Extração por solventes de cobre, em escala piloto

Ivan O. C. Masson *
Paulo Sérgio M. Soares *
Luis Daniel Moreira *

1. INTRODUÇÃO

2. TESTES COMPLEMENTARES E DE ACOMPANHAMENTO

3. OPERAÇÃO DO CIRCUITO PILOTO

4. CONCLUSÕES

5. BIBLIOGRAFIA

* Engenheiros do Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, da Caraíba Metais S/A

Resumo

Objetivando a determinação dos parâmetros básicos, influentes no dimensionamento de uma unidade industrial de extração por solventes, foram realizados em conjunto com a Caraíba Metais, testes em escala piloto, utilizando equipamento do tipo misturador decantador com capacidade nominal de processamento de cerca de 400l/h.

Durante 4 meses de operação contínua, foram experimentadas diversas configurações de circuito, empregando um licor natural, obtido da lixiviação em pilha do minério oxidado de cobre da mina Caraíba, contendo $5{,}30 g.l^{-1}$ Cu, $1{,}70 g.l^{-1}$ Fe e pH ~ 1,5.

Os testes foram executados utilizando-se, separadamente, os extratantes LIX 64N e ACORGA P5100, diluídos em um querosene metalúrgico de baixo teor de aromáticos.

Durante o período de trabalho foram analisadas as características dos materiais e equipamentos em serviço e o desempenho físico-químico do sistema licor-solvente em estudo.

Os resultados obtidos foram compatíveis com os dados apresentados em trabalhos afins, pela literatura técnica.

Recuperações de cobre na faixa de 90 a 93% foram atingidas, alcançando-se também eficiências de estágio da ordem de 90%, mantendo-se os níveis de perdas ou arraste de fases orgânicas abaixo de 20 ppm.

1. Introdução

O presente trabalho, executado em escala piloto, resultou de conjugação de esforços do CETEM e da CARAÍBA METAIS IND. e COM., no desenvolvimento de uma tecnologia pioneira no Brasil para a recuperação do cobre contido no minério oxidado existente no capeamento de suas jazidas, com vista à produção do cobre catódico junto à mineração (município de Jaguarari-BA).

Após avaliar extensivamente em escala de laboratório a eficiência dos extratantes LIX 64N e ACORGA P5100, o CETEM concluiu positivamente quanto à viabilidade técnica da aplicação de ambos no tratamento de licores cupríferos provenientes da lixiviação sulfúrica do minério de cobre em estudo.

Em pequena escala, os testes semipiloto desenvolvidos permitem apenas o delineamento do perfil do sistema em estudo.

Em escala piloto, as observações realizadas foram estendidas e aprofundadas, possibilitando o levantamento de parâmetros associados a condições de operação somente reprodutíveis quando do processamento de grandes volumes de licores aquosos durante longos períodos.

Fatores ambientais encontráveis somente no local da usina, bem como a observação do desempenho dos materiais e equipamentos quando submetidos a solicitações de serviço, são aspectos fundamentais para conferir credibilidade a resultados obtidos, objetivando o dimensionamento de circuitos em escala industrial.

A instalação piloto concebida envolvia a operação de uma pilha para lixiviação, por percolação, de 2.000 toneladas de minério, duas linhas de extração por solventes com capacidade nominal de processamento da ordem de 400 litros/hora de licor de lixiviação, e uma linha de eletrorrecuperação para produção de cobre catódico de alta pureza.

2. Testes complementares e de acompanhamento

Nesta etapa foram realizados testes complementares, em regime de batelada, que permitiram verificar a validade das observações efetuadas nos laboratórios do CETEM. Em função das elevadas temperaturas registradas na região, poderiam ocorrer

modificações no comportamento físico-químico dos reagentes orgânicos empregados.

Desta forma, foram feitos testes de capacidade de carga, levantadas isotermas de equilíbrio para as etapas de extração e reextração para os extratantes LIX 64N e ACORGA P5100, realizados testes de cinética de extração e reextração, coletados dados que relacionam fluxos específicos de decantação e bandas de dispersão, e obtida curva de saturação para o extratante LIX 64N, a diversos percentuais (v/v) em um querosene metalúrgico de "baixo aromático" (querosene B.A.) (3-4).

