

FLOTABILIDADE DE BERILO NA  
PRESENÇA DE ALGUNS CÂTIOS METÁLICOS

Maurício Leonardo Tores (1)  
Antônio Eduardo Clark Peres (2)  
Rupen Adamian (3)  
Ana Paula de Oliveira (4)

RESUMO

A flotabilidade do mineral berilo pré-tratado com HCl e com HCl e HF com coletores tipo sulfato e sulfonato na ausência/presença dos cátions metálicos  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  foi analisada. Foi verificado que o pré-tratamento com HCl e HF bem como a presença de hidróxido-complexos dos cátions metálicos tem efeito ativador na flotabilidade do mineral, enquanto os hidróxidos metálicos coloidais agem como depressores.

ABSTRACT

The floatability of beryl with sulphate and sulphonate collectors in the absence/presence of the metallic cations  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  was investigated. Metal hydroxide-complexes added to the system as well as the pretreatment with HCl and HF had an activating effect on the mineral, while colloidal metal hydroxides acted as depressants.

- (1) Engenheiro Metalurgista, M.Sc., D.Sc., Professor Assistente do DCMM - PUC/RJ
- (2) Engenheiro Metalurgista, Ph.D., Chefe do Departamento de Engenharia de Minas da UFMG
- (3) Engenheiro Metalurgista, Professor Titular da EEURJ e da COPPE/UFRJ
- (4) Aluna de graduação do DCMM - PUC/RJ

## 1) INTRODUÇÃO

A produção de berilo no Brasil é realizada de forma rudimentar e predatória. Em geral, o mineral é garimpado a partir de pegmatitos, sendo selecionados e coletados os cristais de boa qualidade ( $\% \text{BeO} = 10\%$ ) e de grandes dimensões (cerca de 50 a 250 mm), sendo desprezado todo potencial mineral oferecido pelo minério. Estes fatos justificam o estudo de métodos de concentração que viabilizem um aproveitamento racional dos pegmatitos, em particular do berilo. O objetivo do presente trabalho foi contribuir para uma melhor caracterização da flotabilidade do berilo com coletores tipo sulfato e sulfonato.

## 2) REVISÃO DA LITERATURA

O desenvolvimento de um fluxograma para a concentração de berilo, por flotação seletiva, depende fundamentalmente da composição mineralógica, uma vez que os minérios portadores de berilo contêm grande quantidade de oxi-minerais (principalmente silicato), fazendo com que cada etapa da flotação tenha que apresentar alta seletividade para obtenção de concentrados de alta qualidade. Os resultados existentes [1,2,3] mostram, entretanto, que na grande maioria os concentrados de berilo apresentam-se bastante impuros, impossibilitando atualmente seu uso como matéria-prima na produção de compostos de berílio.

Em relação aos aspectos fundamentais da flotabilidade do mineral berilo, verifica-se na literatura que os estudos relacionados ao efeito do pré-tratamento superficial necessitam de um maior esclarecimento face à adsorção de coletores aniônicos e à presença de cátions metálicos na polpa de flotação [4,5].

### 3) MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

#### Mineral

A amostra de berilo utilizada para os ensaios de microflotação foi proveniente da região de Araçuaí-MG; a caracterização química indicou pureza elevada do mineral (11,50% BeO). Foi preparada através da fragmentação e classificação granulométrica, a fração -65 + 150 malhas (Tyler). Em etapa seguinte, foram produzidas duas alíquotas, as quais, de acordo com o tratamento superficial recebido, foram denominadas:

- a) berilo pré-tratado com HCl
- b) berilo pré-tratado com HCl e HF

O pré-tratamento consistiu na lavagem do mineral com HCl concentrado, a frio, na razão de 20 ml/g de berilo durante 30 minutos num bêcher de vidro, utilizando-se um agitador magnético. Em seguida, a amostra mineral foi lavada exaustivamente com água destilada e deionizada. Em seguida, a amostra foi secada em estufa a 60°C, até obter-se peso constante. O pré-tratamento com HF seguiu procedimento análogo ao descrito para o tratamento com HCl.

