

MICROFLOTAÇÃO DE MINERAIS DENSOS DE AREIA MONAZÍTICA

G. L. Teixeira¹, J. A. M. da Luz²

¹Graduando em Engenheiro de minas, Programa Institucional de Bolsa de Iniciação Científica – PIBIC/UFOP, Rua Camilo de Brito nº 50, Centro - Ouro Preto/MG. e-mail: gabrielteixeira2000@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP- Escola de Minas, Departamento de Engenharia de Minas - DEMIN/CPGEM, Campus Morro do Cruzeiro - UFOP
Ouro Preto, MG, e-mail: jaurelio@demin.ufop.br

RESUMO

Os depósitos litoclásticos litorâneos, em vista de minerais estratégicos a eles associados, têm sido encarados com interesse crescente à medida que os depósitos mais ricos e de beneficiamento mais simples estão se esgotando. Somente duas jazidas desse tipo no Brasil estão em exploração, a saber: Buena (INB, RJ) e Mataraca (Millennium, PB). Naturalmente, surge a flotação como alternativa de beneficiamento de minerais pesados que venham a viabilizar técnica e economicamente jazidas que, no momento, não são economicamente viáveis devido ao baixo teor de minerais úteis. Dentro desse contexto, campanha de microflotação destes minerais foi feita em célula de Fuerstenau. O trabalho engloba microflotação em presença de coletores, a saber: oleato de sódio, sulfonato de sódio, laurilssulfato de sódio e amina. Depressores empregados foram: metassilicato de sódio e tanino. Por se tratarem de sistemas simplificados, usualmente com minerais isolados, a amina apresentou o melhor desempenho dentre os coletores utilizados, tendo como mineral de maior flotabilidade a zirconita. No ensaio com amina é possível verificar, também, que o rutilo apresentou uma flotabilidade considerável, embora menor que a da zirconita, ao passo que a ilmenita apresenta baixa flotabilidade. Embora o escalonamento para flotação em bancada ou industrial deve ser considerado com extrema reserva, os resultados obtidos em microflotação podem servir como guia durante a seleção das condições operacionais em célula de bancada, levando à economia de recursos humanos e materiais.

Palavras-chave: microflotação; depósito litoclásticos, areia monazítica; minerais densos.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil existem, em operação, apenas duas jazidas de minerais pesados: Buena (da INB, no Rio de Janeiro) e Mataraca (da Millenium, na Paraíba). As principais reservas estão localizadas na Paraíba (Mataraca) e ao longo da crosta, principalmente nos estados da Bahia e Espírito Santo (Figueiredo, 1998).

A crescente demanda por diversos minerais industriais e a escassez de depósitos ricos tornou essencial o desenvolvimento de novos métodos que viabilizem jazidas mais complexas e com menor teor. No que diz respeito à flotação, o estudo de novos reagentes e a combinação dos mesmos em rotas de processos faz-se necessária à medida que é exigida melhor recuperação e maior seletividade do método para que estas reservas se tornem economicamente viáveis. Nos ensaios apresentados, o objeto de estudo foi o comportamento dos minerais minérios diante da variação de alguns fatores físico-químicos do processo de flotação tais como pH e reagente.

Para que o estudo proposto atingisse uma segurança maior na veracidade dos resultados uma série de medidas preliminares, no que diz respeito às características dos minerais e à calibragem do aparelho, foram tomadas. Igual cuidado foi tomado durante os ensaios para que não houvesse contaminação nem desvio dos parâmetros iniciais.

Por a microflotação envolver sistemas simplificados (com água destilada, minerais isolados e reagentes purificados), o escalonamento para as condições de flotação de bancada ou industrial deve ser considerado com extrema reserva. Mesmo assim, os resultados obtidos em célula de microflotação podem servir como guia durante a seleção das condições operacionais em célula de bancada, levando à economia de recursos humanos e materiais.

