

HIDROMETALURGIA – UMA NOVA DEMANDA PARA OS CURSOS TÉCNICOS DE GEOLOGIA E MINERAÇÃO

José Yvan Pereira LEITE; Franciulli da Silva Dantas de ARAÚJO; Everton Pedroza dos SANTOS

Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte
Av. Salgado Filho, 1159 Morro Branco CEP 59.000-000 / Natal-RN

(1)E-mail: leite@cefetrn.br

(2)E-mail: franciulliaraujo@gmail.com

(3)E-mail: everton_pedroza@gmail.com

RESUMO

A indústria mineral tem utilizado no Brasil os processos hidrometalúrgicos para a obtenção de ouro através dos processos de lixiviação em pilhas para o minério alterado e lixiviação por agitação para o minério primário. Em 2007 estes processos são ampliados com a implantação da lixiviação de concentrado de cobre da planta do Sossego da CVRD, bem como a implantação de lixiviação em pilhas do minério oxidado da Mineração Caraíba. Assim, o método ganha importância e é preciso incluir nos currículos dos cursos de mineração e geologia uma disciplina de Hidrometalurgia. O trabalho apresenta uma série de experimentos de lixiviação (lixiviação em pilhas e com agitação) e extração por solvente. Nestes ensaios é analisada a recuperação do metal de interesse, bem como das variáveis de processo: pH do meio, concentração do solvente, tempo de contato e recuperação.

PALAVRAS-CHAVE: Mineração, metodologia de ensino, técnico em mineração, hidrometalurgia.

1. INTRODUÇÃO

As raízes da hidrometalurgia podem ser traçadas até o período dos alquimistas, quando a transmutação de metais base em ouro era sua principal ocupação. Algumas operações alquímicas envolviam processos hidrometalúrgicos. Por exemplo, quando um alquimista imergia um pedaço de ferro em sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), o ferro era imediatamente recoberto por uma camada de cobre, o que os levava a crer que houvera uma transmutação do ferro em cobre (Habashi, 1993).

No século XVI a extração de cobre por meios hidrometalúrgicos foi conduzida nas montanhas Harz, na Alemanha, e Rio Tinto, na Espanha, pelo método de pilhas. Nestas operações, pirita contendo minerais sulfetados de cobre foram empilhados ao ar livre e deixados por meses sofrendo a ação da chuva até que a oxidação e dissolução do cobre ocorressem (Habashi, 2003).

A hidrometalurgia moderna nasceu em 1887, quando dois importantes processos foram inventados: a cianetação, processo para tratamento de minérios de ouro e o processo Bayer para produção de alumina (Habashi, 2003).

No início do século 20, inúmeros processos de lixiviação e recuperação foram propostos, muitos foram postos em prática, alguns aguardaram mais de meio século para serem aplicados, enquanto outros nunca foram além de uma planta piloto. A Primeira e a Segunda Guerra Mundiais criaram demandas por metais obtidos via hidrometalurgia. O zinco e cádmio na Primeira Guerra e o urânio na segunda (Habashi, 2003).

A hidrometalurgia é implantada no Brasil pela Paulo Abib Engenharia na década de 80 do século passado, através da lixiviação em pilhas em minério de ouro oxidado e primário (Leite et al, 1996). As rotas simplificadas estão apresentadas nas Figuras 1 e 2.