#### Metodologia Experimental

Os testes de microflotação foram realizados em tubo de Hallimond modificado semelhante ao descrito por Fuerstenau et al. [5]. Os reagentes utilizados foram ácido fluorídrico e hidróxido de sódio como reguladores de pH; coletores aniônicos lauril sulfato de sódio (95% SUBST.ATIVA) e sulfonato de petróleo de sódio (Dehynox PS Na) (58,5% SUBST.ATIVA) (PM = 457 a 460); cloretos férrico, de alumínio, de cálcio e de magnésio, todos de pureza analítico, como agentes modificadores na flotação aniônica. Foram ainda usadas solução sulfocrômica para limpeza da vidraria, água destilada e deionizada para o preparo das soluções e nitrogênio como fase gasosa. A metodologia dos experimentos é descrita em detalhes por Torem [7]

#### 4) RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra as curvas de flotabilidade do berilo com coletor lauril sulfato de sódio na concentração de  $5,0 \times 10^{-4} M$ . Verifica-se que nesta concentração atingiu uma flotabilidade máxima de 44% no valor de pH em torno de 2 para o berilo pré-tratado com HCl e cerca de 90% na faixa de pH entre 2 e 3,5 para o mineral pré-tratado com HCl e HF.

A comparação entre as curvas de potencial zeta do berilo pré-tratado com HCl [8] com as curvas de flotabilidade deste mineral mostra que os máximos de recuperação na região de pH em torno de 2,0 estão relacionadas a potenciais positivos. O decréscimo da flotabilidade em valores de pH superiores a 2,5 é evidente, mostrando que a adsorção do coletor é primariamente eletrostática. Resulta do semelhante foi obtido por Moir e Stevens [9].

O pré-tratamento do berilo com HCl e HF alterou profundamente o nível e a extensão da flotabilidade ao longo do pH. Em relação à curva correspondente ao respectivo pré-tratamento, pode-se destacar as regiões de pH entre 2,0 e 4,5 e entre 6,0 e 8,5. A comparação entre a curva de potencial zeta do berilo tratado com HCl e HF [8] e a curva de flotabilidade anterior indica que o mecanismo de adsorção na primeira região de pH deve ser de origem não específica. Na faixa de pH entre 6,0 e 8,5, o potencial zeta do mineral é negativo. Assim, a boa flotabilidade observada nesta região (em torno de 65%) deve estar relacionada a adsorção específica entre o coletor e os sítios  $Al^{3+}$  e  $Be^{2+}$  expostos na superfície mineral.

A Figura 2 mostra a flotabilidade do berilo tratado com HCl e do mesmo mineral tratado com HCl e HF em função do pH para a concentração de  $1,5 \times 10^{-3} M$  de sulfonato de petróleo de sódio.

A análise conjugada das curvas de flotabilidade do berilo pré-tratado com HCl e a respectiva curva de potencial zeta [8] mos

tram que o máximo de flotabilidade (cerca de 79%) ocorreu na região de pH em torno 2,0, onde o potencial zeta é positivo. O decréscimo acentuado da flotabilidade em valores de pH maiores que 2,5 é bem nítido evidenciando que a adsorção eletrostática é o mecanismo predominante.

A baixa flotabilidade verificada em valores de pH menores que 2,1 pode ser atribuída a competição entre os íons  $\text{Cl}^-$  e  $\text{RSO}_3^-$  pelos sítios superficiais positivamente carregados.

O pré-tratamento com HCl e HF modificou drasticamente o comportamento do mineral, fazendo com que sua flotabilidade fosse elevada e ampliada em relação ao pH. A curva correspondente ao respectivo pré-tratamento mostra que para valores de pH menores que 3,5, a flotabilidade está na faixa compreendida entre 88% a 94%. A observação da curva de potencial zeta para o berilo pré-tratado com HCl e HF [8] permite inferir mais uma vez que a adsorção, nesta faixa de pH, deve ser de origem eletrostática. Para valores de pH superiores a 3,5, verifica-se que a flotabilidade permanece elevada até pH em torno de 9,3; a partir deste valor ela decresce rapidamente. Este fenômeno deve estar associado ao fato de que o tratamento com HF aumenta a densidade de sítios positivos  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Be}^{2+}$ , favorecendo a adsorção específica do coletor. Matar e Rudolph [10] observaram mecanismo de ativação semelhante com hexadecil sulfonato de sódio, utilizando berilo envelhecido superficialmente em água destilada, por longo tempo.