O trabalho aqui descrito teve como objetivo principal, o estudo da interação superficial dos principais minerais ocorrentes em formação terciária e quaternária (conhecidas como areias monazíticas) e reagentes em sistemas de flotação, de modo a acenar para condições de processo promissoras na flotação seletiva entre os minerais densos e ganga quartzosas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

O seguinte equipamento foi empregado nos ensaios de microflotação, a saber: béqueres, termômetro, aquecedor, estufa, funil com papel-filtro, kitasato e sistema de vácuo, peagômetro, agitador magnético, sistema de controle de vazão de gás, pá coletora, célula de Fuerstenau cujo desenho dimensional é apresentado na figura 1.

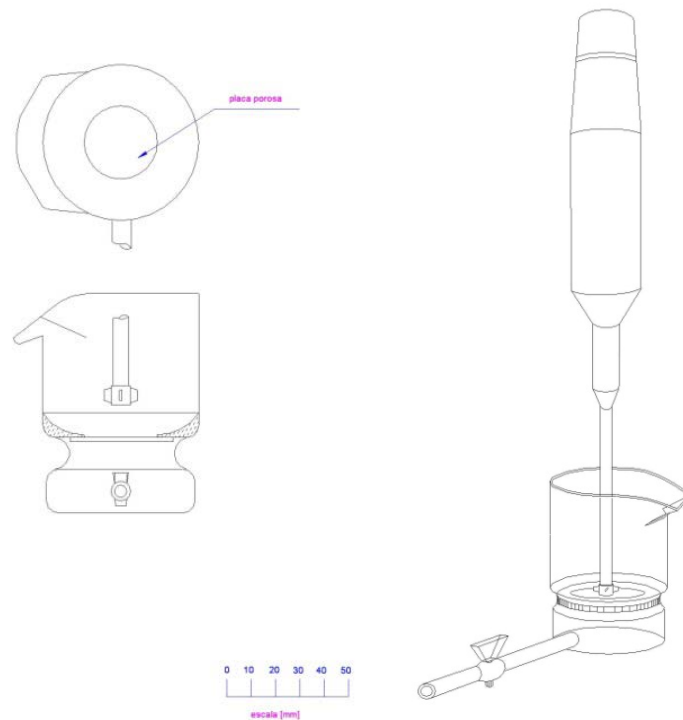


Figura 1 – Célula de microflotação de Fuerstenau (Fonte: Luz, 1996).

As amostras minerais usadas foram: ilmenita, rutilo e zirconita, previamente concentradas a partir de minérios processados nas instalações de Buena (da INB) e já bitoladas entre 0,053 mm e 0,54 mm, faixa de granulção adequada ao processo de microflotação em célula de Fuerstenau.

Ensaio preliminares foram feitos (conforme tabelas e gráficos a seguir), visando a tornar a análise dos resultados mais robusta, quanto à adequação do aparelho e das amostras. Tais ensaios englobaram o levantamento das curvas granulométricas, a adequação da vazão e da pressão de ar de processo, determinação da densidade das amostras por meio de picnometria, a determinação de arraste fluidodinâmico na cuba de microflotação.

As medidas prévias para aferição dos valores de vazão volumétrica foram feitas imergindo a célula de Fuerstenau em recipiente com água, de modo a que ficasse sob a área da boca de uma proveta invertida parcialmente cheia de água (isto é: com volume inicial de ar nas cotas superiores, dando azo à formação de uma interface água/ar no interior da proveta).

Quando do borbulhamento do ar pela placa porosa da célula de Fuerstenau, todas as bolhas eram capturadas na proveta invertida, o que fazia com que a cota da interface água/ar dentro da proveta se abaixasse. Cronometrando a aeração e a correspondente variação de volume, calculava-se a vazão volumétrica de aeração.

