

ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO DA ALIMENTAÇÃO DA PLANTA DE CONCENTRAÇÃO DE FINOS NA MINERAÇÃO DE CASA DE PEDRA, MG¹

Nazra Corrêa da Silva Simão²
Rejane Corrêa de Oliveira³

RESUMO

Estão sendo realizados os primeiros estudos de caracterização granulométrica, química, mineralógica e grau de liberação do minério que alimenta a planta de concentração de finos de minério de ferro, após seu *start-up*, em agosto/93. Essa planta é responsável pela produção de *pellet feed fine* e é alimentada pelo rejeito (material <0,105 mm) gerado na produção de minério para alto forno e *sinter feed*.

Os resultados mostram um elevado grau de liberação hematita-quartzo, característica extremamente benéfica ao processo. Foi observado que a faixa de liberação do quartzo (SiO₂) é 0,074mm. Evidenciaram-se, também, correspondências entre mineralogia e química bastante importantes. Pode-se citar a correlação entre o teor de goethita (FeOOH) e o teor de fósforo, a relação entre grau de PF (perda ao fogo) e teor de alumina (principalmente sob a forma de caolinita - Al₄(Si₄O₁₀)(OH)₈) e/ou teor de goethita e fósforo, com os maiores teores de PF correspondendo aos maiores teores de P e Al₂O₃. Os minerais-minério encontrados são hematita (86%), goethita (4%) e magnetita (<1%) e os minerais de ganga são quartzo (8%) e caolinita, óxidos de manganês e outros, somando 1%. Como traços aparecem alguns sulfetos de ferro.

Palavras-chave: minério de ferro, concentração, caracterização

¹ Contribuição técnica a ser apresentada no I Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro: Caracterização, Beneficiamento e Pelotização ABM - Ouro Preto, MG, 14 a 17 de outubro de 1996.

² Membro da ABM, Geóloga, Eng. De desenvolvimento da Mineração de Casa de Pedra, CSN.

³ Membro da ABM, Eng. Química, Pesquisadora do Centro de Pesquisas da CSN.

1. INTRODUÇÃO

O trabalho ora apresentado está sendo desenvolvido na Mineração Casa de Pedra, pertencente à Companhia Siderúrgica Nacional - CSN. Todo o minério de ferro consumido pela usina siderúrgica da CSN é produzido pela Mineração Casa de Pedra, cujo ROM gira em torno de 10.000.000 t/ano, gerando 8.500.000 t/ano de produtos, subdivididos em: *natural pellet ore* (15%), *sinter feed* (48%) e *pellet feed fine* (22%).

O depósito de Casa de Pedra situa-se na porção sudoeste da província mineira denominada Quadrilátero Ferrífero, localizada no estado de Minas Gerais. Os depósitos de ferro dessa província são caracterizados como formações ferríferas bandadas metamorizadas da fácies óxido, tipo Lago Superior.

As reservas lavráveis de Casa de Pedra são da ordem de 340 milhões de toneladas, subdivididas em minério hematítico (teor de ferro $\geq 64\%$) e itabirítico (teor de ferro $< 64\%$). Encontram-se implantadas duas cavas de minério, as quais são explotadas por métodos tradicionais, a céu aberto, por bancadas de treze metros de altura.

O beneficiamento constitui-se de três etapas de britagem e peneiramento, sendo formada, após essas etapas, uma pilha de homogeneização de 400.000 t. Essa pilha é processada (classificação hidráulica), originando os produtos *natural pellet ore* (minério do tipo granulado para alto forno - AF, com granulometria variando de 10,0 mm a 40,0 mm) e *sinter feed* (SF, com granulometria variando de 0,105 mm a 6,35 mm). A fração inferior a 0,105 mm, rejeito desse processo, alimenta uma planta de concentração de finos (*start-up* em agosto/93), responsável pela produção de *pellet feed fine* (PFF).

Essa planta de concentração compõe-se de três etapas: ciclonagem, flotação em colunas e filtragem.

A Ciclonagem funciona com três baterias (Figura 1): a primária, a secundária (bateria de finos) e a terciária (bateria de grossos), sendo responsável pela deslamagem da polpa (a lama se compõe de argilominerais e/ou frações muito finas, argilas, de qualquer mineral). O *underflow* da bateria de grossos é a alimentação da Flotação e o *overflow* da bateria de finos é rejeito. O rendimento de projeto da Ciclonagem é de 80%.