Para o estudo realizado neste trabalho sobre o efeito de cátions metálicos na flotabilidade do berilo, selecionou-se as concentrações de  $5,0 \times 10^{-4}\text{M}$  para o lauril sulfato de sódio (LSS) e  $1,5 \times 10^{-3}\text{M}$  de sulfonato de petróleo de sódio (SPS).

A Figura 3 mostra a flotabilidade em função do pH, obtidas nos ensaios de microflotação do berilo, com lauril sulfato de

sódio e sulfonato de petróleo, na presença de  $10^{-4}M$  de  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ . Verifica-se que o mineral pré-tratado com HCl ou com HCl e HF apresenta máxima flotabilidade em pH na faixa de 2,7 a 2,8. Comparando este resultado com aqueles apresentados em [8] para o cátion  $Fe^{3+}$ , observa-se que o fenômeno deve estar associado à adsorção do íon sulfato,  $RSO_4^-$  ou do íon sulfonato,  $RSO_3^-$  em sítios superficiais onde tenha ocorrido a adsorção específica inicial do primeiro hidróxido complexo metálico,  $Fe(OH)^{2+}$ , predominante nesta faixa de pH. Matar e Rudolph [10] e Fuerstenau et al. [11] observaram mecanismo semelhante de ativação pelo cátion  $Fe^{3+}$ .

Para o berilo pré-tratado com HCl, a flotabilidade com sulfonato, na região de predominância do  $Fe(OH)^{2+}$ , é de cerca de 96% enquanto que para o lauril sulfonato de sódio é de cerca de 68%. Para valores de pH superiores a 3,0 ocorre acentuado decréscimo da flotabilidade com os dois coletores. Apesar do potencial zeta deste mineral ser positivo até pH em torno de 6,8, a predominância da espécie  $Fe(OH)_3$  a partir de pH em torno de 3,0 pode ser a causa da depressão do berilo.

O pré-tratamento com HCl e HF provocou uma drástica ativação da superfície do mineral; além de apresentar um máximo de flotabilidade relacionada à predominância, da espécie  $Fe(OH)^{2+}$ , como citado anteriormente, a flotabilidade com sulfonato de petróleo se manteve elevada e estabilizada em torno de 76% até pH=9,0. Este comportamento é bastante semelhante ao observado na Figura 2 para a flotação do berilo tratado superficialmente com HCl e HF na concentração de  $1,5 \times 10^{-3}M$  de coletor, na ausência de cátions, sugerindo assim que, apesar da predominância da espécie  $Fe(OH)_3(s)$  a partir de pH=3, a adsorção específica do íon sulfonato nos sítios  $Al^{3+}$  e  $Be^{2+}$  expostos na superfície sobrepuja o efeito da precipitação do hidróxido férrico sobre a superfície mineral. Essa análise pode ser estendida para o lauril sulfato de sódio, considerando-se a curva

correspondente ao mineral pré-tratado com HCl e HF da Figura 1.

A Figura 4 apresenta as curvas de flotabilidade em função do pH, obtidas na presença de  $10^{-4}M$  de  $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ . A análise comparativa das curvas com aquelas apresentadas em [8] para o cátion  $Al^{3+}$  permite inferir que a alta flotabilidade verificada na faixa de pH entre 4,5 e 5,5 está relacionada à adsorção dos hidroxocomplexos de alumínio predominantes nessa mesma faixa de pH. O brusco aumento da flotabilidade, observado para o mineral pré-tratado com HCl a partir de  $pH=4,0$ , não foi verificado quando este foi lixiviado com HF. Entretanto, este fato é bastante compreensível, já que a ativação pelo HF por si só conduz a recuperação elevadas. Ainda assim, comparando-se as curvas de flotabilidade das Figuras 1 e 2 para as concentrações respectivamente  $5 \times 10^{-4}M$  de lauril sulfato e  $1,5 \times 10^{-3}M$  de sulfonato de petróleo para o berilo pré-tratado com HCl e HF, verifica-se que houve aumento de flotabilidade na faixa de pH relacionada à predominância dos hidroxocomplexos de alumínio.