Tabela 1: Determinação de arraste (ensaios com água destilada e 2 g de amostra)

Ensaio para determinação de arraste				
Mineral:	Flotado no 1º ensaio	Flotado no 2º ensaio	Média	Arraste Médio [%]
Ilmenita	0,12 g	0,10 g	0,11 g	0,55
Rutilo	0,05 g	0,03 g	0,04 g	0,20
Zirconita	0,23 g	0,18 g	0,21 g	1,02

Tabela 2: Aferição de vazão de ar de processo (método da proveta submersa e invertida)

	1º	2º	3º	4º
Volume inicial de gás na proveta (V_i) [m^3]	8×10^{-6}	8×10^{-6}	8×10^{-6}	8×10^{-6}
Volume final (V_f) [m^3]	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}
Tempo de insuflamento [s]	23,03	24,35	24,22	25,07
Vazão volumétrica [m^3/s]	$30,40 \times 10^{-6}$	$28,75 \times 10^{-6}$	$28,90 \times 10^{-6}$	$27,92 \times 10^{-6}$
Vazão volumétrica média ($V_{médio}$) [m^3/s]	28,99			

Tabela 3: Determinação de densidade através do picnômetro

Ensaio de Picnometria						
	ilmenita		zirconita		rutilo	
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2
P ₁	26,10	27,12	26,10	27,12	26,10	27,12
P ₂	35,06	38,18	34,05	39,26	36,09	37,20
P ₃	59,01	63,18	58,28	64,14	59,76	62,42
P ₄	52,04	54,66	52,01	54,60	52,03	54,64
D	4,502	4,354	4,732	4,669	4,420	4,383
D _{médio}	4,428		4,702		4,401	

Os coletores utilizados nos ensaios foram: amina, laurilssulfato de sódio, sulfonato de petróleo e o ácido oleico saponificado meio aquoso (conforme preconizado por Costa, 2009). Os coletores foram utilizados em concentração de 200 g/t e os depressores em uma concentração de 60 g/t, sendo que foram feitos ensaios apenas com coletores e em seguida foram feitos ensaios com coletor juntamente com o depressor para que fosse possível quantificar a influência do depressor no sistema.

Metassilicato de sódio e tanino foram empregados como depressoires. Como espumante foi utilizado o metilisobutil-carbinol (*mibcol*) e como regulador de pH foram utilizados o NaOH e o HCl.

Para ensaios apenas com coletor, o tempo de condicionamento foi de 120 segundos e o de flotação, 180 segundos, sendo que se adicionava o espumante 15 segundos antes do início da flotação.

Por seu turno, o tempo de condicionamento foi de 240 segundos para ensaios com coletor em presença de depressor. Nesse caso, o coletor e a amostra eram introduzidos em meio aquoso no início do processo, ao passo que o depressor era introduzido após 120 segundos do início do ensaio e o espumante 15 segundos antes do início da aeração.

O material flotado era secado em estufa e em seguida pesado para se obter a percentagem flotada, aqui referida por “*flotabilidade*”. Após a obtenção dos dados, empregou-se planilha eletrônica para a obtenção dos gráficos de flotabilidade.

3. RESULTADOS

Os gráficos seguintes referem-se à flotabilidade dos diversos minerais estudados em função da variação do pH durante os experimentos.

As curvas foram plotadas para evidenciar a ação de cada reagente proposto. A flotabilidade representa a média simples quando o ensaio em duplicata teve uma variação menor que 4 % e média ponderada com adição de um terceiro ensaio quando a variação da duplicata foi maior que 4 %, com ponderadores 2:2:1, sendo peso 1 (um) atribuído ao ensaio mais destoante dos três.

A figura 2 evidencia que a zirconita apresenta o maior pico de flotabilidade (entre 80 % e 90 %) em comparação com os outros dois minerais quando se o ensaio é feito próximo do pH 9,5. Percebe-se também que os três minerais estudados apresentam tendência de baixa flotação quando o pH tende a valores abaixo de 7.

