

ferro

FERTECO

Jurgen Schnellrath¹
Marisa Bezerra de Melo Monte¹
João Alves Sampaio¹
José Rômulo Cuzzuol²
Antônio Maurício Gomes Pereira²
Alfredo Fidelis de Magalhães Pinto²

■ A FERTECO Mineração S.A. opera duas minas situadas no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais: Córrego do Feijão, no município de Brumadinho, e Fábrica, no município de Ouro Preto, objeto deste trabalho. A produção da Mina de Fábrica, essencialmente voltada para a exportação, é escoada pela ferrovia Minas - Rio - São Paulo (MRS) até seu porto de Sepetiba (RJ) e pela ferrovia Vitória - Minas até o Porto de Tubarão (ES).

Os produtos finais gerados na usina de beneficiamento da Mina Fábrica são:

- a) o WLO (washed lump ore), minério granulado entre 31,5 e 6,3 mm para consumo em altos-fornos;
- b) a hematitinha, material granulado entre 12,5 e 6,3 mm consumido pelos guseiros da região metropolitana de Belo Horizonte;
- c) o sinter feed, finos na faixa granulométrica de 6,3 a 0,1 mm para sinterização;
- d) o pellet feed, concentrado abaixo de 0,1 mm, utilizado na produção de pelotas para alto-forno.

Geologia

As jazidas de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero estão associadas aos itabiritos da formação Cauê (Série Minas) de aproximadamente 2 bilhões de anos. Essas rochas são constituídas de leitos alternados de quartzo e minerais de ferro, contendo 40% de ferro em seu estado original. Dois processos geológicos podem levar ao seu enriquecimento: o metassomatismo, sempre associado a falhas e planos tectônicos, dá origem a depósitos de alto teor e pureza (minério hematítico, até 69% de Fe); e o intemperismo, que leva à formação de corpos enriquecidos próximos à superfície (minério limonítico) com teores mais elevados de Al_2O_3 , P e PPC.

¹ Pesquisador, CETEM

² Técnico, FERTECO

No tratamento do minério essencialmente hematítico, os produtos finais eram obtidos após uma simples sucessão de etapas de britagem e classificação a úmido. Ultimamente, em função da exaustão das porções mais ricas, o aproveitamento dos minérios itabiríticos de mais baixos teores tem crescido em importância, obrigando as empresas a investir na concentração de seu minério.

Com base num teor de corte de 34% de Fe e na distribuição de ferro nas frações granulométricas, o minério é classificado nos tipos hematita compacta, hematita friável, limonítico, itabirito limonítico, itabirito rico, itabirito friável e itabirito pulverulento. Os itabiritos placosos e silicificados, com teores variando de 34 a 53% de Fe, e os minérios limoníticos, com teores muito elevados de Al_2O_3 , são atualmente estocados como *dump ore* para um aproveitamento futuro, por não serem passíveis de tratamento no atual circuito de beneficiamento. Os tipos estéreis incluem o filito, itabiritos com teores inferiores a 34% de Fe e a cobertura de laterita.

Lavra da jazida de Fábrica

O Complexo de Fábrica está situado a 13 km da cidade de Congonhas e a 60 km da capital Belo Horizonte. A lavra é realizada a céu aberto em bancadas de 13 m utilizando-se escavadeiras elétricas e carregadeiras frontais diesel/elétricas (Figura 1). O transporte é realizado por uma frota de caminhões fora de estrada de 150 t, a uma distância média de 4 km do britador primário. Apenas 20% do material lavrado é desmontado com auxílio de explosivos. A relação estéril/minério é de 0,5.



Figura 1: (A) Escavadeira mecânica. (B) Carregadeira frontal em operação na lavra.

As reservas de minério de ferro do Complexo de Fábrica superam 1,2 bilhões de toneladas. Existem ainda grandes reservas inexploradas, que permitirão a continuação da produção atual por várias décadas. Esse potencial é constituído por minérios de itabirito, hematita e limonita de alto teor.

Beneficiamento na mina de Fábrica

Em 1998 foram beneficiadas 14,17 milhões de toneladas de *run of mine* (ROM) com um teor médio de 57,5% de Fe, tendo sido geradas 920.000 toneladas de WLO (6,5% de rendimento mássico – RM com 65,0% de Fe), 540.000 toneladas de hematitinha (3,8% de RM e 65,5% de Fe),

5,22 milhões de toneladas de *sinter feed* (36,8% de RM e 64,7% de Fe) e 4,05 milhões de toneladas de *pellet feed* (28,5% de RM e 66% de Fe), com recuperação totais mássica de 75,7% e metalúrgica de 85,8%. O rejeito, 24,3% da massa total, vai para as barragens com um teor médio de 33,6% de Fe. A utilização média da usina é de 90%. O consumo de energia é de 9 kWh/t de ROM e o de água 1,4 m³/t assim distribuído: 1,0 m³/t de água reciclada na usina e 0,4 m³/t recuperada nas barragens de rejeito. Cerca de 80% dos equipamentos são controlados por CLP (controlador lógico programável).

Britagem primária e pilhas de homogeneização

Os caminhões fora de estrada basculam o ROM no britador primário (CCI), onde o material é reduzido abaixo de 200 mm a uma taxa de 45.000 t/d. O material é transportado por transportador de correia e empilhado de forma sistemática em duas pilhas de homogeneização com capacidade máxima de 180.000 t e 300 m de extensão cada (Figura 2). O método de empilhamento normalmente utilizado é o *windrow* e, no período chuvoso, o *chevron*, visando melhor desaguamento na pilha, conforme mostra o fluxograma da Figura 3.

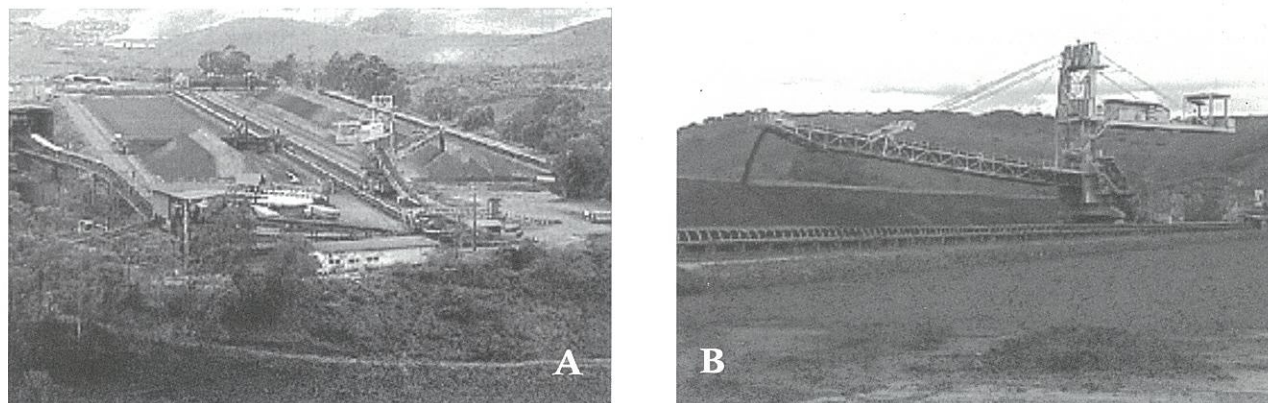


Figura 2: (A) Vista do pátio de homogeneização. (B) Detalhe da empilhadeira.

Enquanto uma das pilhas é formada pelo material vindo do britador primário, a outra é retomada (RC) no sentido perpendicular ao de seu empilhamento, a fim de alimentar a unidade de concentração de forma homogênea. O material retomado é transportado por transportador de correia até o silo de minério bruto (BU-CO), de onde saem as duas linhas que alimentam o circuito de beneficiamento.

Peneiramento primário, britagem secundária e terciária

O minério bruto oriundo do silo (BU-CO) alimenta as peneiras vibratórias SI-01, numa operação via úmida. O retido (-200 +30 mm) desse peneiramento primário é levado à peneira SI-06, onde é feito um peneiramento a seco com corte em 90 mm. O material retido na SI-06 (-200 +90 mm) alimenta o britador cônico secundário (Figura 4A) e o passante (-90 +30 mm) alimenta o britador cônico terciário (CC-TS). A descarga dos dois britadores retorna ao silo de minério bruto (BU-CO), fechando assim o circuito. Opcionalmente o material britado pode alimentar diretamente a usina de britagem de NPO (*natural pellet ore*), com operação em circuito aberto.

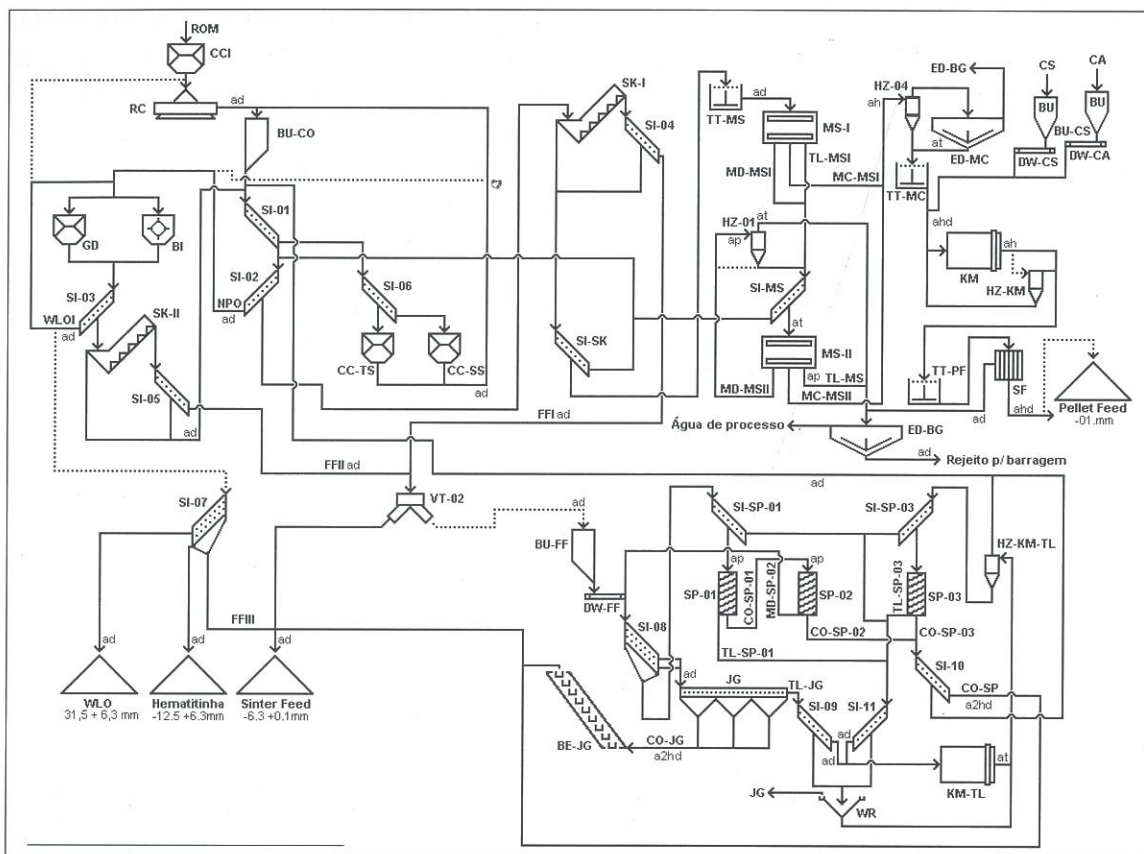


Figura 3: Fluxograma de beneficiamento de minério de ferro da FERTECO

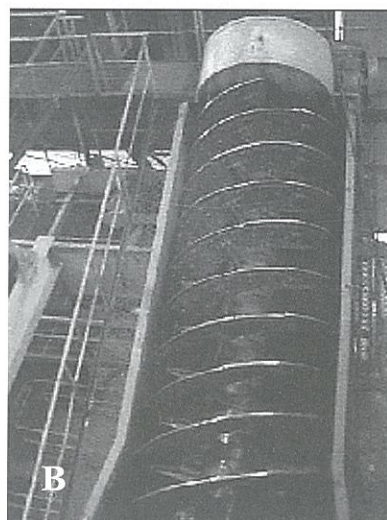
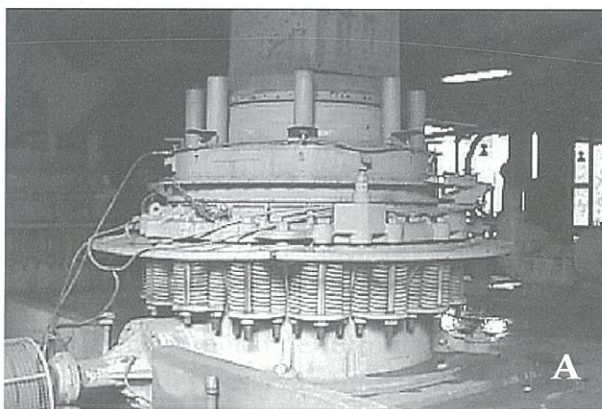


Figura 4: (A) Britador cônico secundário (B) Classificador espiral

Peneiramento secundário, britagem NPO e classificadores espirais

O passante do peneiramento primário (-30 mm) alimenta uma bateria de peneiras vibratórias secundárias (SI-02) com corte em 6,3 mm.

O retido da SI-02 alimenta o circuito de britagem NPO para a geração de *sinter feed* e

granulados. Este circuito é constituído de um britador cônico (GD) e dois britadores de impacto (BI), que operam em circuito fechado com peneiras vibratórias (SI-03) também com corte em 6,3 mm. O retido desse peneiramento (WLOI, +6,3 mm) pode opcionalmente ser transportado à peneira SI-07 para a produção de granulados (WLO II, -31,0 +6,3 mm; hematitinha, -12,5 +6,3 mm) e finos (FF III, -6,3 mm). O passante na SI-03 (-6,3 mm) alimenta os classificadores espiral (SK-II, Figura 4B). A fração grossa dos classificadores espirais (-6,3 +0,1 mm) é desaguada nas peneiras SI-05. O retido dessas peneiras é o produto intermediário denominado FFII (fração fina II). O passante nessas peneiras desaguadoras se une ao *overflow* do classificador espiral, e retorna à peneira SI-01 para repolpagem de alimentação e posterior concentração.

O passante na peneira secundária SI-02 alimenta outros quatro classificadores espiral (SK-I), cujo material decantado (*underflow*) passa por peneiras de desaguamento (SI-04), que retêm o produto intermediário chamado FFI (fração fina I). O passante da peneira de desaguamento junta-se ao *overflow* dos classificadores espiral, indo para as peneiras fixas de controle (SI-SK), protegendo o primeiro estágio do circuito de separação magnética contra entupimentos (telas com 1,0 mm de abertura). O retido nessas peneiras retorna às peneiras secundárias (SI-02), enquanto o passante é bombeado para um tanque homogeneizador de polpa (TT-MS).

Circuito de separação magnética

Do tanque de polpa o minério alimenta, com cerca de 50% de sólidos e 49% de Fe, os quatro separadores magnéticos de alta intensidade, tipo Jones DP317, num primeiro estágio (MS-I), onde são utilizadas placas ranhuradas distantes 3,7 mm uma das outras, gerando um campo de até 7.500 G. O rejeito (TL-MSI) e os médios (MD-MSI) desse são bombeados às peneiras de proteção (SI-MS), com telas de 1 mm de abertura, indo o passante, com teor de 46% de Fe e cerca de 45% de sólidos, alimentar o segundo estágio de concentração magnética, constituído de cinco separadores Jones DP317. Nesse segundo estágio são empregadas as mesmas placas ranhuradas, distantes porém apenas 1,5 mm uma das outras, gerando um campo magnético mais elevado (± 11.000 G). O retido nas peneiras de proteção retorna para as secundárias (SI-02). O concentrado do segundo estágio (MC-MSII) se une ao do primeiro estágio (MC-MSI), ambos com 66% de Fe e totalizando uma recuperação em massa de aproximadamente 55% e metalúrgica de 70% na separação magnética, para passar por um processo de adensamento da polpa. Os médios do segundo estágio (MD-MSII), que pode ser ou não ciclizados na bateria HZ-01 com um corte granulométrico em 25 mm, realimentam o segundo estágio de separação magnética. O *overflow* dessa eventual ciclização e os rejeitos do segundo estágio da separação magnética (TL-MS) são transportados em canaletas, por gravidade, com 15% de sólidos e teor médio de 33,6% de Fe, para os espessadores de rejeito (ED-BG). O *underflow* é bombeado com 50% de sólidos até as barragens de rejeito. O *overflow* desse espessamento, com vazão de ± 1.800 m³/h (água clarificada), é reutilizado no processo.

Circuito de moagem e filtragem

Os concentrados da separação magnética com 30% de sólidos são adensados na bateria de hidrociclones HZ-04, passando ainda o *overflow* destes por um espessador (ED-MC). O *underflow* da ciclização e o espessado, agora com cerca de 70% de sólidos, são direcionados para o tanque de polpa TT-MC, de onde é feita a distribuição para três moedores de bolas (Figura 5A).

O consumo de energia elétrica na moagem, variando entre 11,5 e 15 kWh/t, representa cerca de 1/3 do consumo total da usina. Como corpo moedor são utilizados *cylpebs* de 25 x 25 mm. O objetivo dessa moagem é a obtenção de área específica de 1.900 a 2.000 cm²/g e granulometria mínima de 85% abaixo de 45 µm, adequadas ao processo de pelletização. Nos moinhos também são adicionados os aditivos necessários para o posterior processo de pelletização: calcário (CA), através da dosadora DW-CA, e combustível sólido (CS), por intermédio da alimentadora de correia DW-CS. Esse procedimento leva a uma distribuição mais uniforme dos aditivos no *pellet feed*, o que resulta na melhor qualidade das pelotas verdes e queimadas, além de diminuir o consumo de óleo combustível no forno da pelletização. Atualmente os moinhos operam em circuito aberto, entretanto existe a possibilidade de operar em circuito fechado com ciclones para a obtenção da área específica requerida, quando do tratamento de minérios com elevado índice de moabilidade.

O concentrado moído é conduzido até o tanque de polpa TT-PF, de onde o material, com 65% de sólidos, é bombeado para os filtros de disco (SF) (Figura 5B). Com o auxílio de bombas de vácuo de grande capacidade, que consomem em média 4 kWh/t, o material é filtrado, resultando numa torta com cerca de 10% de umidade que constitui-se no produto final da concentração, denominado *pellet feed*. Esse produto é a matéria prima usada no processo de pelletização, à qual adiciona-se o material aglomerante (bentonita ou cal hidratada).

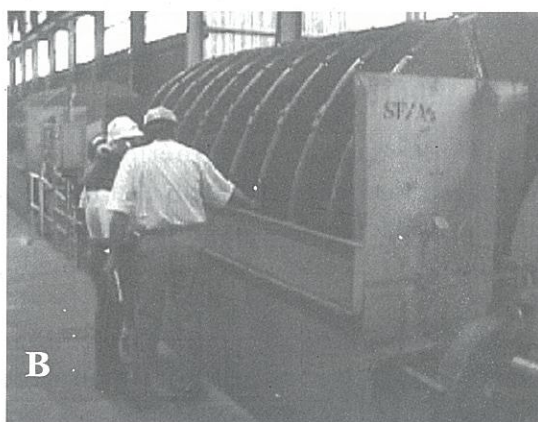
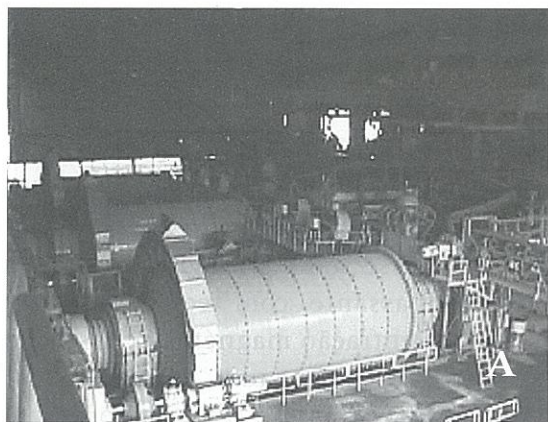


Figura 5: (A) Moinhos. (B) Filtro de disco.

Circuito de concentração de finos

Em função de suas qualidades, as frações finas FFI e FFII, resultantes dos desaguamentos dos *underflows* dos classificadores espiral, podem ser desviadas por um sistema de correias diretamente para o pátio de estocagem de *sinter feed* (situação de baixa sílica na soma das frações FFI, FFII e FFIII: <4,0%), ou alimentar, também por correias, a usina de concentração de finos (COFI) através do silo BU-FF (situação de alta sílica: >4,0%). A fração fina FFIII, resultante do peneiramento na SI-07, onde são gerados granulados (WLOII e hematitinha), é transportada por caminhões basculantes, também em função da qualidade do minério, para o pátio de estocagem, misturando-se às outras frações finas (FFI e FFII) e compondo o produto final *sinter feed*, ou opcionalmente direcionado para o silo BU-FF.

Duas balanças dosadoras (DW-FF) abaixo do silo (BU-FF) controlam o envio de material às peneiras de duplo deque SI-08, sendo o primeiro deque, mais aberto, utilizado apenas como alívio para o segundo. O material mais grosso (-6,3 +1,5 mm) retido nos dois deques alimenta um jigge BATAc de três câmaras. O concentrado (CO-JG) é desaguado e conduzido através de um elevador de caçambas (BE-JG), a um ponto superior na usina para posterior transporte por

correias. O passante na SI-08 (-1,5 mm), segue para peneiras fixas de controle (SI-SP-01) com abertura de telas de 2,5 mm, alimentando uma bateria de espirais (SP-01 - etapa *rougher*). O concentrado desse primeiro estágio (CO-SP-01) passa por uma limpeza nas espirais SP-02 (etapa *cleaner*). O rejeito dessa segunda etapa de concentração em espirais, aqui denominado de médios (MD-SP-02), retorna à SI-08 realimentando o circuito das espirais. O rejeito da jigagem (TL-JG), junta-se ao rejeito das espirais *rougher* (TL-SP-01) e o retido das peneiras de controle (SI-SP-01), são desaguados em peneiras (SI-09 e SI-11, respectivamente). A fração retida desse peneiramento segue para moagem em moinho de bolas (KM-TL). O passante nas peneiras desaguadoras é direcionado aos cones desaguadores (WR), de onde se recupera a água necessária à operação do jigge. O *underflow* desses cones une-se aos rejeitos moídos no KM-TL, são ciclizados (HZ-KM-TL), e produzem um *underflow* que vai passar por peneiras de controle (SI-SP-03) e alimentar um terceiro estágio de espirais (SP-03 - *scavenger*). O concentrado desse último estágio (CO-SP-03) se une ao CO-SP-02, sendo desaguados em peneiras (SI-10), resultando o concentrado final das espirais (CO-SP). Esse concentrado, adicionado ao do jigge, segue por correias até o pátio de estocagem de produtos finais, é o *sinter feed* enriquecido. O passante na SI-10 adicionado ao *overflow* da ciclização do material moído para liberação, realimenta a peneira SI-01. O rejeito da SP-03 e o retido de suas peneiras de controle (SI-SP-03), é desaguado na peneira SI-11, fechando o circuito de moagem.

