

APLICAÇÃO DE PARÂMETROS DE PROCESSO NA CARACTERIZAÇÃO  
TIPOLÓGICA DOS MINÉRIOS DE FERRO DA MINA DE GERMANO  
DA SAMARCO MINERAÇÃO S.A.

Paulo Roberto de Magalhães Viana, M.Sc. (1)

Ari Dias Turrer (2)

Paulo José Barros Rabelo (3)

RESUMO

Inicialmente, definiram-se os tipos de minérios da Mina de Germano com base nas suas características químicas e granulométricas. Posteriormente, redefiniram-se os tipos a partir de resultados de testes em bancada, tendo como principais parâmetros para a classificação e o comportamento dos minérios nas diversas etapas do processo de beneficiamento. Para simular o desempenho na moagem, adotou-se modelo convencional de cinética. Para as etapas de deslamagem e flotação, efetuou-se a transposição direta dos resultados de laboratório. A nova tipologia possibilitou administração mais eficiente dos parâmetros de produção e processo, tais como, produtividade, especificações do concentrado final e recuperações.

ABSTRACT

The Germano Mine ore types were firstly achieved with chemical and granulometric characteristics. The present investigation redefined the typology through batch test results, considering ore behaviour on each different plant section. In order to simulate grinding performance, conventional kinetics grinding pattern was considered. With regard to desliming and flotation sections, straight relation from bath results were adopted. The new types have permitted to improve the process and production data, such as productivity, final concentrate specifications and iron recovery.

- (1) Engenheiro de Minas, Divisão de Controle de Processo e Qualidade da SAMARCO Mineração S.A.
- (2) Engenheiro de Minas, Supervisor de Controle de Processo da SAMARCO Mineração S.A.
- (3) Engenheiro de Minas, Engenheiro de Processo da SAMARCO Mineração S.A.

## 1. INTRODUÇÃO

A definição dos tipos de minérios de ferro da Mina de Germano foi inicialmente realizada com base em suas características químicas e interpretação geológica do depósito.

O progresso das operações de lavra e beneficiamento mostrou a ocorrência de comportamentos processuais diferenciados de minérios classificados em um mesmo tipo.

O presente trabalho redefiniu a tipologia da Mina de Germano, adotando como parâmetros as respostas dos minérios frente às etapas do processo de beneficiamento, somados aos parâmetros utilizados no estudo inicial.

Testes em escala de bancada conduzidos com amostras representativas das várias litologias, em diversas regiões da mina, e com uma amostra de referência submetida a testes em escala industrial, produziram os dados básicos para a formação dos novos tipos.

Os resultados de moagem primária e remoagem fundamentaram-se em modelo cinético de primeira ordem. Para as etapas de deslamagem e flotação, utilizaram-se diretamente os resultados dos testes de bancada.

Não foi objetivo deste trabalho aprofundar em técnicas e metodologias de classificação tipológica de jazidas, mas a apresentação de um caso prático em que os resultados puderam ser aferidos qualitativa e quantitativamente.

## 2. CONSIDERAÇÕES SOBRE O DEPÓSITO

O itabirito da Mina de Germano situa-se no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, ocorrendo numa sequência de formações Pré-Cambrianas. Constitui-se de camadas de quartzo alternadas com camadas de óxidos de ferro, principalmente hematita. Em geral este material é bastante friável.

Tem dimensões aproximadas de 1.000 m na direção N-S e 600 m E-W, mergulhando cerca de 45° para E. Encaixa-se entre filitos da formação Sabará, quartzitos Moeda e xistos Nova Lima.

O teor médio do minério é de 50% em Fe, podendo ser dividido,

basicamente, em dois grupos:

- . minérios itabiríticos com teores de 30% a 50% em Fe e com baixos teores em perda por calcinação. São os itabiritos limpos ou azuis;
- . minérios itabiríticos com alto grau de hidratação variando os teores em Fe de 40% a 63% e com altos teores em perda por calcinação. Comumente identificados como minérios hidratados ou marrons.