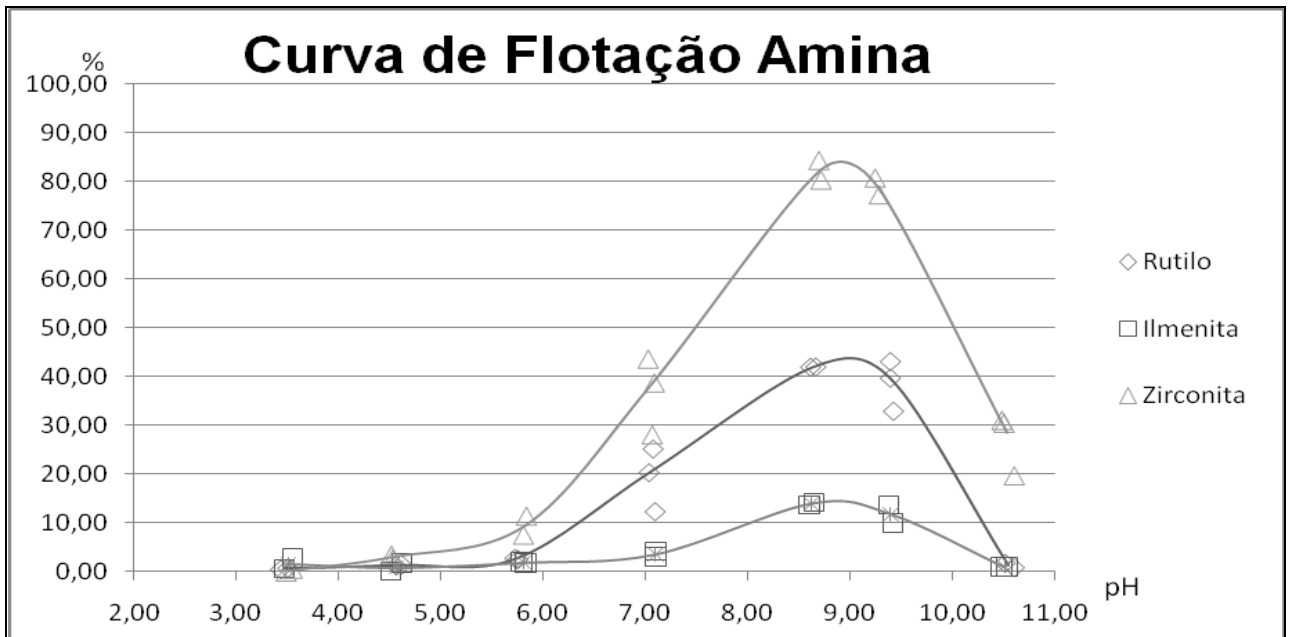


Figura 2: Curva de Flotabilidade utilizando amina, como coletor em concentração de 40 mg/l e variando o pH.

Os ensaios com depressores foram feitos apenas naquelas condições em que a flotabilidade com apenas coletor atingiu valor acima de 8 %.

Com respeito ao metassilicato, analisando a figura 3, pode-se verificar que a zirconita apresenta o maior pico de flotabilidade (por volta 70 %) em comparação com os outros dois minerais quando atinge as proximidades do pH 9,30; ou seja: o metassilicato de sódio ocasionou menor efeito na flotabilidade da zirconita que na dos outros minerais analisados.