2.1. Materiais e métodos

Para execução dos testes complementares citados, foi utilizado um licor obtido da lixiviação em pilhas do minério oxidado de cobre da Mina Caraíba, de composição média como apresentada na tabela I.

As isotermas de equilíbrio de extração foram levantadas pelo método de contato a razões de fase variáveis.

Tabela I - Composição média do licor de lixiviação empregado nos testes (conc. $g.l^{-1}$)

Cu	Fe	Al	Mg	SiO_2	H_2SO_4	pH
5,30	1,70	4,00	5,70	224 ppm	4,10	1,50

Para a obtenção da isoterma de reextração, foi utilizado método análogo, empregando-se um eletrólito típico oriundo da etapa de eletrorrecuperação, contendo 30 $g.l^{-1}$ Cu, 150 $g.l^{-1}$ H_2SO_4 e 0,70 $g.l^{-1}$ Fe.

Os testes citados realizaram-se com cada um dos extratantes empregando-se diluições de 17% (v/v) em querosene B.A. para o extratante ACORGA P5100 e de 30% v/v para o extratante LIX 64N.

Na tabela II encontram-se alguns dados físico-químicos dos reagentes orgânicos empregados. (dados fornecidos pelos fabricantes).

Tabela II - Algumas características físico-químicas dos reagentes orgânicos empregados (dados dos fabricantes)

Reagente	Densidade	Viscosidade cps	Pt. Fulgor (°C ASTM)	Faixa de Dest. (°C)	Cor Saybolt	Aromáticos + Olefinas (% v/v)
ACORGA P5100	0,980	2000	78	-	-	-
LIX 64N	0,899	45	85	-	-	-
querosene B.A	0,806	-	55	172 - 215	+ 30	15

Os testes de cinética de extração e reextração foram realizados para o extratante ACORGA P5100, também diluído a 17% (v/v). Auferiram-se dados com relação aos dois estágios de extração e ao estágio de descarga do eletrólito rico na etapa de reextração.

Observou-se o comportamento do extratante ACORGA P5100, em contato com um licor de lixiviação como aquele caracterizado na tabela I, sob agitação da ordem de 900 rpm. O extratante fora préviamente regenerado em operação pelo próprio circuíto contínuo.

O levantamento de uma curva "fluxo específico versus espessura de banda de dispersão" foi feito de forma a obter-se um valor médio representativo para fluxos específicos da ordem de 38, 50, 60 e 80 $l.min^{-1}.m^{-2}$.

A investigação a respeito das condições de saturação do extratante LIX 64N, diluído em querosene B.A., foi realizada com o levantamento de uma curva do tipo percentual (v/v) do extratante em questão, em função da concentração de cobre de saturação.

2.2. Resultados obtidos e discussão

2.2.1. Testes de capacidade de carga

Verificou-se para o reagente ACORGA P5100, uma capacidade de carga mais elevada que a observada para o LIX 64N, sendo razoável supor também uma maior flexibilidade daquele reagente com respeito a modificações ou flutuações da concentração de cobre e acidez do licor de lixiviação que alimenta a etapa de extração.

2.2.2. Isotermas de extração e reextração

As isotermas de extração e reextração obtidas foram aquelas utilizadas para o traçado dos diagramas operacionais referentes a cada um dos testes das diversas condições de operações investigadas.

2.2.3. Testes de cinética de extração e reextração

Observou-se, com a análise dos resultados obtidos, que são necessários cerca de 120 segundos para o estabelecimento do equilíbrio entre as fases aquosa e orgânica que abandona ambos os estágios da etapa de extração, verificou-se um comportamento pouco menos favorável para aquele de descarga do rafinado, o que pode ser creditado a níveis de acidez mais desfavoráveis à formação de organocomplexos neste estágio.

No estágio de descarga do eletrólito rico, os resultados denotam a necessidade de um tempo de contato de cerca de 90 segundos para obtenção do equilíbrio entre as fases, observando-se, portanto, nas condições de realização dos testes, uma maior "eficiência de transferência" de cobre para este estágio

de reextração em relação àqueles da etapa de extração.