O mecanismo da adsorção deve, de maneira semelhante ao  $Fe^{3+}$ , estar associada à adsorção do íon sulfato,  $RSO_4^-$  ou do íon sulfonato,  $RSO_3^-$  em sítios superficiais onde tenha ocorrido a adsorção específica inicial dos hidroxocomplexos de alumínio.

Os resultados de Escalera [12], para a flotabilidade de plagioclásios da série anortita-albita, com coletor alquil-benzeno sulfonato de sódio, na presença de cátion  $Al^{3+}$ , bem como os observados por Matar e Rudolph [10] para o berilo, corroboram os resultados obtidos neste trabalho com cátion  $Al^{3+}$ .

A Figura 5 mostra as curvas de flotabilidade em função de pH, obtidas na presença de  $10^{-4}M$  de  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ . A análise comparativa das curvas com aquelas apresentadas em [8] para o cátion  $Ca^{2+}$  indica que, inicialmente, para valores de pH inferiores aos pontos

isoeletricos do mineral pré-tratado com HCl e com HCl e HF, o mecanismo de adsorção é, primariamente, eletrostático entre a superfície mineral positivamente carregada e os ânions  $\text{RSO}_4^-$  e  $\text{RSO}_3^-$ . No caso do mineral pré-tratado apenas com HCl, não se verificou ativação significativa da superfície pela presença do hidroxocomplexo de cálcio,  $\text{CaOH}^+$  predominante em meio alcalino, sendo que a flotabilidade com os dois coletores permaneceu na faixa de 20%. Esse resultado está em desacordo com aquele obtido por Leonel [13], que obteve alta flotabilidade de berilo com sulfonato de petróleo em meio alcalino, na presença da espécie  $\text{CaOH}^+$ . Esta incompatibilidade entre os resultados pode estar relacionada a concentração do coletor mais elevada utilizada no presente trabalho e que pode ter mascarado algum efeito ativador no presente trabalho do hidroxocomplexo de cálcio. Entretanto, a lixiviação da superfície do berilo com HF ativou-a em meio alcalino, na presença da espécie predominante  $\text{CaOH}^+$ , a flotabilidade do mineral com coletor lauril sulfato se elevou, a partir de  $\text{pH}=10,5$ , atingindo um máximo de 72%. A partir de  $\text{pH}=13$ , observa-se um decréscimo da flotabilidade do mineral. O coletor sulfonato de petróleo atuou de forma mais efetiva que o coletor anterior, em particular, na faixa de pH entre 11,5 e 13, onde atingiu-se uma flotabilidade máxima de cerca de 95%. Assim, pode-se afirmar que a ação do HF permitiu uma efetiva adsorção específica do  $\text{CaOH}^+$  seguida de adsorção dos ânions  $\text{RSO}_4^-$  e  $\text{RSO}_3^-$  nos sítios superficiais.

A Figura 6 ilustra a flotabilidade do berilo em função do pH na presença de  $10^{-4}\text{M}$  de  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . As curvas obtidas mostram que o cátion  $\text{Mg}^{2+}$  não melhorou a flotabilidade do berilo pré-tratado com HCl. Todavia, de maneira semelhante ao estudo com o cátion  $\text{Ca}^{2+}$ , o comportamento do berilo lavado com HF é influenciado pela presença de espécies de  $\text{Mg}^{2+}$ . Verifica-se que, utilizando o cole



tor lauril sulfato de sódio, a flotabilidade do mineral experimenta brusca elevação, atingindo um máximo em  $\text{pH}=10,5$ , seguida de forte queda para valores de  $\text{pH}$  maiores que  $11,0$ . No caso de sulfonato, observa-se ligeiro aumento da flotabilidade em  $\text{pH}=10,5$ , mostrando mais uma vez que este coletor é eficaz quando o mineral é ativado pelo HF. A máxima flotabilidade obtida na faixa de  $\text{pH}$  entre  $10,3$  e  $11,0$  deve relacionar-se, em ambos os casos, com a presença do hidróxido-complexo  $\text{MgOH}^+$  no sistema, conforme mostra o diagrama de estabilidade de espécies desse cátion e corroborada pela reversão do potencial zeta indicada em [8] para o cátion  $\text{Mg}^{2+}$ .