Amostragem

Os principais pontos de amostragem estão indicados no fluxograma da Figura 3, utilizando-se as seguintes abreviações para as diferentes periodicidades de análises: AH = análise horária; A2H = análises de 2 em 2 horas; AT = análise por turno; AD = análise diária; AHD = análise horária e diária; A2HD = análise de 2 em 2 horas e diária; e AP = análise por pilha de homogeneização. As amostras são analisadas química e/ou granulometricamente e, onde importante como variável de processo, também são determinadas a densidade da polpa e a área específica pelo método de *Blaine*. A Tabela 1 apresenta as características dos produtos finais da concentração em termos de análises químicas e distribuição granulométrica.

Tabela 1 - Características dos produtos finais da usina de concentração da FERTECO

Produto	Análises Químicas (% peso)							
	H ₂ O	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	Mn	PF	CaO
WLOII	3,0	65,0	3,0	1,20	0,05	0,30	2,0	
Hematitinha	3,5	65,5	3,0	1,20	0,05	0,30	2,0	
Sinter feed	6,0	64,7	4,0	1,20	0,04	0,20	2,0	
Pellet feed*	10,4	62,5	3,0	0,85	0,03	0,15	4,0	2,50

*O baixo teor de Fe é decorrente da adição de 4,6% de CaCO₃ e 1,3% de combustível sólido

Tabela 1 - Características dos produtos finais da usina de concentração da FERTECO (cont.)

Abertura	Distribuição Granulométrica (% peso)			
	Produto WLOII	Hematitinha	Sinter feed	Pellet feed
+31,5 mm	5,0			
+25,4 mm	10,0			
+19,0 mm	26,0			
+16,0 mm	20,0			
+12,4 mm	15,0	12,0		
+10,0 mm			0	
+9,5 mm	10,0	25,0		
+8,0 mm				
+6,3 mm	10,0	58,0	3,0	
-6,3 mm	4,0	5,0		
+1,0 mm			60,0	
+0,1 mm			27,0	2,5
-0,1 mm			10,0	
+0,045 mm				12,5
-0,045 mm				85,0
Blaine (cm ² /g)				2.000

Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento de minério de ferro da FERTECO.

Código: CCI	Equipamento: Britador primário
Fabricante: ESCH; Tipo: giratório; Quantidade: 1; Dimensões: a abertura da boca é de 2,0 m, a saída tem 1,4 m de diâmetro; Topsize da alimentação: 1.000 mm; Tamanho do produto: <200 mm; Capacidade: 3.000 t/h; Tipo de revestimento: placas de Ni hard; Motor: 805 HP	
Código: RC	Equipamento: Retomador
Fabricante: PHB e KRUPP/ISOMONTE; Tipo: Ponte com 2 rodas de caçambas; Quantidade: 1; Nº de caçambas: 8 em cada roda; Capacidade: 2.500 t/h; Motor: 2x150 HP/1.780 rpm; Velocidade da roda de caçambas: 3,6 rpm	
Código: BU-CO	Equipamento: Silo de ROM
Construção: M. ROSCOE; Tipo: cilíndrico em concreto; Quantidade: 1; Dimensões: diâmetro de 15 m e altura de 13 m; Volume: 2.000 m ³	
Código: SI-01	Equipamento: Peneira (a úmido)
Fabricante: KRUPP; Tipo: vibratória; Quantidade: 2; Dimensões: 7'x20'; Capacidade: 1.050 t/h; Motor: 30 CV/1.765 rpm; Tipo e abertura das telas: de poliuretano (30 mm) e aço (40 mm); Inclinação: 15°	
Código: SI-06	Equipamento: Peneira (a seco)
Fabricante: PHB; Tipo: vibratória; Quantidade: 1; Dimensões: 1.175x2.920 mm; Capacidade: 300 t/h; Motor: 30 HP/1.175 rpm; Tipo e abertura da grelha: grelha em V com aberturas de 70 a 110 mm; Inclinação: 15°	
Código: CC-SS	Equipamento: Britador secundário
Fabricante: NORDBERG, modelo Symons Standard; Tipo: cônico; Quantidade: 1; Dimensões: 7'; Topsize da alimentação: 270 mm; Regulagem de escape: 20 mm; Capacidade: 300 t/h; Tipo de revestimento: médio; Motor: 400 HP/447 rpm	
Código: CC-TS	Equipamento: Britador terciário
Fabricante: NORDBERG, modelo Symons Short Head; Tipo: cônico; Quantidade: 1; Dimensões: 7'; Topsize da alimentação: 170 mm; Regulagem de escape: 10 a 15 mm; Capacidade: 300 t/h; Tipo de revestimento: fino; Motor: 340 HP/447 rpm	
Código: SI-02	Equipamento: Peneira (a úmido)
Fabricante: FAÇO; Tipo: vibratória; Quantidade: 4; Dimensões: 7'x16'; Capacidade: 150 t/h; Motor: 20 CV/1.170 rpm; Tipo e abertura das telas: poliuretano com malha quadrada de 8 mm; Inclinação: 6°	
Código: GD	Equipamento: Britador de NPO
Fabricante: NORDBERG, modelo HD, série GDB 8410; Tipo: cônico (Gyradisc); Quantidade: 1; Dimensões: 7'; Topsize da alimentação: 80 mm; Regulagem de escape: 16 mm; Capacidade: 300 t/h; Tipo de revestimento: <i>standard</i> ; Motor: 410 CV/1.189 rpm; Consumo de revestimento: 4 g/t; Obs.: Em função do escoamento do material pode ser necessário adicionar água (até 160 l/min)	
Código: BI	Equipamento: Britador de NPO
Fabricante: HAZEMAG, modelo AP-K-1313; Tipo: impacto; Quantidade: 2; Dimensões (AxCxL): 2.522x3.180x2.840 mm; Regulagem de escape dos escudos: 10, 40 e 18 mm; Capacidade: 150 t/h; Motor: 340 HP/447 rpm; Consumo de revestimento: 50 g/t de produto.	
Código: SI-03	Equipamento: Peneira (a úmido)
Fabricante: FAÇO; Tipo: vibratória (LHSD); Quantidade: 3; Dimensões: 7'x16'; Capacidade: 150 t/h; Motor: 20 CV/1.170 rpm; Tipo e abertura das telas: poliuretano com malha quadrada de 8 mm; Inclinação: 6°; Amplitude: 5 mm	
Código: SK-II	Equipamento: Classificador espiral
Fabricante: ENVIROTECH série A25; Tipo: passo triplo; Quantidade: 2; Dimensões do parafuso: 78"x35/4"; Dimensões da bacia: 10,8x2,0 m; Capacidade: 200 t/h; Motor: 30 CV/1.165 rpm; Inclinação: 18°; Velocidade: 6 rpm	
Código: SI-05	Equipamento: Peneira (desaguamento)
Fabricante: FAÇO/Allis-Chalmers; Tipo: vibratória (LHSD); Quantidade: 2; Dimensões: 6'x16'; Capacidade: 150 t/h; Motor: 20 CV/1.170 rpm; Tipo e abertura das telas: oblongas, 0,8 mm; Inclinação: 1°; Amplitude: 4 mm	

Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento de minério de ferro da FERTECO.

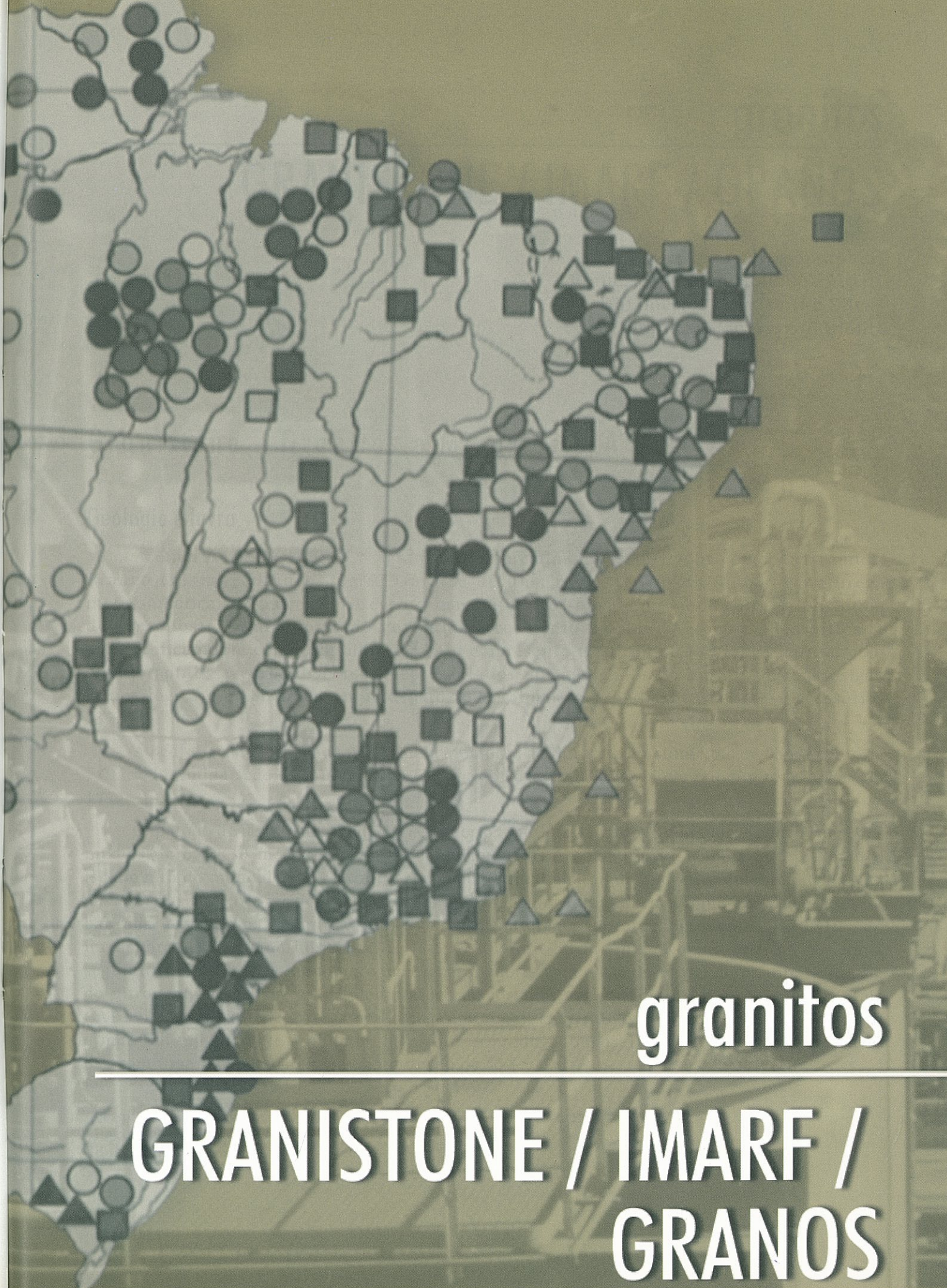
Código: SI-07	Equipamento: Peneira (a seco)
Fabricante: FAÇO; Tipo: vibratória duplo deck (LHSD); Quantidade: 1;	
Dimensões: 8'x20'; Capacidade: 300 t/h; Motor: 40 CV/ 1.770rpm; Tipo e abertura das telas: 50% 18 mm quadradas e 50% 10 mm Venoflex (1° deck); 50% 8 mm Quadradas e 50% 8 mm Venoflex (2° deck); Inclinação: 5°; Amplitude: 4 mm	
Código: SK-I	Equipamento: Classificador espiral
Fabricante: ENVIROTECH série I25; Tipo: passo triplo; Quantidade: 4;	
Dimensões do parafuso: 78"x35'4"; Dimensões da bacia: 10,8x2,0 m; Capacidade: 200 t/h; Motor: 30 CV/1.175 rpm; Inclinação: 18°; Velocidade: 6 rpm	
Código: SI-04	Equipamento: Peneira (desaguamento)
Fabricante: FAÇO/ALLIS-CHALMERS; Tipo: vibratória (LHSD); Quantidade: 4;	
Dimensões: 6'x16'; Capacidade: 150 t/h; Motor: 20 CV/1.170 rpm; Tipo e abertura das telas: oblongas, 0,8 mm; Inclinação: 5°; Amplitude: 5 mm	
Código: SI-SK	Equipamento: Peneira
Fabricante: MEPEL; Tipo: fixa; Quantidade: 6; Dimensões (LxC): 2,3x3,8 m; Capacidade: 350 m ³ /h; Tipo e abertura das telas: 3 módulos de 1.784x1.180 mm, curvos, com abertura de 1,0 mm	
Código: TF-MS	Equipamento: Tanque de polpa
Fabricante: ENVIROTECH; Tipo: cilíndrico; Quantidade: 1; Dimensões: diâmetro de 10 m e altura de 10 m; Volume: 780 m ³ ; Motor: 100 CV/1.775 rpm; Diâmetro das pás de agitação tipo MIG 2.2: 7 m; Velocidade das pás: 8 rpm	
Código: MS-I	Equipamento: Separador magnético (WHIMS, 1° estágio)
Fabricante: HUMBOLT; Tipo: Jones DP-317; Quantidade: 4; Diâmetro: 3,17m; Capacidade: 300 t/h; Motor: 30 CV/1.760 rpm; Nº de rotores: 2; Nº de pacotes de placas por rotor: 27; Nº de placas por pacote: 21; Tipo de placas: ranhuradas; Distância entre as placas: 3,7 mm; Campo magnético: 7.500 Gauss	
Código: SI-MS	Equipamento: Peneira de controle
Fabricante: MEPEL; Tipo: fixa; Quantidade: 4; Dimensões (LxC): 2,3x3,8 m; Capacidade: 350 m ³ /h; Abertura das telas: 1,0 mm	
Código: MS-II	Equipamento: Separador magnético (2° estágio)
Fabricante: HUMBOLT; Tipo: Jones DP-317; Quantidade: 5; Diâmetro: 3,17m; Capacidade: 300 t/h; Motor: 25 CV/1.745 rpm; Nº de rotores: 2; Velocidade do rotor: 4 rpm; Nº de pacotes de placas por rotor: 27; Nº de placas por pacote: 27; Tipo de placas: ranhuradas; Distância entre as placas: 1,5 mm; Campo magnético: 11.000 Gauss	
Código: HZ-01	Equipamento: Hidrociclones
Fabricante: AKW; Quantidade: 3 baterias de 23 ciclones cada; Diâmetro: 5"; Apex: 25 mm; Vortex finder: 40 mm; Pressão de trabalho: 0,8-2,0 kg/m ² ; Capacidade: 18-25 m ³ /h	
Código: HZ-04	Equipamento: Hidrociclones
Fabricante: AKW; Quantidade: 3 baterias de 17 ciclones cada; Diâmetro: 5"; Apex: 25 mm; Vortex finder: 40 mm; Pressão de trabalho: 2,0-3,0 kg/m ² ; Capacidade: 18-25 m ³ /h	
Código: ED-MC	Equipamento: Espessador (concentrado)
Fabricante: MININGTECH-SAUER; Modelo: BYX; Quantidade: 1; Diâmetro: 30 m; Volume: 2.156 m ³ ; Motor: 2 x 5 CV/1.680 rpm; Velocidade: 0,12 rpm ou 1 ciclo em 6'17"; Vazão de alimentação: 1.100 m ³ /h de polpa; Capacidade: 320 t/h de <i>underflow</i> ; Água reciclada não tratada: 1.000 m ³ /h; Área unitária de sedimentação: 1,55 m ³ /m ² ; Limite de elevação dos rakes: 1 m; Reagentes: Não	
Código: TF-MC	Equipamento: Tanque de polpa
Fabricante: ENVIROTECH; Tipo: cilíndrico; Quantidade: 1; Dimensões: diâmetro de 10 m e altura de 10 m; Volume: 780 m ³ ; Motor: 100 CV/1.775 rpm; Diâmetro das pás de agitação tipo MIG 2.2: 7 m; Velocidade das pás: 8 rpm	
Código: KM	Equipamento: Moinho
Fabricante: KRUPP-POLISIUS; Tipo: de bolas; Quantidade: 3; Dimensões: diâmetro de 4,4 m e comprimento de 8,8 m; Motores: 2x1.600 kW/177 rpm; Potência utilizada: 1.200 kW por motor; Velocidade: 15,85 rpm = 77% V _c ; Meio moedor: cypebs de 25x25 mm; Consumo de meio moedor: 900 a 1200 g/t; Enchimento de energia: 32% do V _i ; Consumo de revestimento: 21g/t; Consumo de energia: 11,5 a 15 kWh/t, cerca de 1/3 do consumo total da usina	

Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento de minério de ferro da FERTECO.

Código: HZ-KM	Equipamento: Hidrociclones
Fabricante: AKW; Quantidade: 3 baterias de 17 ciclones cada; Diâmetro: 5";	
Apex: 25 mm; Vortex finder: 40 mm; Pressão de trabalho: 1,5-2,0 kg/m ² ;	
Capacidade: 18-25 m ³ /h	
Código: BU-CS	Equipamento: Silo de combustível sólido
Fabricante: PHB; Quantidade: 1; Volume: 153 m ³ ; Ângulo de acomodação: 45°	
Código: BU-CA	Equipamento: Silo de calcário
Fabricante: PHB; Quantidade: 1; Volume: 261 m ³ /470 t; Ângulo de acomodação: 32°	
Código: DW-CS	Equipamento: Alimentador de correia
Fabricante: SCHENK; Quantidade: 1; Capacidade: 15 t/h; Motor: 0,4 CV/1.400 rpm	
Código: DW-CA	Equipamento: Alimentador de correia
Fabricante: SCHENK; Quantidade: 1; Capacidade: 25 - 50 t/h; Motor: 0,4 CV/1.400 rpm	
Código: TT-PF	Equipamento: Tanque de polpa (concentrado moído)
Fabricante: ENVIROTECH; Tipo: cilíndrico; Quantidade: 1; Dimensões: diâmetro de 10 m e altura de 10 m; Volume: 780 m ³ ; Motor: 100 CV/1.775 rpm;	
Diâmetro das pás de agitação tipo MIG 2.2: 7 m; Velocidade das pás: 8 rpm	
Código: SF	Equipamento: Filtros de disco
Fabricante: ENVIROTECH; Tipo: Agidisc, verticais; Quantidade: 12 unidades de 10 discos cada; Comprimento de cada unidade: 8'6"; Diâmetro dos discos: 2,7 m; Capacidade: 40 - 60 t/h por unidade; Motor: 10 CV/1.740 rpm;	
Agitador-motor: 15 CV/1.730 rpm; Varimot: 10 CV/0-1.600 rpm; Tipo de tecido: nylon polyester; Área de filtragem por filtro: 90 m ²	
Código: VP-A-D	Equipamento: Bombas de vácuo
Fabricante: SIEMENS; Modelo: Elmo 2BB-9629; Quantidade: 4;	
Capacidade: 23.750 m ³ /h de vácuo; Motor: 600 CV/1.786 rpm; Consumo de água: 35 m ³ /h; Rotação: 327 rpm; Pressão de vácuo: 580 Hg; Altura da coluna barométrica: 10,6 m; Consumo de energia: 4 kWh/t	
Código: VP-G	Equipamento: Bomba de vácuo (sobressalente)
Fabricante: NASH; Quantidade: 1; Motor: 750 CV/1.788 rpm	
Código: ED-BG	Equipamento: Espessador (rejeito)
Fabricante: MININGTECH-SAUER; Modelo: CX; Quantidade: 2; Diâmetro: 60 m; Volume: 8.560 m ³ ; Motor: 2x10 CV/1.655 rpm; Velocidade: 0,04 rpm ou 1 ciclo em 16'53"; Vazão de alimentação: 1.300 m ³ /h de polpa; Capacidade: 200 t/h de underflow por espessador; Água reciclada não tratada: 900 m ³ /h; Área unitária de sedimentação: 0,92 m ² /m ³ ; Floculante: Alto peso molecular, 10 g/t (usado somente com minério mais limonítico)	
Código: BU-FF	Equipamento: Silo para a Fração Fina (FF)
Fabricante: CONVAP; Tipo: em chapas de aço-carbono de 1/2", nervurado externamente e revestido internamente com trilhos na parte inferior; Quantidade: 1; Dimensões (CLA): 7,0x7,0x11,435 m; Capacidade: 800 t; Medição de nível: sistema contínuo KRATOS	
Código: DW-FF	Equipamento: Alimentador de correia
Fabricante: SCHENK; Modelo: DAN 181-37.85; Quantidade: 2; Capacidade: 380 t/h; Motor: 7 kW/CC/2.800 rpm;	
Dimensões(CxL): 3,785x1,800m; Correias: planas; Faixa da balança: 0 - 500 t/h	
Código: SI-08	Equipamento: Peneira (a úmido)
Fabricante: BOLIDEN ALLIS/FAÇO; Tipo: vibratória duplo deck (LHDD); Quantidade: 2; Dimensões: 8'x24'; Capacidade: 400 t/h; Motor: 60 CV/1.775 rpm; Malhas das telas: 3,5x25 mm no 1° deck, 3,15x3,15 mm no 2° deck; Inclinação: 3°; Amplitude: 4 - 5 mm	
Código: JG	Equipamento: Jigue
Fabricante: HUMBOLT/ZANINI; Modelo: BATAÇ; Tipo: pulsante de 3 câmaras; Quantidade: 1; Dimensões(AxL): 3,95x5,5 m; Capacidade: 478 t/h; Malha da tela do crivo: 5,5 mm na 1ª câmara, 8,0 mm na 2ª e 5,0 mm na 3ª; Pressão de ar de trabalho: 0,37 kgf/cm ² ; Pressão de ar de serviço: 4,5 kgf/cm ² ; Superfície útil de sedimentação: 16,5 m ² ; Consumo de água: 1.400 m ³ /h	

Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento de minério de ferro da FERTECO.

