



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL  
MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA  
DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

# ALTERNATIVA PARA O BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO DE MANGANÊS DE URUCUM CORUMBÁ - MS

Série Tecnologia Mineral	Nº 32	Seção Beneficiamento	Nº 20	Brasília	1984
-----------------------------	-------	----------------------	-------	----------	------

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA  
Cesar Cals - Ministro de Estado

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL  
Yvan Barretto de Carvalho - Diretor Geral

DIVISÃO DE FOMENTO DA PRODUÇÃO MINERAL  
Manoel da Redenção e Silva - Diretor

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL  
Roberto C. Villas Bôas - Superintendente

Autores : Lúcia Maria Cabral de Góes e Silva \*  
Lélio Fellows Filho \* \*

## ALTERNATIVA PARA O BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO DE MANGANÊS DE URUCUM CORUMBÁ-MS

Execução e elaboração do trabalho pelo  
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL - CETEM  
Através do convênio DNPM/CPRM

\* Eng. Metalúrgica, M.Sc. Eng. Metalúrgica  
\* \* Eng. Metalúrgico

Publicação do Departamento Nacional da Produção Mineral  
Setor de Autarquias Norte  
Quadra 01 - Bloco B - Telex (061)1116  
70000 - Brasília (DF) - Brasil

Copyright 1984  
Reservados todos os direitos  
Permitida a reprodução, desde que mencionada a fonte

Depósito Legal  
Biblioteca Nacional do Rio de Janeiro  
Instituto Nacional do Livro

Brasil.DNPM

Alternativa para o beneficiamento do minério de manganês de Urucum, Corumbá, MS/Lucia M. C. de Góes e Silva. - Brasília, 1984.

...p.: il. - (Brasil, DNPM. Série Tecnologia Mineral; 32. Seção Beneficiamento; 20)

"Trabalho executado pelo Centro de Tecnologia Mineral, através do Convênio DNPM/CPRM.

Bibliogr.

1. Tecnologia Mineral - Brasil. I. Silva, Lucia M.C. de Góes e. II. Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro. III. Título. IV. Série.

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO .....	01
2. ENSAIOS DE SEPARAÇÃO MAGNÉTICA DO MINÉRIO DE URUCUM, PRÉ-REDUZIDO COM CARVÃO VEGETAL .....	03
2.1. Ensaio Preliminares - Pré-redução com Carvã o Vegetal .....	03
2.2. Otimização dos Parâmetros de Pré-redução e Separação Magnética .....	10
3. ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO AQUOSA E SULFÚRICA PARA REDUÇÃO DO TEOR DE ÁLCALIS DO MINÉRIO DE URUCUM .....	13
4. CONCLUSÕES .....	23
5. BIBLIOGRAFIA .....	26



São apresentados os resultados experimentais de ensaios realizados no Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, em escala de laboratório, relativos ao desenvolvimento de um processo tecnológico voltado à elevação da relação manganês/ferro e redução do teor de álcalis do minério de manganês da Mina de Urucum, Corumbá-MS. O processo tecnológico de desenvolvido possibilitou, através de pré-redução do minério com finos de carvão vegetal e separação magnética de baixa intensidade, a obtenção de concentrados com relação manganês/ferro superior a 7,0, bem como, através de lixiviação aquosa do minério pré-reduzido, a remoção de cerca de 70% dos álcalis nele contidos. O referido processo é uma alternativa para a utilização do minério de Urucum na fabricação de ligas ferro-manganês e, ainda, sais de manganês e/ou manganês eletrolítico.

## ABSTRACT

This publication presents the experimental results of several series of tests, in laboratory scale, performed by the "Centro de Tecnologia Mineral - CETEM", with the purpose of establishing a technological process for improving the manganese/iron relation and reducing the alkali content of the manganese ore from Urucum Mine, Corumbá-MS. The technological process developed allowed the obtention of concentrates with a manganese/iron relation greater than 7.0, by means of ore pre-reduction with charcoal fines and low-intensity magnetic separation, and the removal of approximately 70% of the alkali contained in the ore through aqueous leaching of the pre-reduced ore. This is an alternative to the use of Urucum manganese ore in the production of manganese-iron alloys and of manganese salts, manganese dioxide or electrolytic manganese as well.

## 1. INTRODUÇÃO

O minério de manganês da mina de Urucum, situada no município de Corumbá - MS, a cerca de 40km do centro da cidade, é explorado pela Urucum Mineração S.A. Este minério é do tipo compacto, possuindo baixa relação Mn/Fe ( $< 7,0$ ) e alto teor de álcalis. A lavra é subterrânea, utilizando o processo de câmaras e pilares. A maioria do minério de manganês produzido pela Urucum Mineração é comercializada na forma "RUN OF MINE" ( $< 6$ "). Esta forma representa, aproximadamente, 80% do total das vendas desse minério. Por outro lado, é comercializado também o minério lavado (1/4" x 4"). Entretanto, a lavagem não traz melhoria significativa ao produto, quer no teor de manganês, quer na relação Mn/Fe. O minério de manganês de Urucum destina-se, na sua maioria, ao mercado externo, sendo o parque siderúrgico argentino o maior comprador. No mercado interno, sua participação é pequena, atendendo às necessidades de duas empresas de São Paulo: Prometal e Cia. Cimento Portland Maringá. Entretanto, devido não somente a problemas financeiros na Argentina, mas também a problemas técnicos (baixa relação Mn/Fe e alto teor de álcalis), as vendas da empresa para o exterior vêm sendo prejudicadas (1).

O presente trabalho é fruto de um projeto desenvolvido em conjunto pelo Centro de Tecnologia Mineral - CETEM e a Universidade Técnica de Berlim - UTB, objetivando estabelecer um processo tecnológico que viabilizasse o beneficiamento do minério de manganês da mina de Urucum. Este projeto foi realizado em três etapas (1):

- (a) Ensaio objetivando a elevação da relação Mn/Fe - desenvolvido no CETEM;
- (b) Ensaio objetivando a redução do teor de álcalis - desenvolvido na UTB;
- (c) Otimização de um processo conjunto de elevação da relação Mn/Fe e redução do teor de álcalis - desenvolvida no CETEM com a participação do Eng<sup>o</sup> Stefan Michaelis, da UTB.

Neste trabalho são apresentados os resultados experimentais, em escala de bancada, relativos às etapas (a) e (c), acima mencionadas.

Deve-se ressaltar que os impasses existentes quanto à utilização do minério de Urucum no mercado interno, na produção de ligas ferro-manganês, decorrem, principalmente, da sua baixa relação Mn/Fe ( $\sim 4,5$ ) e situação geográfica desfavorável, e não do seu teor de álcalis, uma vez que essa produção é realizada em fornos elétricos.

A caracterização tecnológica do minério de Urucum indica um intercrescimento criptomelana/hematita, com grãos da ordem de  $3\mu\text{m}$ , que inviabiliza a maioria dos tratamentos físicos e físico-químicos convencionais objetivando o aumento da relação Mn/Fe no referido minério.