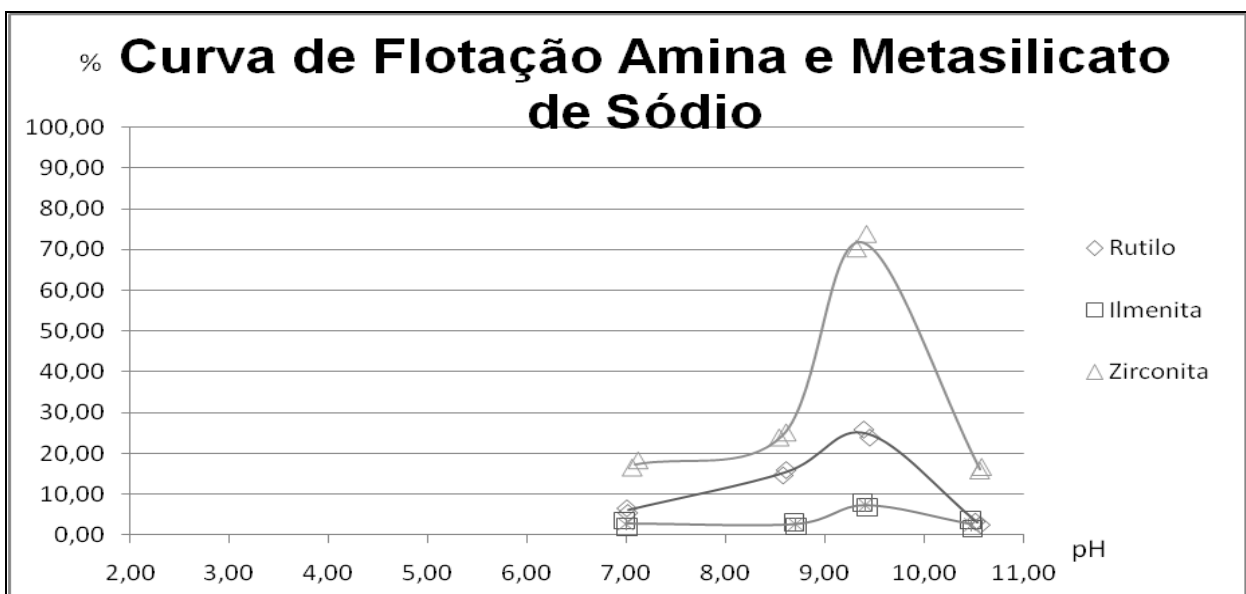


Figura 3: Curva de flotabilidade utilizando amina, como coletor em uma concentração de 40 mg/l, e metassilicato de sódio, como depressor em uma concentração de 12 mg/l e variando o pH.

O laurilssulfato de sódio não foi eficaz para nenhum dos minerais estudados. Na figura 4 pode-se verificar que não houve flotabilidade considerável (flotação próxima de zero) em nenhum pH analisado. Com isso, descartou-se, portanto, o uso deste coletor nos ensaios subsequentes, não sendo justificada, portanto, a realização dos ensaios com depressores.