A Flotação (Figura 2) funciona no esquema de colunas *rougher*, que dão o desbaste inicial em quartzo (SiO_2), sendo as responsáveis pelo rendimento em massa do processo, e de coluna *cleaner*, responsável pela qualidade do produto (refinamento no corte de SiO_2). O rendimento de projeto da Flotação é de 70%. O rendimento global da planta (projeto) é de 56%.

A Filtragem é responsável pelo desaguamento da polpa, que é transportada da Flotação até essa unidade através de um mineroduto.

Atualmente, está sendo desenvolvido um trabalho de caracterização mineralógica, química e granulométrica do minério que alimenta a planta de concentração, com o objetivo de se conhecer as características desse material e de se investigar como tais características influenciam o processo em questão.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 - Amostragem

Os pontos de amostragem podem ser vistos na Figura 3. Esses pontos foram definidos no circuito de beneficiamento para que se retratasse o material que alimenta a planta de concentração e se verificasse o seu comportamento no processo, relacionando suas características aos dados de operação. Assim, amostrou-se as pilhas de homogeneização, representativas de todo o ROM (*run of mine*), e o minério nas etapas de ciclonagem e flotação, caracterizando-se alimentações, produto e rejeito.

O período amostral foi de oito semanas, o que corresponde a quatro pilhas de homogeneização de 400.000 t cada uma. A amostragem feita representa um universo de 1.800.000 toneladas, o que corresponde a 1/6 do minério explotado anualmente.

O ponto A-1 representa uma amostra global da pilha no momento de sua formação; A-2 representa uma amostra global da pilha na retomagem, após sua homogeneização; A-3 é a alimentação da ciclonagem; A-4 é rejeito da ciclonagem (lama, coletada como *overflow* do ciclone de finos); A-5 é alimentação da flotação (*underflow* do ciclone de grossos); A-6 é rejeito final (*overflow* da *rougher*) e A-7 é produto (*underflow* da *cleaner*).

2.2 - Tipologia dos minérios amostrados

Atualmente, classifica-se os minérios em função de seu teor em ferro e de sua granulometria. Assim, tem-se:

a) quanto ao teor em ferro:

hematitas: teor em Fe $\geq 64\%$

itabiritos ricos: $58\% \leq$ teor em Fe $< 64\%$

itabiritos pobres: teor em Fe $< 58\%$

b) quanto à granulometria:

minério brando: $< 25\%$ das partículas retida em 10 mm

minério semibrando: 25 a 50% das partículas retida em 10 mm

minério semiduro: 50 a 75% das partículas retida em 10 mm

minério duro: $> 75\%$ das partículas retida em 10 mm

Dentro dessa escala, as hematitas são classificadas em maciças ou duras, granuladas (finas, médias ou grossas) e pulverulentas. Os itabiritos são classificados de brandos a duros.

O controle de mina baseia-se, então, na separação de tipos segundo as características acima. Para atender as especificações dos produtos, deve-se ter como *blending* final de cada pilha o seguinte material:

Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	Mn	+ 12,7 mm	+0,105 mm
$\geq 61\%$	8 a 8,5%	1,5 a 2,0%	$\leq 0,050\%$	0,50%	20%	45%

As pilhas 15 a 18, alvo dessa pesquisa, foram compostas com os seguintes minérios, em tonelagem:

Minério (t)	Hematitas (D/Gr/P)	Itabiritos Ricos (D/B)	Itabiritos Pobres (D/B)	Material de Estoque	Tonelagem Total da Pilha
Pilha 15	286.207	-	54.055	67.984	408.246
Pilha 16	174.333	-	157.175	76.544	408.052
Pilha 17	255.741	-	136.178	38.381	430.300
Pilha 18	202.305	-	163.475	40.520	406.300

2.3 - Análises

Todas as análises químicas, granulométricas e mineralógicas foram realizadas nos próprios laboratórios da CSN.

