

**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**ESTUDO EXPERIMENTAL DA FLOTAÇÃO DIRETA DE  
HEMATITA**

PMI-500 — Trabalho de Formatura  
em Engenharia de Minas

Lia Fernandes - nº 1771610

1995

**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**ESTUDO EXPERIMENTAL DA FLOTAÇÃO DIRETA DE  
HEMATITA**

PMI-500 — Trabalho de Formatura  
em Engenharia de Minas

Lia Fernandes - n° 1771610

1995

## **Índice**

**Resumo, 3**

**1- Introdução, 4**

**1.1- Importância econômica dos recursos minerais de ferro, 4**

**1.2- Rotas industriais de processo, 5**

**1.3- Possível interesse pela flotação direta, 5**

**2- Ensaios realizados, 7**

**3- Resultados, 9**

**4- Discussão, 10**

**5- Conclusões, 12**

**6- Anexos, 13**

**7- Bibliografia, 14**

## Resumo

A rota convencional de processo de concentração de minério de ferro não magnético consiste na flotação reversa da sílica, seu principal mineral de ganga; tal procedimento impõe-se no caso de altos teores, situação da maior parte do minério aproveitado atualmente no Brasil.

Entretanto, questões relativas à disponibilidade de reservas, bem como problemas de gerenciamento ambiental, levam ao interesse observado atualmente pelo aproveitamento de minérios mais pobres. Neste caso, cumpre investigar a possibilidade da flotação direta da hematita; tal é o objetivo deste trabalho.

## 1- Introdução

### 1.1- Importância econômica dos recursos minerais de ferro

O ferro, elemento abundante na crosta da Terra (5,6%) é o metal mais consumido pela humanidade; a demanda mundial de minério de ferro é da ordem de 1 bilhão de toneladas anuais, sendo os principais produtores [12]:

Produção, $10^6$ t/ano (1991)	
ex-URSS	198,4
China	175,6
Brasil	150,1
Austrália	121,8
EUA	55,6
Índia	54,7

Da produção nacional, cerca de 120 milhões t/ano destinam-se ao mercado externo. O valor total das exportações em 1991 foi de US\$ 2,7 bilhões (80% do valor da produção mineral brasileira, excluindo-se o petróleo).

Os principais minerais de minério de ferro são [12]:

- magnetita ( $Fe_3O_4$ ), característica de depósitos de segregação magmática, como os existentes na Escandinávia;
- hematita ( $Fe_2O_3$ ): apresenta-se em depósitos sedimentares (os quais apresentam teores de 30% a 35% Fe) ou sedimentares-metamórficos (depósitos sedimentares que sofreram enriquecimento supergênico, apresentando teores superiores a 60% Fe).

Nos depósitos sedimentares/sedimentares-metamórficos, os principais tipos de protominério são o *itabirito* e o *jaspilito*; em ambos os casos, a hematita é associada ao quartzo.

As jazidas brasileiras são predominantemente sedimentares-metamórficas; este tipo de depósito responde por 90% da produção mundial.

As reservas brasileiras são de 6,5 bilhões de toneladas de ferro (contido em 11,7 bilhões de toneladas de minério). Em 1990, a produção nacional era suprida por 142 minas, havendo outras 56 paralisadas. [1]

Os principais depósitos localizam-se na região do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais), na Serra dos Carajás (Pará) e Morro do Urucum (Mato Grosso do Sul); à exceção dos depósitos de Urucum (de origem sedimentar), os concentrados são obtidos a partir de minério de alto teor (o teor médio do minério alimentado nas usinas brasileiras foi de 66% Fe). [10]

### **1.2- Rotas de processo**

A flotação é o processo convencional de beneficiamento, sendo a sílica o principal mineral de ganga (além, eventualmente, de apatita e pirita). Havendo magnetita associada, esta é previamente retirada por separação magnética.

O processo pode ser realizado como segue [8,3]: (Schubert, Gaudin-Flotation)

- flotação direta com coletores aniônicos (ácido oléico ou outro ácido graxo): foi objeto de estudos realizados por Gustav Bring, na Suécia (década de 30), no que foi seguido por outros autores [3,6,7].

Ensaios mais recentes foram realizados no Brasil com itabiritos de baixo teor, buscando-se investigar a viabilidade dessa rota de processo [9]; os resultados obtidos foram semelhantes aos observados no processo convencional; a flotação direta, no entanto, apresentaria como vantagens um menor consumo de reagentes e maior facilidade de controle ambiental;

- flotação reversa com coletores aniônicos (ácidos graxos): flota-se a sílica em meio alcalino ( $\text{pH} > 11,0$ ), utilizando-se amido como depressor da hematita. Essa alternativa é analisada nas referências [ 4,5,7];
- flotação reversa com coletores catiônicos (aminas): flota-se a sílica em meio alcalino; como no caso anterior, amido é utilizado como depressor da hematita. Essa é a rota convencional no Brasil, tendo seu uso sido iniciado em 1977 pela SAMARCO [11].