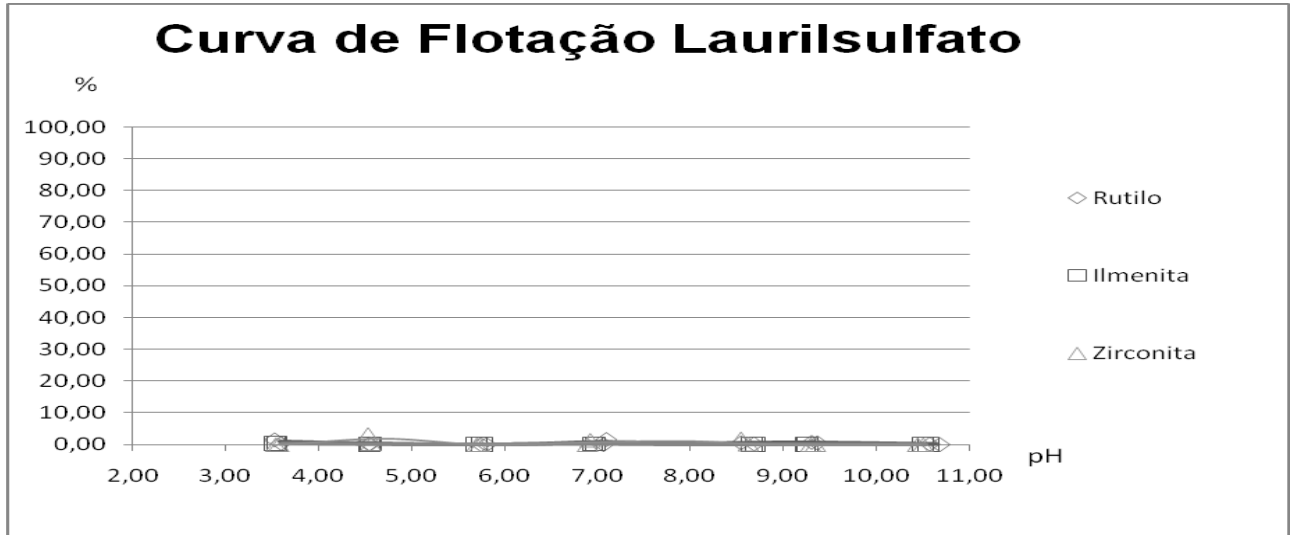


Figura 4: Curva de Flotabilidade utilizando laurilssulfato de sódio, como coletor em uma concentração de 40 mg/l.

Na figura 5 (com oleato de sódio como coletor) pode-se verificar que a zirconita apresenta o maior pico de flotabilidade (por volta 50 %) em comparação com os outros dois minerais quando atinge pH próximo de 3,5. Percebe-se também que neste experimento os três minerais apresentam uma convergência de baixa flotabilidade quando o pH tende a valores mais altos (acima de 6) e que o rutilo apresenta um pico próximo a 40 % com pH 6.

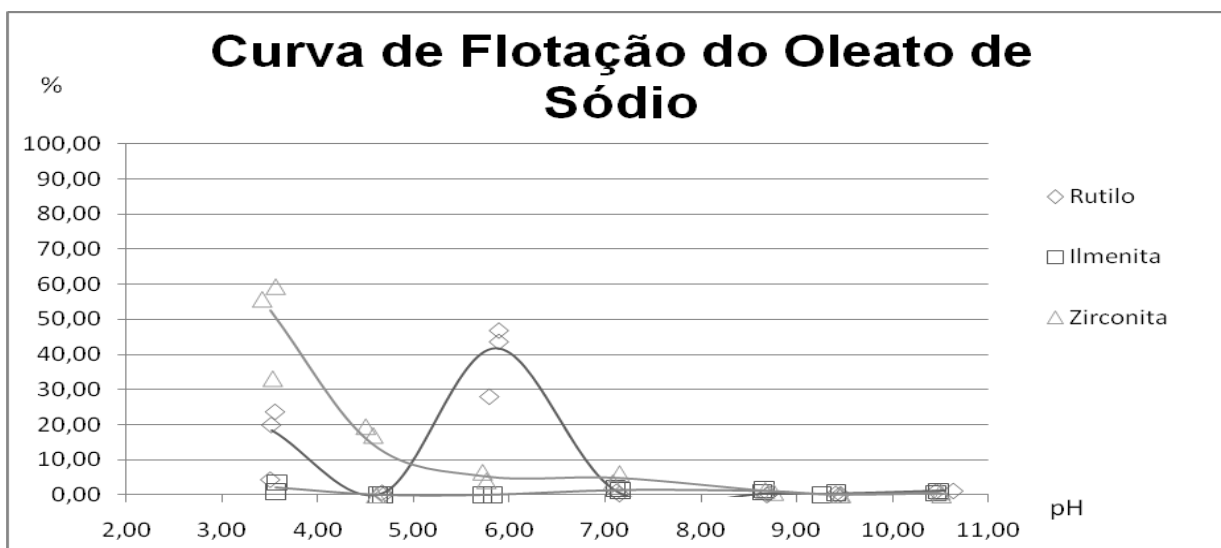


Figura 5: Curva de Flotabilidade utilizando oleato de sódio, como coletor em uma concentração de 40 mg/l e variando o pH.