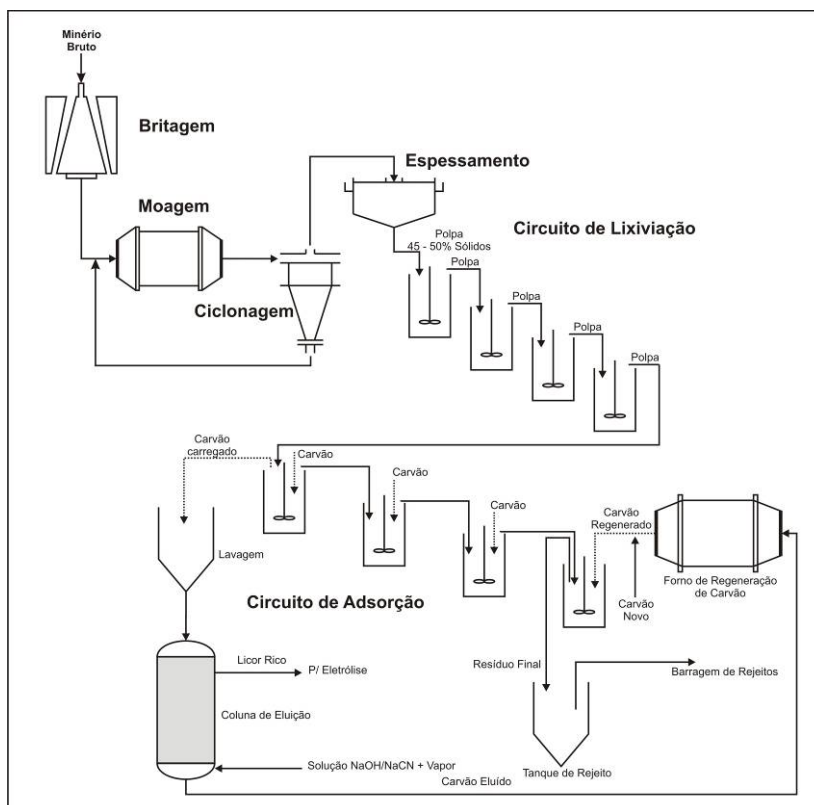


Figura 1 – Fluxograma típico simplificado de uma usina CIP.

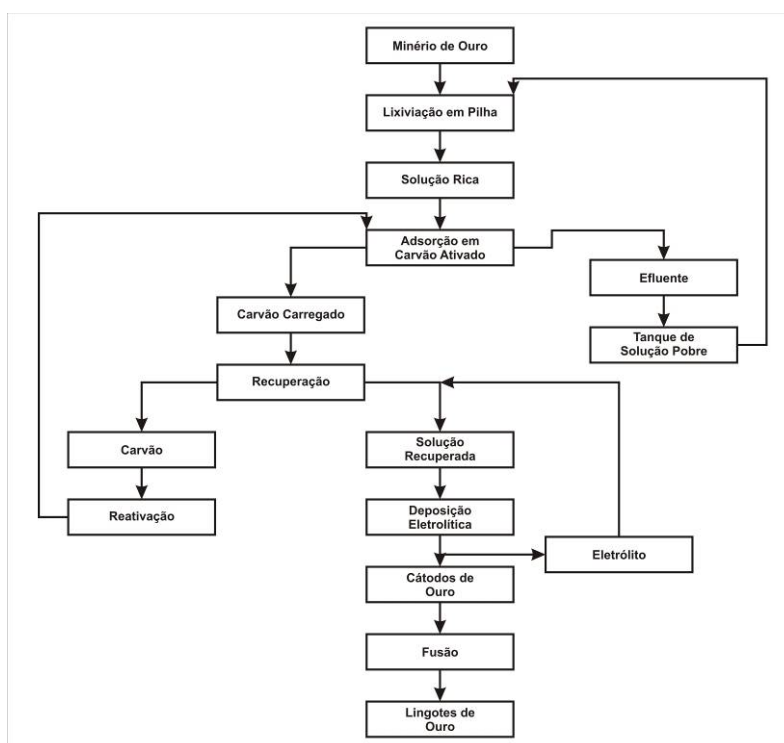


Figura 2 – Processo integrado lixiviação em pilha / adsorção por carvão de extração de ouro.

Novos projetos hidrometalúrgicos estão em implantação no Brasil, tendo em vista a obtenção de cobre metálico, sendo um em implantação pela

Carabá Metais (Pilar – BA), que visa o tratamento do minério oxidado e operará conforme fluxograma simplificado mostrado na figura 3.