### **1.3- Possível interesse pela flotação direta**

Para minério de alto teor (mais de 65% Fe), o processo mais conveniente é a flotação reversa, pelo fato de exigir a flotação de volumes menores. Já no caso de teores

mais baixos, essa vantagem não existe ou se mostra menos importante. Esse fato leva ao interesse pelo estudo da flotação direta.

No caso brasileiro, ainda existem grandes volumes de minérios ricos; entretanto, diversas razões podem levar ao interesse pela extração de minérios de baixo teor:

- maior vida útil da reserva (especialmente importante no caso de pequenos depósitos);
- possibilidade de adiamento dos investimentos acarretados pelo fim das atividades de lavra;
- maior flexibilidade no planejamento;
- menores massas de estéril;
- razões sócio-econômicas.

Conforme anteriormente citado [9], no que se refere ao controle ambiental, a alternativa da flotação aniônica parece mais interessante que o processo convencional; isso se deve a duas razões:

- possibilidade de se efetuar o processo em patamares inferiores de pH;
- o fato de os reagentes utilizados (ácidos graxos) serem mais facilmente biodegradáveis.

Contudo, uma comparação entre as duas rotas de processo deve levar em conta não somente os aspectos técnicos, mas também fatores econômicos, tais como preço de reagentes e interesse pelo aproveitamento de minérios pobres. O uso industrial desse novo processo, hoje, envolveria riscos e investimentos elevados.

## 2- Ensaios realizados

Foram realizadas 5 séries de ensaios de flotação direta de hematita. O minério (do tipo *blue dust*), proveniente de Itabira, foi cedido pela Companhia Vale do Rio Doce. A análise granulométrica (vide Anexo I) revelou os seguintes resultados:

+100#	0,6%
-100+150#	4,9%
-150+200#	12,4%
-200+270#	19,3%
-270+400#	22,4%
-400#	40,4%

O material foi ainda submetido a análise química, que apresentou os seguintes resultados:

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,904%	TiO <sub>2</sub>	0,031%
SiO <sub>2</sub>	2,596%	CaO	0,024%
P	0,013%	Mn	0,020%
MgO	0,009%	Fe	67,320%

A amostra inicial, de 16 kg, foi homogeneizada, quarteada e dividida em alíquotas de 200 g (massa utilizada nos ensaios). Estes foram efetuados em escala de bancada, nas seguintes condições:

- célula Denver, cuba de 1,5 l de capacidade;
- rotação: 1100 rpm;
- água destilada;
- coletor: tall-oil;
- regulagem do pH por meio de soluções de HCl e/ou NaOH;
- depressor de quartzo: nenhum;
- tempo de condicionamento: 30 segundos;
- coleta da espuma: até a ausência de mineralização na mesma.

Na primeira série de ensaios, buscou-se determinar as melhores dosagens (séries 1 e 2); estas foram testadas na faixa de 10 a 200 g/t. Decidiu-se então efetuar novos testes às dosagens de 50 e 100 g/t.

À temperatura de 20 °C (série 3), foram obtidas altas recuperações em massa a 100 g/t; dessa forma, os ensaios com água a 40 °C (séries 4 e 5) foram restritos a 50 g/t. Portanto, essa dosagem (50 g/t) foi escolhida para uma abordagem sistemática. Os resultados dos ensaios estão apresentados no Anexo II.

### 3- Resultados

Tendo-se os resultados da análise química dos produtos dos ensaios, as recuperações de sílica e ferro foram calculadas de acordo com a expressão:

$$R_i = (t_{if} \cdot m_f) / (t_i \cdot m), \text{ sendo:}$$

- $t_{if}$ : teor do elemento no concentrado
- $m_i$ : massa do concentrado
- $t_i$ : teor do elemento na alimentação
- $m$ : massa alimentada

Os resultados são apresentados nas tabelas 1 e 2, bem como nos gráficos 1 a 3.

		pH=8,0	pH=9,0	pH=10,0	pH=11,0
20 °C	SiO <sub>2</sub>	22,8 %	39,4 %	30,7 %	37,5 %
20 °C	Fe	66,2 %	83,1 %	84,8 %	92,8 %
40 °C	SiO <sub>2</sub>	29,5 %	45,6 %	38,9 %	41,8 %
40 °C	Fe	92,3 %	98,7 %	99,2 %	99,6 %