O processo desenvolvido consiste na pré-redução do minério de Urucum com carvão vegetal, seguida de separação magnética de baixa intensidade, em separador de disco. A pré-redução do minério implica na formação de compostos suscetíveis a um campo magnético de baixa intensidade, tais como: magnetita, ferro metálico e, provavelmente, jacobsita, possibilitando, através de separação magnética, a obtenção de concentrados com relação Mn/Fe  $> 7,0$ .

Finalmente, é apresentado o fluxograma do processo tecnológico desenvolvido, visando tanto a elevação da relação Mn/Fe do minério de Urucum quanto a redução do seu teor de álcalis.

Esse processo é uma alternativa para a utilização do minério de Urucum na fabricação de ligas ferro-manganês e, ainda, bióxido de manganês, manganês eletrolítico e seus principais sais.



## 2. ENSAIOS DE SEPARAÇÃO MAGNÉTICA DO MINÉRIO DE URUCUM, PRÉ-REDUZIDO COM CARVÃO VEGETAL

### 2.1. Ensaio Preliminares - Pré-redução com Carvão Vegetal

#### 2.1.1. Objetivos

Verificar a influência da granulometria do minério, temperatura de pré-redução e intensidade de campo magnético sobre a relação Mn/Fe das frações não-magnéticas do minério de Urucum, partindo-se de um dado conjunto de parâmetros fixos: redutor utilizado, granulometria do redutor, relação minério/redutor e tempo de pré-redução.

#### 2.1.2. Metodologia

As condições de operação utilizadas nesses ensaios foram:

##### a) Pré-redução do minério:

- . granulometria do minério: -10 +48 malhas,  
-10 +65 malhas;
- . redutor utilizado: carvão vegetal, apresentando 66,1% C, 0,23% S, 2,3% cinzas e 31,6% matéria volátil;
- . granulometria do redutor: -65 malhas;
- . relação minério/redutor: 2/1;
- . tempo de pré-redução: 2 horas;
- . temperaturas de pré-redução: 600, 700 e 800°C;
- . equipamentos utilizados: forno tubular rotativo e forno de mufla.

##### b) Separação magnética:

- . equipamento utilizado: separador de disco STEARNS MAGNETIC, tipo C;

. intensidades de corrente aplicadas: 0,7 a 2,7A (ver Tabela I).

Os parâmetros fixos de pré-redução e a granulometria do minério foram definidos em função de consultas à bibliografia existente sobre o assunto<sup>(2, 3, 4)</sup> e de testes preliminares de pré-redução do minério de Urucum<sup>(1)</sup>, realizados no CETEM.

A escolha das temperaturas de pré-redução utilizadas foi definida em função das alterações estruturais por elas promovidas no minério de Urucum, fundamentada em um estudo prévio sobre a influência desse parâmetro na composição mineralógica do minério, cujos resultados são apresentados na Tabela II. As alterações estruturais desejadas foram:

- a) Presença da magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) e ferro metálico suscetíveis a um campo magnético de baixa intensidade;
- b) Presença de manganês sob a forma de manganosita ( $\text{MnO}$ ), que, assim como outros monóxidos de metais de transição ( $\text{FeO}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{CoO}$ ), não é ferromagnético<sup>(5)</sup>.

O esperado era que essas alterações estruturais fizessem com que cada partícula respondesse diferentemente à aplicação de um campo magnético de baixa intensidade, unicamente em função das diferentes percentagens de óxidos de ferro, ferro metálico e óxidos de manganês contidos, o que, por sua vez, é aleatório, visto que não há liberação dos minerais de manganês e ferro.

### 2.1.3. Resultados experimentais

Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios: partindo-se de um minério com relação  $\text{Mn/Fe} \approx 4,5$ , foram obtidos concentrados com relação  $\text{Mn/Fe} > 7,0$ , utilizando-se uma relação minério/carvão = 2/1, 2 horas de pré-redução e temperaturas de 600 e 800°C, respectivamente. Foi também observado que, das duas frações granulométricas ensaiadas, os melhores resultados obtidos foram aqueles relativos à fração -10 +48 malhas, cujos resultados são apresentados na Figura 1.

SEPARADOR - DE DISCO FABRICANTE - STEARNS		
AMPERAGEM (A)	CAMPO MAGNÉTICO EM GAUSS A	
	POLO - 1	POLO - 2
1,00	1500 - 2000	1000 - 1100
2,00	2500 - 3000	2000 - 2000
2,50	3000 - 4200	2500 - 3000
3,00	4000 - 4500	3000 - 3500
4,00	4500 - 5500	4000 - 4500
4,50	4800 - 6000	4200 - 4800
5,00	5000 - 6200	4800 - 5000
6,00	6000 - 7000	5000 - 5500
6,50	6500 - 7000	6000 - 5800
7,00	6500 - 7000	6000 - 5800

OBS.: - Os limites inferiores das faixas de intensidade de cam  
po apresentadas correspondem a medidas realizadas com  
abertura máxima do "gap"; os limites superiores corres  
pondem a medidas realizadas com abertura mínima do "gap".

- Foi chamado de POLO-2 aquele mais próximo da alimenta  
ção.

Tabela I - Correlação entre a intensidade de corrente e o cam  
po magnético correspondente - Separador magnético a  
disco Stearns.

TEMPERATURA DE REDUÇÃO	MINERAIS PRESENTES
400°C	hausmanita ( $Mn_3O_4$ ) criptomelana ( $KMn_8O_{16}$ ) hematita ( $Fe_2O_3$ ) magnetita ( $Fe_3O_4$ )
500°C	manganosita (MnO) hausmanita ( $Mn_3O_4$ ) hematita ( $Fe_2O_3$ ) magnetita ( $Fe_3O_4$ )
600°C	manganosita (MnO) magnetita ( $Fe_3O_4$ )
700°C	manganosita (MnO) ferro (Fe- $\alpha$ ) magnetita ( $Fe_3O_4$ )
800°C	manganosita (MnO) ferro (Fe- $\alpha$ ) Fe-C
900°C	manganosita (MnO) ferro (Fe- $\alpha$ ) Fe-C
1000°C	manganosita (MnO) ferro (Fe- $\alpha$ ) Fe-C

Tabela II - Ensaio de pré-redução do minério de Urucum com carvão vegetal. Resultados de análise por difração de raios X. Identificação dos minerais presentes.

Condições de operação:

- . 20g de minério, -100 malhas;
- . 50% de carvão, -65 malhas;
- . tempo de pré-redução: 60 minutos;
- . equipamento utilizado: forno de mufla.