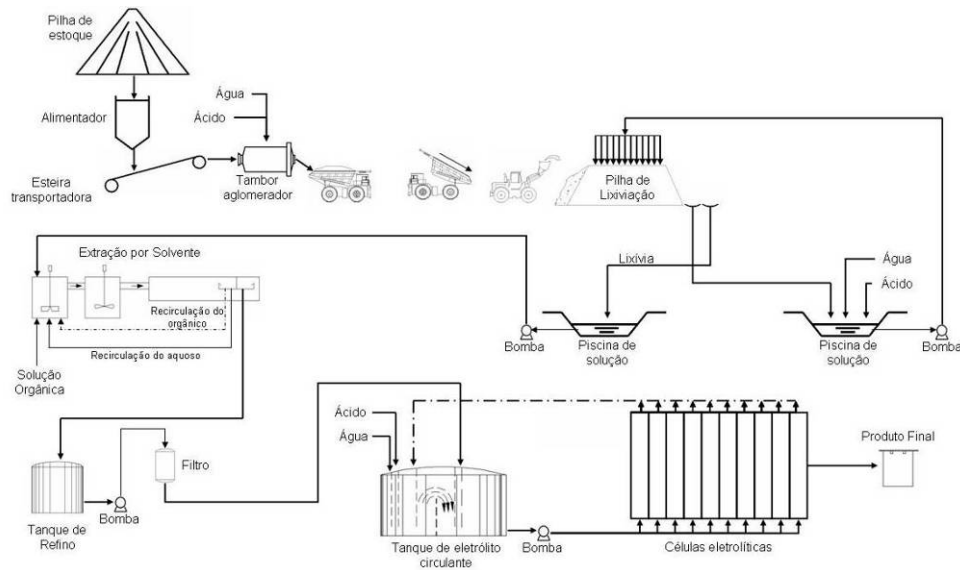


Figura 3 – Fluxograma hidrometalúrgico simplificado da Caraíba Metais. Fonte: Caraíba Metais.

O outro está em fase de conclusão pela Companhia Vale do Rio Doce em Canaã dos Carajás (PA), sendo que neste caso o concentrado da planta de flotação (30% de Cu) da mina do Sossego será submetido à lixiviação ácida em autoclave, seguida de extração por solvente e eletrorecuperação (Leite

et al, 2007). A figura 4 apresenta imagens da implantação do projeto e a figura 5 mostra o fluxograma simplificado da Unidade Hidrometalúrgica de Carajás (UHC).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4 – Imagens da implementação do projeto Usina Hidrometalúrgica de Carajás. Fotos: Franciulli Araújo.

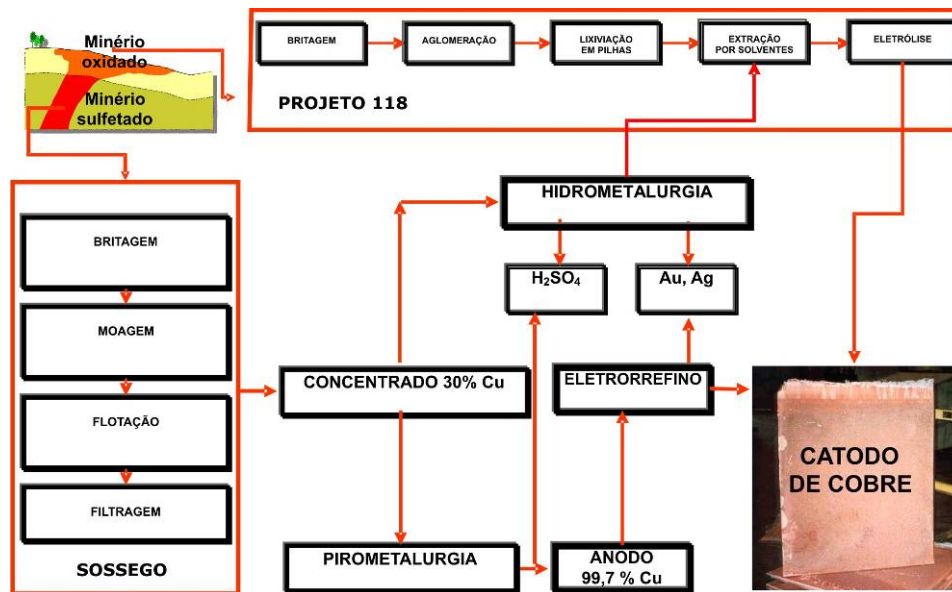


Figura 5 – Fluxograma hidrometalúrgico simplificado da Usina Hidrometalúrgica de Carajás. Fonte: CVRD.