As análises químicas e granulométricas foram realizadas no Laboratório Químico e Granulométrico da Mineração Casa de Pedra. Foram feitas separações granulométricas nas faixas +12,7 mm, +6,35 mm, +0,105 mm, +0,074 mm, +0,044 mm, +0,037 mm e -0,037 mm com determinação dos teores de Fe total, SiO₂, Al₂O₃, Mn, P e da PF (perda ao fogo) para cada faixa granulométrica separada.

Os métodos de análise química empregados foram fluorescência de raios X e via úmida.

As análises mineralógicas foram realizadas no Laboratório de Petrografia do Centro de Pesquisas da CSN. As análises foram feitas utilizando microscópio ótico de luz refletida. Utilizou-se também difração de raios X, para a identificação de minerais de difícil reconhecimento no microscópio de luz refletida (minerais de ganga), e microsonda eletrônica (WDS), para a identificação de minerais portadores de fósforo.

3. RESULTADOS

3.1 - O teor de Fe diminui com a diminuição da granulometria, atingindo um mínimo em 0,074 mm, seguido de um enriquecimento nas frações mais finas. A sílica comporta-se de maneira inversa (Gráfico 1).

3.2 - A malha de liberação da SiO₂ (quartzo) é 0,074 mm, quando o teor médio de SiO₂ passa de cerca de 7% para 33% (Gráfico 1).

3.3 - Os teores de P e Al₂O₃, excetuando-se as faixas acima de 6,35 mm, acompanham o teor de Fe na distribuição por faixa granulométrica, comportando-se, portanto, opostamente à SiO₂ (Gráfico 2).

3.4 - As impurezas P e Al₂O₃, assim como a PF (perda ao fogo), são maiores (aproximadamente o dobro dos teores das outras faixas) na faixa <0,037 mm (Gráfico 2), que é significativa: 15% do ROM (observação das amostras coletadas nas pilhas de

homogeneização). O teor em Fe volta a crescer nesta faixa, confirmando a observação do item 3.3. Junto com as faixas mais grossas (AF e SF), a faixa <0,037 mm é a mais rica em Fe.

3.5 - O segundo maior teor em P está na faixa +0,105 mm (Gráfico 2), sendo que o teor médio dessa faixa corresponde ao teor médio da pilha, aproximadamente. Essa faixa é a maior em volume das pilhas observadas: 37% (Tabela I). Os teores mais baixos em P se observam nas faixas +12,7 mm (Alto Forno), +6,35 mm (*top size* do *sinter feed*) e -0,105 mm +0,037 mm (PFF). Observa-se que, nestas faixas de *pellet feed*, os teores de P são extremamente baixos (cerca de 0,020%), correspondendo a 50% do teor médio apresentado pelas pilhas (0,043%).

Tabela I - Distribuição granulométrica das pilhas de homogeneização

Faixa granulométrica	% Retido
+12,7 mm	27.3
+6,35 mm	10.5
+0,105 mm	36.8
+0,074 mm	2.8
+0,044 mm	5.1
+0,037 mm	2.2
-0,037 mm	15.4
Total	100.0

3.6 - O fósforo apresenta correlação com a goethita ($\rho = 0,84$), incluindo dados de todos os pontos de amostragem (Gráfico 3). Pelas análises mineralógicas, deduz-se que o teor de P acompanha o teor de Fe, porém não em todos os minerais de Fe. Sua correlação é grande com a goethita, enquanto se observa uma anti-correlação com as hematitas (Gráfico 4). Microanálises realizadas em hematitas e goethitas mostraram ausência de fósforo nas hematitas, estando este presente apenas em parte das goethitas.

3.7 - Ao longo do processo de concentração (ponto A3 → ponto A7), observa-se que o teor de goethita / P caem na ciclonagem e voltam a crescer na flotação, mostrando uma ligeira concentração desses na flotação (Tabela II).

Tabela II - Teor de fósforo e goethita ao longo do processo de concentração

Ponto de amostragem	% P	% Goethita
A3	0.062	2.2
A5	0.027	2.0
A7	0.035	3.3

3.8 - Os maiores teores de P e Al_2O_3 se associam aos maiores valores de PF (Tabela III).

Tabela III - Teores médios de Al_2O_3 , P e PF (perda ao fogo) nos pontos A3, A4, A5, A6 e A7.