Tal comportamento pode ser entendido como uma evidência de que os níveis de acidez da fase aquosa que chega ao estágio de descarga do eletrólito rico, embora menores que os da alimentação da etapa de reextração, são ainda suficientes para promover uma eficiente regeneração da fase orgânica tratada, adequando-a ao reingresso no sistema.

2.2.4. Testes de fluxo específico de decantação

Observou-se com este teste a existência de uma relação logarítmica entre a espessura da banda de dispersão verificada e os diversos fluxos específicos impostos ao sistema, confirmando as informações disponíveis na literatura técnica sobre o assunto.

2.2.5. Levantamento da curva de saturação

Verificou-se a existência, nas condições de realização dos testes, de uma relação linear entre o percentual (v/v) de diluição do LIX 64N em querosene B.A. e seu ponto de saturação (P.S.), podendo esperar-se uma relação P.S. versus percentual (v/v) constante e da ordem de 0,44.

3. Operação do circuito piloto

3.1. Montagem e observações preliminares de desempenho do material

Para a realização dos testes em escala piloto foram concebidas duas linhas de extração por solventes, constituidas de contatores em fibra de vidro, montadas sobre estrutura metálica.

Inicialmente, completou-se a instalação de apenas uma linha, constituida de quatro estágios (dois para a etapa de extração e dois para a de reextração).

Esta etapa primeira de operação constituiu-se ainda em oportunidade de acompanhamento do desempenho dos materiais empregados, bem como favoreceu o progressivo treinamento do pessoal técnico para operar eficientemente o equipamento, quando das corridas efetuadas simultaneamente com as duas linhas projetadas.

O material adotado para as tubulações de alimentação do circuito e interestágios foi o PVC, empregado também nas válvulas necessárias ao controle dos fluxos de reagentes em cada estágio.

A instrumentação do regime de dispersão em cada estágio foi realizada com o equipamento I.R.D. projetado e desenvolvido no CETEM.

Para este primeiro circuito operado (circuito ACORGA), foi adotado o extratante ACORGA P5100 diluído a 17% (v/v) em querosene B.A..

Adotou-se, então, com base em dados de escala industrial, e ensaios realizados em laboratório pelo CETEM, uma razão O/A de transferência para a etapa de extração de 1,25, operando-se o estágio de alimentação do licor de lixiviação de forma a garantir a estabilidade de regime de dispersão em aquoso contínuo.

Para a etapa de reextração, empregou-se uma razão O/A de transferência de 5,0.

Os níveis de agitação adotados foram da ordem de 900 rpm para todos os estágios, portanto compatíveis com os dados de usinas em escala comercial.

Com o decorrer da operação do circuito, ainda nesta fase preliminar, observou-se a necessidade de rearranjar as linhas de reagentes interestágios, de forma a minimizar o arraste de fase aquosa da etapa de extração para a de reextração que se evidenciou significativa, ainda que não quantificada neste período.

Observou-se ainda, para o circuito em questão, um ataque generalizado da superfície de fibra de vidro dos contatores, caracterizado por um escamamento com perda do poder aglomerante da resina. Tal ocorrência, embora sempre evidenciada ao longo das corridas subsequentes, teve intensidade progressivamente reduzida com o passar do tempo, não sendo possível, no entanto, prever-lhe o comportamento para longos períodos de operação.

Com o objetivo de recolher o solvente eventualmente arrastado pelo rafinado descartado na etapa de extração, instalou-se um tanque extra de decantação do qual, ao longo de todo o período de operação da linha em sua fase de campanha, foram recolhidas amostras para observações de caráter qualitativo e quantitativo do arraste de fase orgânica ([5]).

As modificações introduzidas no circuito ACORGA com relação a sua concepção primeira, ao longo desta fase preliminar de testes, foram estendidas ao circuito LIX, quando de sua posterior operação, demonstrando eficiente aplicabilidade a ambas as linhas.