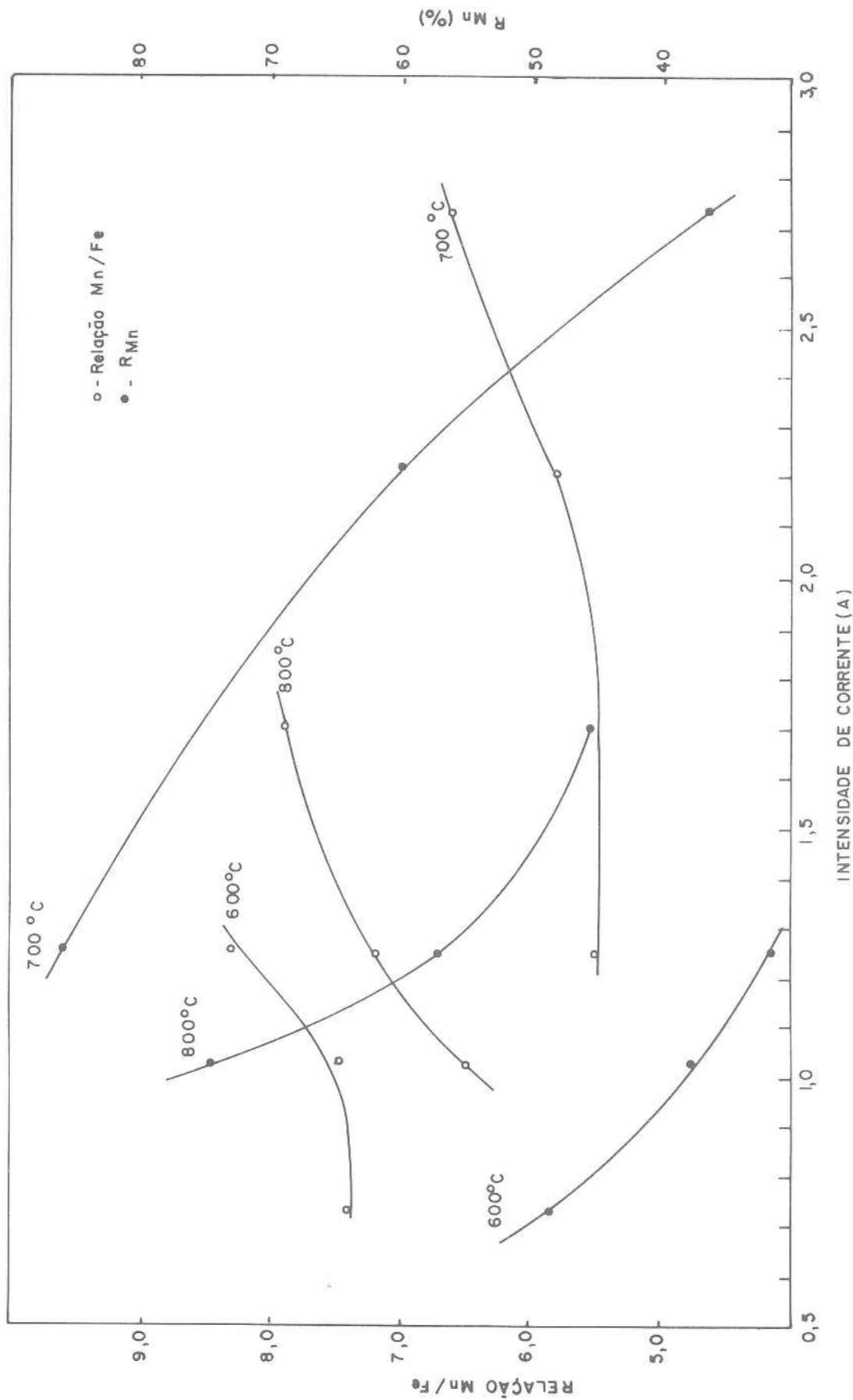


Figura 1 - Influência da temperatura de pré-redução e intensidade de corrente, utilizada na separação magnética, sobre a relação Mn/Fe, e a recuperação de manganês ( $R_{Mn}$ ) na fração não-magnética do minério de Urucum, -10 +48 malhas, pré-reduzido com carvão vegetal.

Analisando as distribuições de manganês e ferro nas frações resultantes da separação magnética, em função da temperatura de pré-redução e intensidade de corrente utilizadas, independentemente de esta operação ter ou não contribuído para a obtenção de concentrados com relação  $Mn/Fe > 7,0$ , constatamos que:

- (a) Para uma dada temperatura de pré-redução, quanto maior a intensidade de corrente utilizada, menores as recuperações de manganês e ferro ( $R_{Mn}$  e  $R_{Fe}$ ) na fração não-magnética, e menor a massa dessa fração;
- (b) A intensidade de corrente utilizada para obter uma dada relação  $Mn/Fe$  na fração não-magnética do minério de Urucum pré-reduzido a  $600^{\circ}C$  foi menor que aquela utilizada na obtenção da mesma relação  $Mn/Fe$  para o minério pré-reduzido a  $800^{\circ}C$ ;
- (c) Por outro lado, a intensidade de corrente para obter uma dada recuperação de manganês ( $R_{Mn}$ ) na fração não-magnética do minério pré-reduzido a  $800^{\circ}C$  foi menor que aquela utilizada na obtenção da mesma  $R_{Mn}$  para o minério pré-reduzido a  $600^{\circ}C$ .

Em função do que foi observado experimentalmente, podem fazer-se as seguintes considerações:

- (a) Inicialmente, não há liberação de criptomelana/hematita no minério de Urucum;
- (b) Nesse minério, o ferro é constituinte minoritário em relação ao manganês;
- (c) O tratamento de pré-redução altera a estrutura mineralógica do minério em questão;
- (d) As alterações estruturais promovidas na pré-redução desse minério fazem com que cada partícula responda diferentemente à aplicação de um campo magnético, em função das diferentes percentagens de óxidos de ferro, ferro metálico e óxidos de manganês contidos, e da suscetibilidade magnética de cada um desses minerais;
- (e) O minério pré-reduzido apresenta, na separação magnética, um comportamento médio característico de uma dada temperatura de pré-redução e de uma dada intensidade de corrente aplicada, embora, nas faixas granulométricas ensaiadas, não haja liberação dos minerais de manganês e ferro.

Por conseguinte, conclui-se que, para uma dada intensidade de corrente e uma dada temperatura de pré-redução, o que define se a partícula mineral será ou não magnética é, na realidade, uma composição entre os efeitos das percentagens em massa dos minerais envolvidos e de suas suscetibilidades magnéticas.

Assim sendo, à medida que, para uma dada temperatura de pré-redução, a corrente utilizada aumenta, a tendência é de que a seletividade, com base nesse raciocínio, diminua, e maiores quantidades de manganês e ferro sejam arrastadas para a fração magnética, podendo isto vir ou não a contribuir para a obtenção de uma relação  $Mn/Fe > 7,0$  na fração não-magnética. Conseqüentemente, para uma dada temperatura de pré-redução, quanto maior for a intensidade de corrente utilizada, menores serão as recuperações de Mn e Fe na fração não-magnética, e menor a massa desta fração.