% Al_2O_3	% P	PF
0.42	0.012	0.27
0.46	0.008	0.21
0.49	0.005	0.11
0.68	0.030	0.73
0.69	0.022	0.64
0.73	0.028	0.82
0.77	0.024	0.63
0.80	0.028	0.83
0.80	0.031	0.80
0.93	0.025	0.57
0.96	0.029	0.62
0.99	0.039	1.01
1.06	0.028	0.82
1.23	0.024	0.73
1.57	0.059	1.78
3.20	0.080	2.54
5.27	0.132	4.18

3.9 - Análises por difração de raios X mostram caolinita ($Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$) como principal mineral portador de alumínio e também o principal mineral de ganga depois do quartzo. Esse fato é coerente com a relação alumina x PF, já que a caolinita apresenta grupos OH em sua constituição, sendo estes os responsáveis por valores elevados de PF.

3.10 - Os teores de manganês são totalmente erráticos, não apresentando nenhum tipo de correlação com os outros elementos, nem um comportamento típico como, por exemplo, alguma tendência por faixa granulométrica. Minerais de Mn (óxidos) foram observados ao microscópio, mas não foram quantificados separadamente.

3.11 - Nas pilhas de homogeneização, o grau de liberação médio hematita-quartzo é alto, sempre acima de 97%, para granulometria inferior a 0,105 mm (Tabela IV).

Tabela IV - Grau de liberação por faixa granulométrica nas pilhas de homogeneização

Faixa granulométrica	Grau de liberação
+0,074 mm	97 %
+0,044 mm	97 %
+0,037 mm	98 %
-0,037 mm	100%

3.12 - O grau de liberação hematita-quartzo é, em média, 98% na alimentação da flotação, ou seja, a liberação não é problema para o processo de flotação.

3.13 - A faixa granulométrica mais volumosa da alimentação da Concentração é a <0,037 mm (aproximadamente 2/3 do material processado) - Tabela V.

Tabela V - Distribuição granulométrica da alimentação da planta de Concentração

Faixa granulométrica	% Retido
+0,074 mm	9.4
+0,044 mm	14.3
+0,037 mm	9.5
-0,037 mm	66.8
Total	100.0

3.14 - A alimentação (ponto A3), rejeito (ponto A4) e produto (ponto A5) da ciclonação têm o mesmo teor em Fe ($\approx 52\%$), denotando que a deslamagem carrega, também, minerais de ferro, além das lamelas de argilominerais (Tabela VI).

Tabela VI - Teor de ferro global e na fração <0,037 mm por ponto de amostragem

Ponto de amostragem	% Fe (t)	% <0,037 mm	% Fe(t) em <0,037 mm
A3	53.8	66.8	60.2
A4	54.3	91.7	55.2
A5	52.0	48.4	62.4
A6	27.1	40.7	56.6
A7	65.1	58.3	66.3

3.16 - O produto da flotação (ponto A7) é muito rico em quartzo/SiO₂ na faixa mais grossa (+0,074 mm): teor em SiO₂ = 8,8%; teor em quartzo = 6,9% (Tabela VII). Esse fato é menos grave porque essa faixa é a menos volumosa do produto (9,4%). Porém, ela é a responsável por eventuais desvios de sílica no produto.

Tabela VII- Características granuloquímicas e mineralógicas do produto da Concentração

Faixa granulom.	% Retido	% SiO ₂	%P	%Al ₂ O ₃	%Mn	%Quartzo	%Goethita
+0,074 mm	9.4	8.8	0.064	1.74	0.30	6.9	9.6
+0,044 mm	17.3	2.0	0.039	0.99	0.18	1.5	5.1
+0,037 mm	14.5	1.3	0.032	0.69	0.13	0.8	4.0
-0,037 mm	59.3	0.7	0.032	0.86	0.18	0.3	2.0
Global	100.0	1.8	0.036	0.94	0.18	1.2	3.5

3.17 - Além do exposto no item anterior, a faixa +0,074 mm apresenta, no produto (ponto A7), as maiores concentrações de goethita (9,6%), P (0,064%), Al₂O₃ (1,74%) e Mn (0,30%) - Tabela VII.

3.18 -. A mineralogia observada está resumida na Tabela VIII.