3.2. Testes piloto

Por sua própria natureza de operação contínua e manuseio de grandes volumes de alimentação e produto, testes em escala-piloto requerem estreito controle para validade de balanços de massa.
A execução desses testes torna-se então onerosa se é necessário adquirir todos os sofisticados requisitos de controle de fluxo, medidas de nível, tanques de estocagem e equipamentos de bombeamento, apropriados e em quantidades convenientes.

Faz-se, portanto, imperioso nesse tipo de teste improvisar e adaptar os materiais e equipamentos disponíveis ao limite do permissível, como foi exercitado no transcurso desse trabalho, sem, contudo, comprometer-lhe a qualidade técnica e a confiabilidade dos dados obtidos ([6-7]).

A execução dos testes a velocidades angulares de 700 e 900 rpm, as quais são

compatíveis com dados industriais disponíveis, objetivou determinar o valor adequado à operação do misturador quanto à eficiência de mistura e manutenção da estabilidade do regime de dispersão.

Foram testadas duas concepções de circuitos, com base em estudos anteriores executados em escala semipiloto. Ambos os circuitos testados constituíram-se de dois estágios de extração e dois de reextração, diferindo basicamente pela presença ou ausência de recirculação interna.

Algumas das condições operacionais estudadas foram:

Circuito LIX 64N
900 rpm com recirculação no estágio 2 da extração
900 rpm sem recirculação no estágio 2 da extração

Circuito ACORGA P5100
700 rpm com recirculação no estágio 2 da extração
900 rpm sem recirculação no estágio 2 da extração.

Os resultados obtidos podem ser vistos nas tabelas III, IV, V e VI e figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

Tabela III-Condições de execução e resultados obtidos

CIRCUITO: LIX 64N — CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO: 900 rpm com reciclo — HORAS DE OPERAÇÃO: 12,0

	OR		EOI		OCE		ALA			EAI		RAF		
	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	H^+	Cu	Fe	Cu	Fe	H^+
EXTRAÇÃO (CONC. g^{-1})	1,20	0,03	2,10	0,03	5,10	0,03				1,80	1,30	0,52	1,30	11,6
	1,20		2,30		5,50					1,70		0,48		11,3
	1,20	0,02	2,20	0,03	5,20	0,03	5,10		4,0	1,70	1,30	0,40	1,30	11,4
	1,20		2,30		5,20					1,80		0,43		12,1
	1,20	0,02	2,50	0,03	5,40	0,03	5,20	1,30		1,80	1,30	0,44	1,30	11,7
	1,20		2,10		5,18					1,50		0,44		12,0
Média	1,20	0,02	2,25	0,03	5,26	0,03	5,15	1,30	4,0	1,72	1,30	0,45	1,30	11,7

ÍNDICES				
EFICIENCIA POR ESTAGIO (%)				RECUPERAÇÃO (%)
EST. 1	EST. 2	EST. 3	EST. 4	
94,6	85,9	82,5	88,6	91,3

	OCR		ROI		EE			RAI		EC		
	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	H^+	Cu	Fe	Cu	Fe	H^+
REEXTRAÇÃO (CONC. g^{-1})	5,40	0,03	2,50	0,02	30,2	0,69	150,6	35,0	0,71	48,6	0,76	123,4
	5,40		2,50					37,0		46,7		124,3
	5,40	0,03	2,40	0,02	30,2		151,4	35,5	0,72	46,7	0,76	124,6
	5,50		2,50					35,4		47,4		124,0
	5,50	0,03	2,40	0,02	30,2	0,70	151,2	35,5	0,72	48,6	0,76	123,6
	5,30		2,60					36,0		48,5		122,4
Média	5,40	0,03	2,50	0,02	30,2	0,70	151,1	35,7	0,72	47,8	0,76	123,7

CÓDIGOS DE AMOSTRAGEM

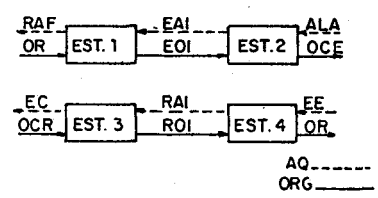


Tabela IV -Condições de execução e resultados obtidos

CIRCUITO: LIX 64N — CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO: 900 rpm sem reciclo — HORAS DE OPERAÇÃO: 11,0