A lixiviação é um processo de dissolução de uma substância, a qual se deseja separar de uma determinada mistura. Esta dissolução é realizada através do contato de um solvente com a mistura, durante o qual esse reage seletivamente sobre a substância que se deseja separar. A questão fundamental deste método está associada à solubilidade da substância, a qual em contato com um solvente a dissolve até o limite da sua saturação, sendo este um estado de equilíbrio dinâmico onde a velocidade de formação de íons na solução pela dissolução da substância é igual de re-precipitação pela combinação iônica (Leite et al., 2007).

Extração por solvente ou extração líquido-líquido é a operação unitária na qual uma fase aquosa, contendo a ou as espécies metálicas a serem extraídas/purificadas, é contatada com uma fase orgânica imiscível com a fase aquosa, contendo um reagente que extrai as espécies de interesse seletivamente (Villas Boas et al., 1980).

O mercado de trabalho amplia a necessidade por profissionais especializados, sendo assim o domínio dos processos hidrometalúrgicos na formação dos técnicos de mineração e de recursos naturais deve ser entendido pelas Instituições como item importante na grade curricular (Leite et al., 2007).

A Rede Federal de Educação Tecnológica oferece cursos na área mineral nas seguintes Unidades: Araxá-MG, Belém-PA, Cachoeiro do Itapemirim-ES, Campina Grande-PB, Goiânia-GO, Natal-RN e Ouro Preto-MG. Entre estas apenas o CEFET-RN oferece em seu currículo disciplina de hidrometalurgia. Este é baseado em conteúdo teórico associado a uma série de experimentos básicos de lixiviação e extração por solvente, os quais simulam as operações industriais.

Os experimentos envolveram ensaios de lixiviação de um minério de cobre oxidado, através do método de pilha, coleta da lixívia e determinação de parâmetros de controle de processo. O produto da lixiviação é realizado ensaios de extração por solvente, no qual são analisados os parâmetros de controle e eficiência de processo.

2. METODOLOGIA

Os ensaios de lixiviação foram realizados com uma amostra de minério de cobre oxidado, proveniente da Mina do Sossego, Canaã dos Carajás - PA. O fluxograma da Figura 6 representa as etapas do processo de lixiviação, enquanto a Figura 7 apresenta as etapas do processo de extração por solvente.

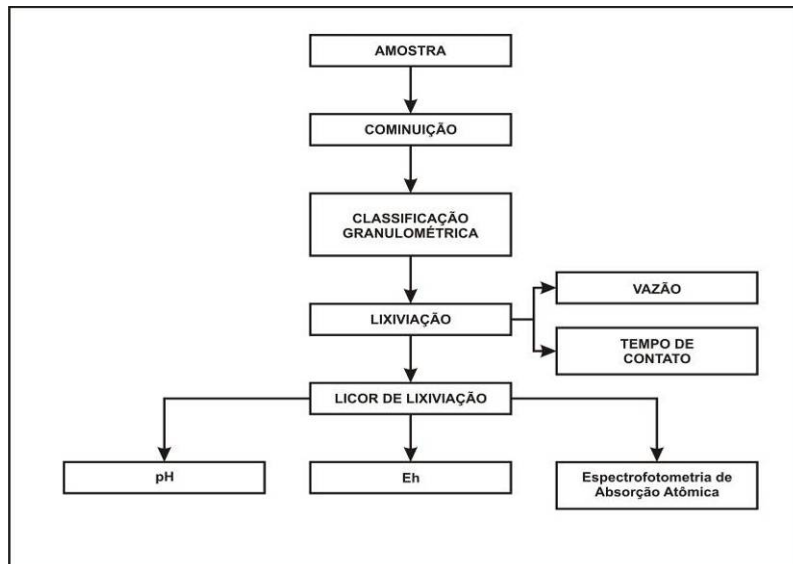


Figura 6 – Fluxograma representativo das etapas do processo de lixiviação.

O minério foi cominuído e foram geradas alíquotas para ensaios de distribuição granulométrica e ensaios de lixiviação com ácido sulfúrico (H_2SO_4) com concentração de 1%.

A injeção de ácido no sistema de lixiviação foi feita por uma bomba peristáltica, onde foi possível controlar a vazão e o tempo de contato do ácido com a amostra. Um pHmetro digital foi utilizado para medir o pH do licor de lixiviação, o qual teve a concentração de cobre na solução determinada através de espectrofotometria de absorção atômica.