Em curvas como a do sulfonato de petróleo (figura 6) pode-se verificar que a zirconita apresenta o maior pico de flotabilidade (por volta 35 %) em comparação com os outros dois minerais (rutilo próximo de 10% e ilmenita próximo de 0 %) quando atinge as proximidades do pH 3,5. Percebe-se também que os três minerais apresentam uma convergência para supressão da flotação, quando o pH é aumentado. Tal comportamento é clássico para esse tipo de reagente.

Deve-se alertar que para valores de pH excessivamente ácidos (tipicamente abaixo de pH 3), a forma molecular (não dissociada) desse surfactante torna-se grandemente predominante, levando a solubilidade para valores muito baixos para efetivação da flotação (inclusive com a sobrenatação de borra “oleosa”).

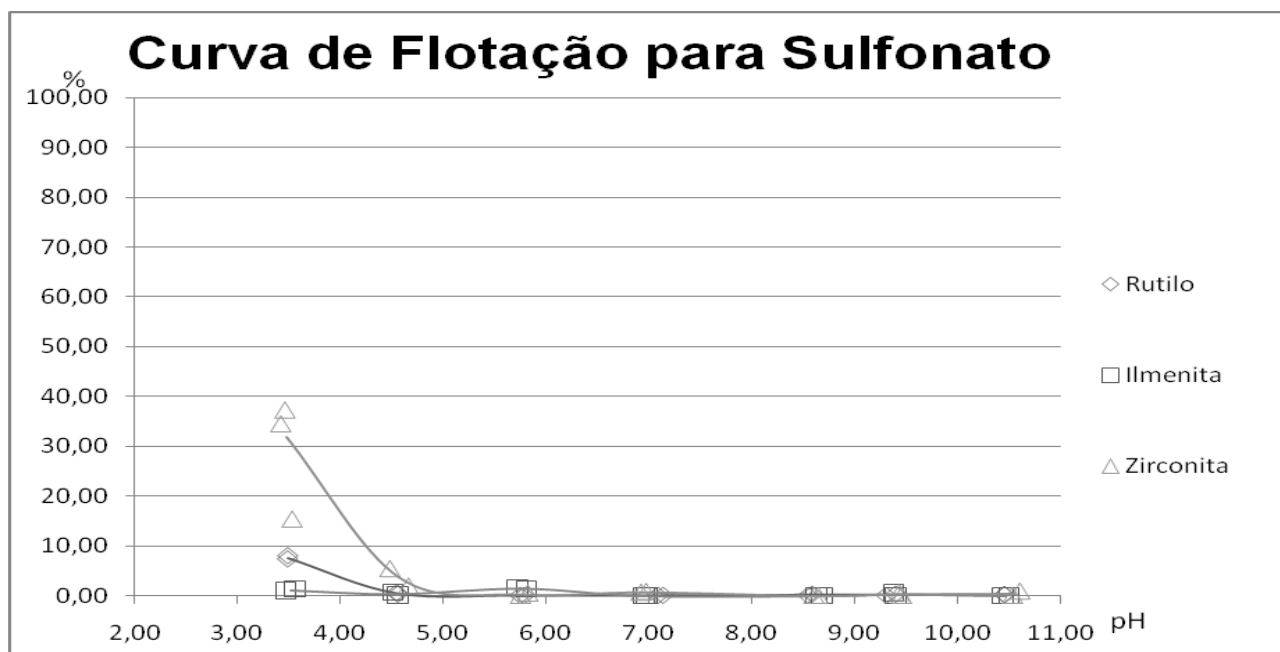


Figura 6: Curva de Flotabilidade utilizando sulfonato de petróleo, como coletor em uma concentração de 40 mg/l.