Tabela 1- Recuperações de sílica e ferro x pH

	pH=8,0	pH=9,0	pH=10,0	pH=11,0
20 °C	43,4 %	43,7 %	54,0 %	55,3 %
40 °C	62,8 %	53,1 %	60,3 %	57,7 %

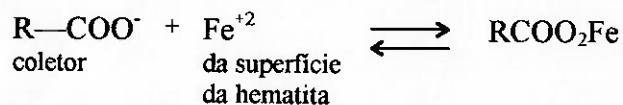
Tabela 2- Janela de seletividade<sup>1</sup> x pH

<sup>1</sup> Janela de seletividade: diferença entre as recuperações de sílica e ferro

#### 4- Discussão

Os ensaios foram realizados em pH alcalino; nessa condição, quartzo e hematita têm carga superficial negativa, uma vez que o PCZ (ponto de carga zero) do quartzo é 2,5 e o da hematita, 6,5.

Como o grupo polar do coletor também tem carga negativa, não deverá ocorrer adsorção física (atração eletrostática). Portanto, a interação hematita-coletor é de natureza química, podendo ser esquematizada como segue:



A sílica, por sua vez, não tem íons metálicos em sua superfície; sua interação com o coletor é explicada pela ação de íons provenientes da polpa (provavelmente  $\text{Fe}^{+2}$  e  $\text{Fe}^{+3}$ ), que ativam a superfície da sílica, conferindo-lhe carga líquida positiva.

Dos gráficos 4 e 5, extraídos de [2], temos que, enquanto para o íon  $\text{Fe}^{+2}$  o 1º hidroxocomplexo ocorre na faixa de pH entre 8 e 9, para o íon  $\text{Fe}^{+3}$  tal se dá na entre pH 2 e 3.

Dessa forma, a ativação da sílica (no caso em estudo) deve ter seu máximo na faixa de pH de 8 a 9, o que explica a menor seletividade constatada nesses valores de pH a 20 °C.

O aumento da temperatura favorece a interação química; o mesmo não se pode dizer quanto à adsorção física, uma vez que aumenta o caos molecular; dessa forma, explica-se a maior seletividade a 40 °C.