### 3. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O beneficiamento do minério lavrado é realizado em 4 linhas de processo independentes, conforme fluxograma esquemático apresentado na figura 1.

O ROM é recuperado da pilha de estocagem, com capacidade para aproximadamente 10 horas de operação, por alimentadores rotativos localizados em túneis na base da pilha. O minério é alimentado aos moinhos primários por transportadores de correias.

A moagem primária é realizada em circuito fechado com hidrociclones. O tamanho máximo do produto da moagem é de 10% retidos em 100 mesh Tyler. Dois estágios adicionais de classificação removem as lamas.

A concentração dos minerais de ferro é realizada em circuito de flotação catiônica reversa, utilizando-se óter amina como agente coletor do quartzo e amido para depressão dos minerais portadores de ferro. A primeira etapa deste circuito é a flotação ROUGHER, cujo concentrado alimenta as células CLEANER. O concentrado das células CLEANER constitui-se em produto final com relação às especificações químicas.

As espumas das células ROUGHER e CLEANER alimentam o primeiro banco SCAVENGER, cuja espuma é a alimentação do segundo banco SCAVENGER. A espuma do segundo é o rejeito final. Os concentrados dos dois bancos SCAVENGER retornam à alimentação do banco ROUGHER.

O concentrado da flotação é classificado em hidrociclones, com o underflow da ciclonagem alimentando os moinhos secundários e o overflow; os espessadores de concentrado.

As descargas dos moinhos secundários retornam à caixa de alimentação dos hidrociclones, fechando o circuito.

As características dos dois principais tipos de concentrado produzidos na Usina são apresentados na tabela I.

TABELA I  
CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS TIPOS DE CONCENTRADO

CONCENTRADO	% SiO <sub>2</sub>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% < 325 MESH TYLER	SUPERFÍCIE ESPECÍFICA (cm <sup>2</sup> /g)
A	1,7 - 1,8	1,2	86,0	1550
B	0,7 - 0,8	0,6	90,0	1750

#### 4. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

##### 4.1. Seleção das Amostras

A partir do arquivo de testemunhos de sondagem, representativo do corpo mineral, selecionaram-se amostras correspondentes a 10 tipos de minérios definidos nos trabalhos iniciais. Considerando-se a região de ocorrência dos 10 tipos anteriormente definidos; Norte, Sul ou Sudeste da mina, obtiveram-se 22 amostras para realização dos ensaios tecnológicos.

Adotou-se este critério para seleção de amostras, a partir de evidências existentes da relação entre a região lavrada e características processuais dos minérios, consolidadas com a prática operacional da Usina.

As análises químicas das amostras são apresentadas na tabela II coluna A.

##### 4.2. Amostras de Referência

A interpretação e escalonamento dos resultados de moagem e remoagem dos testes de bancaça foram realizados a partir dos dados industriais de um minério de referência, obtidos em amostragens de uma linha da Usina.

Realizaram-se as amostragens durante o processamento de um minério com comportamento dentro dos padrões de opera

ção da Usina, em três taxas de alimentação, sendo formado um conjunto da alimentação nova para os ensaios de laboratório.

Determinaram-se, para a amostra de referência, as capacidades de 515 t/h na moagem, 254 t/h e 205 t/h na remoagem para os concentrados A e B, respectivamente.

Os testes industriais de deslamagem e flutuação forneceram os seguintes resultados:

- . deslamagem: 96,9% de recuperação em Fe;
- . flutuação: 94,4% de recuperação em Fe e 1,7% de sílica no concentrado.

### 4.3. Testes de Bancada

#### 4.3.1. Moagem

Os testes de moagem foram realizados em moinho de 12" x 8", com 40% de enchimento, 2,86 kg de minério britado a -6 mesh Tyler, 70% de sólidos em peso e rotação de 67 rpm.

Para interpretação dos resultados aplicou-se modelo cinético de moagem, já utilizado com sucesso em estudos de avaliação da energia de moagem para dimensionamento da instalação industrial da SAMARCO Mineração S.A.