A depressão do berilo a partir de  $\text{pH}=11$  parece estar relacionada a formação e estabilidade do hidróxido de magnésio. Este fato também foi observado por Fuerstenau et al. [11] em pesquisa semelhante.

## 5) CONCLUSÕES

A flotabilidade do berilo é afetada pelo pré-tratamento superficial. No caso do mineral pré-tratado com HCl, a flotabilidade com lauril sulfato de sódio ou sulfonato de petróleo de sódio, na ausência de cátions metálicos, é elevada para valores de  $\text{pH}$  inferiores ao PIE (ponto isoelétrico), indicando que a adsorção dos ânions  $\text{RSO}_4^-$  e  $\text{RSO}_3^-$  é primariamente eletrostática. O pré-tratamento com HCl e HF modifica drasticamente a flotabilidade do berilo, fazendo com que esta seja elevada e ampliada em relação ao  $\text{pH}$ , tanto com lauril sulfato de sódio quanto com sulfonato de petróleo. Para valores de  $\text{pH}$  menores que o PIE a adsorção é predominantemente eletrostática e, de origem específica para valores de  $\text{pH}$  superiores ao PIE.

A presença de cátions metálicos na polpa de flotação, combinada com o pré-tratamento superficial do berilo, acarreta um

aumento significativo da flotabilidade com lauril sulfato de sódio e sulfonato de petróleo de sódio, nas faixas de pH correspondentes à maior concentração do primeiro e segundo (quando for o caso) hidróxo-complexos dos citados cátions. Por outro lado, a formação e a estabilidade dos hidróxidos metálicos têm ação depressora nestes sistemas. O mecanismo de adsorção é semelhante para todos os cátions metálicos, correspondendo à adsorção do ânion  $RSO_4^-$  ou  $RSO_3^-$  em sítios superficiais onde tenha ocorrido a adsorção específica inicial dos hidróxo-complexos metálicos.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à FINEP, CAPES, FAPERJ e Henkel Indústrias Químicas S.A. pelo apoio financeiro e logístico.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - Foot, D.G.; Benn, F.W.; Huvivatt, J.L.; Recovery of Fluorite and By-products from Fish Creek Deposit, Eureka Country, Nevada. Phy. Chem. Extractive Metallurgy Proc. Int. Symp., 1985: 251-252
- 2 - Fuerstenau, M.C.; Bhappy, R.B.; Sulfonate flotation of Beryl, Trans. AIME, 224, 1963: 164-167
- 3 - Browning, J.S.; McVay, T.L.; Bennett, F.E.; Continuous Flotation of Beryl from Spodumene Mill Tailing, Foote Mineral Company, Kings Mountain, N.C., U. S. Bureau of Mines, Report Investigations 6966, 1964, 24 p.
- 4 - Torem, M.L.; Peres, A.E.C.; Adamian, R.; Mecanismos de Flotação de Berilo: uma revisão da literatura; Anais do XIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, 1988, V.1, 59-74
- 5 - Torem, M.L.; Peres, A.E.C.; Adamian, R., Concentração de Berilo por Flotação: Revisão do Estado, da Arte; Anais do XIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, 1988, V.1, 75-89
- 6 - Fuerstenau, D.W.; Metzger, P.H.; Seele, G.D.; How to use This Modified Hallimond Tube for Best Flotation Testing, Engineering and Mining Journal, MARCH, 1957: 93-95