Nas condições de operação utilizadas, os minerais resultantes de um tratamento de pré-redução com o carvão vegetal utilizado a  $600^{\circ}C$  são manganosita e magnetita, enquanto que aqueles resultantes de uma pré-redução a  $800^{\circ}C$  são manganosita e ferro metálico. A massa de magnetita contida no minério pré-reduzido a  $600^{\circ}C$  é maior que a massa de ferro metálico, resultante da transformação dessa magnetita, obtida no minério pré-reduzido a  $800^{\circ}C$ . A magnetita possui menor suscetibilidade magnética que o ferro metálico. Entretanto, na composição entre os efeitos das percentagens em massa dos minerais e de suas suscetibilidades magnéticas, a presença de magnetita, no minério pré-reduzido a  $600^{\circ}C$ , contribui para que as recuperações de Mn e Fe na fração magnética sejam maiores que aquelas obtidas para o minério pré-reduzido a  $800^{\circ}C$ , para uma mesma intensidade de corrente aplicada. Este raciocínio justifica o fato de a intensidade de corrente utilizada, para obter uma dada relação  $Mn/Fe$  na fração não-magnética do minério pré-reduzido a  $800^{\circ}C$ , ter sido maior que aquela utilizada na obtenção da mesma relação  $Mn/Fe$  para o minério pré-reduzido a  $600^{\circ}C$  e, mesmo assim, termos obtido maiores recuperações de Mn e Fe na fração não-magnética, bem como maiores massas de não-magnético.

No caso específico de um tratamento de pré-redução a  $700^{\circ}C$ , seguido de separação magnética, não foram obtidos concentrados com relação  $Mn/Fe > 7,0$ , para toda a faixa de inten



sidades de corrente ensaiadas. Esses resultados podem ser atribuídos à presença de FeO, termodinamicamente viável nessa temperatura, e ao seu comportamento não-ferromagnético.

## 2.2. Otimização dos Parâmetros de Pré-redução e Separação Magnética

### 2.2.1. Objetivos

Determinar a viabilidade da utilização de um redutor mais barato (no caso, moinha de carvão vegetal), reduzir a percentagem de carvão utilizada na pré-redução e reduzir o tempo de pré-redução.

Verificar a influência desses parâmetros, da temperatura de pré-redução e da intensidade de campo magnético, sobre a relação Mn/Fe e a recuperação de manganês ( $R_{Mn}$ ) das frações não-magnéticas do minério de Urucum.

### 2.2.2. Metodologia

Inicialmente, foram realizados ensaios de pré-redução do minério com moinha de carvão vegetal, e identificação, por difração de raios X, dos minerais presentes nos produtos resultantes desses ensaios, objetivando otimizar os parâmetros de pré-redução. As condições de operação utilizadas foram:

- . 20g de minério, -10 malhas;
- . 50, 25, 10 e 5% de moinha de carvão vegetal, -65 malhas;
- . temperaturas de 600, 750 e 800°C;
- . tempo de pré-redução: 50 minutos;
- . equipamento utilizado: forno de mufla.

A moinha de carvão vegetal utilizada apresentava 61,5% de carbono fixo, 10,6% de cinzas, 27,9% de matéria volátil e um poder calorífico de 5889cal/g.



A Tabela III apresenta os resultados obtidos. Foi observada a presença de magnetita e manganosita para quase todas as temperaturas de pré-redução e percentagens de carvão utilizadas. No caso específico do minério pré-reduzido a  $600^{\circ}\text{C}$ , com 5 e 10% de moinha de carvão vegetal, foi observada também a presença de outros minerais de manganês e ferro: hausmanita, bixbyita e hematita.

Com base nesses resultados, foram então realizados ensaios de separação magnética do minério pré-reduzido com moinha de carvão vegetal, objetivando otimizar esta operação para as novas condições de pré-redução. As condições de operação utilizadas foram:

(a) Pré-redução do minério:

- . granulometria do minério: -10 malhas;
- . 5, 10 e 25% de moinha de carvão vegetal para uma temperatura de pré-redução de  $600^{\circ}\text{C}$ ;
- . 5 e 10% de moinha de carvão vegetal para temperaturas de  $750$  e  $800^{\circ}\text{C}$ ;
- . tempo de pré-redução: 50 minutos;
- . equipamento utilizado: forno de mufla.

(b) Separação magnética:

- . realizada em um separador magnético de disco STEARNS MAGNETIC, tipo D, variando-se a intensidade de corrente aplicada e utilizando-se a fração -10 +48 malhas do minério pré-reduzido;
- . a faixa de intensidades de corrente ensaiadas corresponde à utilização de campos magnéticos inferiores a 3000 gauss.

### 2.2.3. Resultados Experimentais

Foi observado que:

- (a) Utilizando-se apenas 5% de moinha de carvão vegetal e um tempo de pré-redução de 50 minutos, a relação Mn/Fe da fração não-magnética aumentou com o aumento da temperatura de pré-redução utilizada;
- (b) Para essas novas condições de pré-redução, na faixa de inten

TEMPERATURA DE PRÉ-REDUÇÃO (°C)	% DE CARVÃO UTILIZADA	MINERAIS PRESENTES
600	5	Hausmanita ( $Mn_3O_4$ ) Manganosita (MnO) Magnetita ( $Fe_3O_4$ ) Hematita ( $Fe_2O_3$ ) e bixbyita ( $Mn_2O_3$ )
	10	Manganosita (MnO) Hausmanita ( $Mn_3O_4$ ) Magnetita ( $Fe_3O_4$ ) Hematita ( $Fe_2O_3$ )
	25	Manganosita (MnO) Magnetita ( $Fe_3O_4$ )
	50	Manganosita (MnO) Magnetita ( $Fe_3O_4$ )
750	5	Manganosita (MnO) Magnetita ( $Fe_3O_4$ )
	10	Manganosita (MnO) Magnetita ( $Fe_3O_4$ )
	25	Manganosita (MnO) Magnetita ( $Fe_3O_4$ )
	50	Manganosita (MnO) Magnetita ( $Fe_3O_4$ )
800	5	Manganosita (MnO) Magnetita ( $Fe_3O_4$ )
	10	Manganosita (MnO) Ferro (Fe - $\alpha$ )
	25	Manganosita (MnO) Ferro (Fe - $\alpha$ )
	50	Manganosita (MnO) Ferro (Fe - $\alpha$ )

Tabela III - Ensaio de pré-redução do minério de Urucum com moinha de carvão vegetal - Resultados de análise por difração de raios X. Identificação dos minerais presentes.

13.

sidades de corrente aplicadas, a obtenção de concentrados com relação Mn/Fe superior a 7,0 só se verificou, porém, quando da utilização de temperaturas de pré-redução iguais ou superiores a 750°C.