Código: BE-JG	Equipamento: Elevador de caçambas
Fabricante: HUMBOLT/ZANINI; Tipo: caçambas perfuradas para o desaguamento do concentrado; Quantidade: 1; Dimensões: 13 m de distância entre eixos e largura das caçambas de 1,0 m; Capacidade: 320 t/h; Motor: 75 CV/1.775 rpm; Varimot: 60 CV/0-1.600 rpm; Inclinação: 68°; Nº de caçambas: 28 de 300 l cada; Velocidade de transporte: 0,16-0,19 m/s	
Código: SI-09	Equipamento: Peneira (a úmido)
Fabricante: BOLIDEN ALLIS/FAÇO; Tipo: vibratória (LHSD); Quantidade: 2; Dimensões: 8'x24'; Capacidade: 100 t/h; Motor: 40 CV/1.770 rpm; Malhas das telas: 0,8x16 mm; Inclinação: 3°; Amplitude: 4 mm	
Código: SI-SP-01	Equipamento: Peneira de controle
Fabricante: MEPEL; Tipo: fixa; Quantidade: 2; Dimensões (CxL): 3,0x2,6 m; Capacidade: 610 m ³ /h; Abertura das telas: 2,5 mm; Telas: 3 módulos de 0,975x2,6 m	
Código: SP-01	Equipamento: Espirais (<i>rougher</i>)
Fabricante: AKW, modelo WW6; Tipo: duplas (tipo Humphrey); Quantidade: 8 bancos com 8 espirais duplas cada; Capacidade: 3 t/h cada espiral; Volume tratado: 9 m ³ /h de polpa por espiral; Consumo de água: 0,5 m ³ /h/espiral	
Código: SP-02	Equipamento: Espirais concentradores (<i>cleaner</i>)
Fabricante: AKW, modelo WW6; Tipo: duplas (tipo Humphrey); Quantidade: 6 bancos com 8 espirais duplas cada; Capacidade: 3 t/h/espiral; Volume tratado: 9 m ³ /h de polpa/espiral; Consumo de água: 0,5 m ³ /h/espiral	
Código: SI-10	Equipamento: Peneira (a úmido)
Fabricante: BOLIDEN ALLIS/FAÇO; Tipo: vibratória (LHSD) Quantidade: 1; Dimensões: 6'x16'; Capacidade: 150 t/h; Motor: 20 CV/1.760 rpm; Malhas das telas: 0,6x16 mm; Inclinação: -1°; Amplitude: 4 mm	
Código: HZ-KM-TL	Equipamento: Hidrociclones
Fabricante: AKW; Quantidade: 1 bateria de 12 hidrociclones; Diâmetro: 8"; Apex: 35 mm; Vortex finder: 45 mm; Pressão de trabalho: 0,8 - 1,0 kgf/m ² ; Capacidade: 52 m ³ /h/hidrociclone a 1,0 kgf/m ²	
Código: SI-11	Equipamento: Peneira (a úmido)
Fabricante: BOLIDEN ALLIS/FAÇO; Tipo: vibratória (LHSD); Quantidade: 1; Dimensões: 8'x24'; Capacidade: 150 t/h; Motor: 40 CV/1.170 rpm; Malhas das telas: 0,63x16 mm; Inclinação: -3°; Amplitude: 4 mm	
Código: KM-TL	Equipamento: Moimho (moagem de liberação)
Fabricante: KRUPP-POLISIUS; Tipo: de bolas; Quantidade: 1; Dimensões (ÆxC): 4,4x8,8 m; Motores: 2x1.600 kW/177 rpm; Meio moedor: 85% cylpebs de 28 mm e 15% cylpebs de 50 mm	
Código: SI-SP-03	Equipamento: Peneira de controle
Fabricante: MEPEL; Tipo: fixa; Quantidade: 1; Dimensões (CxL): 3,0x2,6 m; Capacidade: 275 m ³ /h; Abertura das telas: 2,5 mm; Telas: 3 módulos de 0,975x2,6 m	
Código: SP-03	Equipamento: Espirais concentradores (<i>scavenger</i>)
Fabricante: AKW, modelo WW6; Tipo: duplas (tipo Humphrey); Quantidade: 2 bancos com 8 espirais duplas cada; Capacidade: 3 t/h/espiral; Volume tratado: 9 m ³ /h de polpa/espiral; Consumo de água: 0,5 m ³ /h/espiral	
Código: WR	Equipamento: Cone desaguador
Fabricante: CONVAP; Quantidade: 3; Dimensões (ÆxA): 6x7 m; Volume: 100 m ³	



granitos

**GRANISTONE / IMARF /
GRANOS**

GRANISTONE / IMARF / GRANOS

João Alves Sampaio¹
Francisco Wilson Hollanda Vidal¹
Dinamérico Cavalcant e Silva²
Francisco de Assis Furlani³

Granistone – Granitos e Minérios S/A

Geologia e lavra

A empresa industrializa os granitos comercialmente conhecidos como Asa Branca, Branco Cristal e Branco Ceará. Trata-se de uma rocha ígnea-plutônica de natureza metassomática, pertencente ao evento magmático pós-brasiliano, que ocorre sob a forma de um substrato arredondado com diâmetro médio 2,5 km. A rocha é classificada petrograficamente como um albita-granito e apresenta uma coloração branca leitosa, com alguns pontos escuros dispersos, representados por agregados de biotita. A composição mineralógica é essencialmente feldspato (60%), quartzo (25%), micas (12%) e acessórios (3%).

A pedreira está localizada na Fazenda Memória, ao Noroeste do Município de Santa Quitéria - CE, a 34 km da sede do município e 247 km de Fortaleza. A atividade mineira teve início em 1990.

O método de lavra empregado é a céu aberto, onde são lavrados monoblocos com dimensões médias de 6X6X30 m (largura/altura/comprimento). A abertura dos canais laterais para o isolamento do monobloco é realizada por meio de fio diamantado e, eventualmente, através de *flame-jet*. As furações vertical e horizontal realizadas por talha-bloco completam a liberação da bancada. A seguir, o desmonte é feito com o uso simultâneo do cordel detonante NP-10 (10 g de nitropenta/m) no plano horizontal e NP-5 (5 g de nitropenta/m) no plano vertical. Na etapa seguinte, desdobra-se o monobloco em blocos menores com o uso do cordel detonante NP-3 (3 g de nitropenta/m). A seguir, os blocos são transportados com auxílio de carregadeiras frontais CAT 992B até o pátio de carregamento dos caminhões, enquanto caminhões TEREX transportam o material rejeitado até a pilha do bota-fora. A produção mensal da pedreira é cerca de 1.000 m³, com uma recuperação na lavra em torno de 55%.

¹ Pesquisador, CETEM

² Engenheiro, NUTEC

³ Engenheiro, GRANOS

IMARF – Granitos e Mineração S/A

Esta empresa industrializa o granito com a denominação comercial de Rosa Iracema, que ocorre sob a forma de maciços aflorantes, de relevo suave, inseridos na borda do maciço Serra da Barriga, de forma circular, com diâmetro médio de 8 km. Sob o aspecto petrográfico a rocha é classificada como granito tarditectônico, singenético ao evento Mucambo-Meruoca e apresenta uma coloração rósea-esbranquiçada, branco-hialino a creme acinzentado. A mineralogia é constituída por feldspato (ortoclásio 40% e plagioclásio 18%), quartzo (28%), biotita (12%) e acessórios (2%).

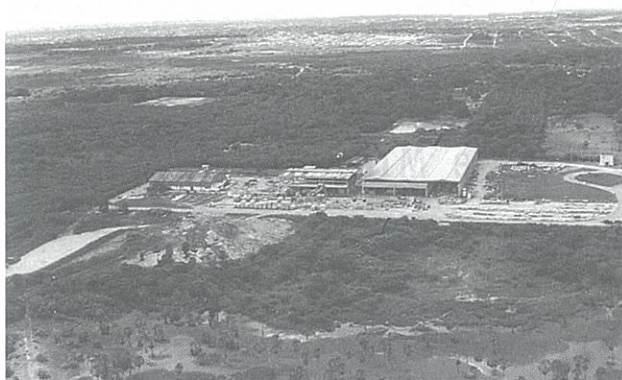


Figura 1: Vista parcial das instalações da IMARF, Caucaia - CE

A pedreira localiza-se na Fazenda Maurício, Município de Forquilha - CE, distando cerca de 220 km de Fortaleza. As atividades de mineração tiveram início em 1988, foram paralisadas em 1990 e retomadas em 1995 pela empresa IMARF.

O método de lavra empregado é a céu aberto e permite a produção de monoblocos com dimensões de 6X6X40 m (altura/largura/comprimento). A abertura dos canais laterais é realizada com *flame-jet*. Nos cortes verticais frontais e horizontais, utiliza-se o cordel detonante como explosivo (NP-10 para o corte vertical e o corte horizontal de levante). Após a liberação do monobloco do maciço rochoso, faz-se o seu desdobramento em três pastilhas, utilizando-se o cordel detonante NP-3, que tem menor poder de detonação. Em seguida utiliza-se um conjunto de "macacos" hidráulicos para o tombamento das pastilhas, partindo-se então para a operação seqüencial de subdivisão em tamanhos de blocos, compatíveis com as dimensões exigidas pelos teares da empresa. Carregadeiras frontais, tipo CAT 992B, retomam os blocos e os depositam no pátio da pedreira de onde são transportados por caminhões para a indústria de beneficiamento do grupo GRANOS/IMARF na cidade de Caucaia, região metropolitana de Fortaleza. A produção da lavra é da ordem de 500 m³/mês, com recuperação em torno de 50%.

GRANOS – Granitos do Nordeste S/A

Os granitos industrializados por essa empresa são comercializados com a denominação de Verde Ventura e Meruoca Clássico.

O primeiro consiste numa rocha ígnea plutônica, inserida no batólito da Meruoca, classificada petrograficamente como um granito. Apresenta uma coloração esverdeada, com tons

mais escuros, chegando a preto. A composição mineralógica é essencialmente constituída de feldspato (potássico 45% e plagioclásio 25%), quartzo (20%), micas (7%) e acessórios (3%). A pedreira está situada na encosta da Serra da Meruoca, na localidade de Tanguerê, distrito de Padre Linhares, Município de Massapê, distando 262 km de Fortaleza.

As atividades de lavra do granito Verde Ventura tiveram início em 1994, com a produção de blocos de grandes dimensões. Atualmente utiliza-se na lavra a técnica de fio diamantado para o corte horizontal de levante e a técnica de cunhas mecânicas para os demais cortes verticais. Os blocos são lavrados de acordo com as dimensões exigidas pelo processo de serragem. A produção mensal na lavra é de cerca de 300 m³, com uma recuperação em torno de 60%.



Figura 2: Vista parcial das instalações industriais da GRANOS, Caucaia – CE

O granito Meruoca Clássico consiste numa rocha ígnea plutônica como fácies esverdeado do batólito da Meruoca. A composição mineralógica é essencialmente de feldspato (ortoclásio 45% e plagioclásio 30%), quartzo (15%), micas (7%) e acessórios (3%). A pedreira está localizada próxima à localidade de Terra Nova, no Município de Massapê - CE, distante 250 km de Fortaleza.

As atividades de mineração tiveram início em 1995 com lavra a céu aberto e produção de monoblocos com dimensões de 3X2,5X30 m (altura/largura/comprimento). A abertura dos canais laterais, para isolamento do monobloco, é feita por meio de *flame-jet* e a liberação do bloco a ser desmontado é feita com auxílio de massa expansiva nos furos verticais, seguido do uso de “macacos” hidráulicos, para o tombamento do monobloco. A seguir, executa-se a operação sequencial de desdobramento dos blocos, compatíveis com as dimensões exigidas pelas operações de serragem. A produção mensal é de 250 m³ com uma recuperação na lavra em torno de 50%.

Usinas de beneficiamento

Neste trabalho são apresentadas as descrições das usinas de beneficiamento das empresas GRANOS e IMARF, que, embora pertençam ao mesmo grupo (a IMARF possui 50% das ações da GRANOS), possuem parques industriais distintos.

As usinas estão localizadas no Município de Caucaia, distante 27 km de Fortaleza. Os blocos beneficiados são provenientes de suas próprias pedreiras, no estado do Ceará, bem como de outros estados da Região Nordeste. A IMARF possui ainda uma unidade de beneficiamento primário para serragem de blocos, localizada no Município de Sobral, distante 220 km de Fortaleza.

Serragem

Os blocos, provenientes das pedreiras pertencentes às empresas GRANOS e IMARE, são selecionados e enviados para a indústria de beneficiamento, onde é feito o desdobramento em chapas semi-acabadas. Teares mecânicos realizam os trabalhos de serragem dos blocos. Esses equipamentos são constituídos por uma estrutura de sustentação, formada por quatro colunas, que suporta um conjunto de lâminas, dispostas no sentido longitudinal do bloco, que fazem movimento pendular. As lâminas são tensionadas durante toda operação, para manter o nivelamento, alinhamento e paralelismo entre si. O processo de corte ocorre pela movimentação das lâminas, pressionadas contra a rocha, promovendo assim o atrito do material abrasivo com o bloco rochoso e por conseguinte o seu desgaste. Nos teares de lâminas de aço, o principal elemento abrasivo é a granalha metálica que, junto à água, cal hidratada e partículas minerais provenientes da própria rocha, forma a polpa ou lama abrasiva. Essa polpa abrasiva é bombeada do poço de coleta de lama, situado abaixo do tear, para um hidrociclone, operando com $d_{50} = 425$ mm. A fração grossa retorna continuamente, sob forma de chuva, sobre o bloco a ser serrado. A fração fina do hidrociclone constitui o rejeito final do processo de serragem, depositado na barragem de rejeito. A Figura 3 apresenta um fluxograma esquemático das operações do processo.

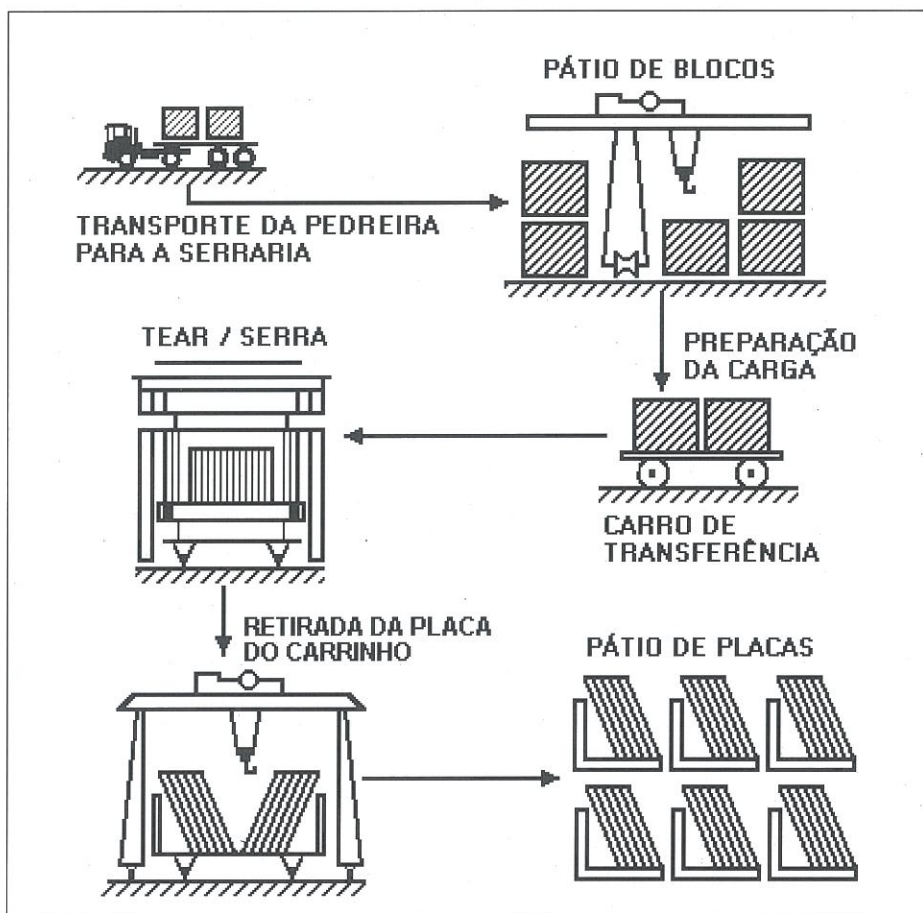


Figura 3: Fluxograma esquemático das operações do processo

A GRANOS possui dez teares pendulares: seis de fabricação MGM, modelo G-5; três de fabricação MGM, G-8; e um tear BM, de fabricação italiana. O processo de serragem pode ser dividido nas seguintes etapas:

- a) preparação da carga e carregamento do tear;
- b) operação de corte e descarregamento do tear.

A IMARF possui duas unidades de beneficiamento: uma localizada na cidade de Caucaia, região metropolitana de Fortaleza, e a outra em Sobral. A indústria de Sobral conta com dez teares pendulares marca MGM tipos: 1 G-1; 6 G-2 e 3 G-6. Esses equipamentos, após reforma, passaram a recuperar a granalha, por meio de hidrociclone, e a ter alimentação automática da cal. A unidade é responsável por 60% das chapas serradas pela IMARF. Na unidade industrial de Caucaia, responsável pelos 40% restantes, existem dois teares marca BRETON, de fabricação italiana, modelo 350/350, de última geração. Para o mesmo tempo de operação, esses equipamentos produzem aproximadamente o dobro daqueles utilizados na unidade de Sobral. Basicamente o processo de serragem da IMARF é semelhante ao da GRANOS.

Polimento

As chapas de granito, após serem serradas, seguem para a etapa de polimento com auxílio de pontes e transportadores de esteiras. O processo de polimento confere brilho à superfície da rocha e consiste na abrasão da superfície, por meio do atrito de constituintes abrasivos de dureza superior a dos minerais presentes na rocha. Dessa forma, o polimento é obtido pela eliminação das rugosidades na superfície da rocha. O processo é a úmido e a água tem a função de refrigerar os equipamentos de polimento e remover os resíduos gerados no processo.

O abrasivo mais utilizado no polimento é o carbetto de silício, em diferentes granulometrias e formas cristalográficas, aglomerados de tipos e geometrias distintas. O processo de polimento é usualmente dividido em duas etapas: o levigamento e o polimento propriamente dito. O levigamento é a parte do processo que elimina as rugosidades mais acentuadas, geradas na superfície das chapas pela etapa de serragem. O polimento é a etapa de acabamento onde ocorre o fechamento dos poros da superfície da chapa e se obtém o brilho desejado. A unidade industrial da GRANOS possui duas politrizes, uma BRETON, de fabricação italiana, e outra MGM nacional.

A IMARF opera também com duas politrizes, uma automática, da marca ZONATO e outra MGM. A empresa planeja operar as suas politrizes de fabricação MGM, com controle automatizado. A IMARF trabalha com a tecnologia de abrasivos diamantados, o que reduz consideravelmente as paralisações dos equipamentos de polimento para troca de abrasivos, além de uma menor produção de resíduos.

Corte longitudinal/transversal

O método de corte, que é semelhante nas duas empresas, (GRANOS e IMARF) é constituído basicamente de máquinas que cortam as chapas polidas, primeiro em tiras longitudinais e, em seguida, transversalmente, dando origem assim ao produto acabado, o ladrilho. A GRANOS possui ainda unidades automáticas da marca BRETON que calibram os ladrilhos, deixando-os com uma espessura uniforme e bem acabados.

Flameamento

As duas indústrias de beneficiamento são dotadas de máquinas para o flameamento de chapas. O flameamento é resultado do processo da desintegração da superfície da chapa, utilizando maçarico de chama com alta pressão e temperatura da ordem de 1.500°C, obtida com a mistura de oxigênio e acetileno.

Dados Operacionais

A capacidade nominal de produção da serraria da GRANOS é de cerca de 25.000 m²/mês. A capacidade da IMARF é a mesma, somando-se 15.000 m²/mês da sua unidade de Sobral e 10.000 m²/mês de Caucaia. As politrizes possuem capacidade nominal de 45 a 60 m²/h, com produção também de 25.000 m²/mês por empresa. A linha de corte automático, com capacidade de 75 m²/h, atende a necessidade da empresa, considerando uma demanda de 45% de ladrilhos e 55% de chapas. A linha de flameamento, por sua vez, tem capacidade de até 20 m²/h por unidade.

A água constitui um dos insumos de elevada importância no processo de beneficiamento, por ser um produto escasso na região. Por esse motivo, a empresa recupera cerca de 85% da água utilizada no processo. A captação d'água é feita através de poços artesianos e açude. O sistema de abastecimento d'água é feito por meio de bombas com capacidade de 100 m³/h. O consumo de água nova no processo atinge cerca de 180 m³/dia. A serragem é a etapa do processo com maior consumo energético, sendo responsável por 60% do consumo mensal de energia elétrica da fábrica. Em cada unidade se consome até 180.000 kWh/mês. O consumo por metro quadrado de chapas serradas é de 8,7 kWh/m².

O controle de qualidade está presente no processo produtivo, desde a lavra do bloco ao acondicionamento dos ladrilhos e das chapas para expedição. Na lavra verifica-se a incidência de fraturas, trincas e imperfeições, tanto estéticas quanto geométricas do bloco. Na etapa de serragem atenta-se para a qualidade da superfície serrada, fator essencial para um bom polimento. Um medidor automático de brilho permite o controle de chapas polidas. No final da linha de corte, separam-se os ladrilhos fora das especificações (extremidades quebradas, riscados, trincados e manchados).

Tabela 5 – Valores médios de consumo dos principais insumos utilizados na de serragem de rochas da IMARF.

Consumos	Produtos – Rocha Serrada (Granitos)
Granalha (kg/m ² cs)	2,29
Cal (CaO) (g/m ² cs)	1.680
Lâminas de Aço (g/m ² cs)	460
Consumo total de energia (kWh/m ² cs)	8,7

cs – chapa serrada.

Acondicionamento e transporte

As chapas são transportadas de duas maneiras: em posição vertical, com auxílio de cavaletes, ou horizontalmente, intercaladas com massa de gesso. Em ambos os casos, as chapas são devidamente presas ao veículo transportador.

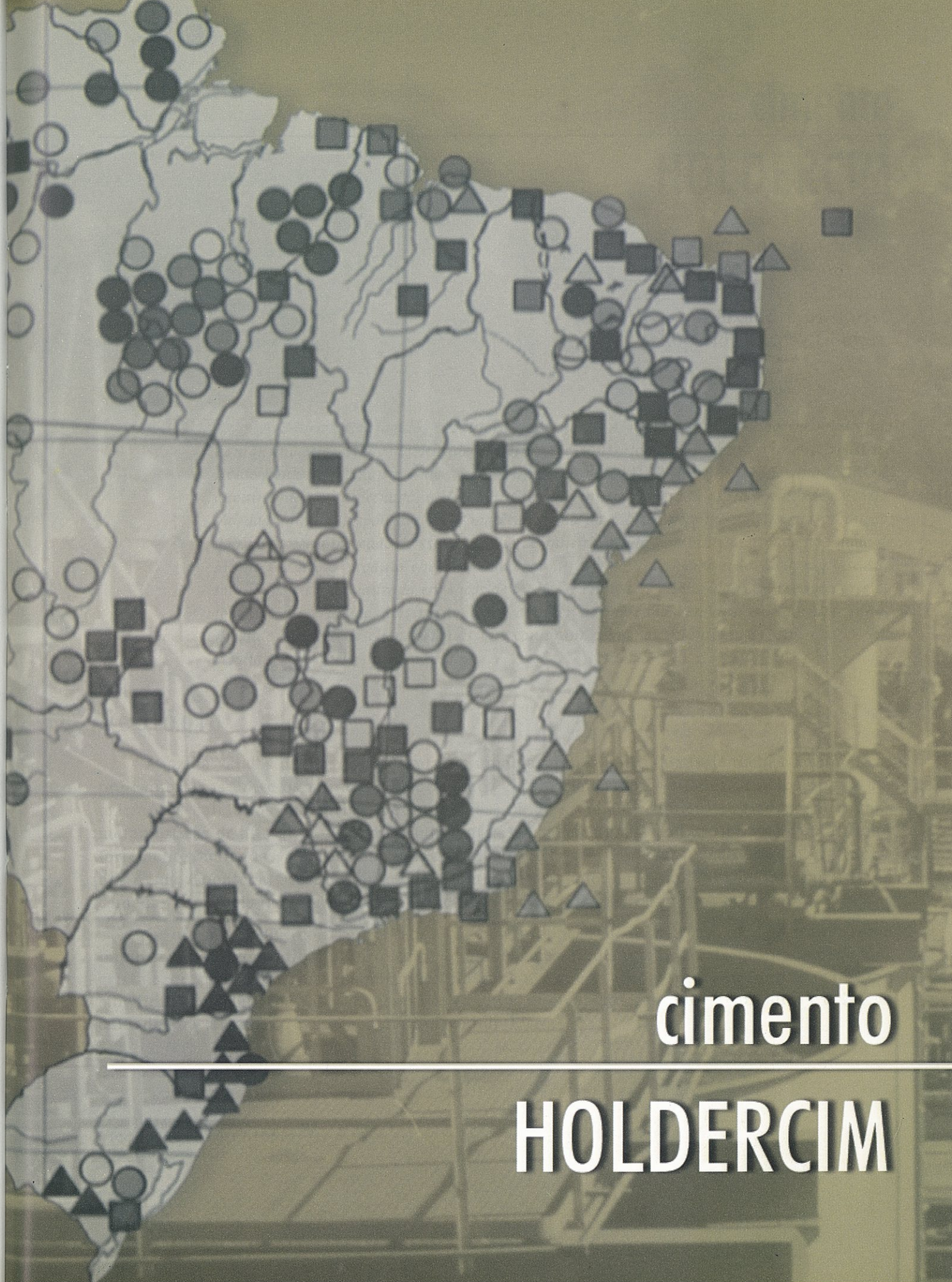
Os ladrilhos são acondicionados em caixas de madeira ou papelão, com a devida proteção às suas extremidades. Caminhões comuns transportam o produto final até o mercado consumidor.

Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados nas pedreiras e no beneficiamento de granito das empresas GRANISTONE, IMARF E GRANOS

Asa Branca	Equipamento: Carregadeira Frontal
Fabricante: CATERPILLAR; Modelo: 992	Quantidade: 4
Equipamento: Caminhão fora de Estrada	
Fabricantes: TEREX e WABCO	Quantidade: 2
Equipamento: Marteletoes Manuais	
Fabricante: ATLAS COPCO	Modelo: RH 658
	Quantidade: 40
Equipamento: Talha Blocos	
Fabricante: ATLAS COPCO	Quantidade: 10
Equipamento: Máquina de Furos Horizontais	
Fabricante: MONCHERA;	Quantidade: 4
Equipamento: Compressor	
Fabricante: CHICAGO e ATLAS COPCO	Modelo: DQ-900 e XA-250;
	Quantidade: 6 e 4
Equipamento: Trator sobre Esteiras	
Fabricante: KOMATSU	Modelo: D-50E
	Quantidade: 2
Equipamento: Retro-escavadeira	
Fabricante: POCLAIN; Modelo: HC 300;	Quantidade: 1;
Equipamento: Máquina de Fio Diamantado	
Fabricante: MARINI	Quantidade: 4
Equipamento: Flame Jet	
Fabricante: -	Quantidade: 4
Rosa Iracema	Equipamento: Carregadeira sobre Rodas
Fabricante: CATERPILLAR; Modelo: 992	Quantidade: 1
Equipamento: Caminhão fora de Estrada	
Fabricante: CATERPILLAR	Modelo: 769
	Quantidade: 1
Equipamento: Marteletoes Manuais	
Fabricante: ATLAS COPCO	Modelo: RHC658
	Quantidade: 8
Equipamento: Compressor	
Fabricante: ATLAS COPCO	Modelo: XA120 e XA350
	Quantidade: 2 e 1
Verde Ventura	Equipamento: Retro-escavadeira
Fabricante: POCLAIN	Modelo: HC500
	Quantidade: 1
Equipamento: Máquina de Fio Diamantado	
Fabricante: MARINI	Quantidade: 1
Equipamento: Carregadeira sobre Rodas	
Fabricante: CATERPILLAR	Modelo: 992
	Quantidade: 1
Meruoca Clássico	Equipamento: Trator sobre Esteiras
Fabricante: KOMATSU	Modelo: D 50E;
	Quantidade: 1
Equipamento: Fio Diamantado	
Fabricante: MARINI	Quantidade: 1
Equipamento: Macaco Hidráulico	
Fabricante: PELLEGRINI	Quantidade: 2
Equipamento: Pau de Carga	
Fabricante: -	Capacidade: 30 t
	Quantidade: 2
Equipamentos Utilizados no Beneficiamento	
GRANOS	Equipamento: Pórtico
Fabricante: SAF 30;	Quantidade: 1;
Altura: 9 m	Largura Total: 24 m;
	Capacidade: 30 t
Equipamento: Teares	
Fabricantes: MGM e BM;	Modelo: G-5 e G-8
	Quantidade: 10
	Capacidade: 25.000 m ² /mês
Equipamento: Poltriz	
Fabricante: BRETON e MGM	Quantidade: 2
	Automática-17
Satélites Largura: 2.000 mm	Capacidade: 80 m ² /h
Equipamento: Corte Automático	
Fabricante: BRETON	Quantidade: 2
	Capacidade: 80 m ² /h

Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados nas pedreiras e no beneficiamento de granito das empresas GRANISTONE, IMARF E GRANOS

Equipamento: Flameadora Automática	Equipamento: Politriz
Fabricante: CORTAN; Quantidade: 1 Capacidade: 20 m ² /h	Fabricante: ZONATO e MGM; Modelo: LC 2000 ; Quantidade: 2; Capacidade: 80 m ² /h
Equipamento: Frezas	Equipamento: Corte Automático
Fabricante: ZONATO Quantidade: 2 ; Capacidade: 10 m ² /h	Fabricante: ZONATO ; Modelo: Matrix 2000 Quantidade: 2; Capacidade: 80 m ² /h
Equipamento: Ponte Rolante/Pórtico Rolante	Equipamento: Flameadora Automática
Fabricante: SAF 16 ; Quantidade: 4 Capacidade: 3 t / Quantidade: 6	Fabricante: CORTAN; Quantidade: 1 Capacidade: 20 m ² /h
IMARF	Equipamento: Frezas
Equipamento: Pórtico	Fabricante: ZONATO Quantidade: 2 ; Capacidade: 10 m ² /h
Fabricante: SAF 30; Quantidade: 1; Dimensão da Bitola: 16 m ; Altura: 9m	Fabricante: CORTAN; Quantidade: 1 Capacidade: 10 m ² /h
Largura Total: 24 m; Capacidade: 30 t	Equipamento: Monofio DMT
Equipamento: Monofio DMT	Fabricante: BM ; Quantidade: 1 ; Capacidade : 30 cm/h
Fabricante: BM ; Quantidade: 1 ; Capacidade : 30 cm/h	Equipamento: Teares (Caucaia)
Equipamento: Teares (Caucaia)	Fabricante: BRETON; Modelo: 350/350 ; Quantidade: 2 ; Capacidade: 15.000 m ² /mês
Fabricante: BRETON; Modelo: 350/350 ; Quantidade: 2 ; Capacidade: 15.000 m ² /mês	Equipamento: Teares (Sobral)
Equipamento: Teares (Sobral)	Fabricante: MGM ; Modelo: G-1, G-2 e G-6 ; Quantidade: 10; Capacidade: 10.000 m ² /mês
Fabricante: MGM ; Modelo: G-1, G-2 e G-6 ; Quantidade: 10; Capacidade: 10.000 m ² /mês	Fabricante: SAF ; Quantidade: 10; Capacidade: 500 kg



cimento

HOLDERCIM

cimento

HOLDERCIM

Jurgen Schnellrath¹
Marcelo Andrade²
Luiz P. de Alvarenga Júnior³
Alexandre M. Rossi³
Rogério Campos Goulart³

■ A Fábrica Cantagalo, produtora do cimento Alvorada, está situada no município homônimo, no estado do Rio de Janeiro, e é controlada pelo grupo cimenteiro suíço Holderbank (100%) através de seu representante, a HOLDERCIM Brasil S/A, uma sociedade anônima de capital fechado. A HOLDERCIM administra e opera também a mina de calcário, Val das Palmas, responsável pela matéria-prima da fábrica de cimento. De sua produção, 95% abastece o mercado do estado do Rio de Janeiro, sendo o restante destinado ao estado de Minas Gerais. O produto chega ao mercado através de transporte rodoviário e quase sua totalidade é comercializada em sacos de 50 kg. O cimento é adquirido pelos revendedores ou lojas de material de construção, para atender ao mercado denominado "formiguinha" (grande número de clientes finais que compram pequenas quantidades). Apenas 5% são vendidos a granel para concreteiras.

Geologia

A jazida Val das Palmas está situada em uma das importantes faixas de rochas carbonáticas pré-cambrianas entre os municípios de Macuco e Cantagalo, representadas principalmente por mármore calcítico (calcários metamórficos). Elas se encontram intercaladas em rochas metamórficas de alto grau, estando comumente associadas a gnaisses e anfibólitos com atitudes fortemente inclinadas, constituindo uma morfologia de cristas alongadas na direção SW-NE (Serra das Águas Quentes). Ocorrem tanto como lentes de pequeno porte, quanto como megalentes ou camadas com mais de 30 km de comprimento e várias centenas de metros de largura.

Os mármore de coloração esbranquiçada e granulação média a grossa, podem conter como impurezas quartzo, anfibólio, piroxênio, e também minúsculas palhetas de grafita e pequenos cristais de pirita, ambos disseminados na rocha. Podem ainda sofrer dolomitização e/ou silicificação no contato com os gnaisses e anfibólitos intercalados, tornando-se impuros e exigindo cuidados na lavra para evitar a contaminação do ROM.

¹ Pesquisador, CETEM

² Técnico Químico, CETEM

³ Engenheiro, HOLDERCIM

A argila com alto teor em ferro, utilizada na produção do cimento, é extraída do espesso capeamento (solo superficial de vários metros de espessura) que recobre a jazida de calcário (Figura 1A).

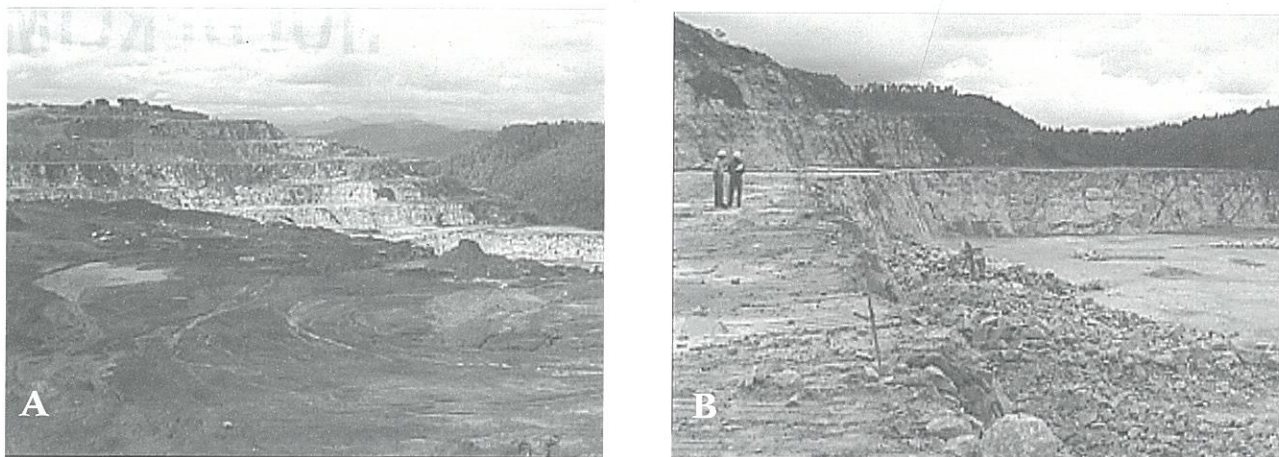


Figura 1: (A) Camada de argila avermelhada superficial recobrindo calcário esbranquiçado ao fundo. (B) Frentes de lavra com material já desmontado para carregamento e transporte.

As reservas medidas são da ordem de 40,7 milhões de toneladas de calcário com relação estéril:minério de 1:4,4 em volume. As reservas indicadas acrescentam a esse valor 51,5 milhões de toneladas, conferindo à mina uma vida útil de cerca de 138 anos no atual ritmo de extração de 650.000 t/ano.

A qualidade média das matérias-primas alimentadas em 1998 ao moinho de cru pode ser vista na Tabela 1. Minério de ferro adquirido de terceiros é adicionado para compensar a deficiência de ferro na mistura das matérias-primas. Eventualmente pode ser necessária também a adição de sienito para compensar um déficit em álcalis.

Tabela 1 – Qualidade média das matérias-primas alimentadas ao moinho de cru em 1998

Óxidos (%)	Calcário alto (≥82% CaCO ₃)	Calcário baixo (<82% CaCO ₃)	Argila (%)	Minério de ferro (%)
PPC*	37,35	31,69	8,61	1,93
SiO ₂	9,40	19,82	58,27	9,03
Al ₂ O ₃	1,37	4,30	20,18	3,67
Fe ₂ O ₃	1,26	2,27	11,36	82,15
CaO	47,40	39,78	1,73	2,04
MgO	1,19	1,40	0,07	0,14
SO ₃	0,10	0,12	0,07	0,14
K ₂ O	0,26	0,59	0,05	0,25
Na ₂ O	0,12	0,35	0,04	0,15

* PPC = perda por calcinação.

Lavra

Inicialmente uma empresa contratada faz a decapagem da cobertura friável de argila utilizando trator de esteira, carregadeira frontal sobre rodas e caminhões de caçamba comuns. A argila é transportada diretamente para o galpão de matérias-primas. A lavra do calcário é realizada a céu aberto, pela própria HOLDERCIM, em bancadas de 12 m de altura (Figura 1B).

Para o desmonte da rocha emprega-se uma malha de detonação de 2 x 5 m com furação de 75 mm de diâmetro, inclinação de 15° com a vertical e 13 m de profundidade, utilizando-se explosivos convencionais. Análises químicas do pó das perforatrizes permitem delimitar as diferentes características do minério e do estéril, sendo o teor de SiO₂ a principal variável controlada. Após o desmonte do minério, caminhões (EUCLID/TEREX) com capacidade de 22 t executam o transporte até o britador.

Os equipamentos empregados no desmonte, no carregamento do calcário e na manutenção das praças e acessos são: uma perfuratriz ROC 742 de 75 mm; duas carregadeiras 980, duas 966 e uma 950; um trator D-8K e uma patrol 120B, todos da CATERPILLAR.

Beneficiamento

A capacidade de processamento da usina é de cerca de 480.000 t/ano de clínquer. Desse total, 95% são destinados à produção de cimento CP II-E-32 (CP: cimento Portland; II: composto; E: escória; 32: resistência mínima à compressão, em MPa, após 28 dias de cura, em ensaio de laboratório com areia padrão) e apenas 2.000 t/mês à produção de cimento do tipo G (cimento especial para poços petrolíferos). O fluxograma do circuito de fabricação do cimento é apresentado na Figura 2.

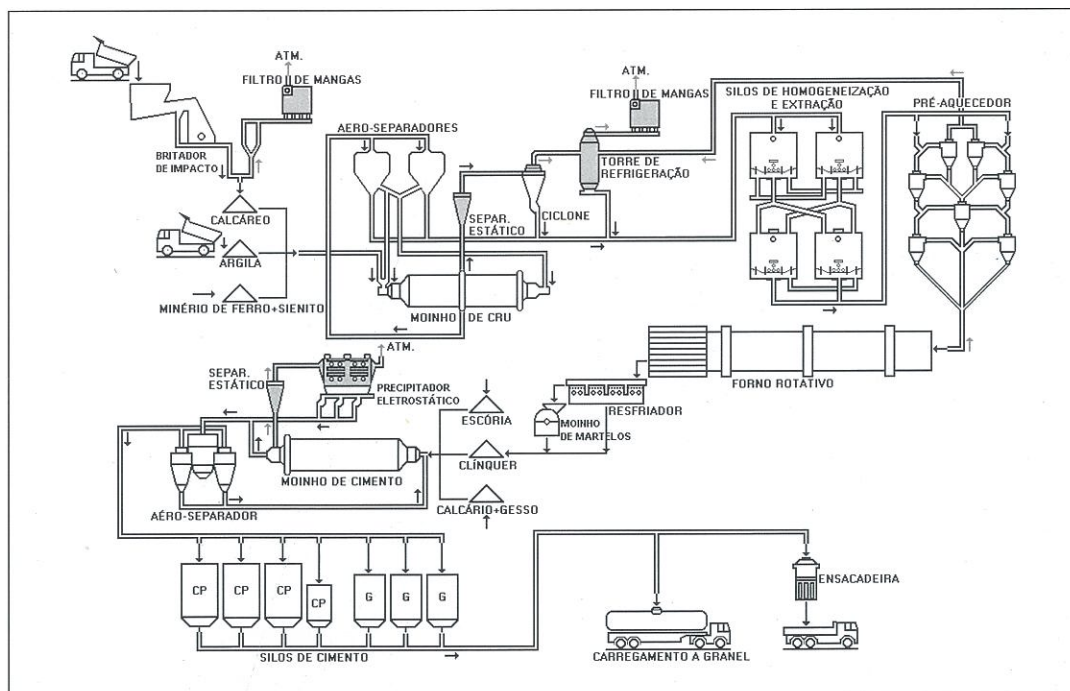


Figura 2: Fluxograma da fábrica de cimento da HOLDERCIM, Cantagalo – RJ

Britagem de calcário

A capacidade do britador de impacto é de 300 t/h, operando em turnos diurnos de 10 h, de forma a manter os estoques de calcário alto e baixo sempre nos níveis desejados. O processo de britagem consiste de uma moega, de um alimentador de sapatas, de um britador de impacto e de um filtro de mangas. Blocos com tamanhos de no máximo 0,8 m são cominuídos a uma granulometria com 95% abaixo de 25 mm e levados por transportador de correia até o galpão de matérias-primas com capacidade de estocagem para 12.000 t. O galpão possui áreas separadas para a estocagem de calcário alto, calcário baixo, argila, minério de ferro e sienito.

Moagem de cru e homogeneização da farinha

Do pátio de estocagem de matéria-prima, uma ponte rolante com um retomador de caçamba alimenta e mantém constante o nível das três moegas de matéria-prima: uma para calcário alto, outra para calcário baixo e uma terceira para a mistura de argila, minério de ferro e sienito.

Das moegas as matérias-primas passam por balanças dosadoras (Figura 3A) que controlam as taxas de alimentação dos respectivos constituintes do cru ao moinho de bolas (Figura 3B). Cru ou farinha (quando moída) é o nome dado à blendagem de matérias-primas nas proporções requeridas para a produção de clínquer, que para o cimento CP II-E-32 estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição das matérias-primas na produção do cimento CP II-E-32 produzido pela Cimento Alvorada

Matérias-primas	(%) Cimento CII-E-32
calcário alto	75,15
calcário baixo	17,14
argila	6,70
minério de ferro	0,09
cinzas da queima de combustível	0,92

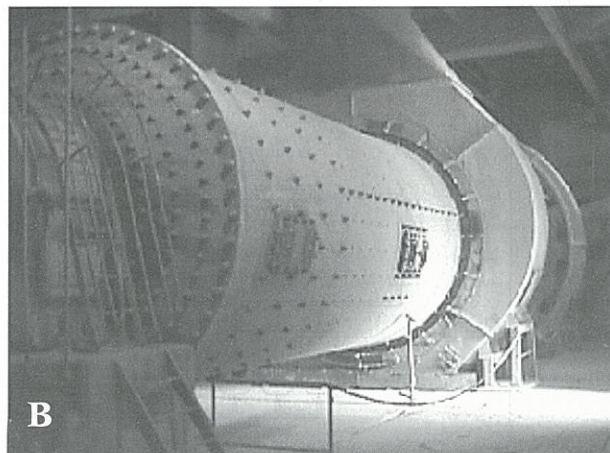
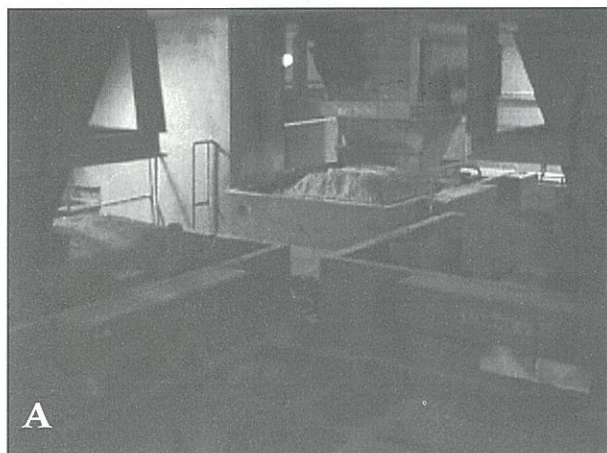


Figura 3: (A) Balanças dosadoras de matérias-primas nas saídas das moegas. (B) Moinho de cru com descarga central.

O moinho de descarga central consome 19,2 kWh/t e opera em circuito fechado com dois aero-separadores dinâmicos, cujo *oversize*, retorna em grande parte ao moinho pelo lado oposto ao da alimentação nova e o restante, com a própria alimentação nova. O *undersize*, com uma granulometria de 1,0% retido em 212 μ m e 18,0% retidos em 88 μ m, é transportado até os silos de homogeneização e extração de farinha (Figura 4A). A exaustão da poeira resultante da moagem é realizada por um separador estático seguido de um ciclone pneumático, de onde o pó (*underflow*) é recuperado para o processo. O ar (*overflow*) dirige-se para a torre de refrigeração, onde se junta com os gases advindos do forno, para, finalmente, serem conduzidos ao filtro de mangas.

A homogeneização da farinha, em bateladas de no mínimo 800 t, é feita por um sistema de aeração e controlada de tal forma a obter a especificação requerida para alimentação ao forno. Do silo de homogeneização, a farinha cai por gravidade para o silo de extração com capacidade para 1.600 t (até duas bateladas).

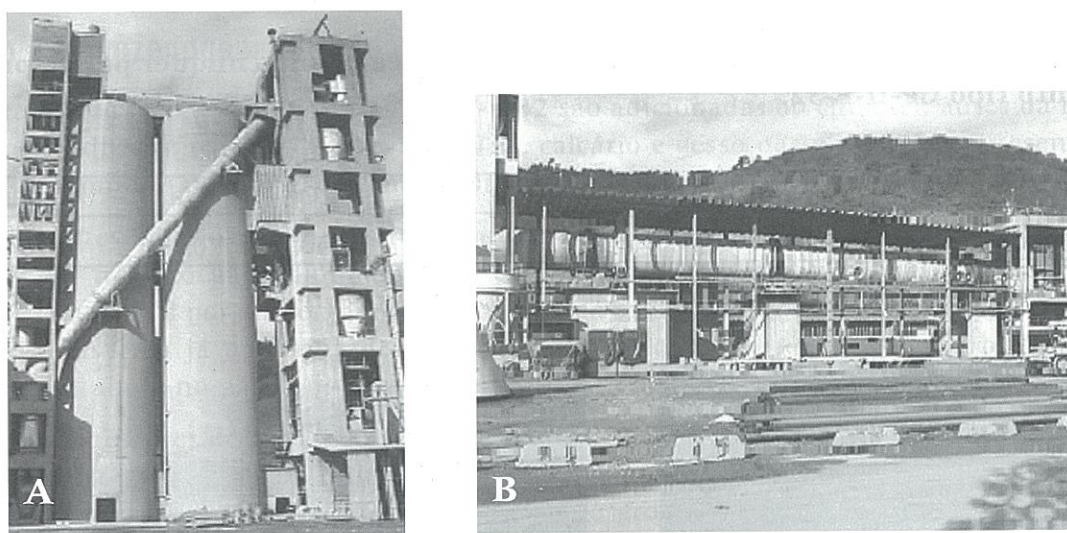


Figura 4: (A) Homogeneização / extração de farinha (dois silos à esquerda) e torre de pré-aquecimento (à direita). (B) Forno rotativo.