Tabela VIII - Mineralogia do minério processado em Casa de Pedra (período: ago-set/95)

Mineral	Quantidade (%)
Hematita	86
Goethita	4
Magnetita	<1
Quartzo	8
Outros *	1

* óxidos de manganês, caolinita, sulfetos de Fe.

4. CONCLUSÃO

Realizou-se os estudos referentes aos dados granulométricos, químicos e mineralógicos, estando o trabalho na fase de correlação desses dados aos parâmetros de processo, donde serão concluídas questões sobre o comportamento dos minérios amostrados na Planta de Concentração.

As principais conclusões desta primeira fase são:

a) A composição mineralógica típica das pilhas que foram processadas (*blending* formado para atender às especificações dos produtos), no período amostrado, é

a) A composição mineralógica típica das pilhas que foram processadas (*blending* formado para atender às especificações dos produtos), no período amostrado, é representada por: hematita (86%), quartzo (8%), goethita (4%), magnetita (<1%) e outros - óxidos de manganês, caolinita, sulfetos de Fe (1%).

b) O teor em fósforo apresenta uma boa correlação com o mineral goethita ($\rho = 0,84$), considerados os dados de todos os pontos de amostragem.

c) O grau de liberação hematita-quartzo é bem elevado: nas pilhas de homogeneização (pontos A1 e A2), é sempre acima de 97% para a granulometria inferior a 0,105 mm (representa o material que alimentará a Planta de Concentração) e, na alimentação da flotação (ponto A5) é, em média, 98%.

d) A faixa de liberação da sílica é 0,074 mm.

Deve-se ressaltar que esse trabalho tem caráter principalmente qualitativo, considerando-se o seu pioneirismo na CSN. Ao invés de se chegar a conclusões finais sobre os minérios e seu comportamento no processo, quando de seu término, pretende-se indicar quais investigações futuras serão necessárias à otimização do planejamento mineiro e dos processos de beneficiamento do minério.

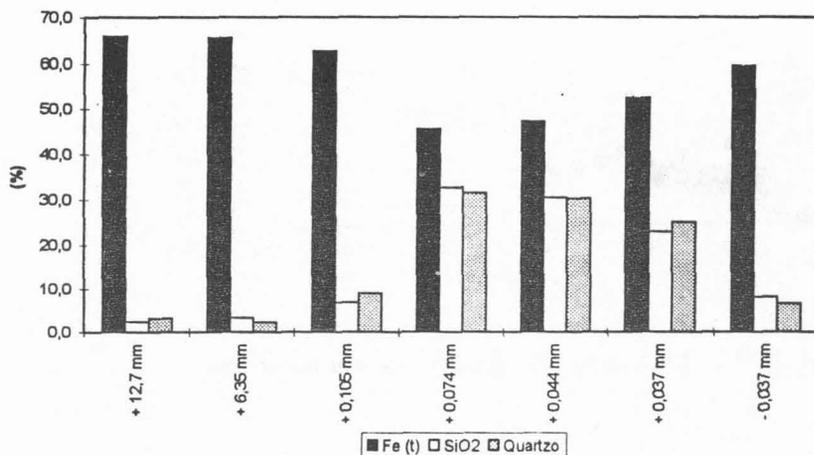


GRÁFICO 1 - Distribuição de Fe (t), SiO₂ e quartzo por faixa granulométrica.

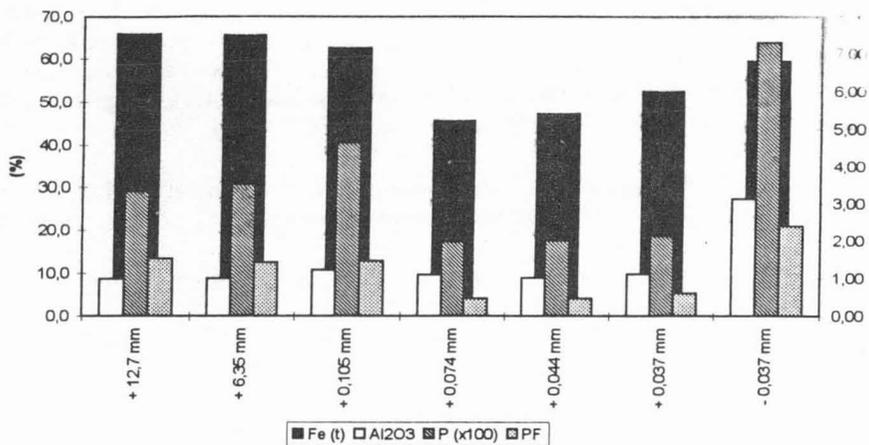


GRÁFICO 2 - Distribuição de Fe (t), Al₂O₃, P e PF (perda ao fogo) por faixa granulométrica (Fe (t): eixo à esquerda; demais: eixo à direita).