Neste modelo, admite-se que as variáveis mecânicas e operacionais do circuito de moagem são constantes e a energia requerida é função de duas características principais do minério:

- . moabilidade das frações do minério maiores que o tamanho requerido na malha de classificação do circuito de moagem;
- . percentagem em peso destas frações no minério.

A representação matemática deste modelo é traduzida pela equação diferencial:

$$\frac{dP}{dt} = -kP$$

Por integração tem-se

$$P = P_0 e^{-kt}, \text{ onde}$$

$P$  = % retida do produto na malha de classificação  
 $P_0$  = % retida da alimentação na malha de classificação.

$t$  = tempo de moagem.

$k$  = constante cinética característica da moabilidade do material mais grosso que a malha de classificação.

Para aplicar a equação, as amostras bitoladas em -6 + 100 mesh Tyler foram moídas por um tempo fixo  $t$ . Fez as análises granulométricas determina-se  $P$ ,  $P_0$  e calcula-se  $k$ . Em seguida, calcula-se o tempo de moagem necessário para obtenção do produto especificado, considerando-se a granulometria da alimentação nova da moagem.

Como o tempo é diretamente proporcional à energia requerida para a moagem, define-se como energia relativa ao quociente entre o tempo para uma amostra e o tempo obtido para a de referência.

Conhecendo-se a capacidade industrial para a amostra de referência, determinam-se as capacidades para as amostras em teste utilizando-se os valores das energias relativas das moagens.

Na tabela II, coluna B, estão os resultados dos testes de moagem.

#### 4.3.2. Deslamagem e Flotação

Após moagem, as amostras foram deslamadas por sedimentação, em duas etapas de 90 segundos cada.

Os testes de flotação foram conduzidos em uma etapa ROUGHER/CLEANER de 5 minutos e uma SCAVENGER no mesmo tempo. Utilizou-se célula de flotação em bancada de fabricação WEMCO, nas seguintes condições operacionais:

- . volume da cuba: 3,5 litros.
  - . massa de minério: 1.500 g.
  - . rotação: 1.300 rpm.
  - . tempo de condicionamento: depressor = 5 min.;  
coletor = 1 min.
  - . percentagens de sólidos:  
condicionamento = 50% em peso;  
flotação = 40% em peso.  
coletor: acetato de éter amina em três níveis de dosagens.
  - . depressor: amido, em dosagem fixa, determinada pelo teor em Fe da amostra.
  - . pH = 10,2, ajustado com NaOH, quando necessário.
- Entre os três resultados obtidos para cada amostra, considerou-se o de maior recuperação para até 2,00% de SiO<sub>2</sub>.
- Os resultados das etapas da deslamagem e flotação estão na tabela III.

#### 4.3.3. Remoagem

Na alimentação utilizou-se a fração + 325 mesh Tyler do concentrado da flotação obtido para cada amostra, sendo o tempo igual a 55 minutos.

Aplicaram-se os resultados ao modelo cinético de moagem, considerando-se as especificações de 14% e 10% retidos em 325 mesh Tyler conforme produtos A e B, respectivamente.

As demais condições e procedimentos seguiram aqueles citados em 4.3.1

Em testes realizados sem a retirada da fração -325 mesh Tyler, determinou-se a superfície específica dos produtos da remoagem para cada amostra.

Os resultados estão na tabela II, coluna C.

## 5. ANÁLISE GRUPAL - TIPOS DEFINIDOS

A técnica utilizada para agrupamento das amostras em tipos foi

a Análise Grupal.

É ponto fundamental para utilização desta técnica a escolha das variáveis que caracterizarão as amostras.

O conjunto de variáveis disponíveis para as análises foi formado pelos resultados dos testes de bancada e análises químicas das amostras.

Inicialmente, estudou-se a existência de correlação entre variáveis, objetivando eliminar inclusões redundantes daquelas fortemente correlacionáveis na Análise Grupal.

A seguir selecionaram-se as variáveis melhor representativas das etapas do processo.