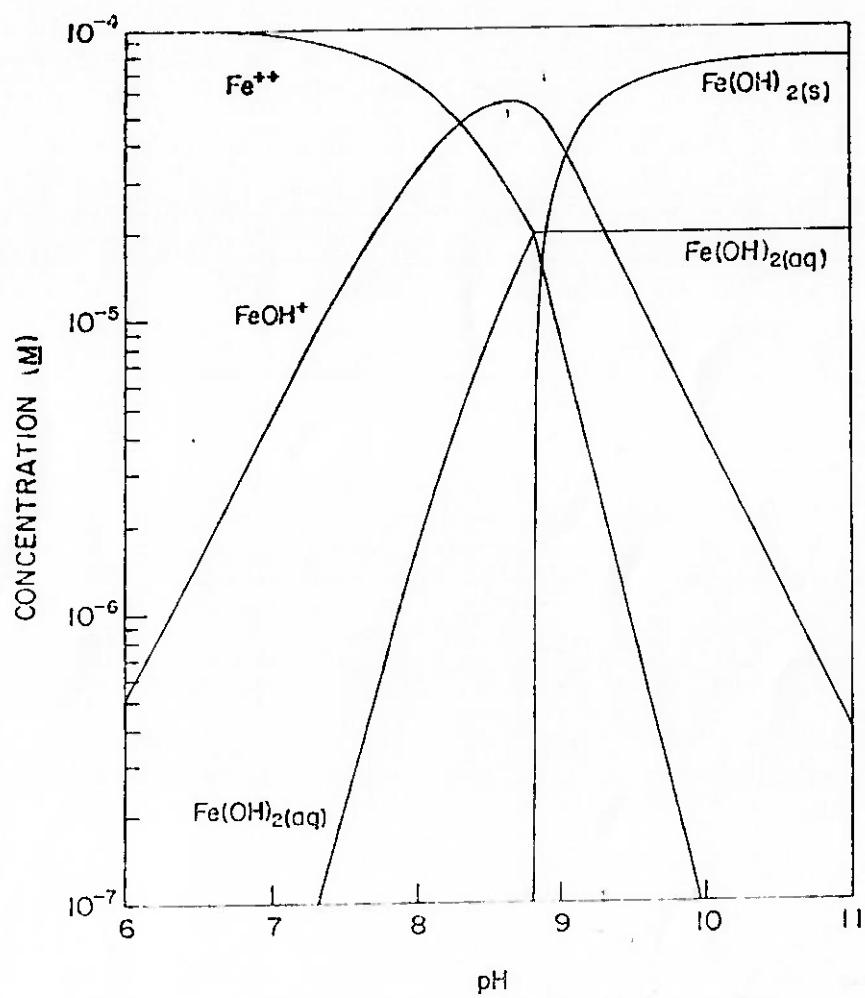


Gráfico 4 - Diagrama de concentrações,  $\text{Fe}^{+2}$  a  $10^{-4}$  M

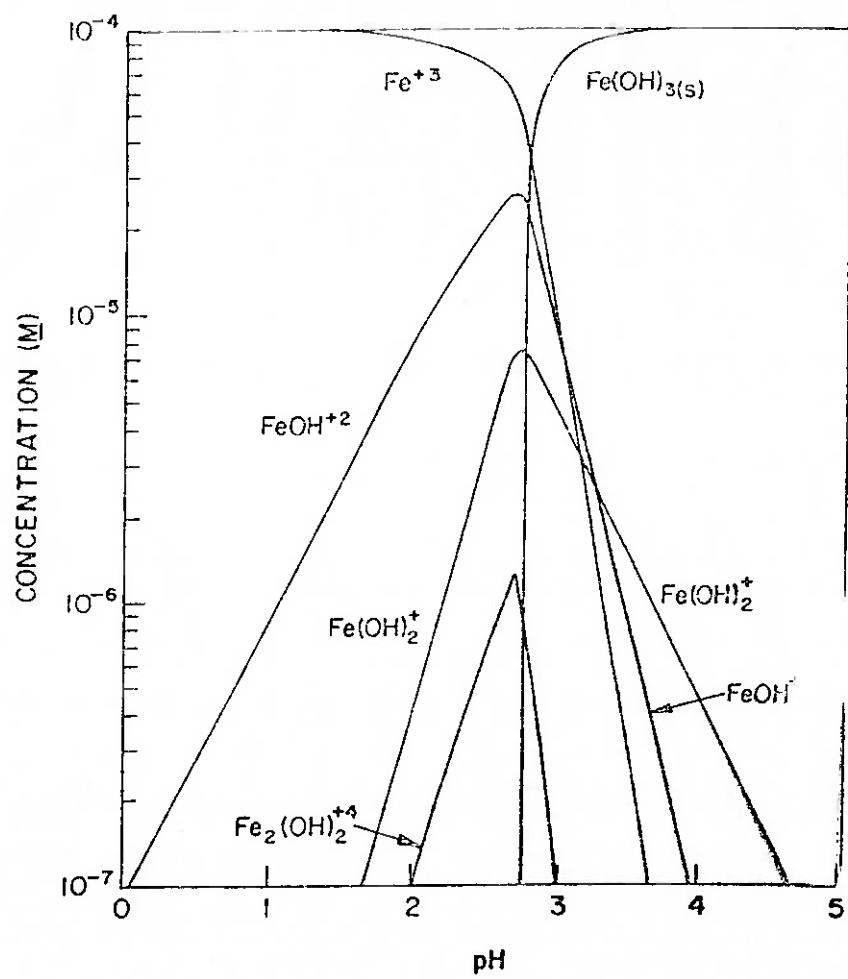


Gráfico 5 - Diagrama de concentrações,  $\text{FeCl}_3$  a  $10^{-4}$  M

## **5- Conclusões**

O estudo apresentado neste trabalho, por envolver ensaios em escala de bancada e minério de alto teor, apresenta resultados que, apesar de promissores, não são conclusivos a respeito da viabilidade do processo na indústria; contudo, é possível elucidar alguns dos mecanismos interferentes.

Além disso, cabe ressaltar o interesse no desenvolvimento de novas alternativas de processo, tendo-se para isso uma motivação relativamente recente, que é a questão ambiental.