Pré-aquecimento e forno rotativo

Do silo de extração, a farinha é conduzida por um sistema de transporte, constituído de transportadores de leito fluidizados, helicoidais e elevadores de caçamba, para a torre de pré-aquecimento (Figura 4A à direita). O ar quente resultante da queima de combustíveis no forno é injetado na torre e, no seu percurso ascendente, aquece a farinha que cai por gravidade, alcançando desta forma uma temperatura inicial de 850°C já na entrada do forno. O sistema de pré-aquecimento é constituído por sete ciclones pneumáticos interligados.

Uma correia dosadora, situada no alto da torre, regula a taxa de alimentação do forno rotativo (Figura 4B), que tem inclinação de 3%, diâmetro de 4 m e comprimento de 60 m. A sua rotação é variável (até 3 rpm) em função da constância da alimentação de farinha e do grau de enchimento. Na zona de clinquerização, próxima à chama do queimador, são obtidas temperaturas entre 1.350 e 1.450°C. O consumo térmico do forno é de 850 kcal/kg de clínquer. Como combustível é empregada uma mistura constituída basicamente de óleo combustível (responsável por 47% do calor gerado), coque de petróleo nacional (40%) e resíduos industriais (13%). Considerando

uma produção de 1.170 t/dia e um tempo de operação de aproximadamente 7.900 h/ano (90% de utilização), chega-se a um total aproximado de 385.500 t/ano de clínquer.

O clínquer incandescente (Figura 5A) cai sobre a grelha móvel e é transportado. No percurso é resfriado por uma corrente de ar ascendente, que abaixa a sua temperatura de 1.200°C para 150 a 50°C. Na saída do resfriador a fração grossa é alimentada a um moinho de martelos, para adequar a sua granulometria à etapa de moagem. A descarga do moinho de martelos e os finos oriundos do resfriador se unem e são encaminhados ao pátio de estocagem de clínquer (Figura 6A) por meio de um transportador de caçambas. Ao resfriador está acoplado um recuperador de pó de clínquer (cuja principal função é abater as poeiras, evitando a poluição atmosférica) constituído por uma bateria de multiclones (ciclones pneumáticos).

A composição química do clínquer para a produção de cimento tipo CP-II-E-32 pode ser vista na Tabela 3, e na Tabela 4 os componentes da moagem do clínquer para produção do mesmo cimento.

Tabela 3 – Composição (% em peso) química típica de um clínquer para a produção de cimento tipo CP-II-E-32.

PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cal Livre
0,18	21,68	5,33	3,46	65,39	2,07	0,82	0,48	0,21	1,16

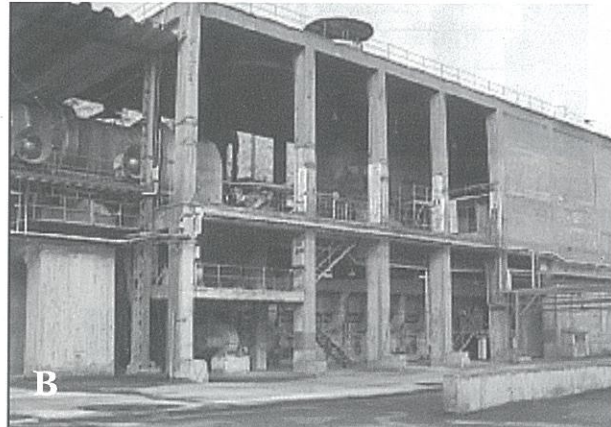
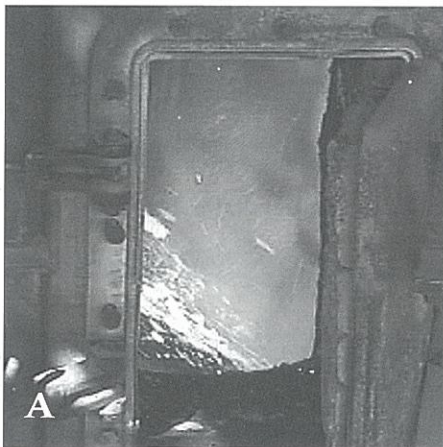


Figura 5: (A) Clínquer incandescente na saída do forno rotativo. (B) Queimador (canto superior esquerdo) e resfriador móvel de grelha.

Tabela 4 – Componentes da moagem do clínquer para produção de cimento CP-II-E-32.

Componente	Clínquer	Escória	Calcário	Gesso
% em peso	62,7	23,4	9,3	4,6



Figura 6: (A) Pátio de estocagem de clínquer. (B) Moinho de cimento.

Moagem e armazenagem de cimento

Para a produção do cimento tipo CP-II-E-32 são adicionadas ao clínquer, antes da moagem, os seguintes aditivos: escória de alto-forno (E), calcário e gesso nas proporções apresentadas na Tabela 4. O moinho também atua como misturador.

Todos estes aditivos são depositados próximos ao pátio de clínquer e alimentados por um guindaste em três moegas (clínquer, gesso com calcário, e escória). A correta mistura desses insumos é controlada por alimentadores de correia na saída de cada uma das moegas, de maneira idêntica ao sistema já apresentado na Figura 3A. O calcário e o gesso são blendados por carregadeiras, ainda no pátio, na proporção de 2:1.

Os alimentadores de correia alimentam o moinho de bolas (Figura 5B) que opera em circuito fechado com aero-separadores (Figura 7A). A descarga do moinho é transportada por um elevador de caçambas aos aero-separadores, de onde a fração grossa (64%) retorna ao moinho e a fina, com um *Blaine* (área específica) de 3.250 cm²/g (0,65% retido em 75 μm e 13,57% retido em 44 μm), é transportada até outro elevador de caçambas, para então alimentar os silos de armazenagem de cimento (Figura 7B). O abatimento das poeiras do moinho é feito na sua descarga através de um sistema constituído por um separador estático seguido de um precipitador eletrostático, retornando o pó aos aero-separadores. A Tabela 5 apresenta as principais características do cimento CP-II-E-32 produzido.

Tabela 5 – Propriedades físicas e químicas típicas de um cimento tipo CP-II-E-32.

PPC	R _i	SO ₃	D _{H2O}	P _i	P _f	R _{C3d}	R _{C7d}	R _{C28d}
4,34%	1,21%	2,29%	28,1%	130 min	246 min	20 MPa	27 MPa	37 MPa

PPC = perda por calcinação R_i = resíduo insolúvel SO₃: controla o tempo de pega D_{H2O}: demanda de água na mistura P_i: tempo de pega inicial P_f: tempo de pega final R_{C3d, C7d e C28d}: Resistência à compressão após 3, 7 e 28 dias respectivamente

Dos silos de armazenagem, o cimento é transportado até um silo menor, para ser opcionalmente carregado a granel nos caminhões das concreteiras ou, o que é mais comum, seguir para a ensacadeira e desta para o carregamento de caminhões convencionais de revendedores de materiais de construção. As duas ensacadeiras têm uma capacidade para 2.000 sacos/h cada (Figura 8A).

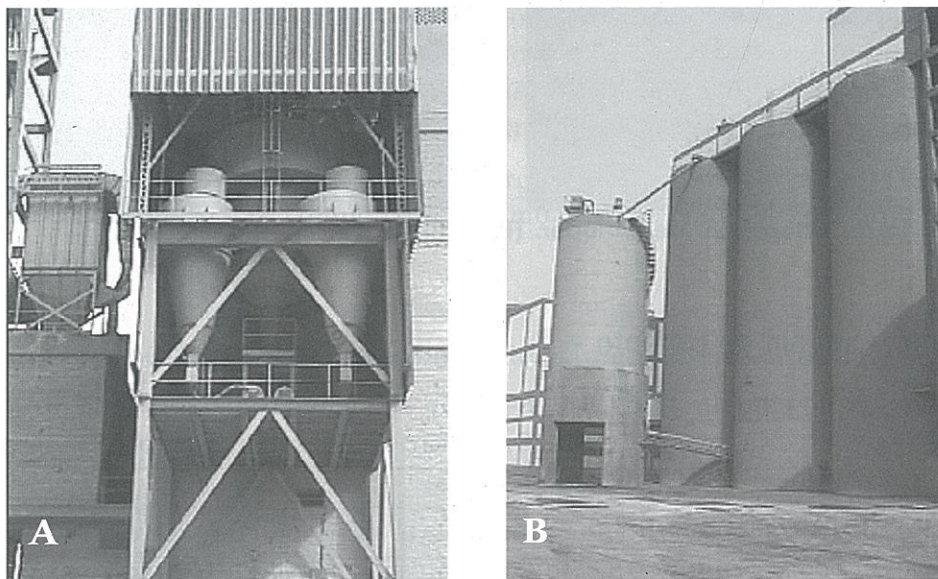


Figura 7: (A) Aero-separadores operando em circuito fechado com a moagem de cimento. (B) Silos de armazenagem de cimento tipo CP II-E-32.

Moagem de combustível sólido

O combustível sólido empregado na queima e aquecimento do forno necessita ser moído a 90% abaixo de 88 μm , para viabilizar a sua injeção no bico do queimador. Para tal, é blendado, ainda no depósito, nas proporções adequadas (atualmente três caçambas de coque de petróleo nacional para uma de resíduos industriais), sendo a mistura transportada por transportador de correias, equipado com extratores metálicos, até uma moega, a partir da qual, passando por um

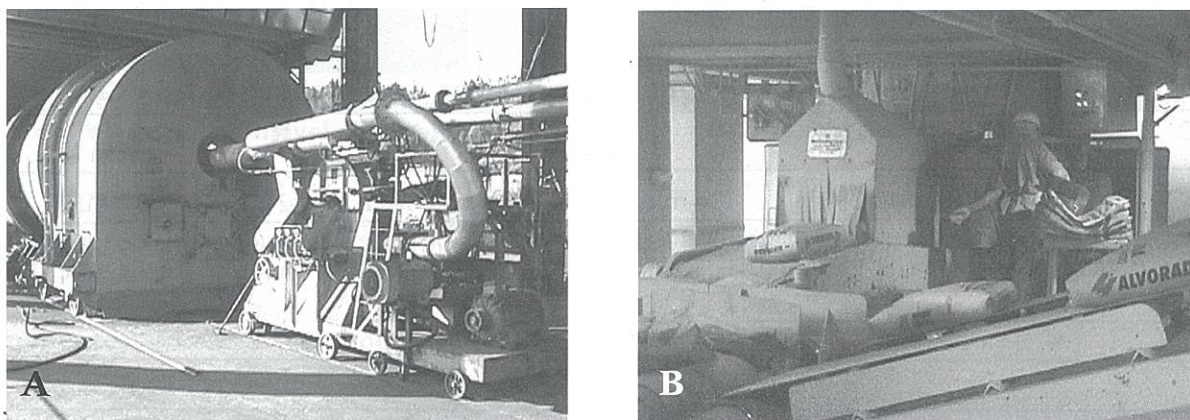


Figura 8: (A) Queimador do forno rotativo. (B) Ensacadeira de cimento.

alimentador de correia, segue para um moinho *Raymond* numa taxa de 5 a 6 t/h. Este funciona com um separador dinâmico interno que arrasta o material fino para o filtro de mangas, onde o pó é retido e transportado pneumáticamente aos silos de armazenagem e de lá para injeção no queimador (Figura 8B). A fração grossa é considerada rejeito e descartada do circuito. O balanço energético na usina está apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Balanço energético da usina de produção de cimento da HOLDERCIM.

Da mina até o silo de farinha	32,27 kWh/t
Do silo de farinha até o pátio de clínquer	+ 32,70 kWh/t
Total em relação à tonelada de matéria crua	= 64,97 kWh/t
Total devido à perda de massa no forno: (64,97 kWh/t x 0,7028)	= 45,66 kWh/t de clínquer
Moagem de cimento	+ 43,86 kWh/t
Embalagem e despacho	+ 0,39 kWh/t
Departamentos auxiliares	+ 1,55 kWh/t
Total	91,46 kWh/t de cimento produzido

Amostragem

Para o controle de qualidade são realizadas amostragens em diferentes pontos do processo.

Na mina, o pó resultante da perfuração para o desmonte das frentes de lavra é amostrado de 3 em 3 furos. Com base nos resultados de análise química, a frente de lavra é demarcada em tipos de minério diferentes (calcário alto, calcário baixo, estéril, etc.) e programado o carregamento para o britador de forma a manter constante a qualidade do ROM.

Na saída do britador de calcário um amostrador contínuo, compondo amostras de hora em hora, controla a qualidade do ROM e, quando necessário, alteram-se as proporções dos diversos tipos de minério nas frentes de lavra para correção. A argila, o minério de ferro, o sienito e a areia são analisados por lotes.

Na saída do moinho de cru, um amostrador contínuo controla a qualidade da farinha compondo amostras de hora em hora. Se preciso, corrige-se a proporção dos diversos aditivos.

A alimentação do forno é controlada quimicamente por uma amostragem de 4 em 4 horas feita no alto da torre de homogeneização e extração da farinha; o clínquer produzido é amostrado no transportador de caçambas de hora em hora.

A escória e o gesso usados como aditivos são amostrados por lote recebido do fornecedor.

A descarga do moinho de cimento é amostrada de forma contínua de hora em hora.

Na expedição um amostrador contínuo coleta uma amostra diária para controlar a qualidade do cimento ensacado.

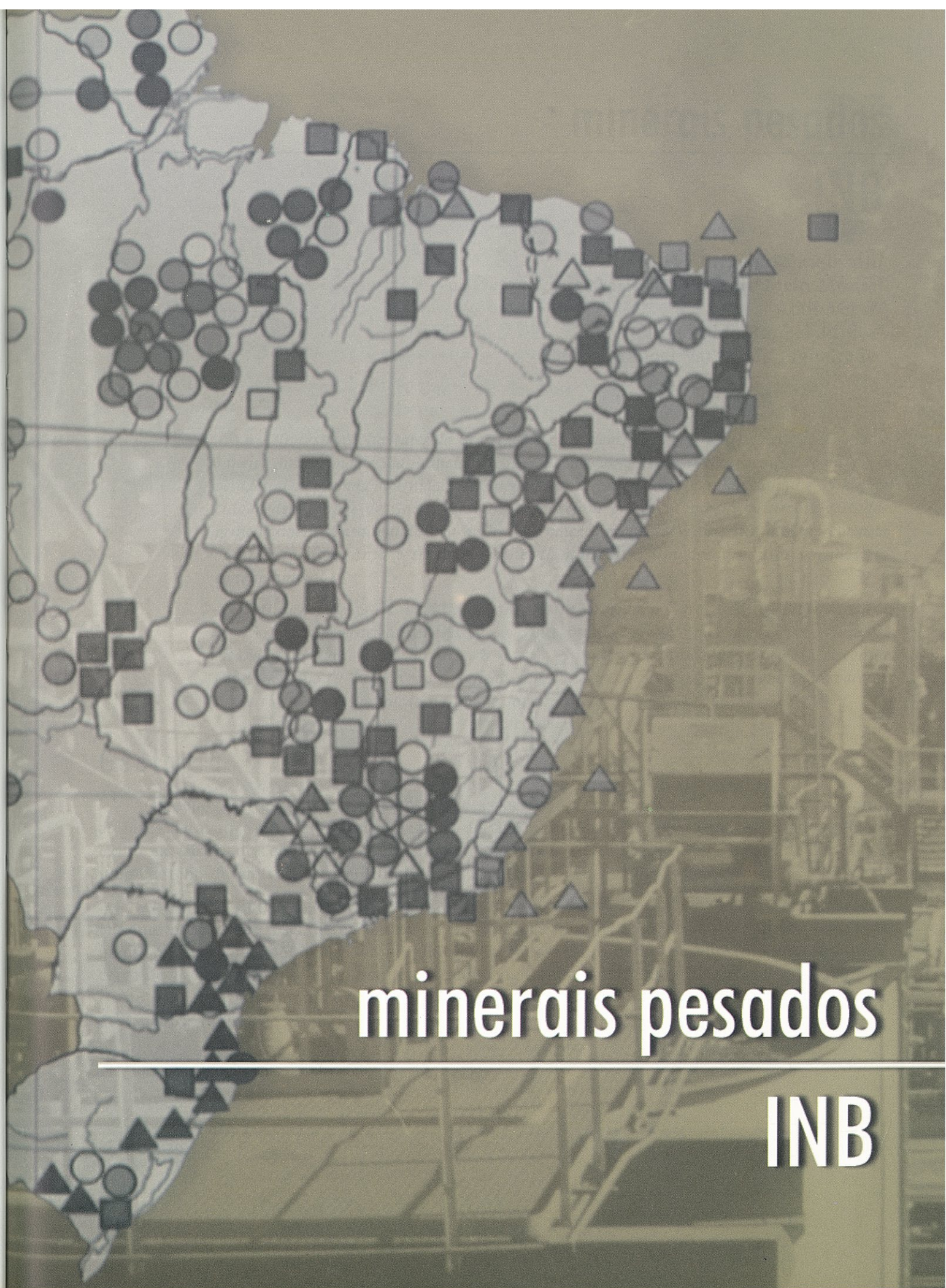
As análises químicas são realizadas por fluorescência de raios-X e os ensaios físicos importantes são: resistência à compressão, área específica (*Blaine*) e granulometria.

Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para na fábrica de cimento Alvorada, HOLDERCIM

Equipamento: Britador de calcário	Equipamento: Pré-aquecedor
Fabricante: Polysius; Modelo: Polypact, tamanho XVIII; Tipo: de martelos; Quantidade: 1; Capacidade: 300 t/h; Largura do rotor: 1710 mm; Velocidade do rotor: 312 rpm; Quantidade de martelos: 36; Peso de cada martelo: 60 kg; Vida útil dos martelos: 60.000 t; Abertura da grelha: 30 mm; Topsize da alimentação: 500x800x1000 mm; Potência do motor: 326 kW	Fabricante: Polysius; Altura: 69 m; Área: 12x12 m; Capacidade: 2000 t/dia; Sistema de pré-aquecimento: reaproveitamento dos gases do forno; Temperatura de saída do material: 850 °C
Equipamento: Correia dosadora de matéria-prima	Equipamento: Forno rotativo
Fabricante: Schenk; Modelo: DMG V12; Quantidade: 3; Capacidade: 75 t/h; Motor: Winkelmann 0,83 CV/2800 rpm;	Fabricante: Polysius; Diâmetro: 4 m; Comprimento: 60 m, 3 bases; Rotação: 0 a 3 rpm (função de um grau de enchimento constante); Revestimento: tijolo refratário; Capacidade de produção: 1200 t/dia; Inclinação: 3%; Consumo térmico: 850 kcal/kg de clínquer; Tempo de operação: 7900 h/ano; Motor de acionamento: 145 kW/1760 rpm, 440 V, corrente contínua; Temperatura na zona de clínquerização: 1350 a 1450°C; Temperatura do casco: 300 °C
Equipamento: Moinho de cru	Equipamento: Resfriador de clínquer
Fabricante: Carton/Polysius; Tipo: <i>Double rotator</i> de 3 câmaras (1 de secagem e 2 de moagem), descarga central e acionamento simples; Quantidade: 1; Dimensões: 3,4x11,75 m; Capacidade de produção: 120 t/h; Velocidade: 17 rpm = 73% V _c , sentido horário; Melo moedor: bolas; Diâmetro das bolas: de 60 a 90 mm na 1ª câmara de moagem e de 25 a 60 na 2ª; Consumo de bolas: 125 g/t; Enchimento: 30%; Potência instalada: 1440 kW; Consumo de energia: 19,2 kWh/t	Fabricante: Polysius; Modelo: Recupol; Tipo: de grelhas; Velocidade: 1 rpm; Capacidade: 52 t/h; Temperatura de entrada e de saída: 1200 e 100°C respectivamente
Revestimento: Duolift (K1) e Classificador (K2), ambos da Maggoteaux; Vida útil do revestimento: 40.000 h; Capacidade da ventilação acoplada: 58.800 m³/h	Equipamento: Britador de clínquer
Equipamento: Separador dinâmico	Tipo: de martelos; Quantidade: 1
Fabricante: Polysius; Modelo: AS Turbopol; Quantidade: 3; Dimensões: \bar{A} = 4,8m; Motores: WEG 250CV/1750 rpm - 315 carc., motor do 531-SE1; SIEMENS 116 CV/1775 rpm, 280M carc., motor do 331-SE1/2; Potência instalada do motor do separador: 172 kW;	Equipamento: Transportador de clínquer
Equipamento: Silo de homogeneização de farinha	Fabricante: Aumund; Tipo: transportador de caçambas, modelo 13; Velocidade: 0,28 m/s; Capacidade: 70 t/h; Quantidade de caçambas: 374
Quantidade: 2; Capacidade de armazenamento: 1600 t; Mecanismo de homogeneização: aeração; Descarga: por gravidade	Equipamento: Guindaste de clínquer e aditivos para cimento
Equipamento: Silo de extração de farinha	Fabricante: Ridinger; Modelo: Caçamba; Capacidade da caçamba: 5 t; Quantidade: 1; Pista de rolamento: 6X25 m; Levantamento: 20 m;
Quantidade: 2; Capacidade de armazenamento: 1600 t; Descarga: por gravidade, por batelada, controle químico.	Equipamento: Correia dosadora de clínquer e aditivos
	Fabricante: Schenk; Modelo: DMG V10; Quantidade: 3; Capacidade: 75 t/h; Motor: Winkelmann 0,83 CV/2800 rpm

Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para na fábrica de cimento Alvorada, HOLDERCIM

<p>Equipamento: Moinho de cimento</p> <p>Fabricante: Polysius; Tipo: duas câmaras, descarga final; Dimensões (ÆxL): 3,8 x 11,50 m (1ª câmara: 3,25 m, 2ª câmara: 7,42 m); Capacidade nominal: 60 t/h; Potência instalada: 2.600 kW (2 motores); Finura do produto : 2800 cm²/g; Rotação: 15 rpm (69,1% V_c); Grau de enchimento: 31,1% (1ª câmara) e 32,6% (2ª câmara); Meio moedor: bolas; Carga de bolas: 49 t com bolas de 60 a 90 mm (1ª câmara) e 118 t com bolas de 17 a 60 mm (2ª câmara); Consumo de bolas: 62,4 g/t; Tipo de revestimento: Duolift (1ª câmara) e Classificador (2ª câmara); Consumo de energia: 32 kWh/t; Capacidade da ventilação acoplada: 37.200 m³/h</p>	<p>Equipamento: Silos de estocagem de cimento</p> <p>Quantidade: 7; Capacidades: 3 silos de 2.500 t em alvenaria (CP-II-E-32), 3 silos metálicos de 1000 t (classe G) e 1 silo de 800 t em estrutura metálica e alvenaria (CP-II-E-32)</p>
<p>Equipamento: Separador</p> <p>Fabricante: Polysius; Modelo: Sepol 230/4; Diâmetro do separador: 4 m; Diâmetro do rotor: 2,3 m; Altura do rotor: 1,53 m; Quantidade de ciclones: 4; Diâmetro dos ciclones: 2,12 m; Alimentação/ar: 0,86 kg/m³; Fluxo de ar: 138.000 m³/h; Rotação da hélice: 1093 rpm; Potência instalada do motor do separador: 185 kW; Potência instalada do motor do ventilador: 200 kW</p>	<p>Equipamento: Ensacadeira de cimento</p> <p>Fabricante: Haver Boecker; Tipo: 8RV; Produção: 2000 sacos/h; Consumo de energia: 2-2,5 kWh/t</p> <p>Equipamento: Moinho de combustível sólido</p> <p>Fabricante: ABB/Raymond Coal; Tipo: Vertical de 3 rolos (bowl mill) com descarga lateral dos grossos; Modelo: RS/RPS 663; Æ nominal da bacia: 214,0 cm; Æ dos rolos: 55,0 cm; Capacidade nominal de produção: 14,5 t/h; Potência instalada: 184 kW; Consumo energético: 60 kWh/t de combustível sólido; Potência instalada do motor do separador: 14,9 kW; Potência instalada do motor do ventilador: 130,5 kW</p>



minerais pesados

INB

minerais pesados

INB

Jurgen Schnellrath¹
Marisa Bezerra de Melo Monte¹
Alair Veras²
Heraldo Rangel Júnior³
Carlos Manoel Vargas de Figueiredo³

■ *A Indústrias Nucleares do Brasil (INB) possuem, no litoral norte do estado do Rio de Janeiro, município de São Francisco de Itabapoana, uma usina de concentração de minerais pesados, denominada de Unidade de Buena, distante cerca de 350 km da capital e 65 km da cidade de Campos de Goitacazes. Embora sejam produzidos bens minerais voltados principalmente para a indústria de transformação, explica-se a presença da empresa pela ocorrência de urânio e tório no mineral monazita, um dos produtos gerados no beneficiamento.*

O concentrado com 95% de monazita, obtido no processo, é estocado para aproveitamento posterior através de abertura química seguido de extração por solventes, visando à produção de óxidos de terras-raras. Os concentrados de ilmenita (94%), zirconita (96%) e rutilo (94%) são comercializados in natura e transportados por caminhões para as indústrias de transformação no Rio de Janeiro e São Paulo.