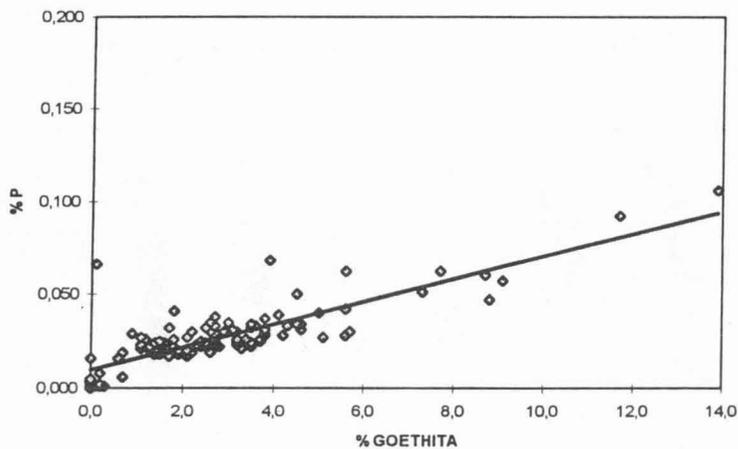


GRÁFICO 3 - Correlação entre goethita e fósforo ($\rho = 0,84$).

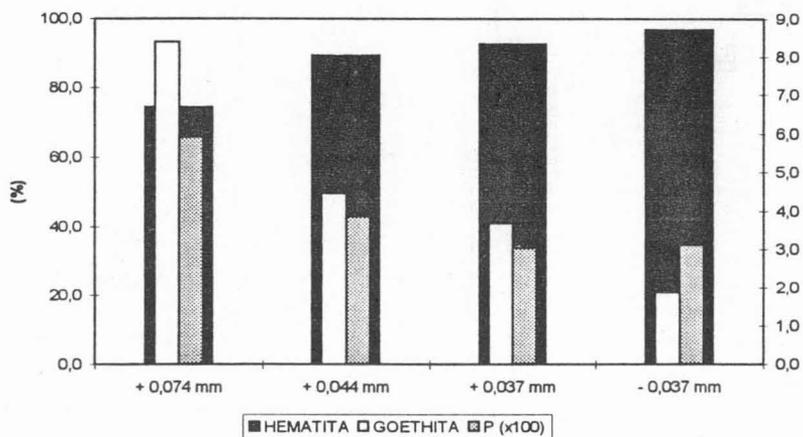


GRÁFICO 4 - Distribuição de hematita, goethita e fósforo no produto concentrado ponto A7 (hematita: eixo à esquerda; demais: eixo à direita).