- 7 - Torem, M.L.; Mecanismos de Flotação de Berilo, Tese de Doutorado, COPPE/UFERJ, 1989, 205p.
- 8 - Torem, M.L.; Peres, A.E.C.; Adamian, R.; Determinação do Potencial Zeta do Mineral Berilo na Ausência/Presença de Cátions Metálicos, Trabalho a ser apresentado no XIV Enc. Nac. Trat. Min. e Hidromet., 1990, 16 p.
- 9 - Moir, N.D.; Stevens, J.R.; Studies Relating to the Flotation of Beryl, Trans. Inst. Mining and Metall. Section C, 1964: 371-373
- 10 - Matar, J.A.L.; Rudolph, C.G.; The Mechanism of Activation and Flotation of Beryl with Sodium Hexadecyl Sulfonate. In: Proc. VII Inst. Min. Proc. 1968, S-10, 10p.
- 11 - Fuerstenau, M.C.; Somasundaran, P.; Fuerstenau, D.W.; Metal Ion Hydrolysis and Surface Charge in Beryl Flotation, Trans. Inst. Mining Metallurgy, Section C, 1965: 381-391
- 12 - Escalera, S.J., Características de Flotation de Algunos Aluminosilicatos. In: Proceedings of Interam. Conf. Mater. Technology, 1975: 406-413
- 13 - Leone, C.M.L., Flotação de Berilo, Dissertação de Mestrado, UFMG, Belo Horizonte, 1984, 102 p.

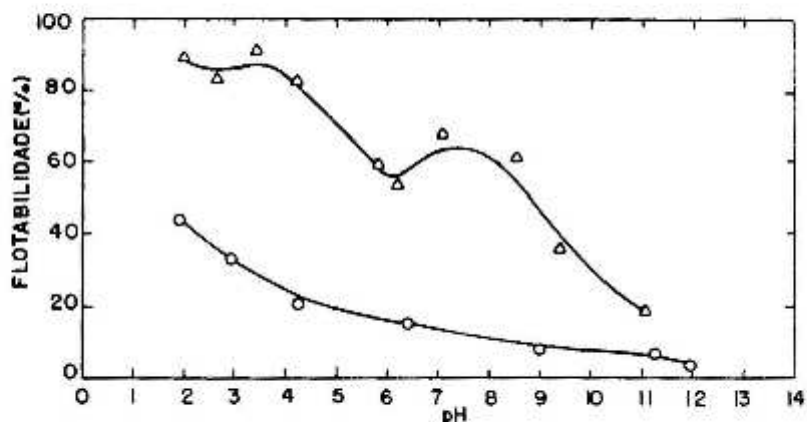


Figura 1 - Flotabilidade de berilo em função do pH com coletor lauril sulfato de sódio (LSS)  
 Δ berilo pré-tratado com HCl,  $5,0 \times 10^{-4}M$  LSS  
 ○ berilo pré-tratado com HCl e HF,  $5,0 \times 10^{-4}M$  LSS

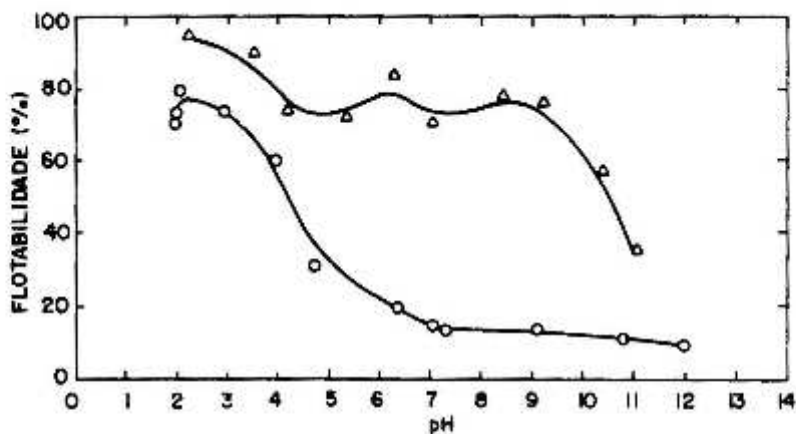


Figura 2 - Flotabilidade de berilo em função do pH com coletor sulfonato de petróleo de sódio (SPS)  
 Δ berilo pré-tratado com HCl,  $1,5 \times 10^{-3}M$  SPS  
 ○ berilo pré-tratado com HCl e HF,  $1,5 \times 10^{-3}M$  SPS