O conjunto final de variáveis encontra-se na tabela IV.

TABELA IV  
VARIÁVEIS UTILIZADAS NA ANÁLISE GRUPAL

V A R I Á V E I S	
TEORES DAS AMOSTRAS	% Fe, % PPC, % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
MOAGEM	Energia relativa.
DESLAMAGEM	% Recuperação do Fe.
FLOTAÇÃO	% Recuperação do Fe, %SiO <sub>2</sub> concentr., % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
REMOAGEM	Energia relativa do produto A, SE prod.remoagem

Com os valores destas variáveis alimentou-se um programa de computador desenvolvido para Análise Grupal.

A interpretação dos resultados conduziu à definição de 12 tipos de minérios, cujas principais características estão na tabela V.



TABELA V  
TIPOS DEFINIDOS E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

TIPO	TEORES ALTM. (%)			RECUP. Fe (%)		TEOR. CONC (%)		CAPAC. MOAGEM (t/h)	CAPACIDADE REMOAGEM (t/h)		SE (cm <sup>2</sup> /g)
	Fe	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PPC	DESL.	FLOT.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		PROD. A	PROD. B	
I1	58,3	1,1	0,5	94,4	94,8	1,0	0,5	2354*	157	136	1118
I2	32,8	1,1	0,5	88,2	55,2	2,0	0,7	844	201	174	1514
I3	65,2	1,3	1,4	89,0	99,2	0,7	0,7	688	226	191	1241
I4	39,2	0,7	0,5	93,4	86,7	0,5	0,4	364	109	97	1106
I5	40,7	1,3	0,8	92,0	87,9	1,0	0,6	476	170	148	1258
I6	48,3	3,6	1,2	89,3	64,0	2,0	1,4	673	237	193	1516
I7	50,1	1,7	1,0	89,8	94,5	1,4	0,6	488	177	153	1276
H1	62,2	4,9	3,5	57,5	98,5	0,2	2,5	455	315	260	1159
H2	62,9	1,4	4,1	76,0	97,9	0,4	0,6	294	275	244	2084
H3	60,3	1,2	2,4	85,0	99,5	0,7	1,2	382	240	202	1359
H4	51,3	1,5	3,5	81,9	97,6	2,0	0,8	192	223	196	2105
H5	32,8	0,9	1,1	75,6	80,0	1,0	1,0	333	402	339	1806

\* A alta capacidade deve-se ao fato da granulometria do ROM estar muito próximo à especificação do produto da moagem.

Definidos estes tipos, realizou-se o mapeamento tipológico da Mina com base na locação dos intervalos dos furos de sondagem em seções verticais.

A projeção da interpretação obtida nestas seções, em horizontais, teve como suporte resultados de furos de perfuratriz nos bancos de dados de geologia estrutural da Mina.

## 6. TESTES INDUSTRIAIS

Concluído o mapeamento tipológico e verificadas as frentes de lavra com tipos individualizados, realizaram-se testes industriais com os tipos I5, H5 e I1.

O objetivo destes testes foi avaliar qualitativa e quantitativamente as estimativas de comportamento na Usina, determinadas pelos testes de laboratório para os tipos definidos.

## 6.1. Moagem/Remoagem

Para determinar industrialmente as capacidades da moagem e remoagem dos minérios, utilizaram-se três taxas de alimentação.

Os resultados estão nas figuras 2 e 3.

### 6.1.1. Tipo 15

A capacidade de moagem prevista em laboratório foi de 474 t/h. Pelos resultados apresentados na figura 2, determinou-se a capacidade da moagem industrial em 516 t/h, ficando 8,9% maior que a prevista.

Na remoagem, as capacidades esperadas eram 170 t/h e 148 t/h para os produtos A e B, obtendo-se nos testes industriais (fig.3) 174 t/h e 156 t/h, sendo as diferenças percentuais 2,4% e 5,4%, respectivamente.

