. Desta vez, considerando que alguns elementos apresentaram boa repetibilidade, principalmente, relativos ao consumo específico de cianeto e taxa de extração, programou-se a execução em forma de pilha experimental.

A partir do obtido em colunas e considerando o fator de scale up das mesmas, foi projetada uma pilha piloto com cerca de 2300 toneladas, tendo 2,5 metros de altura, 18 metros de altura e 36 metros de largura.

4. CONCLUSÕES

A recuperação de ouro do minério marginal por lixiviação em pilha demonstra ser viável utilizando-se a aglomeração com cimento.

Os testes para otimização da relação cimento/minério de 0, 2, 4 e 6 kg/t demonstram esta viabilidade. Os testes iniciais foram realizados com relação de 10 kg/t, apresentando excelente percolabilidade e extração próxima de 70%, sendo considerável pelo teor de alimentação de apenas 0,20 gAu/t.

Apesar de não haver ensaios em número o suficiente para validar o estudo com razoável confiabilidade, um teste em pilha piloto poderia consolidar o almejado, alguns exercícios para a determinação do NPV (Net Present Value – Valor Presente Líquido) para um projeto de 4.000.000 de toneladas por ano, sinalizam ser positivo e atraente o projeto.

Os números do Capex (custo de capital) e do Opex (custo operacional) demonstram que a título de exercício o emprego desta metodologia para extrair ouro do minério marginal é francamente viável. Porém, necessita-se de avaliação de mais amostras, identificando possíveis dispersões de teores, e maior segurança litológica.

A viabilidade econômica é reforçada pelo consumo baixo de cianeto e cimento, investimentos apenas em infra-estrutura e equipamentos básicos para se processar o material abaixo de 50 mm e se obter extrações em torno de 80%. A busca desta consolidação é continuada através da construção de uma pilha em escala piloto.