Analisando as distribuições de manganês e ferro nas frações resultantes da separação magnética, em função da temperatura de pré-redução e intensidade de corrente utilizadas, verificou-se que, também para as novas condições de pré-redução, é válido o raciocínio baseado na composição entre os efeitos das percentagens em massa dos minerais e de suas suscetibilidades magnéticas. É também com base nesse raciocínio que, no caso específico do minério pré-reduzido a 600°C, através da presença de hausmanita, bixbyita e hematita, justificou-se o fato de, a despeito de terem sido aplicadas maiores intensidades de corrente que as utilizadas para o minério pré-reduzido a 750 e 800°C, não terem sido obtidos concentrados com relação Mn/Fe > 7,0 e, mesmo assim, obtidas maiores recuperações de manganês e ferro na fração não-magnética, bem como maiores massas de não-magnético.

Em função dos resultados obtidos, um tratamento de pré-redução a 750°C, utilizando-se 5% de moinha de carvão vegetal e um tempo de pré-redução de 50 minutos, parece o mais indicado. Neste caso, a utilização de intensidades de campo magnético na faixa de 1500 a 3000 gauss propiciou a obtenção de concentrados com relação Mn/Fe na faixa de 7,0 a 9,0, cuja recuperação de manganês ( $R_{Mn}$ ) variou de 30 a 50%.

As Tabelas IV e V e as Figuras 2 e 3 apresentam resultados obtidos nos ensaios realizados.

### 3. ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO AQUOSA E SULFÚRICA PARA REDUÇÃO DO TEOR DE ÁLCALIS DO MINÉRIO DE URUCUM

Esses ensaios foram realizados em paralelo com aqueles efetuados para elevação da relação Mn/Fe do referido minério.

Inicialmente foram realizados ensaios de lixiviação aquosa, seguida de lixiviação sulfúrica, com o objetivo de

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO	FRAÇÃO	% EM PESO	TEOR (%)		RELAÇÃO Mn/Fe	DISTRIBUIÇÃO (%)	
			Mn	Fe		Mn	Fe
600°C 1,1A	Magnética	57,6	44,0	13,4	3,3	54,7	71,4
	Não-Magnética	42,4	49,5	7,3	6,8	45,3	28,6
	Alimentação	100,0	46,3	10,8	4,3	100,0	100,0
750°C 1,1A	Magnética	74,3	48,0	13,3	3,6	72,7	85,5
	Não-Magnética	25,7	52,0	6,6	7,9	27,3	14,5
	Alimentação	100,0	49,0	11,6	4,2	100,0	100,0
800°C 1,1A	Magnética	71,1	45,3	13,1	3,5	68,5	84,1
	Não-Magnética	28,9	51,3	6,1	8,4	31,5	15,9
	Alimentação	100,0	47,0	11,1	4,2	100,0	100,0

Tabela IV - Resultados dos ensaios de separação magnética do minério de Urucum pré-reduzido a várias temperaturas, utilizando 5% de moinha de carvão vegetal e um tempo de pré-redução de 50 minutos.



INTENSIDADE DE CORRENTE	FRAÇÃO	% EM PESO	TEOR (%)		RELAÇÃO Mn/Fe	DISTRIBUIÇÃO (%)	
			Mn	Fe		Mn	Fe
0,4A	MAG.	21,1	44,0	16,7	2,6	19,5	31,4
	NÃO-MAG.	78,9	48,8	9,8	5,0	80,5	68,6
	ALIM.	100,0	47,8	11,3	4,2	100,0	100,0
0,7A	MAG.	52,0	46,2	13,9	3,3	49,0	66,1
	NÃO-MAG.	48,0	52,0	7,7	6,8	51,0	33,9
	ALIM.	100,0	49,0	10,9	4,5	100,0	100,0
1,0A	MAG.	65,5	46,4	13,3	3,5	62,7	80,1
	NÃO-MAG.	34,5	52,4	6,3	8,3	37,3	19,9
	ALIM.	100,0	48,5	10,9	4,4	100,0	100,0
1,4A	MAG.	77,0	47,0	12,9	3,6	74,5	88,7
	NÃO-MAG.	23,0	54,0	5,5	9,8	25,5	11,3
	ALIM.	100,0	48,6	11,2	4,3	100,0	100,0
2,6A	MAG.	88,5	48,8	12,5	3,9	87,3	94,8
	NÃO-MAG.	11,5	54,0	5,3	10,2	12,7	5,2
	ALIM.	100,0	49,0	11,7	4,2	100,0	100,0

Tabela V - Resultados dos ensaios de separação magnética do minério de Urucum pré-reduzido a 750°C, com 5% de moinha de carvão vegetal.

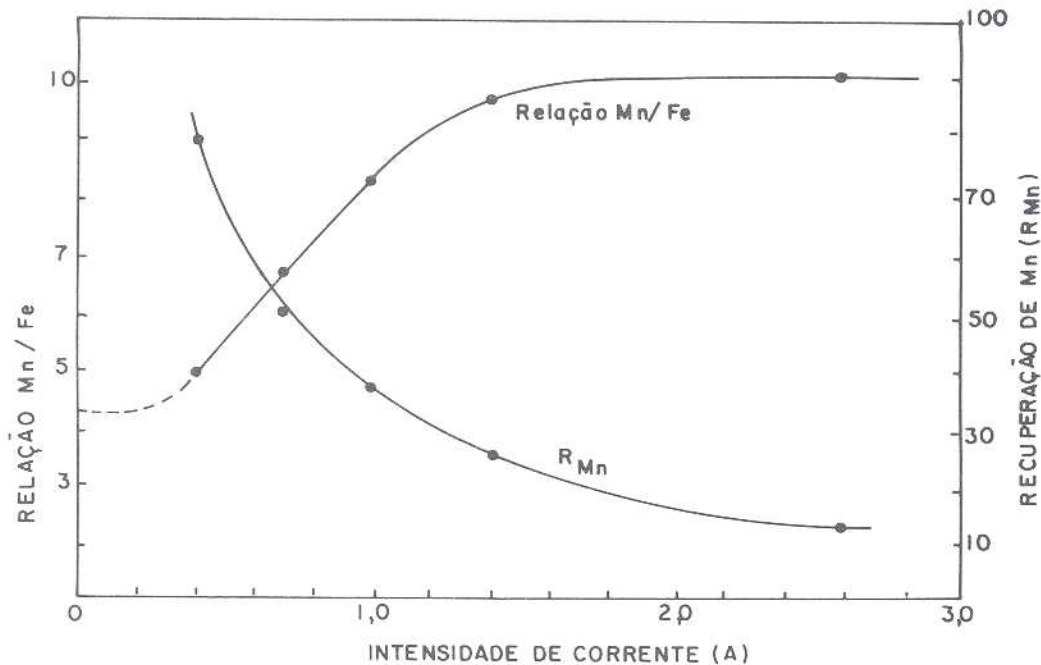


Fig. 2 - Influência da intensidade de corrente utilizada sobre a relação Mn/Fe e a recuperação de manganês ( $R_{Mn}$ ) na fração não-magnética do minério de Urucum pré-reduzido a 750 °C, 5% de moinha de carvão vegetal.