### 6.1.2. Tipo H5

A capacidade da moagem prevista em bancada foi de 333 t/h. A capacidade de moagem nos testes industriais (fig.2) foi 358 t/h, 7,5% maior que a prevista.

As baixas recuperações em massa, devidas ao baixo teor em Fe do minério, determinaram a realização dos testes industriais de remoagem em taxas de alimentação menores que as taxas limites previstas em bancada, 402 t/h e 339 t/h para os produtos A e B.

Na figura 3, pode-se observar que, para as taxas utilizadas, as granulometrias dos produtos foram significativamente mais finas que as especificações de produção.

### 6.1.3. Tipo 11

A capacidade de moagem prevista em laboratório foi de 2354 t/h. A fração do ROM retida em 100 mesh Tyler foi igual a 12,5%. Como o produto da moagem é

especificado em 10% retido nesta malha, não ocorre limitação de capacidade de moagem.

Nos testes industriais verificou-se que, com as taxas de alimentação praticadas, a granulometria do produto ficou bem menor que o especificado.

As capacidades na remoagem, estimadas em laboratório, foram 157 t/h e 136 t/h para os produtos A e B, respectivamente.

Industrialmente, trabalhou-se em faixas de alimentação da remoagem acima dos níveis estimados, porque o elevado teor em Fe do minério conduziu a altas recuperações em massa na deslamagem e flotação.

Na figura 3, observa-se que foram obtidos produtos com granulometrias mais grossas que as especificadas para os produtos A e B.

## 6.2. Deslamagem/Flotação

As comparações entre os resultados de bancada e industriais das etapas da deslamagem e flotação estão na figura 4.

Foram estabelecidas correlações entre os resultados industriais e os de laboratório, obtendo-se bons coeficientes de correlação. Com base nas correlações obtidas, tem sido feito acompanhamento permitindo se prever com boa margem de segurança os desempenhos na deslamagem e flotação dos tipos que não foram testados industrialmente.

## 7. COMENTÁRIOS FINAIS

Ao término do trabalho, procedeu-se ao acompanhamentos das produtividades diárias do Concentrador, para comparações com as estimadas, segundo os tipos de minérios alimentados.

Na produção de concentrados tipo A, obteve-se a média de 218 t/h. A produtividade média estimada foi de 180 t/h. A diferença de 17,4% deve-se, principalmente à utilização de circuitos alternativos projetados, objetivando o aumento de produção da

Usina, tais como: "by-pass" da deslamação/flotação dos minérios ricos e adição de lama ao concentrado final. Apenas o concentrado tipo A possui especificações químicas que possibilitam a utilização destes circuitos.

Para os minérios ricos deverão ser realizados novos testes em bancada, visando determinar suas produtividades quando processados nos circuitos alternativos.

A produtividade média na produção do concentrado tipo B foi 152 t/h. A média estimada foi 147 t/h, resultando em 3,3% de diferença.

O mapeamento tipológico na Mina permitiu ao planejamento da lavra, melhor adequação dos tipos de minérios às diferentes campanhas de produção. Assim, comparando-se os resultados da Usina de 1988 e aqueles acumulados até setembro/89, observou-se um aumento de 2,5% na produtividade em campanhas de produção tipo A e B com melhores índices de recuperação metálica. Este fato é atribuído ao melhor controle dos minérios alimentados à Usina, que se tornou possível devido aos resultados positivos da presente investigação.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- 1- FEITOSA, V.M.N. - Programa em Basic para Análise Grupal. Mariana, SAMARCO Mineração S.A., 1986.
- 2- GRANDY, G.A. - SAMARCO Inter-office Correspondence - Primary Grinding Energy-relative Grindability Study. San Francisco, 1974.
- 3- LOWRISON, G.C. - Crushing and Grinding. London, Butterworths, 1984, p. 75-92.
- 4- PRYOR, E.J. - Mineral Processing. London, Applied Science Publishers, 1965. Appendix B.
- 5- VALENTE, J.M.G.P. - Geomatemática. Ouro Preto, Fundação Gorceix, 1982, p. 1602-1615, vol. VI.