**6- Anexos**

Anexo I - Análise granulométrica do material ensaiado

Anexo II - Resultados dos ensaios das séries 1 a 5

# MALVERN Instruments SB.08

Certificado 384/94 - LIA/PMI

Amostra: HEMATITA

Meio de Dispersão: álcool

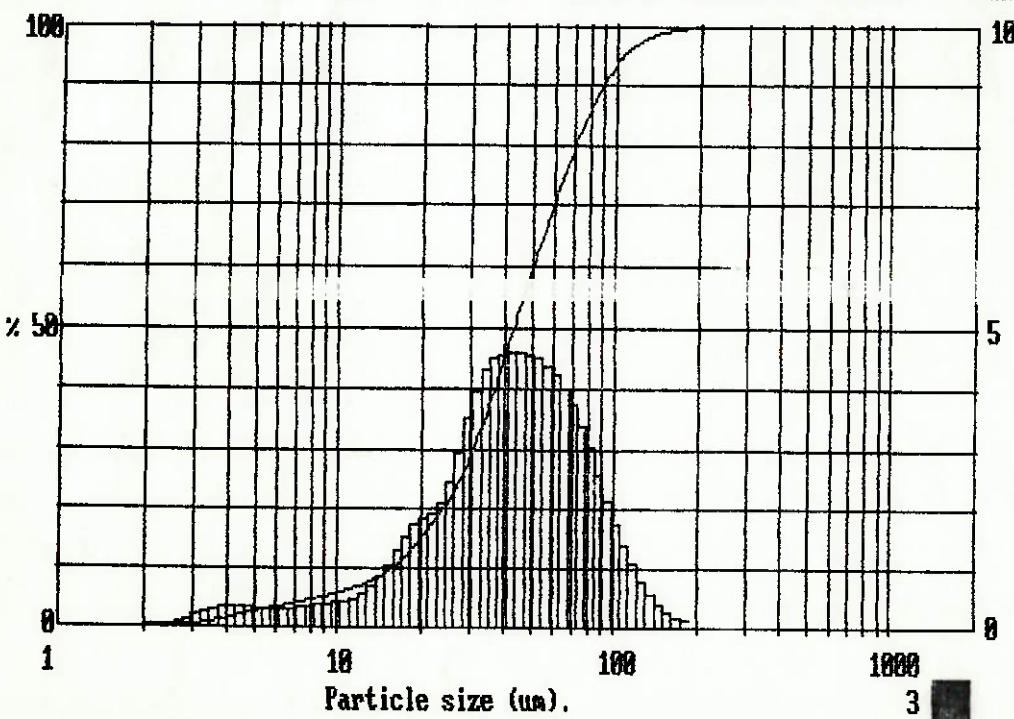
Lente: 63mm

Dp.: Dora

0000020463  
Data: 15/09/95

2724 pil 1KV1654 \*\*ALARMS SET B D \*\*

High Under Size %	High Under Size %	High Under Size %	High Under Size %	High Under Size %	High Under Size %	High Under Size %	Span 1.70
188	100	84.5	88.5	38.0	42.7	17.1	D <sub>4,3</sub> 48.30 $\mu$ m
175	99.9	78.6	85.5	35.4	38.2	15.9	
163	99.7	73.1	82.1	32.9	33.9	14.8	
151	99.4	68.0	78.3	30.6	29.9	13.7	D <sub>3,2</sub> 26.41 $\mu$ m
141	99.0	63.2	74.3	28.4	26.4	12.8	
131	98.4	58.8	70.0	26.4	23.4	11.9	
122	97.5	54.7	65.6	24.6	20.9	11.1	D <sub>1v, 0.9</sub> 87.90 $\mu$ m
113	96.5	50.8	61.1	22.9	18.8	10.3	
105	95.1	47.3	56.5	21.3	16.8	9.56	
97.8	93.3	44.0	51.9	19.8	14.9	8.89	D <sub>1v, 0.11</sub> 15.58 $\mu$ m
90.9	91.2	40.9	47.3	18.4	13.2	8.27	
Source = :Sample		Beam length = 2,4 mm		Model indp			
Focal length = 100 mm		Log. Diff. = 3.347					
Presentation = pil		Obscuration = 0.2549		Volume Conc. = 0.1084 x			
		Volume distribution		Sp. S.A 0.2272 $m^2/cc$			



Ensaios: séries 1 a 5

Coletor: Tall-oil destilado finlandês

Data: 30/10/95

Série	Cód. ens.	Dosagem, g/t	pH	Temp, C	Volume de água, ml	Rec. em massa, %
1	9	10	8,0	20	1200	12,0%
2	2	25	9,0	40	1330	55,8%
2	3	25	9,0	40	1300	57,5%
1	7	25	9,1	21	1500	17,9%
3	3	50	8,0	20	1300	64,2%
3	5	50	8,0	21	1380	66,4%
4	5	50	8,0	40	1430	90,4%
3	17	50	8,9	20	1430	83,7%
3	7	50	9,0	21	1430	81,1%
4	3	50	9,0	40	1450	98,0%
5	7	50	10,0	20	1300	77,8%
5	5	50	10,0	40	1360	98,9%
5	8	50	10,0	40	1260	97,7%
5	2	50	10,1	20	1250	90,3%
5	3	50	11,0	20	1260	91,7%
3	6	50	11,0	21	1420	91,7%
4	1	50	11,0	40	1500	98,3%
5	6	50	11,0	40	1350	98,9%
3	12	100	7,9	22	1360	96,7%
3	10	100	8,0	22	1480	96,0%
3	8	100	9,0	22	1500	96,4%
3	9	100	9,0	22	1400	95,9%
3	11	100	10,1	22	1500	95,4%
3	13	100	10,1	22	1400	97,0%
2	8	100	10,2	40	1380	95,6%
2	6	100	10,4	40	1380	97,9%
1	3	100	10,5	20	1250	94,0%
1	2	100	10,8	20	1300	96,2%
2	7	200	10,8	40	1400	99,0%
1	4	200	11,1	20	1350	95,1%
1	5	200	11,2	20	1450	95,9%