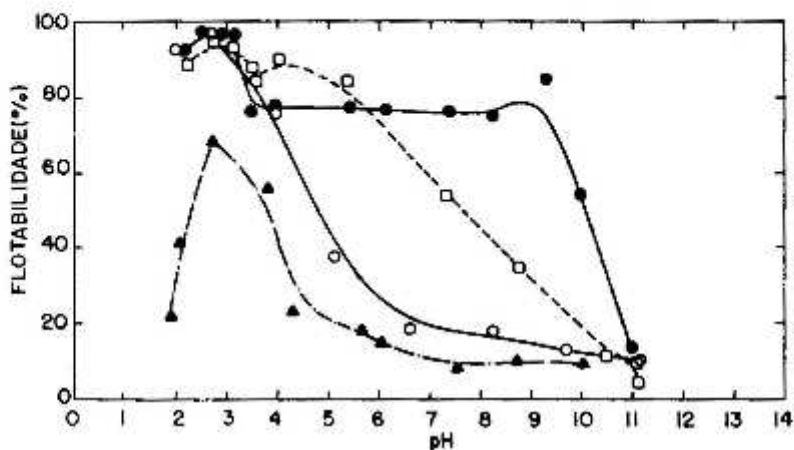


Figura 3 - Flotabilidade de berilo pré-tratado superficialmente em função do pH com coletor lauril sulfato de sódio (LSS) ou sulfonato de petróleo de sódio (SPS) na presença de  $10^{-4}M$  de  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$

- |                                    |                       |     |
|------------------------------------|-----------------------|-----|
| ▲ berilo pré-tratado com HCl,      | $5,0 \times 10^{-4}M$ | LSS |
| □ berilo pré-tratado com HCl e HF, | $5,0 \times 10^{-4}M$ | LSS |
| ○ berilo pré-tratado com HCl,      | $1,5 \times 10^{-3}M$ | SPS |
| ● berilo pré-tratado com HCl e HF, | $1,5 \times 10^{-3}M$ | SPS |

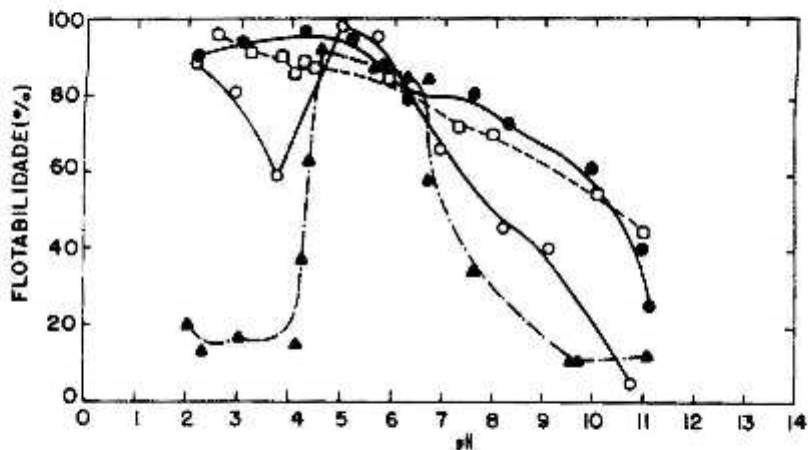


Figura 4 - Flotabilidade de berilo pré-tratado superficialmente em função do pH com coletor lauril sulfato de sódio (LSS) ou sulfonato de petróleo de sódio (SPS) na presença de  $10^{-4}M$  de  $AlCl_3 \cdot 6H_2O$