	OR		EOI		OCE		ALA			EAI		RAF		
	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	H^+	Cu	Fe	Cu	Fe	H^+
EXTRAÇÃO (CONC. g^{-1})	1,20		2,30		5,60		5,20			1,80		0,48		
	1,20		2,30		5,10					1,70		0,46		11,5
	1,10	0,04	2,30	0,03	5,10	0,05	5,50	1,40	3,4	1,90	1,30	0,50	1,30	
	1,30		2,40		5,00					1,90		0,49		11,9
	1,30	0,04	2,30	0,03	4,90	0,04	5,30		3,4	1,70	1,30	0,44	1,30	
	1,30		2,60		4,90					1,90		0,47		11,4
Média	1,23	0,04	2,37	0,03	5,10	0,05	5,33	1,40	3,4	1,82	1,30	0,47	1,30	11,6

ÍNDICES				
EFICIENCIA POR ESTAGIO (%)				RECUPERAÇÃO (%)
EST. 1	EST. 2	EST. 3	EST. 4	
95,0	84,4	82,8	80,4	91,2

	OCR		ROI		EE			RAI		EC		
	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	H^+	Cu	Fe	Cu	Fe	H^+
REEXTRAÇÃO (CONC. g^{-1})	5,00		2,60		29,8		150,4	35,1		46,9		125,7
	5,40		2,30					35,3		47,6		123,6
	5,00	0,07	2,30	0,03	29,9	0,69	151,4	35,1	0,72	47,8	0,77	120,5
	5,00		2,30					35,7		47,5		123,6
	4,70	0,07	2,40	0,03	29,7		151,4	35,7	0,71	48,1	0,78	122,6
	5,00		2,30					35,8		46,0		124,7
Média	5,02	0,07	2,37	0,03	29,8	0,69	151,1	35,5	0,72	47,3	0,78	123,5

CÓDIGOS DE AMOSTRAGEM

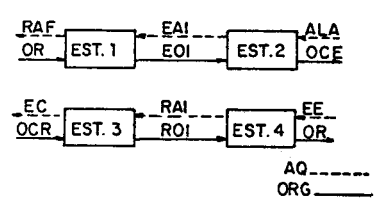


Tabela V - Condições de execução e resultados obtidos

CIRCUITO: ACORGA P5100 CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO = 700 rpm com reciclo HORAS DE OPERAÇÃO = 11,0

EXTRAÇÃO (CONC. g^{-1})	OR		EOI		OCE		ALA			EAI		RAF		
	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	H^+	Cu	Fe	Cu	Fe	H^+
	3,80		5,20		8,00		5,00	1,20	3,4	2,20		0,38	1,30	11,0
	3,80	0,03	5,40	0,02	8,00	0,02	5,00	1,20	3,4	2,20	1,30	0,37	1,30	11,1
	3,70		5,30		8,00					2,00		0,33	1,30	11,2
Média	3,77	0,03	5,30	0,02	8,00	0,02	5,00	1,20	3,4	2,13	1,30	0,36	1,30	11,1

ÍNDICES				
EFICIENCIA POR ESTAGIO (%)				RECUPERAÇÃO (%)
EST. 1	EST. 2	EST. 3	EST. 4	
93,9	95,4	96,3	97,5	92,8

REEXTRAÇÃO (CONC. g^{-1})	OCR		ROI		EE			RAI		EC		
	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	H^+	Cu	Fe	Cu	Fe	H^+
	7,40		5,00		30,5		153,1	37,0		48,9		123,9
	7,40	0,03	4,90	0,02	30,5	0,67	154,1	37,9	0,67	47,0	0,69	128,1
	7,30		5,00					36,7		48,4		126,1
Média	7,37	0,03	4,97	0,02	30,5	0,67	153,6	37,2	0,67	48,1	0,69	126,0