Gráfico 1 - Recuperação x pH

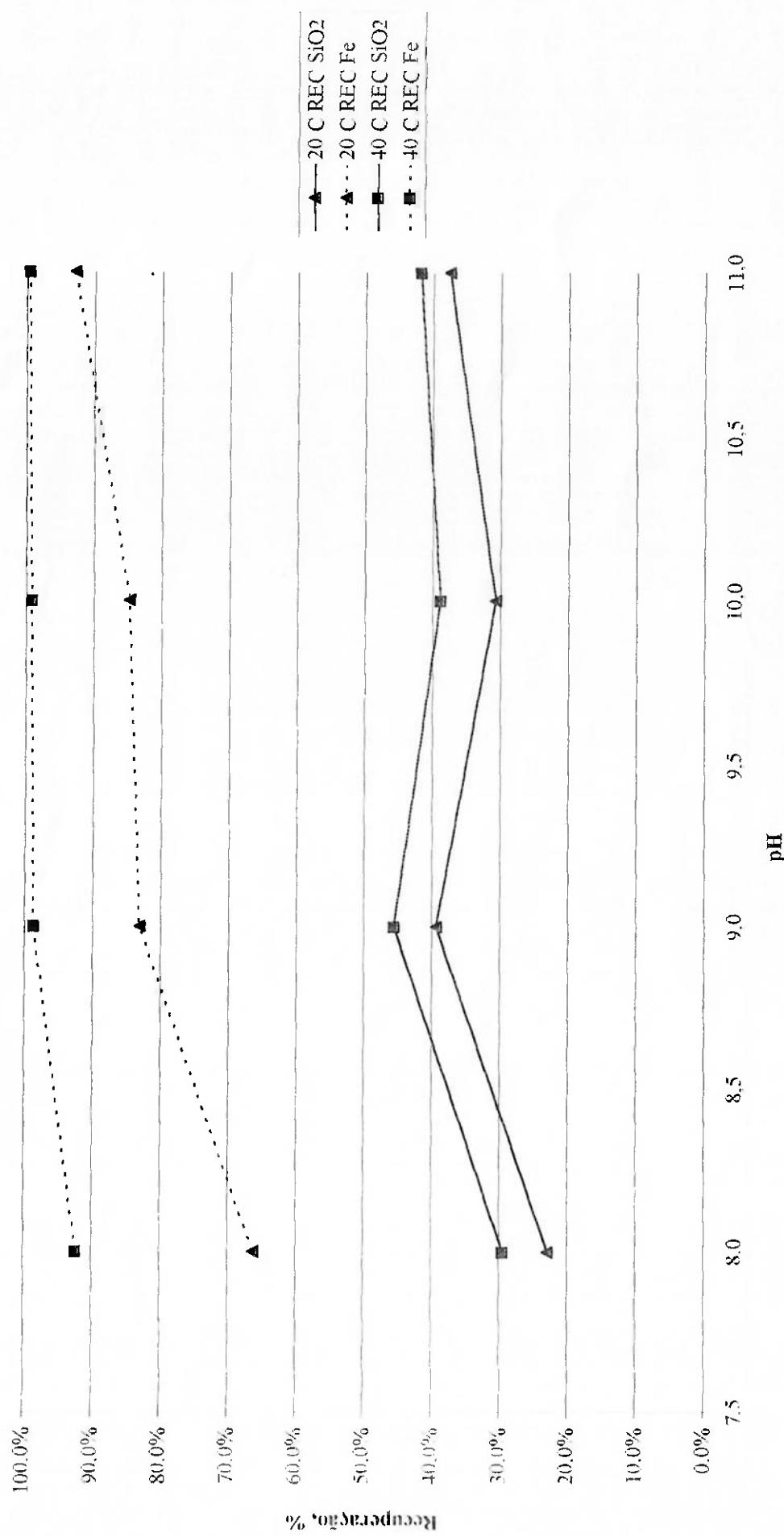


Gráfico 2- Recuperação x temperatura