4. CONCLUSÃO

Analisando os dados dos experimentos realizados pode-se concluir que a amina apresentou o melhor desempenho dentre os coletores utilizados, sendo o mineral de maior flotabilidade a zirconita. Com o emprego de amina é possível verificar, também, que o rutilo apresentou uma flotabilidade considerável; não tão representativa como a da zirconita, porém. A ilmenita, por seu turno, apresentou baixa flotabilidade quase que na totalidade da faixa estudada, com o pico nas proximidades do pH 9.

Em contrapartida, o gráfico da amina em presença de metassilicato de sódio apresentou pouca variação na flotabilidade dos minerais, mas teve como ponto mais relevante a alta recuperação da zirconita em relação aos outros minerais. O rutilo, porém, ainda apresentou recuperação considerável (em torno de 30 %).

Já a presença de tanino causou maior depressão da flotabilidade dos três minerais, embora tenha havido maior abaixamento da flotabilidade da zirconita, quando se comparam os valores relativos aos ensaios de flotação com amina isolada.

Ademais, deve-se ter cuidado ao utilizar a amina como coletor das areias monazíticas pois, o principal contaminante desse minério é o quartzo que também apresenta alta flotabilidade na presença de amina (Jesrael, 2009), o que, de resto é sobejamente conhecido, tendo-se em vista a vasta aplicação industrial da flotação catiônica reversa de itabiritos.

Deve-se consignar que, via de regra, os valores *de per si* da flotabilidade em campanha de microflotação não apresentam maior relevância, e, sim, suas variações e magnitudes relativas. Isto se deve a que, nesse estágio de estudos fundamentais, ainda não se está preocupado com otimização de dosagens e sim com a explicitação de afinidades (ou não) entre o mineral estudado e o sistema de reagentes. Desse modo, é mais conveniente que se empreguem dosagens que resultem curvas com flotabilidade média, o que permite melhor visualização de vales e picos, decorrentes das variações das condições (tipicamente variações de pH).

A título de comentário final, acresce que o desenvolvimento de processos de aproveitamento de depósitos litoclásticos de baixos teores deve, naturalmente, buscar a conciliação otimizada entre métodos densitários, magnético, eletrostático e baseados nas propriedades interfaciais (flotação). O aumento dos índices tecnológicos de desempenho deve se dar num contexto em que a economicidade do empreendimento não seja penalizada. Apesar o largo uso dos métodos físicos clássicos para beneficiamento desse tipo de minério, a flotação vem acenando com processo promissor.

5. REFERÊNCIAS

Costa, Jesrael Luciano, Seletividade na Flotação de Minérios Ferríferos Dolomíticos, Ouro Preto: UFOP, Agosto de 2009. (Dissertação de mestrado).

Figueiredo, P. C. Recuperação de Partículas Mineraias Finas e Ultrafinas no Âmbito da Concentração Gravítica. XVII Encontro Nacional de Tratamento Extrativa e I Seminário de Química Aplicada à Tecnologia Mineral, volume 1. São Paulo: ABM, 1998. 657 p.

Luz, J. A. M. da. Efeito do Estado de Agregação na Separação entre Calcita, Dolomita e Apatita por Flotação. Belo Horizonte: UFMG, 1987.

Luz, J. A. M. da. Flotação Aniônica de Rejeito Itabirítico: Estudo de Reagentes Alternativos e Modelamento Polifásico do Processo. (tese de doutoramento). Belo Horizonte: UFMG, 1996.

Sampaio, João Alves, Luz, Adão Benvindo da. Tratamento de Minérios 4a Edição – CETEM, Separação Magnética e eletrostática - Capítulo 8, Rio de Janeiro, Dezembro/2004.

Silva, Cleverson G., Pláceres Marinhos, Brazilian Journal of Geophysics, Vol. 18(3), 2000.

INB, Unidade de Minerais Pesados. Disponível em: http://www.inb.gov.br/inb/WebForms/Interna2.aspx?secao_id=63, acessado em 18 de maio de 2010 às 11:04 h.