Geologia

Os depósitos de minerais pesados estão associados a cordões litorâneos formados durante as fases de avanço e recuo do mar (jazidas do tipo paleopraia). Esses corpos alongados podem exibir extensões de centenas de metros a alguns quilômetros e larguras que variam de dezenas a uma centena de metros, com profundidade variando entre 3 e 5 m.

O minério apresenta um teor médio de 20% de minerais pesados. A mina em operação (Buena Sul) possui reservas da ordem de 2,3 milhões de toneladas de minério bruto (reservas medidas), das quais 460.000 t são de minerais pesados. Os minerais pesados úteis representam cerca de 17% do minério bruto, isto é, 207.000 t de ilmenita, 115.000 t de zirconita, 11.500 t de rutilo e 11.500 t de monazita. Entre os minerais pesados não-úteis (115.000 t) podem ser destacados: limonita, sillimanita e espinélio.

¹ Pesquisador, CETEM

² Engenheiro, INB

³ Geólogo, INB

Lavra

A lavra a céu aberto consiste basicamente de três operações: remoção do capeamento, desmonte, exploração, transporte e, ainda, a recuperação das áreas lavradas. Na remoção do capeamento a camada superficial ou solo, com aproximadamente 25 cm de espessura e rica em matéria orgânica, é retirada e estocada no próprio local da mina. A relação estéril minério é de 0,2:1. A lavra do horizonte mineralizado logo abaixo do capeamento é realizada por meio de uma escavadeira hidráulica CAT 312 com caçamba de 0,9 m³ (Figura 1A). Caminhões basculantes convencionais de 12 m³ transportam o minério até a usina de concentração. A mesma frota de caminhões também retorna o rejeito obtido no processamento para enchimento das cavas, e conseqüente recuperação da topografia original. Por fim, o solo proveniente do decapeamento é distribuído sobre essa área, com vistas a sua reabilitação para o reflorestamento.

Uma carregadeira frontal CAT 966 e um trator de esteira D4 executam a reabilitação das áreas degradadas, para posterior revegetação.

Apesar da grande variação no teor de minerais pesados do minério bruto (5 a 40%), a lavra é conduzida atualmente em apenas uma frente, em função dos altos custos envolvidos com a lavra simultânea de duas ou mais frentes. A lavra é direcionada conforme a qualidade do concentrado final de minerais pesados (CMP) obtido na usina de concentração gravítica, cuja especificação é de um teor máximo de 5% de SiO₂ para a alimentação da usina de beneficiamento a seco.

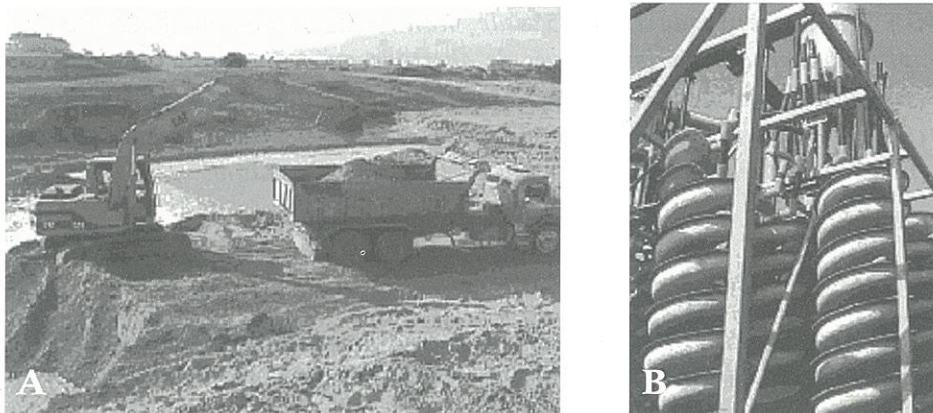


Figura 1: (A) Operação de desmonte e carregamento de minério bruto. (B) Bateria de espirais HC1.

Beneficiamento

Para a movimentação de todo o material sólido gerado na usina gravítica e na usina de beneficiamento a seco, a empresa possui cinco carregadeiras frontais (2 CAT 930, 1 CAT 966, 1 Case W20 e 1 Case 821C).

Usina de concentração gravítica

A usina tem uma capacidade nominal para tratar 90 t/h de minério bruto e opera de forma contínua, no período de segunda-feira a sábado. Mensalmente são processadas cerca de 30.000 t de minério bruto para a produção de 5.000 t de concentrado de minerais pesados (CMP). O consumo de água é de 200 m³/h, o que corresponde a cerca de 0,45 m³/t de minério processado. Todo esse volume d'água é integralmente recuperado no processo e eventuais perdas são repostas pelo lençol freático que alimenta o reservatório de água limpa.

O minério bruto é descarregado sobre uma grelha vibratória com abertura de 5 cm, para remoção da matéria orgânica e aglomerados argilosos (Formação Barreira). Uma peneira a úmido com abertura de 2 mm realiza a separação da fração passante na grelha. A fração retida na peneira constitui o material para manutenção de piso e estradas da mina.

O passante em 2,0 mm vai para um tanque (TP1), onde é preparada uma polpa com cerca de 20% de sólidos. Essa polpa é bombeada para o hidrociclone deslamador HC1, que promove um corte granulométrico em 0,1 mm. A fração fina, após a adição de flocculante iônico, que varia de acordo com a quantidade de argila presente na polpa, vai para a bacia de decantação de sólidos. O material decantado é bombeado para uma pilha de drenagem onde a água é canalizada de volta para a bacia, e os sólidos retornam à mina para o preenchimento das cavas. O transbordo da bacia de decantação, isto é, a água de recirculação, alimenta o reservatório de água limpa.

A fração grossa do hidrociclone deslamador HC1 segue para o tanque de polpa TP2, de onde é bombeado com 25% de sólidos para as espirais E1 (Figura 1B). Os rejeitos dessas (RE1) e de outras duas baterias de espirais (RE2 e RE3), são conduzidos para o tanque de polpa TP3, de onde são bombeados para os hidrociclones desaguadores HC3. A fração fina dessa ciclonagem é recuperada como água de processo e a fração grossa representa o rejeito final da usina gravítica. Como controle do processo é feita uma análise mineralógica do rejeito final, para verificar eventuais perdas de minerais pesados. Após a eliminação do excedente de água, por meio de cones desaguadores, o rejeito sólido e os sólidos da bacia de decantação retornam à mina para preenchimento das cavas.

Os mistos das espirais E1 (ME1) alimentam uma segunda bateria de espirais (E2). O concentrado desse estágio (CE2) junta-se ao concentrado do primeiro estágio (CE1) no tanque de polpa TP4 e é bombeado para o terceiro estágio de espirais (E3) numa primeira etapa de limpeza (*cleaner*). O concentrado das espirais (CE3) segue para o quarto estágio de concentração em espirais (E4), o que constitui a segunda etapa de limpeza (*re-cleaner*). O concentrado CE4, após desaguamento no hidrociclone HC2 e na moega, constitui o concentrado final (CMP) da usina gravítica. O rejeito do último estágio de espirais (RE4) é reprocessado nas espirais E3.

Usina de beneficiamento a seco

A capacidade nominal da usina é de 5.000 t/mês de CMP. Atualmente, opera abaixo da sua capacidade, beneficiando cerca de 3.000 t/mês, nas quais são obtidas 1.600 t de ilmenita, 820 t de zirconita, 62 t de rutilo e 50 t de monazita, com 84% de recuperação no processo.

O CMP é transportado por caminhões de 12 m³ até o pátio de estocagem da usina. Uma carregadeira frontal abastece o silo de alimentação da usina com esse material, que, ainda úmido, é levado, por meio de um transportador de correia, até o secador rotativo (Figura 2A).

A temperatura do forno varia entre 95 e 100°C, obtida por meio de óleo combustível (BPF).

Um sistema de exaustão, através de uma chaminé de 30 m de altura, promove a remoção dos vapores. O tempo de residência do CMP no secador é de 5 a 10 min. O secador rotativo (10 t/h) com descarga por gravidade alimenta um elevador de canecas, que transfere o material para um silo. O material retomado do silo distribui-se em duas linhas paralelas de calhas vibratórias equipadas com telas de 0,5 mm. A fração retida representa apenas 1% da massa, sendo descartada como rejeito, uma vez que a fração grossa é prejudicial às etapas posteriores de separação eletrostática. A fração abaixo de 0,5 mm segue para o circuito de ilmenita.

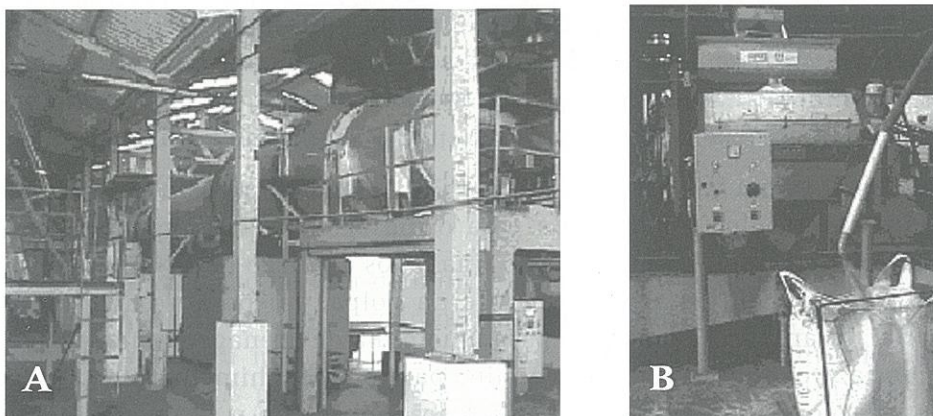


Figura 2: (A) Secador rotativo. (B) Separador magnético de esteira e rolo.

Circuito de ilmenita

O passante em 0,5 mm alimenta 2 linhas de separadores magnéticos de tambor (SMT) com capacidade nominal de 5 t/h cada. Os separadores operam com um campo magnético na superfície do tambor que varia de 3 a 6.000 G, promovendo, assim, a retirada parcial da ilmenita (40%) como produto fortemente magnético. Os mistos dos separadores magnéticos do primeiro estágio seguem ao segundo estágio, onde novamente se obtém a ilmenita como produto magnético. O não-magnético e o fracamente magnético alimentam um separador magnético de esteira e rolos (SMER1, Figura 2B) de alta intensidade (21.000 G). A fração não-magnética junta-se à não-magnética do primeiro estágio dos separadores de tambor e alimenta o circuito para a obtenção do rutilo. O produto magnético segue para um separador eletrostática de rolos (SER1) em dois estágios. O material condutor do primeiro estágio alimenta o segundo, produzindo, assim, um concentrado de ilmenita (94%) como material condutor. A fração não-condutora dos dois estágios de separação eletrostática de rolos alimenta o circuito para a obtenção de monazita.

Circuito de monazita

A fração não-condutora da separação eletrostática do circuito de ilmenita alimenta duas mesas vibratórias que operam em paralelo e executam a concentração gravítica dos minerais pesados (Figura 3A). Os minerais mais leves (quartzo, sillimanita e limonita) constituem o rejeito final. Os pesados passam por um separador magnético de rolo induzido, SMRII (Figura 3B), que produz um concentrado magnético com 95% de monazita. A fração não-magnética segue para o circuito de zirconita.

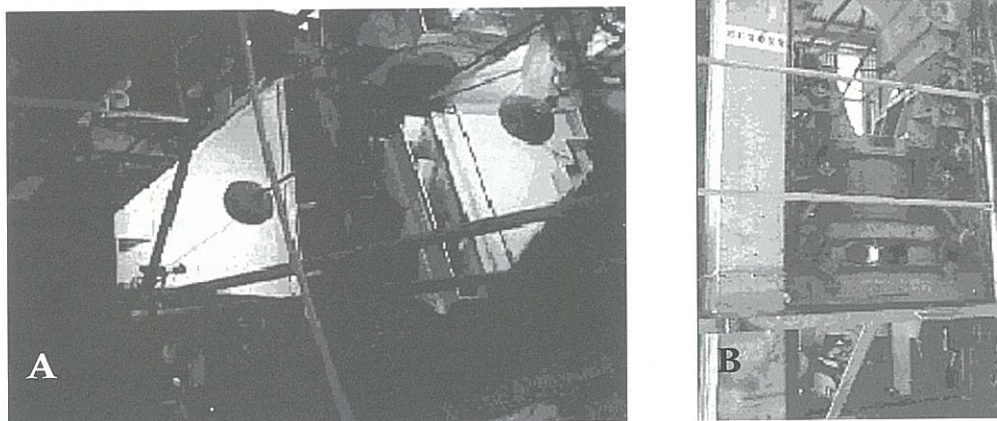


Figura 3: (A) Mesas vibratórias. (B) Separador magnético de rolo induzido.

Circuito de rutilo

As frações não-magnéticas do primeiro estágio de separação magnética de tambor (SMT) e dos separadores magnéticos de esteira e rolos (SMER1) do circuito da ilmenita seguem para a unidade de separação eletrostática de rolos de dois passes (SER2) do circuito do rutilo. A fração não-condutora do primeiro passe vai para os dois rolos do segundo passe. A fração condutora dos dois passes da separação eletrostática de rolos (SER2) segue para outra unidade de separação eletrostática de rolos com três passes (SER3). O material condutor é repassado nos rolos seguintes e por fim abastece o separador magnético de esteira e rolo (SMER2). As frações não-condutoras nesses três passes da unidade SER3 unem-se ao não-condutor do segundo passe da unidade SER2 e seguem para o circuito de zirconita. No separador magnético de esteira e rolo SMER2 são eliminadas impurezas magnéticas que alimentam o separador eletrostático de rolos SER1 do circuito da ilmenita. A fração não-magnética dos separadores magnético de esteira e de rolos SMER2 segue para uma mesa vibratória a seco (MV1). Um separador eletrostático de placas processa a fração pesada. Os mistos e os leves são concentrados noutra mesa vibratória a seco (MV2). Os leves desta segunda mesa são considerados rejeito final. A fração pesada é um produto final com 94% de rutilo.

Circuito de zirconita

No circuito de purificação da zirconita a fração não-condutora do circuito do rutilo e a não-magnética do circuito da monazita alimentam inicialmente um separador eletrostático de placas, SEP, (Figura 4). A fração condutora retorna ao circuito do rutilo. Os mistos são reciclados no próprio separador de placas. A fração não-condutora segue para uma separação magnética de rolo induzido de dois estágios. A fração magnética do primeiro estágio (SMRI2) alimenta o segundo estágio de separação magnética (SMRI3). A fração magnética do segundo estágio alimenta o circuito da monazita.

Uma bateria de 5 mesas vibratórias a seco (MV4) processa as frações não-magnéticas dos dois estágios de separação magnética. Os mistos das mesas seguem para uma quinta mesa vibratória a seco (MV5), cujos os mistos retornam às mesas do estágio anterior. As frações leves dos dois estágios de concentração em mesa constituem o rejeito final; as pesadas representam o produto final, zirconita, com um teor de 64% de $(Zr+Hf)O_2$.

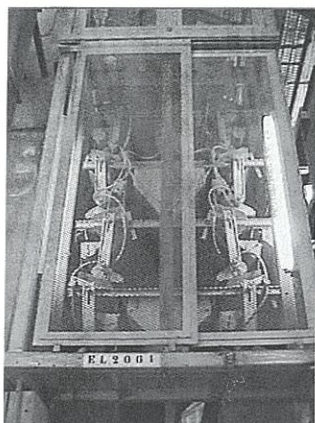


Figura 4: Separador eletrostático de placas.

Amostragem

A usina gravítica é amostrada em três pontos: o passante da peneira, o *underflow* dos hidrociclones HC2 (CMP) e dos hidrociclones HC3 (rejeito). Nessas amostras é determinado o teor de minerais pesados (minério e gangas), sendo que no CMP são analisados adicionalmente o teor de sílica (quartzo) e a sua composição mineralógica, por meio de lupa binocular.

No circuito a seco, o CMP é amostrado diariamente, tomando-se um incremento a cada hora. A primeira amostra da coleta é pesada e separada em líquido denso, o que permite a determinação da massa dos leves. Os minerais pesados são submetidos à separação magnética no separador FRANTZ e classificados em quatro produtos, segundo a sua susceptibilidade magnética: forte, média, fraca ou não-magnético. São também determinadas as respectivas percentagens em massa. Essas informações são utilizadas para o balanço de massas da usina. Quando ocorre uma mudança na frente de lavra, é realizada também uma análise mineralógica de cada fração obtida no separador FRANTZ.

São analisados ainda os produtos finais (ilmenita, zirconita, rutilo e monazita), os rejeitos das mesas vibratórias e o material condutor do separador eletrostático de placas. Nos produtos finais são realizadas análises químicas, granulométricas e ensaios com o separador FRANTZ. Na zirconita são analisados, via úmida, o ferro, o titânio, o háfnio e o zircônio, também na ilmenita, o ferro, o titânio e o P_2O_5 , pelo mesmo método. No rutilo analisa-se apenas o titânio. Com o produto final, monazita, são realizados ensaios com o separador magnético *Frantz* e analisados os óxidos de terras-raras totais por via úmida.

Análises Químicas dos Concentrados

A zirconita, o rutilo e a monazita são acondicionados em *big bags* e a ilmenita é vendida a granel.

Rutilo: 94% TiO_2 mín.