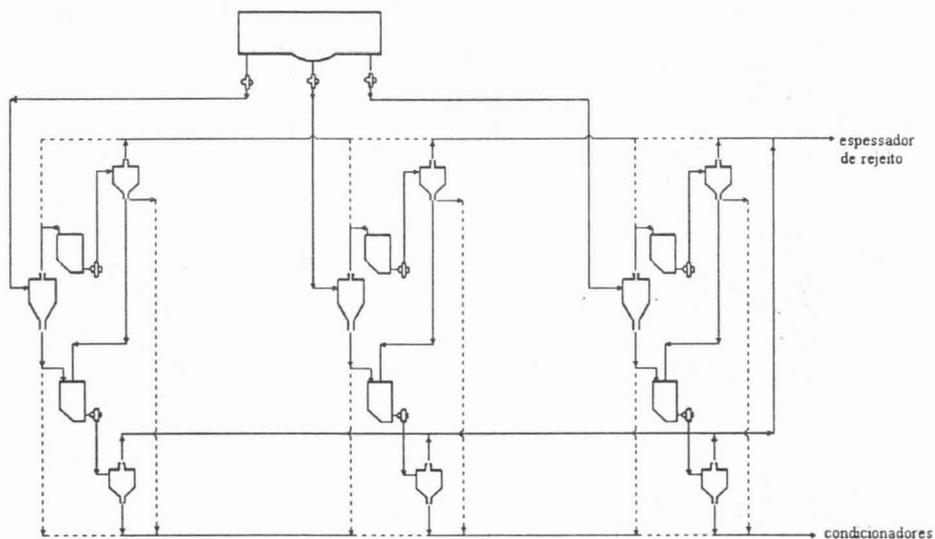


Figura 1 - Fluxograma da Unidade de Ciclonagem (Planta de Concentração de Finos, Mineração de Casa de Pedra).

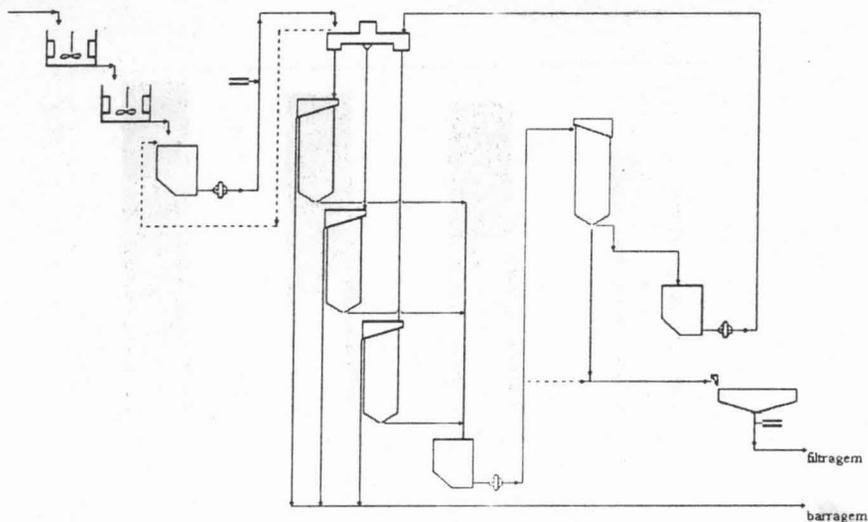
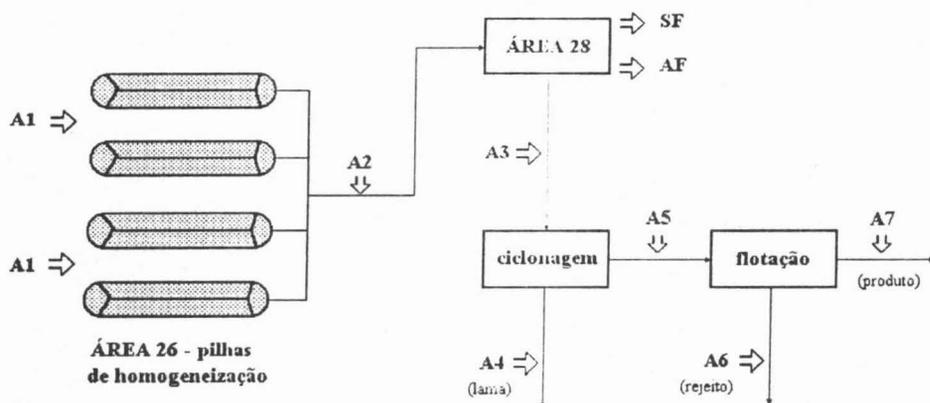


Figura 2 - Fluxograma da Unidade de Flotação (Planta de Concentração de Finos, Mineração de Casa de Pedra).



- A1 - Global da pilha no empilhamento
- A2 - Global da pilha na retomagem
- A3 - Alimentação da cicloneagem
- A4 - Rejeito da cicloneagem (overflow)
- A5 - Alimentação da flotação (underflow do ciclone)
- A6 - Rejeito da flotação
- A7 - Produto da flotação

Figura 3 - Fluxograma do processo de beneficiamento/concentração na Mineração de Casa de Pedra, mostrando os pontos de amostragem.