- |                                    |                       |     |
|------------------------------------|-----------------------|-----|
| ▲ berilo pré-tratado com HCl,      | $5,0 \times 10^{-4}M$ | LSS |
| □ berilo pré-tratado com HCl e HF, | $5,0 \times 10^{-4}M$ | LSS |
| ○ berilo pré-tratado com HCl,      | $1,5 \times 10^{-3}M$ | SPS |
| ● berilo pré-tratado com HCl e HF, | $1,5 \times 10^{-3}M$ | SPS |

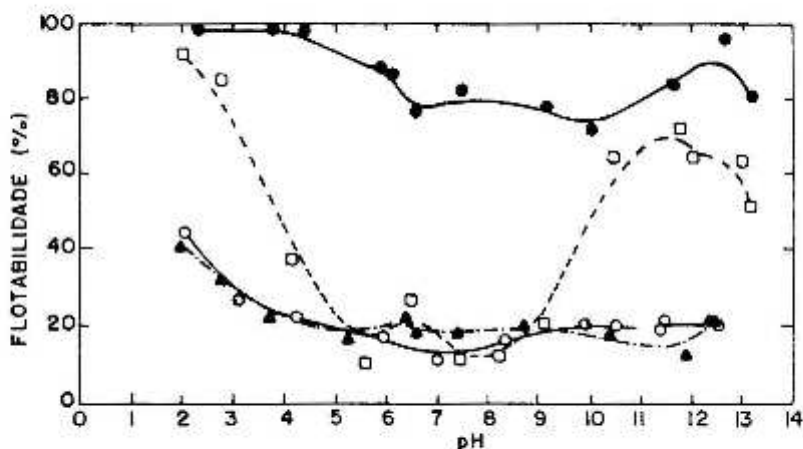


Figura 5 - Flotabilidade de berilo pré-tratado superficialmente em função do pH com coletor lauril sulfato de sódio (LSS) ou sulfonato de petróleo de sódio (SPS) na presença de  $10^{-4}M$  de  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$

- ▲ berilo pré-tratado com HCl,  $5,0 \times 10^{-4}M$  LSS
- berilo pré-tratado com HCl e HF,  $5,0 \times 10^{-4}M$  LSS
- berilo pré-tratado com HCl,  $1,5 \times 10^{-3}M$  SPS
- berilo pré-tratado com HCl e HF,  $1,5 \times 10^{-3}M$  SPS

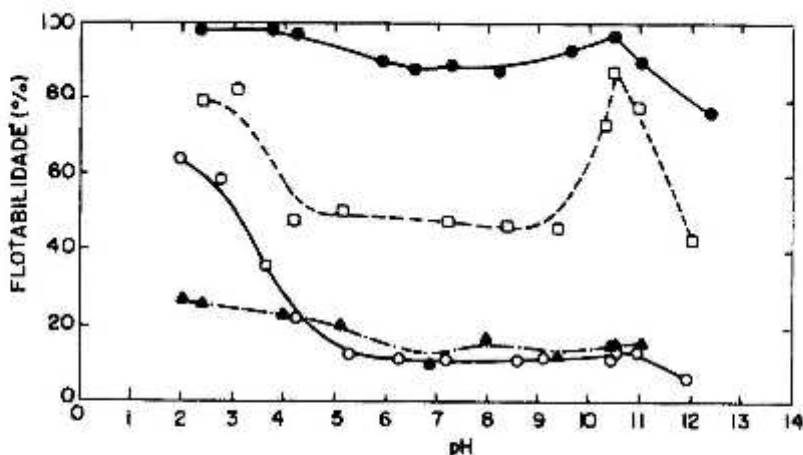


Figura 6 - Flotabilidade de berilo pré-tratado superficialmente em função do pH com coletor lauril sulfato de sódio (LSS) ou sulfonato de petróleo de sódio (SPS) na presença de  $10^{-4}M$  de  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$

- ▲ berilo pré-tratado com HCl,  $5,0 \times 10^{-4}M$  LSS
- berilo pré-tratado com HCl e HF,  $5,0 \times 10^{-4}M$  LSS
- berilo pré-tratado com HCl,  $1,5 \times 10^{-3}M$  SPS
- berilo pré-tratado com HCl e HF,  $1,5 \times 10^{-3}M$  SPS