Ilmenita: $TiO_2 > 54\%$; $P_2O_5 < 0,15\%$

Zirconita: $(Zr+Hf)O_2 > 64\%$, $Fe_2O_3 < 0,15\%$, $TiO_2 < 0,7\%$

Monazita: $Tr_2O_3 \geq 60\%$

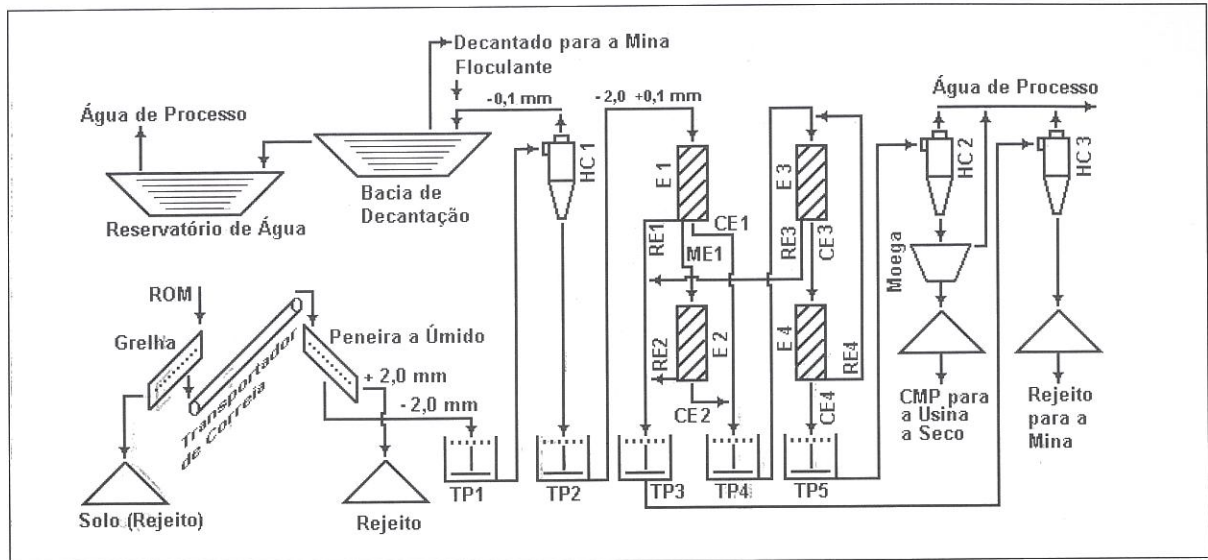


Figura 5: Fluxograma da unidade de beneficiamento gravítico da INB em Buena - RJ

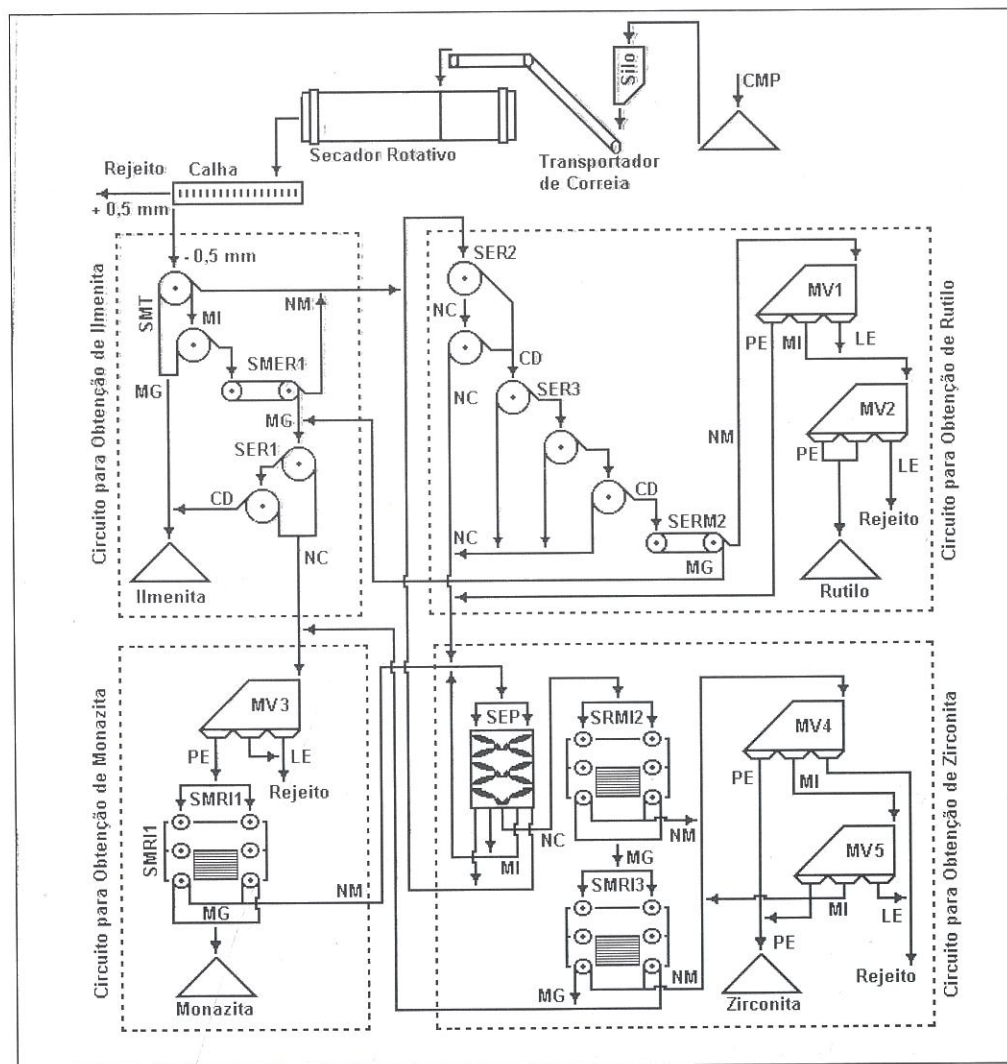


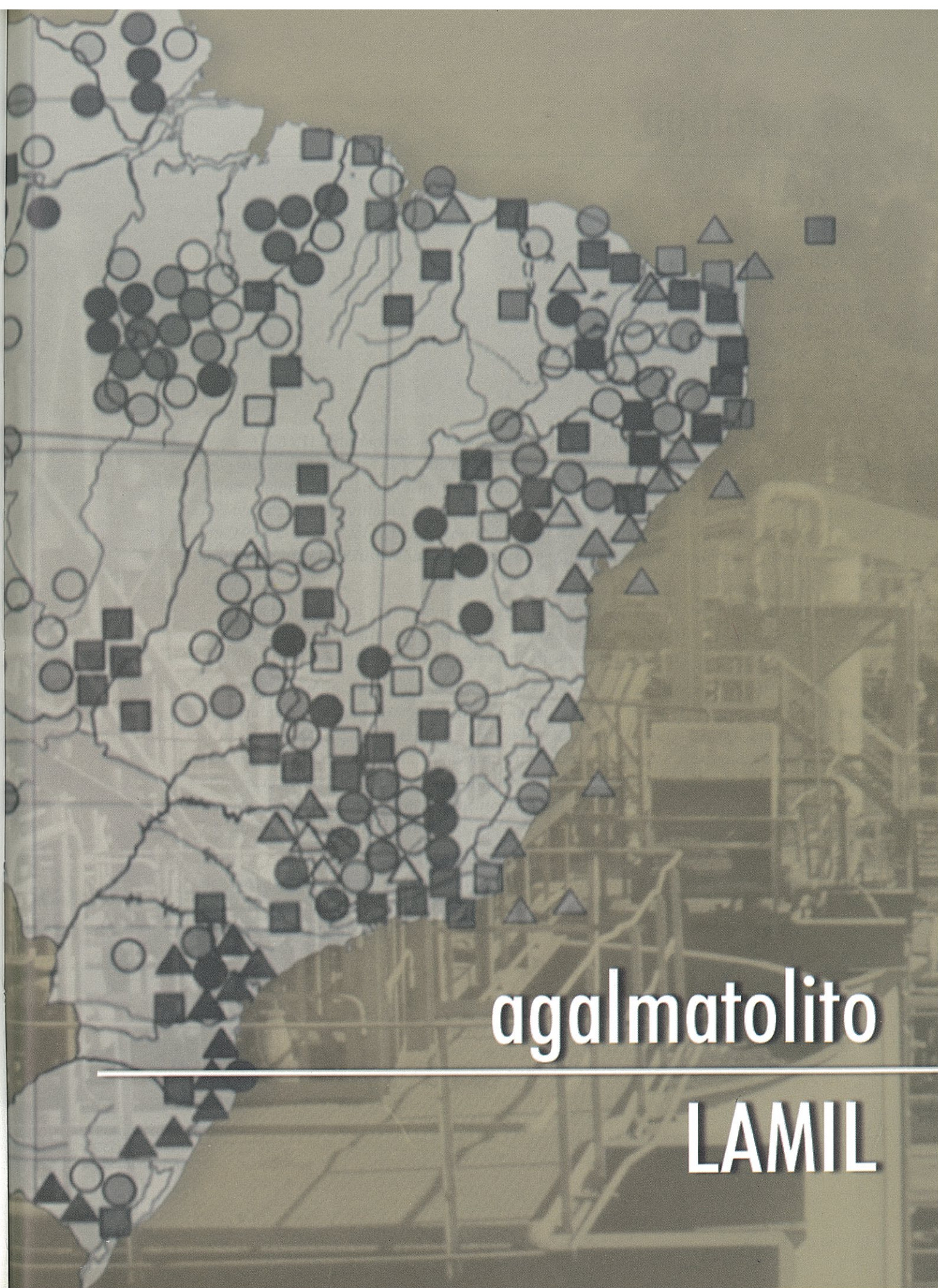
Figura 6: Fluxograma da unidade de beneficiamento a seco da INB em Buena - RJ

Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento de minerais pesados da INB

Código: E2	Equipamento: Espirais concentradoras 2º estágio (<i>scavenger</i>)
Fabricante: ?; Modelo: MK2; Tipo: duplas de 5 voltas (tipo Humphrey); Quantidade: 1 banco com 12 espirais duplas; Capacidade: 3 t/h cada; Volume tratado: 10 m ³ /h de polpa por espiral; Consumo de água: 10 m ³ /h/espiral	
Código: E3	Equipamento: Espirais concentradoras 3º estágio (<i>cleaner</i>)
Fabricante: ?; Modelo: MK2; Tipo: duplas de 5 voltas (tipo Humphrey); Quantidade: 1 banco com 16 espirais duplas; Capacidade: 3 t/h cada; Volume tratado: 10 m ³ /h de polpa por espiral; Consumo de água: 10 m ³ /h/espiral	
Código: E4	Equipamento: Espirais concentradoras 4º estágio (<i>re-cleaner</i>)
Fabricante: ?; Modelo: MK2; Tipo: duplas de 5 voltas (tipo Humphrey); Quantidade: 1 banco com 12 espirais duplas; Capacidade: 3 t/h cada; Volume tratado: 10 m ³ /h de polpa por espiral; Consumo de água: 10 m ³ /h/espiral	
Código: ?	Equipamento: Bacia de decantação de rejeitos
Quantidade: 1; Dimensões: 50 x 25 x 1,5 m; Volume: 1850 m ³ ; Alimentação: 200 m ³ /h de polpa; pH da polpa: 8; Capacidade: 5 t/h de material decantado; Floculante: Polyfloc AP 11120P; Bomba para sucção do decantado: 60 m ³ /h; Vazão de água limpa: 200 m ³ /h; Sistema de impermeabilização: manta de PVC de 0,8 mm	
Equipamento: Silo de CMP	
Fabricante: fabricação própria; Tipo: aço carbono; Quantidade: 2; Volume: 10m ³ ; Sistema de descarga: disco giratório	
Equipamento: Forno rotativo	
Fabricante: Sigma; Quantidade: 1; Dimensões: 2,5 m de diâmetro por 10,2 m de comprimento; Capacidade: 10,5 t/h; Inclinação: 5°; Queimadores: Weisshaupt; Óleo combustível: BPF; Sistema de exaustão: chaminé de 30 m de altura	
Equipamento: Separador magnético de tambor	
Fabricante: ERIEZ; Modelo: HFPRE; Tipo: de tambor com ímã permanente de Nd-Fe-B de campo fixo; Quantidade: 4; Dimensões dos tambores: 15" de diâmetro e 36" de largura; Capacidade: 5 t/h; Campo magnético máx. na superfície do tambor: 6.000 Gauss; Velocidade de rotação dos tambores: 45 rpm no 1º estágio, 35 rpm no 2º estágio	
Código: ?	Equipamento: Tanque de Polpa
Fabricante: fabricação própria; Quantidade: 8; Volume: uma de 9 m ³ , uma de 7 m ³ , uma de 6 m ³ e cinco de 4 m ³	
Código: HC1	Equipamento: Hidrociclone (deslamador)
Fabricante: Krebs; Modelo: D20 LB; Quantidade: 1; Apex: 3,5"; Vortex finder: 7,5"; Pressão de trabalho: 10 a 12 kgf/cm ² ; Capacidade: 260 m ³ /h com 90 t/h de minério	
Código: HC2	Equipamento: Hidrociclone (desaguador de concentrado)
Fabricante: Krebs; Modelo: D10 LR; Quantidade: 1; Apex: 1½" a 2", dependendo do material; Vortex finder: 3½"; Pressão de trabalho: 10 a 12 kgf/cm ² ; Capacidade: 60 m ³ /h com 35 t/h de minério	
Código: HC3	Equipamento: Hidrociclone (desaguador de rejeito)
Fabricante: Krebs; Modelo: D20 B; Quantidade: 2; Apex: 3"; Vortex finder: 6,5"; Pressão de trabalho: 10 a 12 kgf/cm ² ; Capacidade: 180 m ³ /h com 60 t/h de minério e total recirculação do overflow como água de processo	
Código: ?	Equipamento: Moega
Fabricante: fabricação própria; Quantidade: 1; Dimensões: 1,5 x 1,5 x 2,0 m; Volume: 3,5 m ³ ; Capacidade de recirculação: 40 m ³ /h de água	
Código: E1	Equipamento: Espirais concentradoras 1º estágio (<i>rougher</i>)
Fabricante: KREBS; Modelo: LM7; Tipo: duplas de 7 voltas; Quantidade: 1 banco com 18 espirais duplas; Capacidade: 4 t/h cada; Volume tratado: 10 m ³ /h de polpa por espiral; Consumo de água: 7 m ³ /h/espiral	

Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento de minerais pesados da INB

<p>Equipamento: Separador magnético de esteira e rolo</p> <p>Fabricante: ERIEZ; Modelo: RE-Roll; Tipo: de rolo com ímãs permanentes de terras raras de alta intensidade, resistentes até 80° C; Quantidade: 4 (contando com o do circuito do rutilo de igual especificação); Dimensões dos rolos: 4" de diâmetro e 40" de comprimento; Capacidade: 2 t/h; Campo magnético máx. na superfície do rolo: 21.000 Gauss; Velocidade de rotação do rolo acionador: 180 rpm; Eficiência de separação: 98%</p>	<p>Código:SEP Equipamento: Separador eletrostático de placas</p> <p>Fabricante: TBM/CARPCO; Modelo: SPS 251-152; Quantidade: 2 unidades com 2 linhas e 5 passes cada; Capacidade: 0,5 t/h por linha; Potencial do eletrodo: 40 kV; Tipo de eletrodo: placa de aço inox corrente estática; Temperatura de alimentação: 80°C</p>
<p>Código:SER1 Equipamento: Separador eletrostático de rolos</p> <p>Fabricante: EQUIMAG; Quantidade: 2 unidades com 2 passes; Dimensões dos rolos: 14" de diâmetro e 1,3 m de comprimento; Capacidade: 1,5 t/h por unidade; Velocidade de rotação do rolo: 150 rpm; Temperatura de alimentação: 50°C</p>	<p>Código: SMRI Equipamento: Separador magnético de rolos induzido</p> <p>Fabricante: EXOLON; Quantidade: 4 unidades contando com 1 do circuito da monazita; Capacidade: 2 t/h (zirconita) e 1 t/h (monazita); Intensidade do campo magnético: 4.000G (parte inferior e superior) a 10.000G (parte central); Velocidade de rotação dos rolos: 110 rpm</p>
<p>Código:SER2 Equipamento: Separador eletrostático de rolos</p> <p>Fabricante: TBM/CARPCO; Modelo: HTP 221-150; Quantidade: 2 linhas com 2 estágios; Dimensões dos rolos: 11" de diâmetro e 1,5 m de comprimento; Capacidade: 1,5 t/h por linha; Potencial do eletrodo: 20 kV; Tipos de eletrodos: tungstênio corrente contínua, fio de tungstênio corrente alternada e placa de aço inox corrente estática; Velocidade de rotação do rolo: 160 rpm; Temperatura de alimentação: 70°C</p>	<p>Código: MV Equipamento: Mesa vibratória a seco</p> <p>Fabricante: EDANA; Tipo: com injeção de ar (pneumática); Quantidade: 9; Capacidade: 750 kg/h</p>
<p>Código:SER3 Equipamento: Separador eletrostático de rolos</p> <p>Fabricante: CARPCO; Modelo: HTP 131-46; Quantidade: 1 unidade com 3 passes; Dimensões dos rolos: 11" de diâmetro e 0,46 m de comprimento; Capacidade: 600 kg/h; Potencial do eletrodo: 25 kV; Tipos de eletrodos: tungstênio corrente contínua, fio de tungstênio corrente alternada e placa de aço inox corrente estática; Velocidade de rotação do rolo: 160 rpm; Temperatura de alimentação: 80° C</p>	



agalmatolito

LAMIL

agalmatolito

LAMIL

Adão Benvindo da Luz¹
Marcelo Corrêa de Andrade²
Odantes Machado Gaspar³
Paulo Tomedi³
Carlos A. R. Lares³

■ A LAMIL está localizada na Fazenda Terra do Feijão, na cidade de Pará de Minas - MG, distante 73 km de Belo Horizonte. A sua unidade industrial é considerada uma das usinas pioneiras na lavra, beneficiamento e comercialização do agalmatolito. As atividades de lavra de agalmatolito na região de Pará de Minas tiveram início em 1940, no entanto só em 1958 a LAMIL foi fundada como empresa de mineração, implantando em 1970 sua primeira unidade industrial de beneficiamento. A família Lage mantém o controle acionário da empresa.

O agalmatolito tem sido, algumas vezes, distribuído por revendedores no mercado nacional, com denominações errôneas, do tipo, talco caulínico, talco esteatito, mica, pirofilita, que não refletem a sua real composição mineralógica.

Agalmatolito é uma rocha metamórfica formada por alteração hidrotermal da rocha mãe-riolito. O agalmatolito é constituído essencialmente por dois filossilicatos de alumínio – pirofilita ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$) e moscovita ($K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$), em associação a minerais, tais como: sericita, diásporo, turmalina, quartzo e feldspato. A sua forma de ocorrência geológica é considerada rara: tem pureza mineralógica elevada, ocorre nas formas maciça e lamelar e, após beneficiamento adequado, obtém-se um produto de vasta aplicação em diferentes segmentos industriais.

A LAMIL produziu 62.000 t de agalmatolito no ano de 1999, o que representou 81% de sua capacidade nominal. Os seus produtos destinam-se principalmente aos mercados de tinta, cerâmica, celulose e borracha. Dentre esses mercados, o de tinta tem-se mantido como o de maior volume.

¹ Pesquisador, CETEM

² Técnico Químico, CETEM

³ Técnicos, LAMIL

Geologia e mineralogia do depósito

A área da mina de agalmatolito situa-se no flanco nordeste do antiforme da Serra do Andaime, cuja estrutura é formada por rochas da parte inferior do Grupo Pitangui e a noroeste do Quadrilátero Ferrífero, porção meridional Cráton do São Francisco, o qual é limitado por cinturões móveis de idade Brasileira.

O Grupo Pitangui é constituído por uma unidade basal composta de rochas metaígneas, máficas e ultramáficas e uma unidade superior de rochas metavulcânicas ácidas e intermediárias, de caráter riolítico.

Na área do depósito são encontradas as rochas peraluminosas, mapeadas nos seus diversos tipos, dos quais alguns são citados a seguir:

- a) agalmatolito de cor branca, constituído à base de pirofilita com traços de turmalina milimétrica e óxido de manganês dendrítico;
- b) agalmatolito esverdeado e algumas vezes de cor amarela, com maciços constituídos de moscovita microcristalina não orientada e uma menor proporção de pirofilita, diásporo, turmalina, rutilo, caulinita e quartzo;
- c) agalmatolito cinza escuro com alto teor de turmalina;
- d) agalmatolito de mineralogia diferenciada, constituído por moscovita/sericita, pirofilita, diásporo, quartzo, fuchcita, caulinita, coríndon, turmalina, cianita/andalusita, rutilo e hidróxidos de ferro e óxidos de manganês, em concentrações diferentes.
- e) filito de cor vermelha, bastante intemperizado, com alto teor de ferro, o que inviabiliza a sua utilização;
- f) meta-riolito milonítico constituído por porfiroclastos de quartzo, moscovita, clorita e epidoto resultante da alteração do feldspato.

Quando se trata de alvura, algumas substâncias minerais são consideradas contaminantes. O controle dessas substâncias (principalmente turmalina, óxidos de manganês, de ferro e de rutilo) na frente de lavra é bastante difícil, tendo em vista que esses minerais são função do grau de intensidade da alteração hidrotermal.

Os corpos de agalmatolito ocorrem de forma lenticular, com extensões de centenas de metros, com mergulho subvertical, sendo mapeados em profundidades variáveis e possança lateral de 20 a 120 m.

Lavra (Mina Velha)

O método de lavra empregado é a céu aberto, com bancos de lavra de 5 m e banco final de 10 m, ângulo na face de cada banco de 60°, berma de 5 m, talude de cava final de 36°. O desmonte é feito com explosivos e a exploração, com carregadeira frontal ou escavadeira hidráulica. Caminhões basculantes de 11 t transportam o minério até o pátio. Os matacões são fragmentados a tamanho 30 cm, utilizando-se um rompedor hidráulico instalado numa retroescavadeira. Desse pátio, caminhões basculantes (11 t) transportam o minério para uma área denominada de pátio de matérias-primas, onde os minérios são estocados em pilhas separadas, de acordo com as suas características químicas, mineralógicas e potencial de uso industrial (tinta, cerâmica, celulose,

borracha, etc). A relação estéril-minério da lavra a céu aberto foi crescendo ao longo da vida da mina, atingindo em 1998 o valor 10:1, o que contribui significativamente para elevação dos custos da lavra. Em face do aumento dos custos de lavra a céu aberto, a direção da LAMIL decidiu desenvolver e implantar a lavra subterrânea, fazendo a escolha pelo método de câmaras e pilares, cuja relação estéril-minério prevista é de 0,1:1 e recuperação na lavra de 75%. Atualmente a lavra encontra-se na fase de desenvolvimento, com abertura de um plano inclinado (Figura 1A), para acesso ao corpo mineralizado. O desmonte é feito com explosivos, exploração com carregadeira frontal e transporte por caminhões basculantes de 6 t.

A zona do emboque foi construída utilizando-se a técnica de solo grampeado, a fim de contornar as bancadas e níveis de drenagens superficiais.

Os trabalhos de estruturação do maciço, classes 5 e 4, são feitos utilizando-se cambotas revestidas com concreto projetado; nas classes 3 e 2, utilizam-se várias técnicas, principalmente *cable bolting* e cavilhas *split set*. Foram instaladas seções de medidas de convergência e extensômetros ao longo das galerias e pilares, a fim de monitorar o sistema de estruturação do maciço e seu deslocamento.

Os painéis de lavra localizam-se abaixo do nível do lençol freático, necessitando a mina de um sistema de drenagem constante.

A LAMIL possui, além da Mina Velha, mais quatro áreas com portaria de lavra e vários requerimentos e alvarás de pesquisa na região, o que assegura estabilidade e segurança ao seu empreendimento.

Beneficiamento

O beneficiamento da unidade industrial da LAMIL consta das seguintes etapas:

- a) lavagem e classificação do minério;
- b) remoção de contaminantes coloridos (turmalina e óxidos de Fe, Mn, Ti) e abrasivos (quartzo) por catação manual (Figura 1B);
- c) britagem, moagem e/ou micronização.

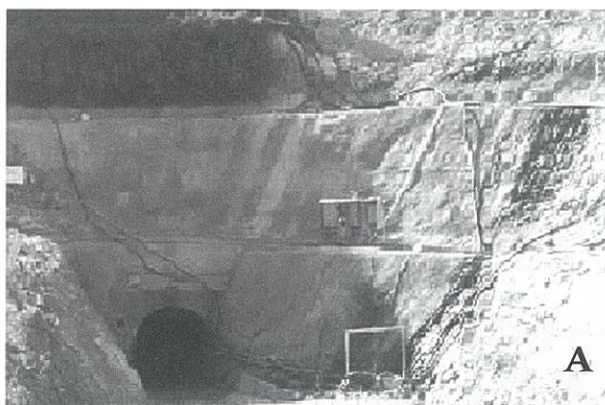


Figura 1: (A) Plano inclinado da Mina Velha e emboque da mina subterrânea. (B) Catação manual para remoção de contaminantes

Lavagem e classificação

A primeira etapa do beneficiamento tem início com a lavagem e classificação do minério proveniente dos pátios de estoque. Um caminhão basculante transporta o minério das pilhas de estoque para uma grelha fixa com abertura de 30 cm. O passante nesta vai para uma calha vibratória com abertura de 75 mm. Jatos d'água sobre a grelha fazem a primeira lavagem do minério. A fração retida segue para um transportador de correia (40 cm) de baixa velocidade onde é feita a catação manual, para seleção de diferentes tipos de minério. Na correia, cada grupo de catadores é orientado para separar um determinado tipo de material. Os materiais classificados como impróprios (rejeitos) pelos catadores são empilhados separadamente e transportados para as pilhas de rejeito.

O passante na grelha de 75 mm é submetido a uma segunda classificação em uma peneira vibratória de três deques (50; 25 e 15 mm), seguida de catação manual. Nesta segunda etapa de classificação faz-se uma outra lavagem, que gera quatro produtos diferentes:

- a) retido no primeiro deque: -75 + 50 mm;
- b) retido no segundo deque: - 50 + 25 mm;
- c) retido no terceiro deque: -25+ 15 mm;
- d) passante no terceiro deque: -15 mm;
- e) contaminantes removidos.

Os produtos retidos no primeiro, segundo e terceiro deques seguem para transportadores de correia (40 cm), onde operários fazem catação manual (Figura 2B) para retirada de contaminantes coloridos e de partículas impregnadas de quartzo. Os diferentes produtos obtidos seguem para as caçambas de matérias-primas destinadas ao processo de produção (Figura 3A) e os demais materiais são depositados em pilhas de rejeito.

O passante em 15 mm segue para um desaguador de rodas de caçambas, tipo DEA (Figura 4), onde o *underflow* (produto afundado - 15 x 0,147 mm) segue para uma pilha de estoque para futuro aproveitamento. O *overflow* do desaguador é drenado para as bacias de decantação e, a seguir, a água clarificada nessas bacias retorna à barragem principal, situada ao lado da usina de beneficiamento, de onde é bombeada para o circuito de lavagem da usina.