CÓDIGOS DE AMOSTRAGEM

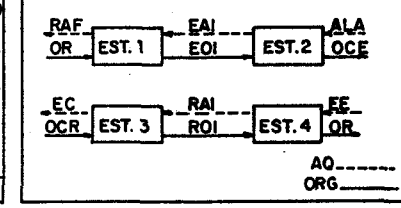


Tabela VI- Condições de execução e resultados obtidos

CIRCUITO: ACORGA P5100 CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO = 900 rpm sem reciclo HORAS DE OPERAÇÃO = 10,0

EXTRAÇÃO (CONC. g^{-1})	OR		EOI		OCE		ALA			EAI		RAF		
	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	H^+	Cu	Fe	Cu	Fe	H^+
	3,90	0,03	5,60	0,02	7,80	0,02	5,90	1,40	3,6	2,20	1,30	0,44	1,30	11,9
	3,90		5,90		7,80					2,00		0,52		
	4,00	0,03	5,70	0,03	7,90	0,03	5,70	1,40		2,30	1,30	0,44	1,30	11,6
	4,00		5,70		8,10					2,30		0,39		
	4,00	0,03	6,20	0,03	8,10	0,03	5,70	1,40	3,6	2,90	1,40	0,54	1,20	11,3
	4,00		5,50							2,00		0,39		
Média	3,97	0,03	5,77	0,03	7,94	0,03	5,77	1,40	3,6	2,28	1,33	0,45	1,27	11,6

ÍNDICES				
EFICIENCIA POR ESTAGIO (%)				RECUPERAÇÃO (%)
EST. 1	EST. 2	EST. 3	EST. 4	
90,6	86,6	98,9	97,4	92,2

REEXTRAÇÃO (CONC. g^{-1})	OCR		ROI		EE			RAI		EC		
	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	H^+	Cu	Fe	Cu	Fe	H^+
	7,80	0,03	5,20	0,03	32,7	0,83	153,6	38,3		50,6	0,80	127,2
	7,20		5,20					38,1		52,0		
	8,20	0,02	5,30	0,02	32,8	0,83		38,6	0,84	52,1	0,84	126,0
	8,00		5,60					38,6		52,6		
	8,70	0,02	5,20	0,03	32,8	0,83	153,6	38,3	0,81	52,1	0,86	
	8,30		5,30					39,2		52,9		
Média	8,03	0,02	5,30	0,03	32,8	0,83	153,6	38,5	0,83	52,1	0,83	126,6

CÓDIGOS DE AMOSTRAGEM

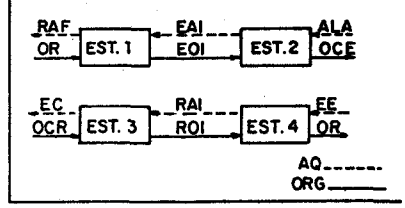


Figura 1 - Diagrama de operação-extração circuito lix. 64N, condição de operação = 900 rpm com reciclo

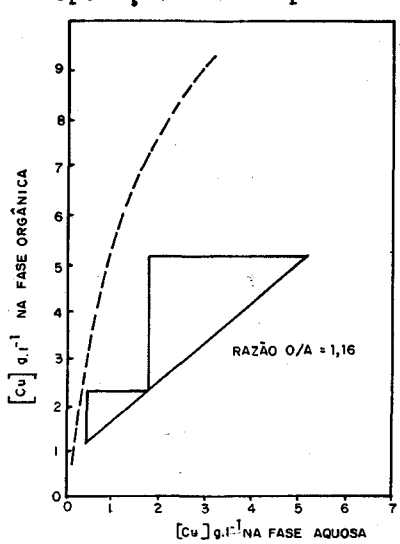


Figura 2 - Diagrama de operação-reextração circuito lix. 64N, condição de operação = 900 rpm com reciclo