TABELA II  
ANÁLISES QUÍMICAS E RESULTADOS DOS TESTES DE MOAGEM  
E REMOAGEM POR APLICAÇÃO DO MODELO CINÉTICO

	COLUNA A			COLUNA B			COLUNA C					
	ANÁL. QUÍMICA (%)			MOAGEM			REMOAGEM					
	Fe	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PPC	k x 10 <sup>2</sup> (min <sup>-1</sup> )	Er	C (t/h)	SE (cm <sup>2</sup> /g)	k x 10 <sup>2</sup> (min <sup>-1</sup> )	PRODUTO A		PRODUTO B	
								Er	C (t/h)	Er	C (t/h)	
REF.	48,37	0,86	0,44	6,41	1,00	515	1275	2,22	1,00	254	1,00	205
1N	39,19	0,72	0,77	7,34	1,37	376	1379	2,21	1,44	177	1,33	154
1S	39,35	0,60	0,32	8,40	1,36	380	1252	1,63	2,07	123	1,88	109
1SE	35,92	0,67	0,62	5,80	1,74	296	1050	1,31	2,76	92	2,47	83
2N	36,66	1,44	0,46	8,25	0,61	840	1453	2,54	1,17	217	1,11	185
2S	40,94	1,39	0,84	10,11	1,05	491	1238	2,11	1,50	169	1,39	147
3N	38,22	1,18	0,56	5,99	2,00	258	1064	1,65	2,21	115	1,97	104
3S	37,77	0,67	0,74	5,86	1,72	300	1112	1,59	2,17	117	1,97	104
4S	45,51	0,73	0,53	5,71	1,23	418	1026	1,30	2,62	97	2,38	86
5N	60,27	1,24	2,37	9,71	1,35	382	1359	2,55	1,06	240	1,01	202
5S	57,77	1,07	0,47	7,61	0,19	2736*	1098	1,84	1,67	152	1,55	132
5SE	51,12	1,69	0,97	8,49	1,15	449	1296	2,04	1,58	161	1,45	141
6N	32,76	0,91	1,06	9,78	1,55	333	1806	4,31	0,63	402	0,60	339
6S	34,89	0,84	0,49	7,08	1,52	338	1095	1,42	2,17	117	2,01	102
7N	31,06	0,91	0,54	8,90	0,61	846	1541	2,42	1,31	194	1,21	169
7S	46,51	1,88	0,96	10,88	0,83	623	1209	2,46	1,10	231	1,05	195
7SE	48,27	3,56	1,20	12,13	0,77	673	1516	2,47	1,12	227	1,06	193
8N	66,50	1,25	1,46	16,45	0,64	800	1271	3,54	0,66	385	0,65	314
8S	64,90	1,35	1,32	10,95	0,78	658	1233	2,10	1,39	183	1,31	157
8SE	60,10	1,36	0,71	8,24	0,51	1013	1190	1,96	1,46	174	1,39	148
9N	51,26	1,53	3,47	6,02	2,68	192	2105	2,99	1,14	223	1,05	196
10N	62,88	1,43	4,13	8,52	1,75	294	2084	3,15	0,92	275	0,84	244
10SE	62,20	4,88	3,50	13,13	1,13	455	1159	3,06	0,81	315	0,79	260

Er = Energia relativa

C = Capacidade

SE = Superfície específica

\* A alta capacidade deve-se ao fato da granulometria do ROM estar muito próxima à especificação do produto da moagem.