Soluções aquosas de sulfato de cobre ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) em diversas concentrações foram preparadas para a geração da curva de calibração para análise pelo método de análise química por titulometria, utilizando EDTA como agente complexante e murexida como indicador, quando se usa soluções padrões. As determinações com lixívias são feitas utilizando espectrometria de absorção atômica.

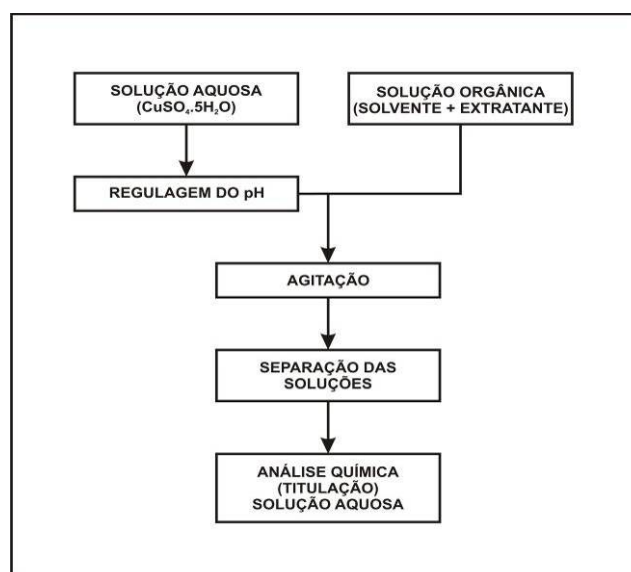


Figura 7 – Fluxograma representativo do processo de extração por solvente.

Um funil de separação foi utilizado para fazer a mistura entre a solução aquosa (50ml) com pH

ajustado, extratante (5ml de ácido oléico - $C_{18}H_{34}O_2$) e solvente (45ml de querosene). A mistura foi

submetida a agitação durante cinco minutos para realizar o contato entre a solução orgânica (extratante mais solvente) e a solução aquosa a fim de promover a remoção dos íons Cu^{+2} da solução aquosa. Em seguida a solução aquosa foi separada da solução orgânica e levada para análise química por titulometria para determinação do teor de cobre após a extração.

O parâmetro pH é um dos principais parâmetros de controle do processo e foi feita uma varredura, associando a percentagem de extração com o pH.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a realização dos ensaios de lixiviação a amostra recebida é fragmentada, homogeneizada e quarteada, seguida da determinação da sua distribuição granulométrica. Um resultado típico de distribuição granulométrica de um minério oxidado para a realização de ensaios de lixiviação em pilhas é apresentada na figura 8.

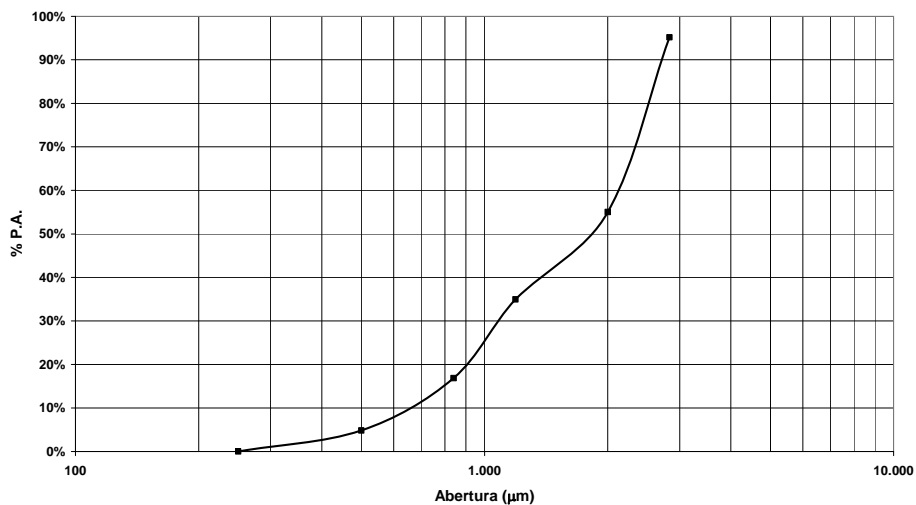


Figura 8 – Distribuição granulométrica típica de minério.

A figura acima mostra que 55% do material utilizado na lixiviação apresentou granulometria maior que 2 mm.