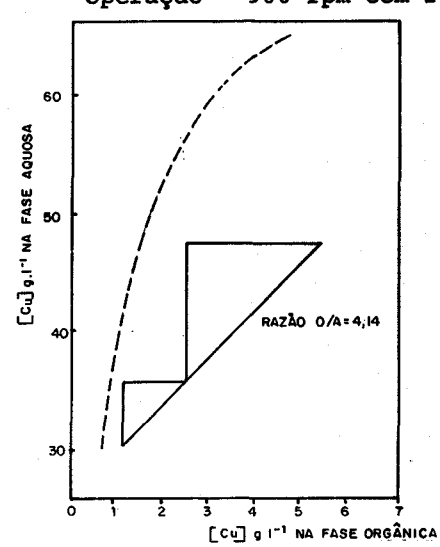


Figura 3 - Diagrama de operação-extração circuito lix. 64N, condição de operação = 900 rpm sem reciclo

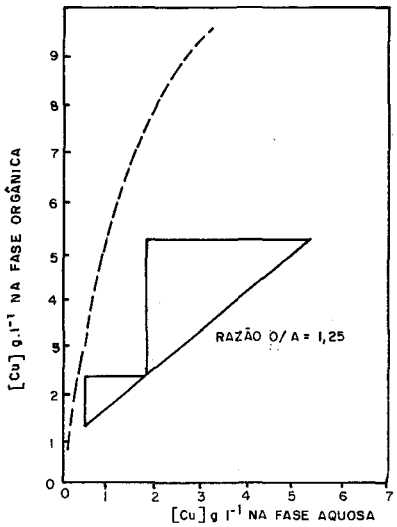


Figura 4 - Diagrama de operação-reextração circuito lix. 64N, condição de operação = 900 rpm sem reciclo

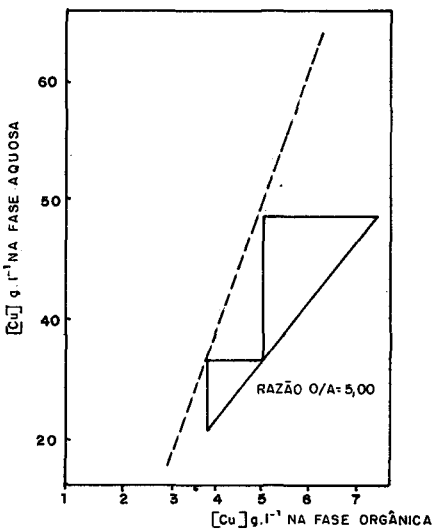


Figura 5 - Diagrama de operação-extração circuito acorga p 5.100 condição de operação = 700 rpm com reciclo

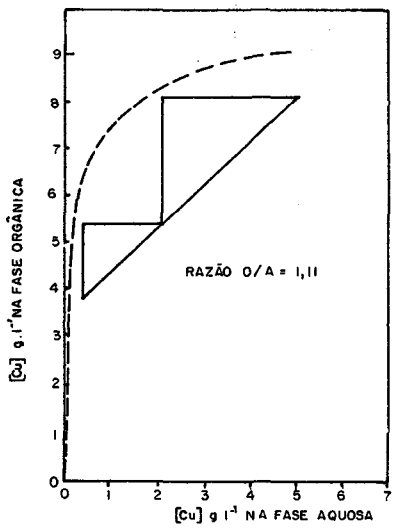


Figura 6 - Diagrama de operação-reextração circuito acorga p 5.100. condição de operação = 700 rpm com reciclo

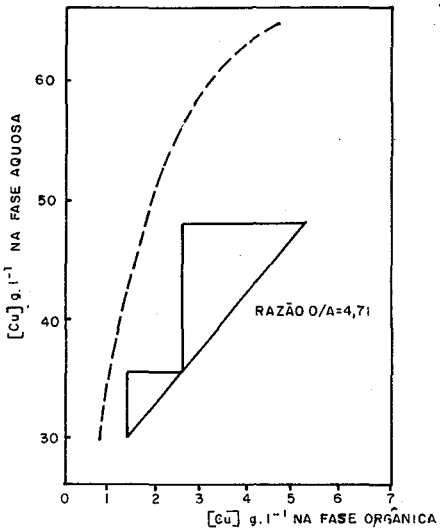


Figura 7 - Diagrama de operação extração circuito acorga p 5.100 condição de operação = 900 rpm sem reciclo