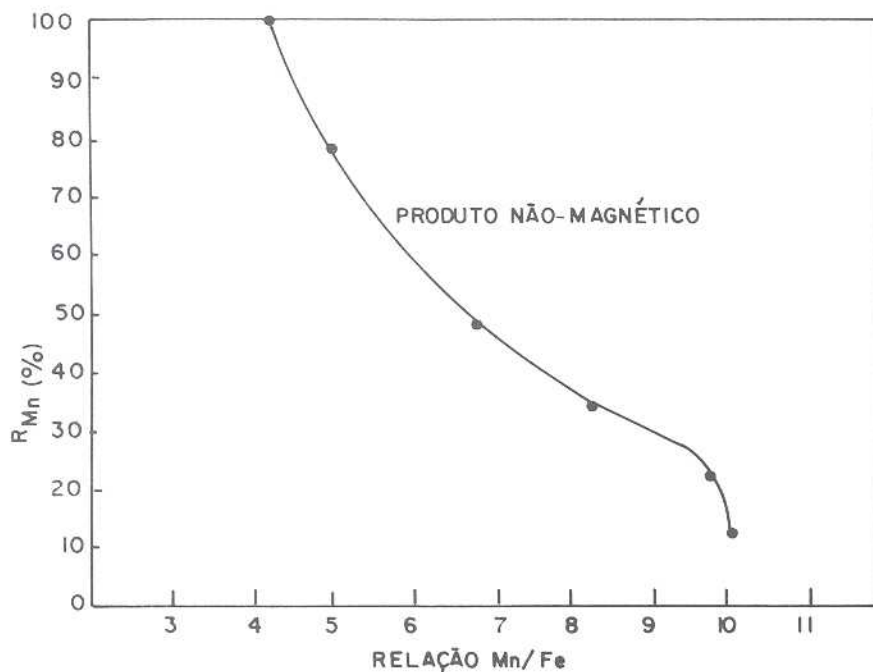


Fig. 3 - Relação entre a recuperação de manganês ( $R_{Mn}$ ) e a relação Mn/Fe da fração não-magnética do minério de Urucum pré-reduzido a 750 °C, c/ 5% de moinha de carvão vegetal.

verificar a efetividade dessa operação na redução do teor de álcalis de algumas frações resultantes dos ensaios de separação magnética do minério, -10 +48 malhas, pré-reduzido com carvão vegetal, descritos no subitem 2.1.

Dos resultados desses ensaios, apresentados nas Tabelas VI e VII, observa-se que:

- (a) Quanto maior a temperatura de pré-redução utilizada, maiores foram as perdas de potássio, por evaporação, durante esse tratamento;
- (b) A recuperação de potássio nos licores de lixiviação aquosa e sulfúrica verificou-se tanto maior quanto menor foi a temperatura de pré-redução utilizada;
- (c) Para cada uma das temperaturas de pré-redução utilizadas (600, 700 e 800°C), as recuperações de potássio das frações magnética e não-magnética foram aproximadamente equivalentes, sendo apenas ligeiramente maiores para as frações não-magnéticas.

Os melhores resultados quanto a recuperação de potássio foram aqueles obtidos para o minério pré-reduzido a 600°C: 66 a 71%, através de lixiviação aquosa e, posteriormente, mais ~18%, através de lixiviação com ácido sulfúrico diluído, totalizando uma recuperação de 85 a 89% do potássio contido.

A seguir, foram realizados ensaios de lixiviação do minério pré-reduzido com 5% de moinha de carvão vegetal, nas temperaturas de 600, 750 e 800°C (vide subitem 2.2.). Nesses ensaios, buscou-se verificar a influência da granulometria do minério sobre a extração de potássio. As granulometrias testadas foram -10 +48, -48 e -150 malhas.

A Tabela VIII apresenta os resultados dos ensaios de lixiviação aquosa das frações magnéticas e não-magnéticas (-10 +48 malhas e cominuídas a -150 malhas), bem como dos finos (-48 malhas), inadequados a separação magnética em separador de disco, do minério pré-reduzido com 5% de moinha de carvão vegetal, nas temperaturas de 600 e 800°C.

TEMPERATURA DE PRÉ-REDUÇÃO	FRAÇÃO	ALIMENTAÇÃO (% K)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (kg/t)	pH		LICOR		RECUPERAÇÃO DE K (%)	
				lmin	30min	ml	K(g/l)	LIXIVIAÇÃO ÁCIDA	TOTAL
600°C	Magnético	0,86	15,5	4,1	5,2	222	0,21	18	89
	Não-Magnético	1,02	18,3	4,1	5,2	235	0,25	18	85
700°C	Magnético	0,68	12,2	4,4	6,1	205	0,15	11	72
	Não-Magnético	0,65	11,7	4,8	5,9	195	0,20	13	73
800°C	Magnético	0,66	11,9	5,5	6,5	220	0,13	14	58
	Não-Magnético	0,62	11,2	4,4	5,6	197	0,17	16	56

Tabela VI - Resultados dos testes preliminares de eliminação de potássio do minério de Urucum, -10 +48 malhas, através de pré-redução (c/ 50% de carvão vegetal, 2 horas) e lixiviação aquosa, seguida de lixiviação sulfúrica.

Condições de operação:

• 10g de minério, 100ml de água destilada, 60°C, 30 minutos.

Foi utilizada uma solução 10g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/l, 50% a mais da quantidade estequiométrica, segundo a reação:





TEMPERATURA DE PRÉ-REDUÇÃO (°C)	FRAÇÃO	ALIMENTAÇÃO		% K NO RESÍDUO	VOLUME DE LICOR (ml)	LICOR		RECUPERAÇÃO DE K (%)
		PESO (g)	% K			K (g/l)	% K	
600	Magnética	20,0	3,4	0,86	260	1,85	2,40	70,6
	Não-Magnética	18,6	3,6	1,02	230	1,95	2,40	66,6
700	Magnética	20,0	2,8	0,58	255	1,33	1,70	60,7
	Não-Magnética	20,0	3,0	0,65	215	1,68	1,80	60,0
800	Magnética	20,0	2,0	0,66	385	0,45	0,87	43,5
	Não-Magnética	20,0	2,1	0,62	240	0,70	0,84	40,0

Tabela VII - Resultados dos testes preliminares de eliminação de potássio do minério de Urucum, -10 +48 malhas, através de pré-redução (c/ 50% carvão vegetal, 2 horas) e lixiviação aquosa.