Os ensaios de lixiviação em pilhas podem ser realizados utilizando os protótipos apresentados na figura 9.

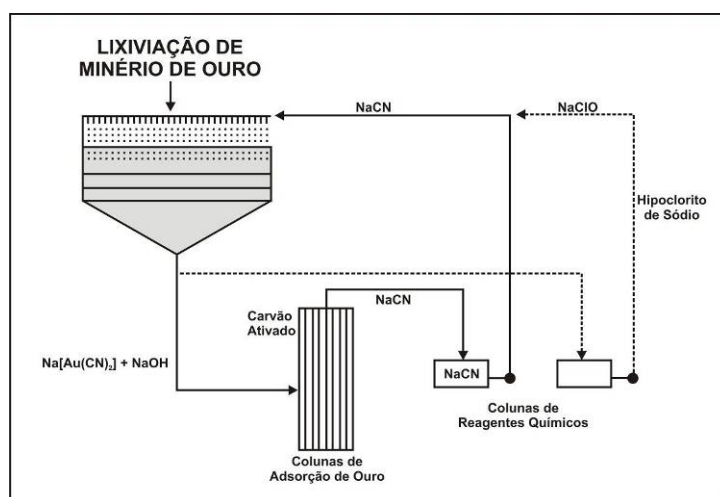


Figura 9 – Protótipo para ensaios de lixiviação em pilha. Fonte: Leite et al., 1996.

Os ensaios de lixiviação são realizados com os seguintes tempos de contato: 5; 10; 15; 20; 30 e 60 minutos. A figura 10 apresenta resultados da

eficiência da solubilização do cobre em função do tempo de contato.

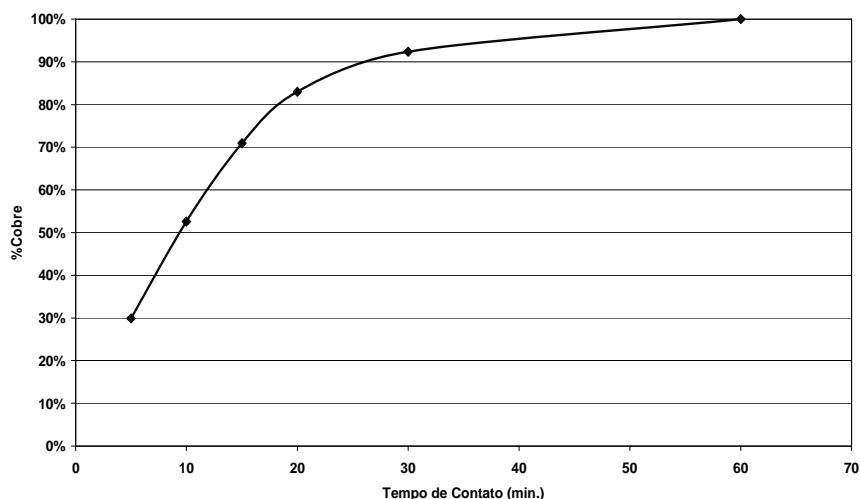


Figura 10 – Eficiência de extração do cobre em função do tempo de contato.

É observado que a eficiência de extração do metal aumenta com o tempo de contato, atingindo seu valor máximo no tempo de 60 minutos. Para a relação otimizada a eficiência de extração de cobre na pilha foi de 94,50%.

Ensaio de lixiviação com agitação são realizados em protótipos como mostra a figura 11.



Figura 11 – Protótipo utilizado em ensaios de lixiviação com agitação.

É importante ressaltar que este ambiente favorece o aprendizado, pois envolvem os estudantes na preparação de amostras, coletas de amostras, processos de extração, controle de qualidade, análise

de desempenho com planilhas eletrônicas, bem como a apresentação de resultados em seminários, como mostram as figuras 12, 13 e 14.



(a)



(b)

Figura 12 – Desenvolvimento de experimento de lixiviação.



(a)



(b)

Figura 13 – Desenvolvimento de experimento de extração por solvente.



Figura 14 – Apresentação de seminário.

Os ensaios de extração por solvente são efetuados com lixívia sintéticas e/ou produzidas pelos ensaios de lixiviação com os minérios. Geralmente são otimizados o pH de extração, concentração do extratante, concentração de saturação, relação de

fases, diluente, entre outros. A figura 15 apresenta a curva característica para a extração do um metal em função do pH utilizando ácido oléico como extratante.