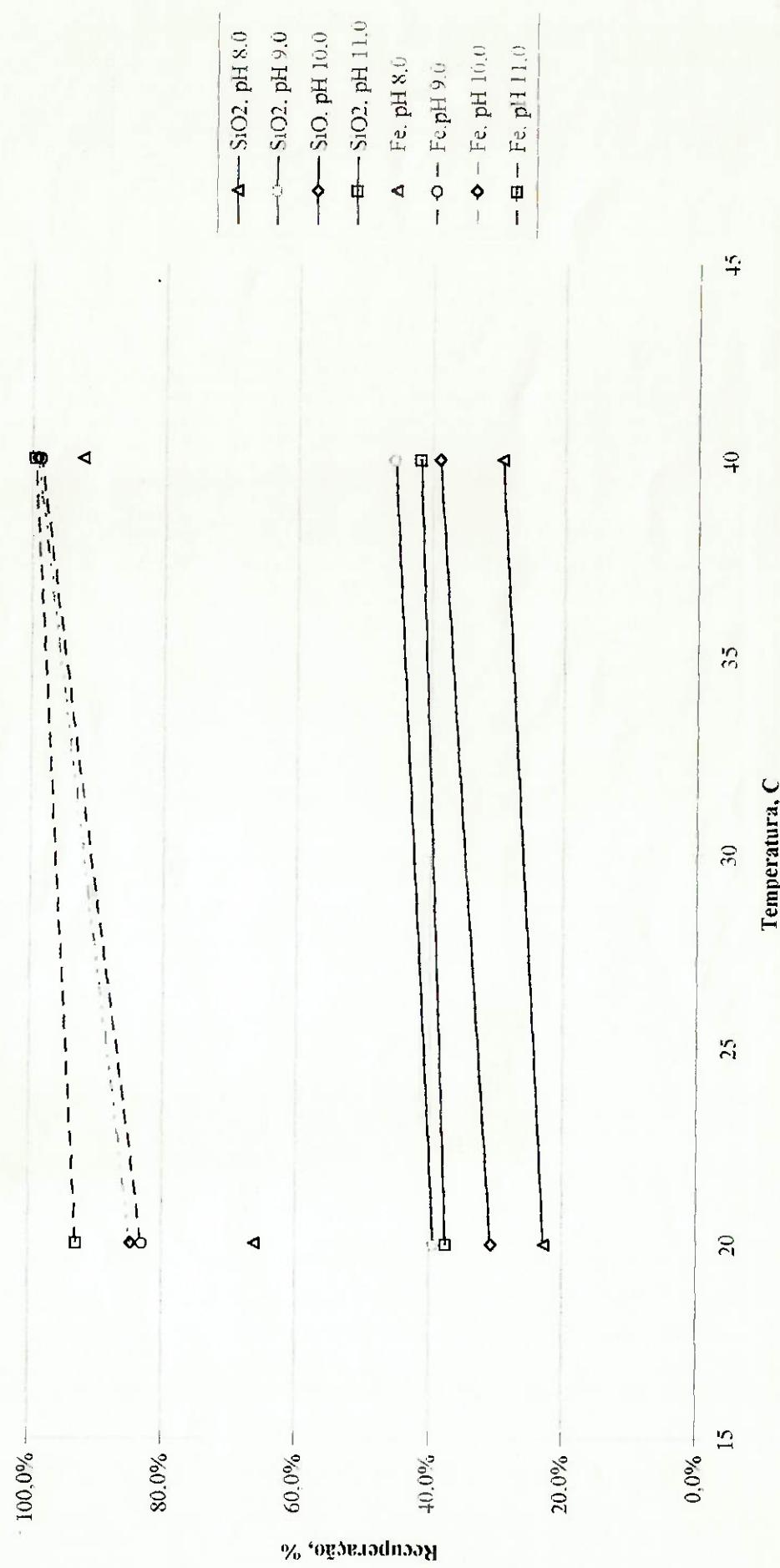
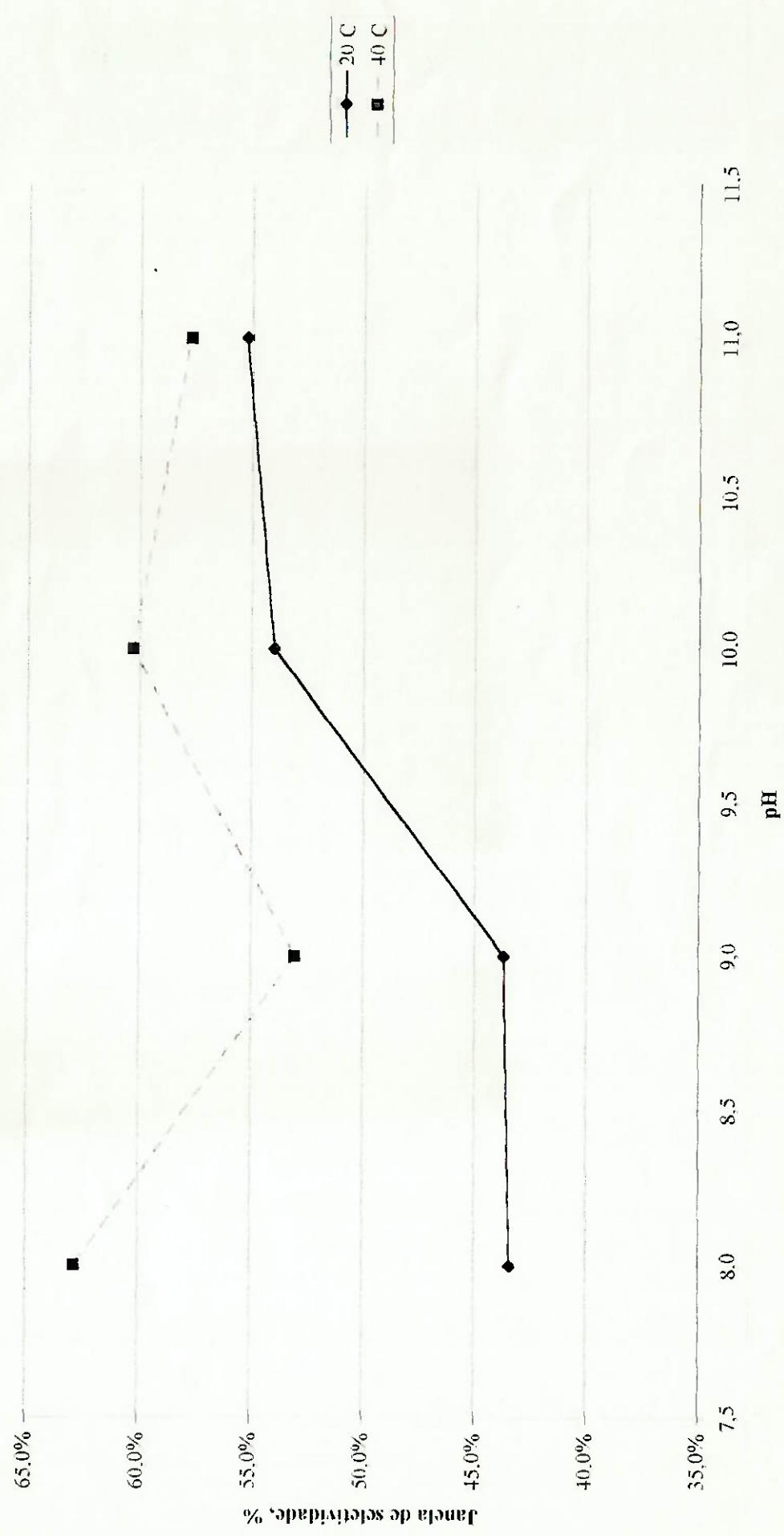