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO	FRAÇÃO (MALHAS)	ALIMENTAÇÃO			VOLUME LÍCOR (ml)	LÍCOR				RECUPERAÇÃO
		PESO (g)	% K	% K MÍNIMO NO RESÍDUO		K (g/l)	% K	P (mg/l)	% P	
600°C, 5% MOV MAGNÉTICO 1,5 A	-10 +48	10	3,70	1,53	175	1,35	2,36	29,9	0,05	60,7
	-150	10	3,70	1,25	170	1,44	2,45	40,8	0,07	66,2
	-10 +48	10	3,50	2,25	153	1,20	1,84	27,6	0,04	45,0
600°C, 5% MOV NÃO-MAGNÉTICO 1,5 A	-150	10	3,50	1,95	155	1,25	1,94	32,6	0,05	49,9
	-10 +48	10	3,53	1,50	175	1,18	2,07	37,4	0,07	58,0
	-150	10	3,53	1,42	180	1,15	2,07	40,8	0,07	59,3
800°C, 5% MOV MAGNÉTICO 1,1 A	-10 +48	10	3,95	2,15	200	1,03	2,06	29,4	0,06	48,9
	-150	10	3,95	1,95	150	1,39	2,09	42,7	0,06	51,7
	-48	10		1,10	205	0,98	2,01	7,10	0,01	64,6
800°C, 5% MOV FINOS	-48	10		1,38	215	0,85	1,83	18,8	0,04	57,0

Tabela VIII - Resultados dos testes de lixiviação aquosa para extração de potássio das frações mangê-  
tica e não-magnética (-10 +48 malhas e cominuídas a -150 malhas), bem como dos finos  
(-48 malhas) do minério de Urucum pré-reduzido a 600 e 800°C (c/ 5% de moinha de carvão  
vegetal, 50 minutos).

A Tabela IX apresenta os resultados dos ensaios de lixiviação aquosa, seguida de lixiviação sulfúrica, do minério pré-reduzido a  $750^{\circ}\text{C}$ , com 5% de moinha de carvão vegetal. Neste caso, foram ensaiados a alimentação dos testes de separação magnética (-10 +48 malhas e cominuída a -150 malhas) e os finos (-48 malhas) do minério pré-reduzido.

Foi observado que:

- (a) Alteradas as condições de pré-redução, a influência da temperatura sobre o teor de  $\text{K}_2\text{O}$  do minério, ao final deste tratamento, não foi significativa, isto é, o teor de  $\text{K}_2\text{O}$  no minério pré-reduzido se manteve aproximadamente constante, independente da temperatura de pré-redução utilizada;
- (b) Alteradas as condições de pré-redução, a influência da temperatura de pré-redução sobre a recuperação de potássio nos licores de lixiviação aquosa não se verificou muito significativa;
- (c) Para uma dada temperatura de pré-redução, as recuperações de potássio nos licores de lixiviação aquosa das frações -10 +48 malhas e finos (-48 malhas) foram equivalentes. Neste caso, a redução da granulometria para -150 malhas contribuiu muito pouco para o aumento da recuperação de potássio. Entretanto, a influência da granulometria do minério sobre a extração de potássio foi significativa nas lixiviações sulfúricas subsequentes.

No caso específico do minério pré-reduzido a  $750^{\circ}\text{C}$  com 5% de moinha de carvão vegetal, a recuperação de potássio nos licores de lixiviação aquosa ficou na faixa de 65 a 70% para todas as granulometrias ensaiadas. Nas lixiviações sulfúricas subsequentes, as recuperações de potássio observadas foram tanto mais efetivas quanto menor a granulometria do minério lixiviado. A recuperação do potássio nos licores de lixiviação aquosa, seguida de lixiviação sulfúrica do minério -10 +48 malhas, atingiu a ~77%. A redução da granulometria do minério para -150 malhas contribuiu para uma recuperação de ~87% do potássio contido.

Nº	MATERIAL	TEOR INICIAL DE K (%)	PESO (g)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (kg/t)	pH			LÍCOR			% K NO RESÍDUO	RECU. FINAL DE K (%)
					ANTES LIX.	DEPOIS		VOL. (mL)	K (g/l)	P (mg/l)		
						1 min	30 min					
A	Finos	3,00	25	-	6,7	11,5	11,8	245	2,00	19,6	1,06	65,3
B	-150#	3,70	25	-	6,7	11,3	11,3	275	2,35	89,8	1,15	70,0
C	-10 +48#	3,70	10	-	6,7	11,5	11,6	215	1,18	39,5	1,22	68,6
D	A <sub>1</sub> Finos	1,06	10	25	2,4	5,5	6,9	200	0,23	2,30	0,60	80,0
E	B <sub>1</sub> -150#	1,15	10	25	2,4	4,5	6,0	245	0,25	2,55	0,58	86,5
F	-10 +48#	3,70	10	50	2,0	5,0	7,0	285	1,00	0,85	1,08	77,0

Tabela IX - Resultados dos testes de lixiviação aquosa, seguida de lixiviação ácida do minério de Urucum pré-reduzido a 750°C com 5% de moinha de carvão vegetal - Influência da granulometria.



## 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos ensaios de pré-redução e separação magnética, apresentados neste trabalho, mostram a viabilidade técnica de se elevar a relação Mn/Fe do minério de Urucum, com a obtenção de concentrados com relação Mn/Fe  $> 7,0$ .

Por outro lado, ensaios de lixiviação aquosa e sulfúrica do minério de Urucum pré-reduzido, realizados em paralelo, comprovaram a efetividade dessa operação na redução do teor de álcalis do referido minério.

Assim sendo, apresentamos a seguir um processo tecnológico para elevação da relação Mn/Fe e diminuição dos teores de potássio e fósforo do minério de Urucum, que basicamente consiste em:

- (a) Britagem do minério a -10 malhas;
- (b) Pré-redução desse minério em forno de mufla ou forno rotativo, com 5%, em peso, de moinha de carvão vegetal, durante cerca de 50 minutos, a uma temperatura de  $750^{\circ}\text{C}$ . A pré-redução implica na formação de magnetita e provavelmente ferro metálico e jacobsita, suscetíveis a um campo magnético de baixa intensidade;
- (c) Lixiviação aquosa do minério pré-reduzido a uma temperatura  $\geq 60^{\circ}\text{C}$ , utilizando-se, para tal, o calor remanescente do minério recém-descarregado do forno. A lixiviação aquosa extrai cerca de 70% do potássio contido no minério e, praticamente, a totalidade do fósforo;
- (d) Peneiramento a úmido com corte em 48 malhas, originando uma fração -10 +48 malhas e uma solução contendo os finos (-48 malhas);
- (e) Secagem da fração -10 +48 malhas;
- (f) Separação magnética de baixa intensidade da fração -10 +48 malhas. A utilização de intensidades de campo magnético na faixa de 1500 a 3000 gauss propicia a obtenção de concentrados (fração não-magnética) com relação Mn/Fe na faixa de 7,0 a 9,0, cuja recuperação de manganês ( $R_{\text{Mn}}$ ) varia de 30 a 50%;

(g) Os finos magnéticos (-48 malhas) contidos no licor proveniente do peneiramento podem ser recuperados através de separação magnética, via úmida, de alta intensidade. Os finos não-magnéticos, primordialmente as cinzas do carvão vegetal, podem ser separados do licor por filtração. O potássio, o sódio e o fósforo contidos no licor podem ser utilizados na fabricação de fertilizantes, através da neutralização desse licor com ácido sulfúrico. Uma outra alternativa seria a obtenção de hidróxido de potássio de grau técnico.