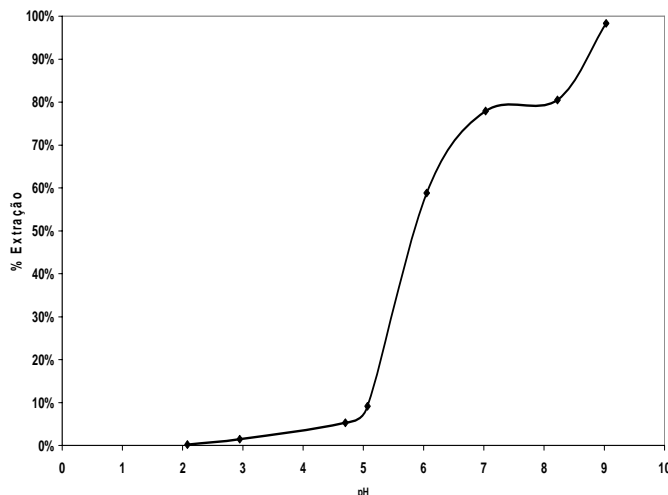


Figura 15 – Extração de metal em função do pH utilizando como extratante o ácido oléico.

Otimizado o pH de extração o estudante passa a determinar as outras variáveis de processo, tais como, concentração de extratante, relação de fases e número de estágios.

A importância da determinação em escala de laboratório destes parâmetros leva os estudantes a ter maior responsabilidade na prática profissional, tendo em vista que é feita relações econômicas e quantitativas do metal contido em uma pilha em escala de laboratório e industrial.

4. CONCLUSÃO

O curso técnico para a área mineral ministrado no CEFET-RN tem observado as demandas industriais e desta forma implantou em 1999 a disciplina de Introdução a Hidrometalurgia. Ela estava pautada nas unidades hidrometalúrgicas a serem implantadas no Brasil, em particular, inicialmente para cobre e níquel, seguida do atendimento das demandas de melhor qualificação das unidades hidrometalúrgicas do ouro que já estavam em operação desde a década de 80.

A metodologia apresentada no curso possibilita aos estudantes terem contato com as rotinas de processos hidrometalúrgicos, de forma a melhor qualificar o profissional para as demandas deste novo mercado no país. Rotinas de preparação de amostras, preparação de soluções, determinações de pH e Eh, análise química, eficiência de processo, associado ao tratamento de dados são efetuadas, culminando com apresentação de resultados em seminário.

Cursos com estas características são fundamentais para atender a expansão da indústria mineral

brasileira e se recomenda sua implantação nos cursos técnicos de mineração e em recursos minerais.

5. REFERÊNCIAS

LEITE, J. Y. P.; ARAÚJO, F. S. D.; DANTAS, A. P.; VERAS, M. M.; SOUZA, M. M. **Processamento Mineral: Aglomeração e Lixiviação Ácida**. Curso de Formação da UHC. Natal: CEFET-RN. 2007

LEITE, J. Y. P.; ARAÚJO, F. S. D.; DANTAS, A. P.; VERAS, M. M.; SOUZA, M. M. **Processamento Mineral: Extração por Solvente**. Curso de Formação da UHC. Natal: CEFET-RN. 2007

HABASHI, F. **A Short History of Hidrometallurgy**. *Hidrometallurgy* 79. p. 15 – 22. 2005.

CEFET-PA. Disponível em: <http://www.cefetpa.br/modules.php?name=Cursos_Tecnicos&op=21>. Acesso em: 20 ago. 2007.

CEFET-GO. Disponível em: <<http://intranet.cefetgo.br/grades/>>. Acesso em: 20 ago. 2007.

CEFET-ES. Disponível em: <<http://www.cefetes.br/content.aspx?chn=97&ctt=265>>. Acesso em: 20 ago. 2007.

CEFET-MG. Disponível em: <<http://www.cefetmg.br/index.php?codigo=44>>. Acesso em: 20 ago. 2007..

CEFET-RN. Disponível em:
<<http://www.cefetrn.br/ensino/cursos-oferecidos>>.
Acesso em: 20 ago. 2007.