Gráfico 3 - Janela de seletividade x pH



## 7- Bibliografia

1. DNPM - Anuário Mineral Brasileiro. Brasília, 1991, p. 293-312.
2. FUERSTENAU, M.C. - Flotation: A. M.Gaudin Memorial Volume; M.C. Fuerstenau Editor. American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers. New York, 1976. v. I, p.164;169.
3. GAUDIN, A. M. Flotation. Mc Graw Hill, 2<sup>a</sup> ed.; New York, p.460-461; 475-478, 1957.
4. GUTIÉRREZ, C.; ISKRA, J. - The action of neutral oleic acid in the flotation of hematite. International Journal of Mineral Processing, 4 (1977),Elsevier, Amsterdam, 1977, p.163-171.
5. JACOBS, H.D. - Beneficiation of western Mesabi Range oxidized taconites. Report of Investigation, USBM, 8552,81.
6. KIHLSTEDT, P.G. - Flotation of hematite ores with tall oil emulsions. International Mineral Dressing Congress, Estocolmo, 1957.
7. PINDRED, A; MEECH, J.A. - Interparticular phenomena in the flotation of hematite fines. International Journal of Mineral Processing, 12 (1984), Elsevier, Amsterdam ,1984, p. 193-212.
8. SCHUBERT, H.I. - Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. VEB Verlag, Leipzig, 1967, v. 2; p.376.
9. VIEIRA, A.M.; SALUM, M.J.G. - Estudo comparativo de aproveitamento de um itabirito de baixo teor em ferro por flotação direta e reversa. Anais do XVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, Rio de Janeiro, 1995, v.I, p.397-407.
10. CROWSON, P. - Minerals Handbook - 1992/93 - Stockton Press, New York, 1993.
11. ARAÚJO, A.C.; PERES, A.E.C. - Froth flotation: relevant facts and the Brazilian case. Série Tecnologia Mineral, nº 70; MCT/CNPq/CETEM. Rio de Janeiro, 1995.
12. DAMASCENO, E.C. - Economia Mineral do Ferro. Escola Politécnica da USP, não publicado, 1993.