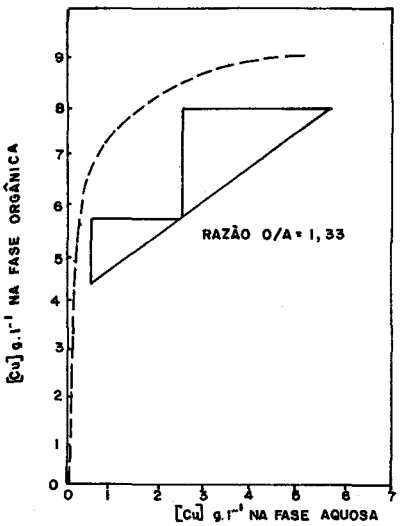
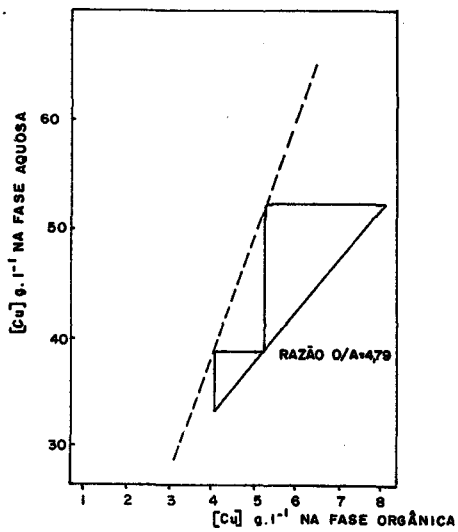


Figura 8 - Diagrama de operação-reextração circuito acorga p 5.100 condição de operação = 900 rpm sem reciclo



4. Conclusões

. A aplicação dos extratantes LIX 64N ou ACORGA P5100 demonstrou-se tecnicamente viável para o tratamento de licores cupríferos como os obtidos dos estudos de lixiviação do minério oxidado da Mina Caraíba.

. As perdas por arraste, observadas para ambos os reagentes testados, situaram-se abaixo do limite industrialmente admissível, de 20 ppm.

. Atingiram-se recuperações de cobre da ordem de 93%, alcançando-se eficiências de estágios em torno de 90%.

. Os estudos em escala piloto permitiram a qualificação de mão-de-obra especializada para a operação e acompanhamento do desempenho de uma unidade contínua de extração por solventes.

. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade técnica da aplicação da operação de extração por solventes, segundo concebida pelo CETEM, para a recuperação do cobre do minério oxidado da Mina Caraíba.

5. Bibliografia

(1) SEPULVEDA, J. E. & MILLER, J. D. A fundamental approach to the design and optimization of industrial solvent extractions plants. In: INTERNATIONAL SOLVENT EXTRACTION CONGRESS, 1980.

(2) MASSON, I. O., et alii. Instalação de usinas piloto para a Caraíba Metais. Relatório Técnico. Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia Mineral, 1983. (RI 11/83).

(3) RITCEY, G. M. & ASHBROOK, A. W. Solvent extraction: principles and applications to process metallurgy. New York, 1979. P.2

(4) AHSBROOK, A. W. Commercial chelating solvent extraction reagents;oximes: spectra, structure and properties. New York, Elsevier, 1976.

(5) LIWIS, I. E. Design of mixer-settlers to achieve low entrainment losses and reduce capital costs. In: INTERNATIONAL SOLVENT EXTRACTION CONGRESS. Toronto, Sept. 09-16, 1977. Papers...Montreal, The Canadian Institute of Mining and Metallurgy, 1979. v.1, p.325-33 (Special Volume, 21).

(6) PROBERT, T. I. & RICHARDS, K.J. Solvent extraction facilities at Kennecott's ray mines division. In: INTERNATIONAL SOLVENT EXTRACTION CONGRESS, 1980.

(7) KENNEDY, A. D. & PFALZGREFF, C. L. Cities service company's solvent extraction - electrowinning plant at Miami, Arizona. In: INTERNATIONAL SOLVENT EXTRACTION CONGRESS. Toronto, Sept. 09-16, 1977. Papers... Montreal, The Canadian Institute of Mining and Metallurgy, 1979. v.1, p.333-39. (Special Volume, 21.)