TABELA 11:  
 RESULTADOS DOS TESTES DA DESLAMAGEM  
 E FLUTUAÇÃO EM BANCADA

AMOSTRA	RECUPERAÇÃO EM Fe (%)		TEORES CONCENTRADO (%)	
	DESLAMAGEM	FLUTUAÇÃO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
REFERÊNCIA	90,7	96,1	1,00	0,26
1N	90,9	85,7	1,00	0,44
1S	94,9	85,0	0,28	0,35
1SE	93,6	85,2	0,26	0,47
2N	88,7	60,0	2,00	1,19
2S	92,2	88,3	1,00	0,62
3N	95,8	92,0	2,00	0,29
3S	91,9	88,8	0,58	0,44
4S	93,7	93,3	1,08	0,36
5N	85,0	99,5	0,69	0,58
5S	94,5	94,2	1,00	0,49
5SE	90,0	96,9	1,27	0,62
6N	75,6	80,0	1,00	1,01
6S	91,9	82,6	0,28	0,42
7D	87,9	53,0	2,00	0,42
7S	89,1	86,5	2,00	0,36
7SE	89,3	64,0	2,00	1,41
8N	90,6	99,1	0,32	0,69
8S	88,5	99,2	0,76	0,70
8SE	94,1	97,0	1,00	0,47
9N	81,9	97,6	2,00	0,75
10N	76,0	97,9	0,40	0,61
10SE	87,5	98,5	0,24	2,50