A fração magnética (-10 +48 malhas), originária da etapa de separação magnética de baixa intensidade, e os finos magnéticos (-48 malhas), recuperados na separação magnética de alta intensidade, apresentam uma relação Mn/Fe  $\approx$  3,5.

As etapas subsequentes irão depender das características metalúrgicas necessárias aos produtos finais, em função de sua utilização posterior;

- (h) Os concentrados com relação Mn/Fe  $>$  7,0, bem como os produtos de manganês e ferro com relação Mn/Fe  $<$  7,0, podem ser utilizados na fabricação de ligas (Fe/Mn, Fe-Si-Mn) ou em alto-forno, para produção de gusa. Para tal, faz-se necessário um processo de aglomeração (sinterização ou pelletização) desse material;
- (i) No caso específico do mercado internacional (ex.: Alemanha), a pelletização e utilização de pelotas em alto-forno para a produção de ligas ou gusa requer a extração praticamente total dos álcalis contidos no minério;
- (j) Uma remoção adicional de cerca de 20% do potássio pode ser realizada através de moagem do minério a -150 malhas, seguida de lixiviação sulfúrica em pH na faixa de 5 a 6. O sulfato de potássio contido no licor resultante pode ser utilizado na produção de fertilizantes;
- (l) Uma lixiviação com ácido sulfúrico em pH = 2,0, no caso específico da fração magnética (-10 +48 malhas) e dos finos magnéticos (-48 malhas), dissolve íons  $Mn^{++}$ , que podem ser recuperados sob a forma de sulfato de manganês, a ser utilizado em agricultura. Uma outra alternativa seria purificar essa solução de sulfato de manganês e utilizá-la na produção de bióxido

do de manganês e manganês eletrolítico.

A Figura 4 apresenta o fluxograma do processo tecnológico proposto para o minério de manganês de Urucum.

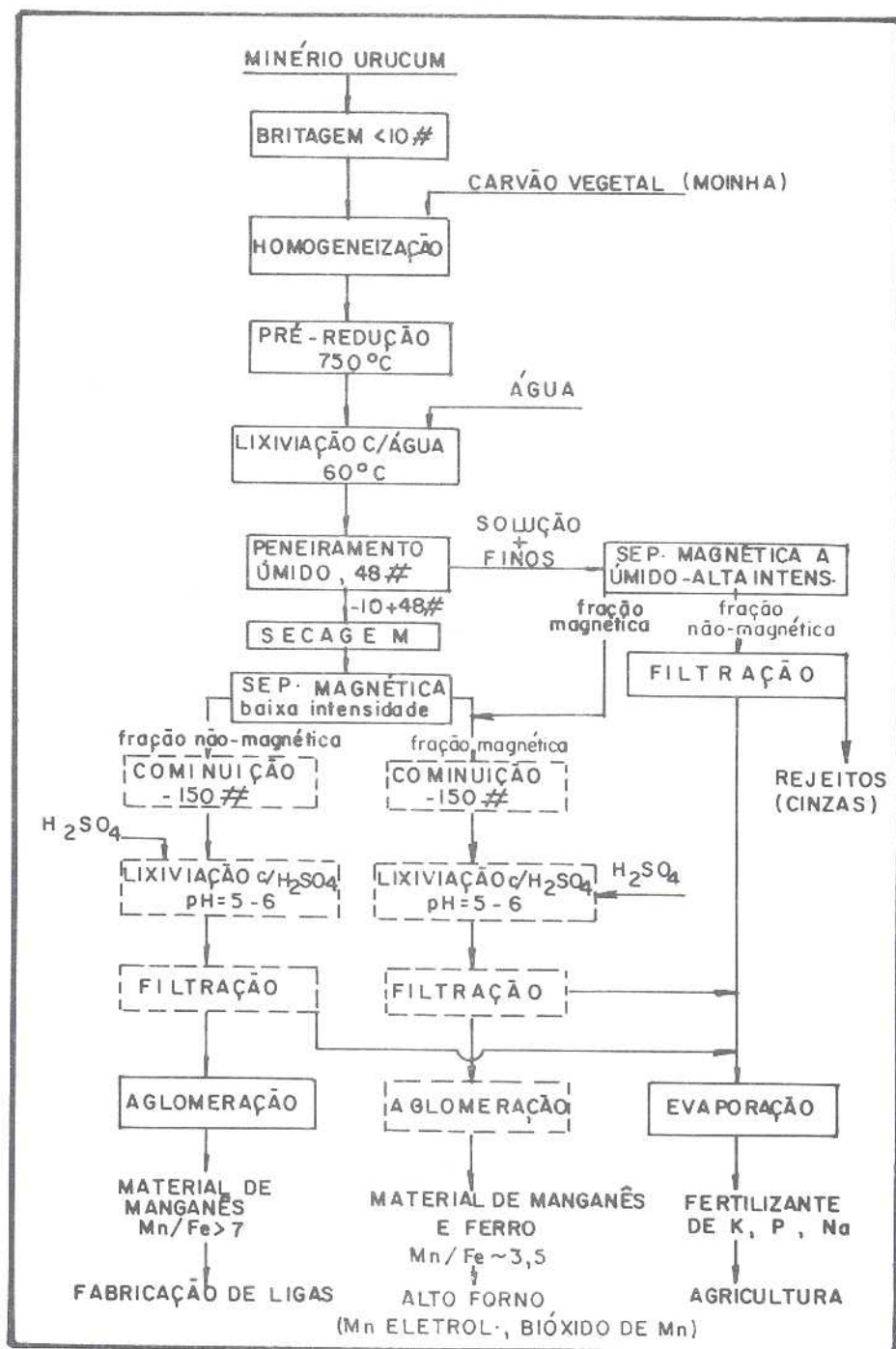


Fig. 4 - Fluxograma do processo conjunto de elevação da relação Mn/Fe e redução do teor de álcalis do minério de Urucum.



## 5. BIBLIOGRAFIA

- (01) FELLOWS, L.F. & SILVA, L.M.C.G. Beneficiamento do minério de Urucum. Relatório de projeto. Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, nº 02, 1984. (RP 02/84).
- (02) D'ABREU, J.C. et alii. Termodinâmica e influência da temperatura e do tempo na redução do minério de manganês de Urucum. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DE MATERIAIS, 4, Dez. 1980, p. 505-14.
- (03) WESTON, P.L. & FINE, N.M. Reduction roasting-acid solution techniques in laboratory processing of Minnesota manganese ores. Pittsburgh, United States Department of the Interior. Bureau of Mines, 1966. (Report of Investigations, 6775).
- (04) COPPETEC. Concentração de minérios de manganês de baixo teor. Relatório de atividades. COPPE/MT, Rio de Janeiro, nº 4, 1974. (Projeto ET-434/74).
- (05) KINGERY, W.D. et alii. Introduction to ceramic. New York, John Wiley & Sons, 1976.