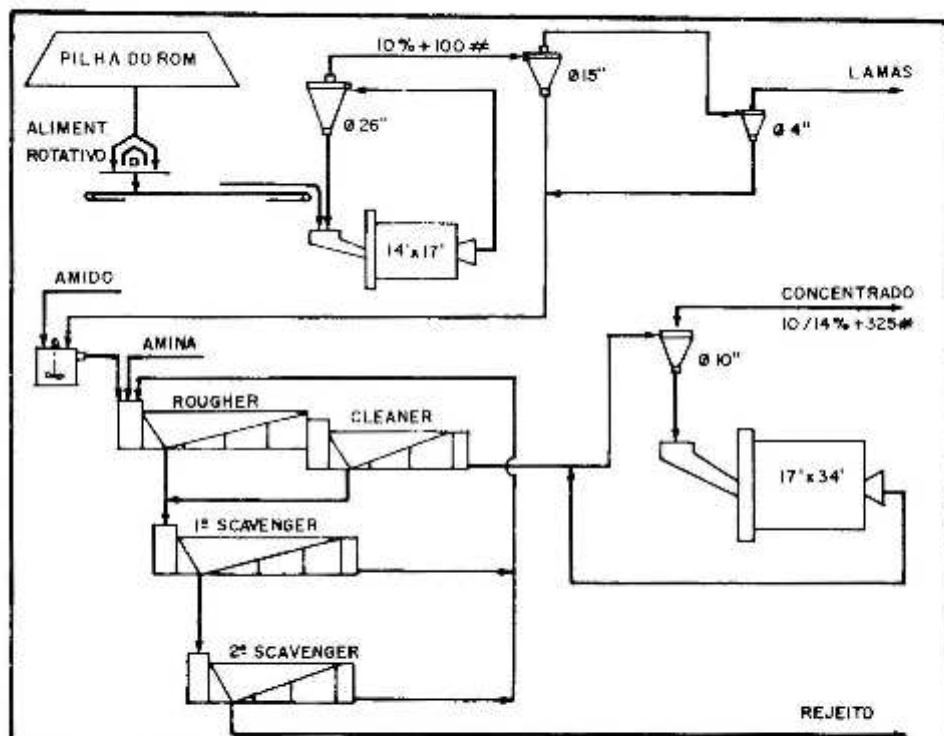


FIG. 1 FLUXOGRAMA DA USINA

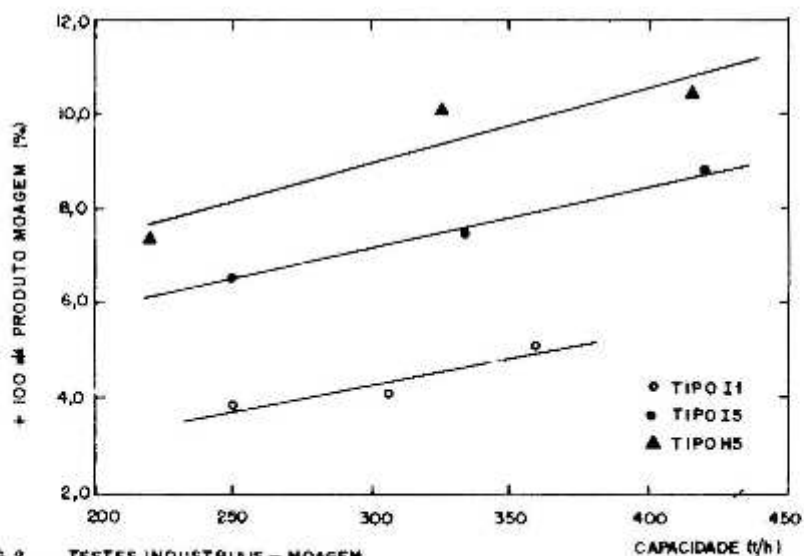


FIG. 2 TESTES INDUSTRIAIS - MOAGEM

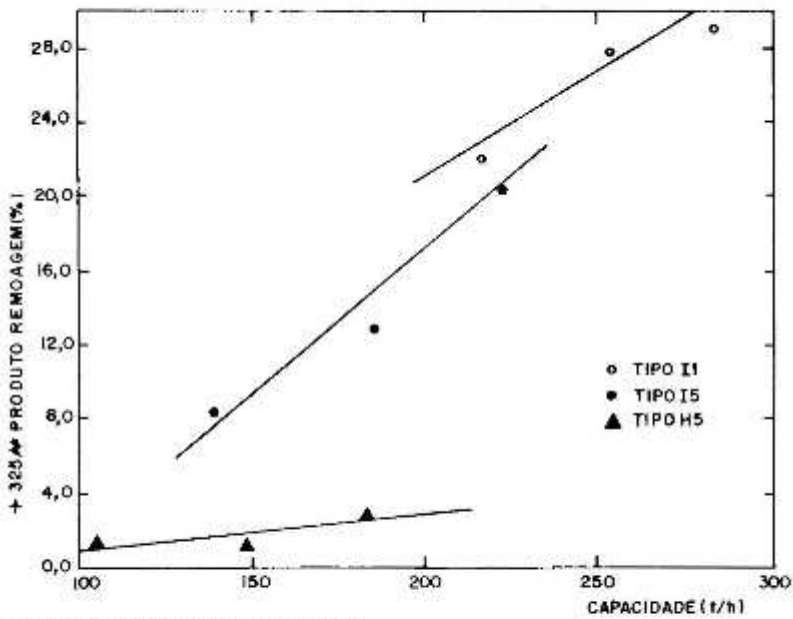


FIG. 3 TESTES INDUSTRIAIS - REMOAGEM

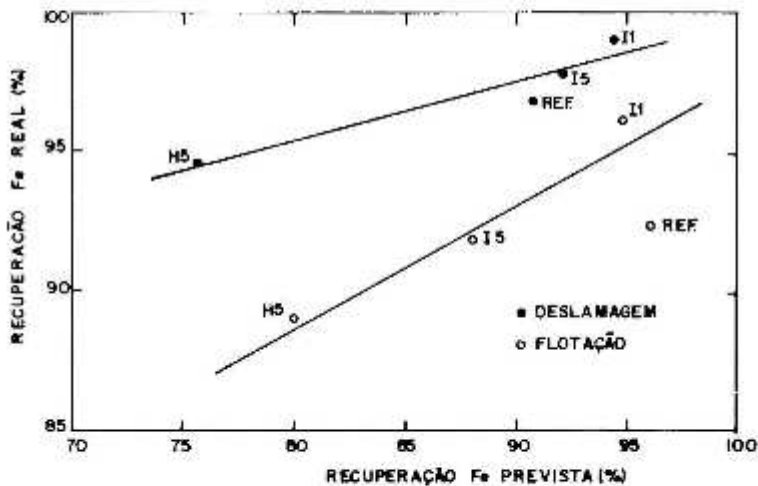


FIG. 4 TESTES INDUSTRIAIS - DESLAMAGEM E FLOTAÇÃO