Britagem

A usina de britagem/moagem opera praticamente em sistema de batelada, visto que os diferentes tipos de minério da mina, com características físicas e químicas diferentes, possibilitam a comercialização de vários produtos.

De acordo com o planejamento da produção e em função da demanda de cada produto, inicia-se uma blendagem de minérios no pátio de matérias-primas, para a etapa de britagem e moagem.

Cada tipo de minério é descarregado do caminhão num alimentador vibratório (FAÇO MB27070) que alimenta um britador de mandíbula (FAÇO 6240). O produto da britagem segue para uma peneira vibratória (1,20 x 2,00 m), cujo material retido vai para a britagem secundária nos britadores de mandíbulas FAÇO 8013 e terciária em britador cônico FAÇO 50T. A britagem terciária opera em circuito fechado com peneira. O passante constitui o produto da britagem e segue para cada um dos cinco silos das linhas de moagem em moinho tipo *Raymond*.

Moagem

Dependendo da distribuição granulométrica requerida para o produto final, cada moinho *Raymond* é alimentado a uma taxa de 800 a 2.700 kg/h. Cada moinho tem o seu próprio silo e as cinco linhas de moagem poderão, ao mesmo tempo, processar matérias-primas diferentes. A moagem ocorre em regime contínuo, durante os sete dias da semana. No entanto para reduzir os custos de energia, pára-se a moagem no horário de ponta de energia, de segunda a sexta-feira, entre 18 h e 21 h, onde ocorre o consumo máximo de energia.

Cada um dos cinco silos alimenta separadamente cada moinho *Raymond* (modelos 5057 e 3036-CBC). Um exaustor de 40 m³/min e pressão de 260 mm Hg (200 CV E 2.800 rpm) suspende o material moído da câmara de moagem para um classificador pneumático de palhetas (30 CV). O *underflow* do classificador é o produto final, utilizando filtro de mangas para recolher os finos e o *overflow* fecha o circuito com a moagem.

Quando se deseja obter um produto com granulometria mais fina do que a obtida nos moinhos tipo *Raymond* (pendulares), os seus produtos seguem para micronizadores tipo *Raymond* (modelo VM35-CBC).

A granulometria dos produtos dos moinhos *Raymond* varia de 147 a 43 µm e a dos produtos dos micronizadores de 37 a 20 µm.

Os produtos obtidos são acondicionados em sacos de papel de 40 kg ou *big bags* de 1.000 kg, devidamente etiquetados.

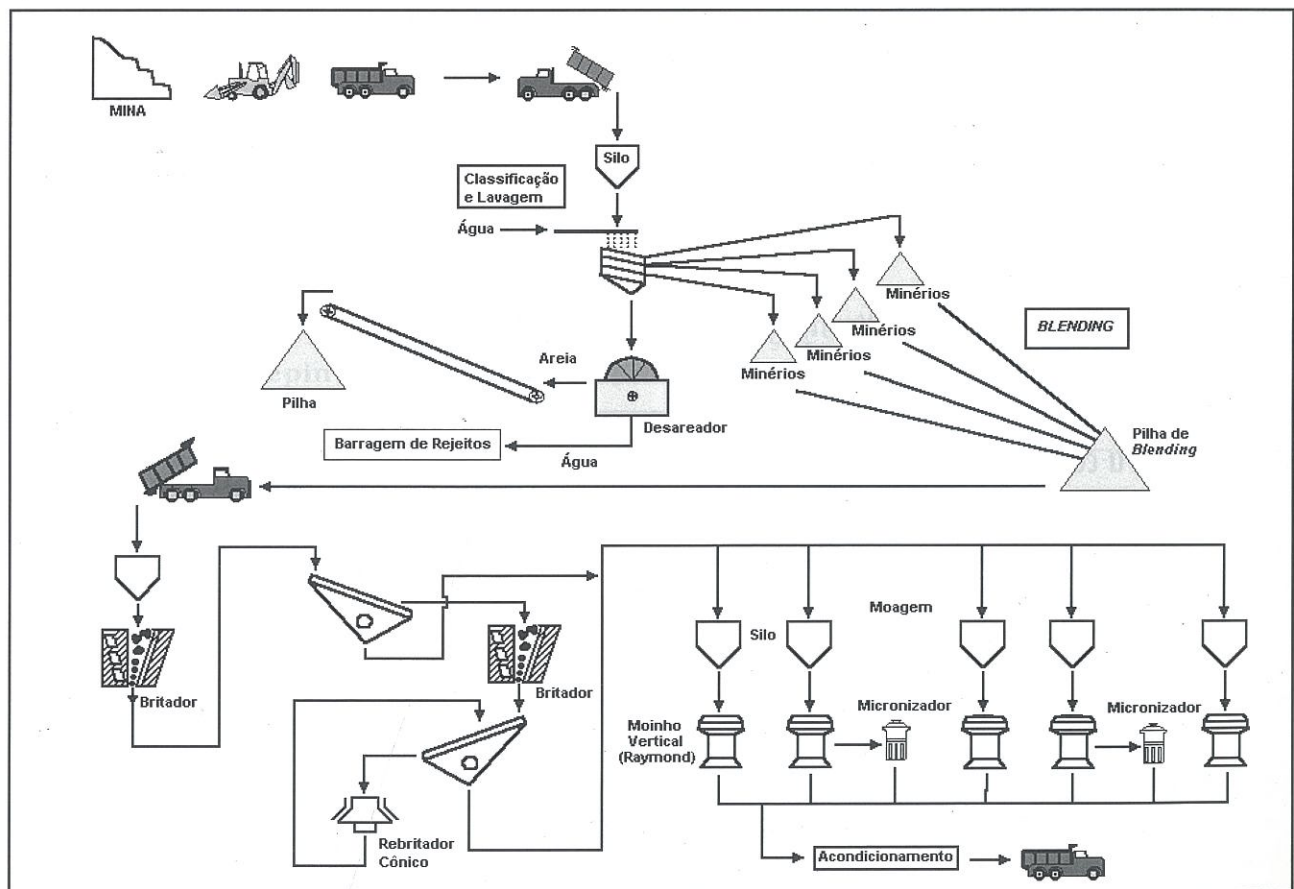


Figura 2: Fluxograma de beneficiamento de agalmatolito da LAMIL

Controle de processo

A cada 20 min, com o auxílio de um amostrador, são coletados incrementos de 500 g que, ao final de 2 h constituirão uma amostra a ser enviada ao laboratório para análises físicas e químicas. A homogeneização e quarteamento das amostras para análises variam de acordo com o produto obtido. Uma amostra representativa de cada lote é arquivada na LAMIL como contraprova.

Ensaio para tinta

Cor (realizado em cabine de luz dotada de iluminantes padrão CIE, utilizando padrões de cores de referência).

Absorção de óleo - método Spátula Rub-out (Norma ASTM – NBR 10417 ago/1988)

Poder de cobertura (Norma ABNT – P-MB-998 Estágio experimental/1975)

Resíduo em peneira (Norma ABNT – NBR 5802 jul/89)

Distribuição granulométrica a laser (CILAS);

Ensaio para cerâmica

Binil (Norma ABNT 13818)

Cor após a queima (baseado em padrão)

Resíduo em peneira; (Norma ABNT – NBR 5802 jul/89)

Umidade (Norma ABNT – NBR 11328/MB 3005 maio/1987)

Análise química⁽¹⁾ - SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O , MgO , CaO , TiO_2 e perda ao fogo.

Determinação de partículas imantáveis (Procedimento interno da LAMIL)

Ensaio para Borracha

Resíduo em peneira (Norma ABNT – NBR 5802 jul/89)

pH (Norma interna)

Determinação da cor (utilizando padrões de cores de referência)

Distribuição granulométrica a laser (CILAS)

Ensaio para celulose

Alvura ISO¹ (TAPPI)

Superfície específica¹ (método BET)

Abrasão *Einlehner*¹

Peso específico (g/cm^3) (Norma ABNT – NBR 11585 jul/1991)

pH (Norma interna)

Umidade (Norma ABNT – NBR 11328/MB 3005 maio/1987)

Análise química típica¹

Contagem de *pitch*⁽¹⁾ (método Paprican modificado)

¹ Ensaio realizados em laboratórios externos

Características tecnológicas dos produtos

A LAMIL coloca atualmente no mercado os produtos comerciais abaixo especificados.

Agalmatolito ALM 3250 (usado principalmente na indústria de tintas)

Propriedades Físicas Típicas	
Características	Valor Típico
Aspecto	Pó fino
Cor	Branca
Densidade aparente (g/cm ³) solta	0,45 ± 0,05
Densidade absoluta	2,80 ± 0,20
Perda ao fogo a 900°C por 2 h (%máxima)	7,00
Absorção em óleo (g de óleo/100 g)	35 ± 5
Insolúveis em HCl 23,8% (% mínima)	93
Superfície específica – BET(m ² /g)	±5,33
Diâmetro médio (D ₅₀)	10 mm
pH (suspensão 5%)	8,0 ± 1,0
Umidade (% máxima)	1,00

Análise Química Típica (% expressa em óxidos)			
Óxidos	(%)	Óxidos	(%)
SiO ₂	47,6	MgO	<0,10
Al ₂ O ₃	36,7	MnO	<0,01
Fe ₂ O ₃	0,46	Na ₂ O	0,44
TiO ₂	0,63	K ₂ O	6,0
CaO	<0,05	Carbonatos	isento

Agalmatolito MicroEx® (usado em formulações de primer, massas rápidas e sintéticas para repintura automotiva)

Propriedades Físicas Típicas	
Características	Análise Típica
Aspecto	Pó fino
Cor	Branca
Diâmetro médio - D ₅₀ (mm)	7,0
Densidade absoluta (g/m ³)	2,80 ± 0,20
Umidade (% máxima)	1,00
Absorção em óleo (g de óleo/100 g)	40 ± 3
Sais solúveis em HCl 10% p/p (% máxima.)	2,0

Ceramil® (usado na indústria cerâmica e coloríficos)**Propriedades Físicas Típicas**

Características	Ceramil TH	Ceramil TRH	Ceramil FVH
Aspecto	Pó Fino	Pó Fino	Pó Fino
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,80 ± 0,20	2,80 ± 0,20	2,80 ± 0,20
Cor após queima	Branca	Branca	Branca
Umidade (% máxima)	1,00	1,00	1,00
Granulometria (<i>top-cut</i>) em mm	75	45	25
Diâmetro médio-D ₅₀ (mm)	26	13	8
Retenção em 74 mm (% max.)	10,0	n/a	n/a
Retenção em 44 mm (% max.)	n/a	1,0	n/a
Retenção em malha 500 (% max.)	n/a	n/a	2,0
Dilatação térmica (25 – 325°C)(cm/°C)	6,35x10 ⁻⁶	6,15x10 ⁻⁶	5,93x10 ⁻⁶
Perda ao fogo (máxima).	7,0	7,0	7,0

n/a – Não analisado.

Análise Química Típica (% expressa em óxidos)

Óxidos	(%)	Óxidos	(%)
SiO ₂	49,7	CaO	0,28
Al ₂ O ₃	38,3	MgO	0,43
Fe ₂ O ₃	0,38	Na ₂ O	0,28
TiO ₂	0,54	K ₂ O (duas faixas)	7±1 e 10±2

Agalmatolito Antax® usado para adsorção de materiais resinosos provenientes de polpação de celulose e/ou pasta mecânica**Propriedades Físicas Típicas**

Alvura ISO (mínimo)	86
Absorção de óleo (g/100 g)	38
Superfície específica – BET (m ³ /g)	6,9
Abrasão Einlehner (mg)	26
Peso específico (g/cm ²)	2,80 ± 0,20
pH	7,5 ± 1,5
Solúveis em ácido – como CaO – (%)	0,00
Umidade (% máximo)	1,00

Dados operacionais

Os principais dados operacionais da LAMIL são os seguintes:

- taxa de alimentação para cada moinho *Raymond*: 800 a 2.700 kg/h;
- consumo de energia: 100 kWh/t de produto moído;
- fator de utilização da usina (horas efetivas de produção/horas totais): 93%
- produção mensal dos diferentes produtos: 5.200 t (média 1999);
- tempo de uso do revestimento do moinho *Raymond*: 4.200 h;

- f) tempo de uso do pêndulo do moinho *Raymond* : 2.800 h;
- g) tempo de uso do martelo do micronizador: 400 h;
- h) tempo de uso do revestimento do britador primário: 5.500 h;
- i) tempo de uso do revestimento do rebitador de mandíbulas: 2.000 h;
- j) tempo de uso do revestimento do rebitador cônico: 7.600 h;
- k) consumo da tela da peneira da britagem: 5.000 horas.

Meio ambiente

A LAMIL possui Licença de Operação da mina e da usina de beneficiamento concedida pelo Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM. Para a obtenção dessa Licença de Operação, a LAMIL apresentou o Relatório de Controle Ambiental – RCA e o Plano de Controle Ambiental – PCA, e, posteriormente, um relatório mais abrangente – o Estudo de Impacto Ambiental – EIA e o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, por ocasião de licenciamento da lavra subterrânea. As medidas mitigadoras de impactos ambientais e condicionantes exigidas pelos órgãos ambientais vêm sendo cumpridas nos prazos e cronogramas estabelecidos.

Os principais pontos de controle e monitoramento ambiental estão listados a seguir:

- a) controle preventivo de processos erosivos, através de técnicas de bioengenharia de solos, como a revegetação dos taludes da mina, a implantação de dispositivos de drenagem superficial e de estruturas orgânicas e inertes para a retenção de sedimentos mobilizados;
- b) implantação de cortinas arbóreas para mitigação do impacto visual e acústico da atividade minerária;
- c) lavra de mina subterrânea (em fase de desenvolvimento), que contribuirá com menor volume de estéril do que a mina a céu aberto;
- d) as águas com sólidos em suspensão oriundas da lavra são bombeadas para a bacia de decantação principal, para posterior uso na etapa de lavagem e classificação da usina de beneficiamento;
- e) quando ocorre aumento do nível d'água por precipitações o efluente da bacia principal é destinado a duas bacias de clarificação onde ocorre a decantação por processos físico-químicos, sendo então lançado no corpo receptor com melhores características;
- f) estocagem dos rejeitos sólidos em local adequado, para futuro aproveitamento;
- g) vias de acesso e estradas de serviço, na estação seca, para minimização da emissão de poeira e particulados;
- h) controle da emissão de partículas para a atmosfera oriundas das áreas de britagem e beneficiamento através de um sistema de despoeiramento baseado na aspiração das partículas das fontes emissoras para filtragem em filtro de mangas; o produto aí obtido é posteriormente comercializado.

Além desses, são desenvolvidas ações ambientais com a comunidade, tais como o plantio e doação de mudas para instituições, empresas e proprietários rurais. A empresa também colaborou decisivamente na implantação do Parque do Bariri, principal área verde urbana do município e participa, através de seu corpo técnico, em instituições de defesa do meio ambiente regional.

Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento de minério de agalmatolito da LAMIL.

Código:	Equipamento: Britador de mandíbulas primário
Fabricante: FAÇO; Quantidade: 1; Regulagem: 2 5/8" e 1 13/16; Modelo: 6240;	
Código:	Equipamento: Britador Cônico
Fabricante: FAÇO; Quantidade: 1; Regulagem: 9/16; Modelo: 501	
Código:	Equipamento: Moinho Pendular
Fabricante: CBC; Tipo: Raymond; Quantidade: 3; Modelo: 5057;	
Quantidade de rolos moedores: 5; Rotação de moinho: 400 rpm;	
Motor / rotação: 100 CV / 1180 rpm; Alimentação: válvula rotativa.	
Código:	Equipamento: Filtro de mangas
Fabricante: RAYMOND; Quantidade: 2; Modelo: 3036; Quantidade de mangas: 25; Exaustor: 5CV/ 3500 rpm; Vazão: 0,073 Nm ³ / min; Soprador: 30 CV / 1760.	
Código:	Equipamento: Ensacadeira
Tipo: Bates; Quantidade: 7; Transportador de rosca: 5 CV;	
Código:	Equipamento: Sistema de despoeiramento
Equipamento: Exaustor ventilador equipado com motor de 50 HP - 4 pólos Quantidade: 28 pontos de coleta; Tipo: Filtro de mangas; Vazão: 464 m ³ /min;	
Código:	Equipamento: Britador de mandíbulas secundário
Fabricante: FAÇO; Quantidade: 1; Regulagem: 1 7/8" e 1 1/8;	
Modelo: 8013	
Código:	Equipamento: Moinho Pendular
Fabricante: CBC; Tipo: Raymond; Quantidade: 2; Modelo: 3036;	
Quantidade de rolos menores: 3; Rotação de moinho: 500 rpm;	
Capacidade: 50 t/h; Motor / rotação: 30 cCV/ 1450 rpm; Alimentação: válvula rotativa;	
Código:	Equipamento: Micronizador
Fabricante: CBC; Tipo: Raymond; Quantidade: 2; Modelo: VM35;	
Quantidade de martelos: 2; Rotação: 3580 rpm; Motor: 200 cv.	
Código:	Equipamento: Filtro de mangas
Fabricante: CBC; Quantidade: 3; Modelo: 5057; Quantidade de mangas: 20; Exaustor: 40 m ³ /min e pressão de 260 mm; Potência: 10 CV / 2800 rpm.	
Código:	Equipamento: Desaguador de rodas de caçambas
Fabricante: SIMPLEX EQUIPAMENTOS LTDA. Quantidade: 1; Tipo: DEA;	
Transp. de correias: 25 m x 16"	



magnesita / talco

MAGNESITA

magnesita

MAGNESITA

João Alves Sampaio¹
Salvador Luiz Matos de Almeida¹
Elias Salomão Feres²

A magnesita é um mineral composto de carbonato de magnésio, utilizado principalmente na fabricação de refratários básicos e de diversos compostos químicos.

A calcinação do mineral pode ser feita nas temperaturas de 800°C e 2.000°C. No primeiro caso, produz-se a chamada magnésia cáustica utilizada na fabricação de cimento sorel, fertilizantes, indústria química, etc. Esse material contém 95% de MgO e SiO₂ inferior a 2%.

A calcinação do mineral na temperatura de 2.000°C resulta no sinter, empregado na fabricação de refratários básicos para a siderurgia, indústria de cimento, vidro, etc. Esse produto contém 94% MgO; 1,5% de SiO₂; 2% Fe₂O₃ e densidade aparente superior a 3,3 g/cm³.

A Magnesita S.A. é uma empresa de capital nacional, que trabalha, principalmente, com mineração de magnesita, destacando-se, nas várias jazidas no país, as reservas de magnesita e talco em Brumado, no estado da Bahia. Suas reservas totais atingem 103 milhões de toneladas de magnesita. As principais minas de magnesita são Pedra Preta e Pomba, localizadas no município de Brumado, região sudoeste do estado da Bahia, a cerca de 650 km de Salvador. A empresa produz 310.000 t/ano de magnésia calcinada, que representa 95% da produção nacional. As instalações em Brumado-BA têm capacidade nominal de produção de 285.000 t/ano de magnésia sinterizada e 67.000 t/ano de magnésia cáustica. Na linha de produção da empresa destacam-se os produtos:

- a) magnésia sinterizada M-10, mono-queima;*
- b) magnésia sinterizada M-20, dupla-queima;*
- c) magnésia sinterizada M-30, dupla-queima;*
- d) magnésia cáustica (óxido de magnésio industrial).*

Os produtos das usinas de sinterização são consumidos pela MAGNESITA S.A. na fabricação de refratários básicos nas unidades fabris localizadas em Contagem MG e São Caetano do Sul – SP e, também, pelas suas controladas, RISA (Contagem-MG) e RASA (Argentina). Além disso, grande quantidade de magnesita sinterizada destina-se à exportação.

¹ Pesquisador, CETEM

² Engenheiro, MAGNESITA

Geologia

A Serra das Éguas é constituída por uma espessa seqüência de metabasitos, anfibolitos, itabiritos, xistos, metadolomitos, quartzitos e magnesitos, que se assentam sobre um substrato de gnaiss dobrado. Esse conjunto foi denominado de Grupo Serra das Éguas e ocupa uma área aproximada de 142 km². A disposição de diferentes litologias permitiu a caracterização de três unidades estratigráficas para esse grupo: inferior, média e superior.

A unidade inferior aparece na área periférica das elevações da serra, além de ocupar extensa faixa entre a Serra do Jardim, desde o Coité ao sul, até a Fazenda Morro do Angico ao norte. Suas rochas repousam diretamente sobre a biotita gnaiss. Essa unidade é constituída predominantemente de anfibolitos (actinolitos), que se encontram associados a camadas e lentes de mármore dolomíticos.

A unidade média assenta-se sobre a inferior, ocupando as porções intermediárias da serra na forma de cinturão ao longo da mesma, somente interrompida por falhas. A unidade é representada principalmente por uma rocha magnesítica na sua porção central. Ocorre uma gradação dos actinolitos que se tornam ricos em clorita, passando para clorita-talco-xisto, até atingirem as rochas magnesíticas, também conhecidas como mármore magnesíticos.

Na unidade média ocorrem os depósitos de magnesita da Serra das Éguas. Suas rochas enriquecidas em magnesita ocorrem sob forma de pacotes relativamente extensos. A origem da unidade é tipicamente químico-sedimentar, com precipitação em meio aquoso, predominantemente carbonático-silicosa, porém com alguma contribuição piroclástica.

A unidade superior é constituída, de sudoeste ao centro-sul, por um pacote de quartzito e por quartzitos de matriz dolomítica do centro norte ao norte. Na parte central da serra tem-se também uma espessa cobertura de solo argiloso avermelhado, produto da decomposição das rochas carbonáticas da unidade média. A gênese da unidade superior indica a presença de um material químico-sedimentar com distribuição de finas camadas de itabiritos e dolomitos, arranjos ordenados de cristais de quartzo, dolomita, etc. No entanto, ocorre uma predominância de material epiclástico com depósitos de areias. Não se excluem, todavia, possibilidades de silificações e carbonatações diagenéticas.

As características dos tipos de minérios para obtenção dos *sinters* magnesianos são decorrentes das exigências do mercado. No caso da mina de Pedra Preta, o minério permite a obtenção de vários tipos de *sinter*, assim denominados:

- a) *sinter* M-10, produto tradicional de magnesita obtido a partir do minério lavado seletivamente;
- b) *sinter* M-20, produto mais nobre que o *sinter* M-10, obtido a partir do minério mais rico da mina, também lavado seletivamente;
- c) *sinter* M-30, produto nobre obtido a partir do concentrado da flotação do minério de Pomba e Pedra Preta.

Lavra

O método de lavra é a céu aberto, com bancadas de cerca de 16 m de altura e largura de 27 m e berna de 15 m. Inicialmente executa-se a remoção do capeamento, que consiste de material argiloso com espessura de 20 m. Tratores de esteiras, carregadeiras frontais e caminhões basculantes, realizam os trabalhos de remoção e transporte do capeamento até o bota-fora situado a distâncias que variam de 0,4 a 2 km.

O desmonte do minério é feito com explosivo e o transporte com auxílio de caminhões fora-de-estrada até a britagem, situada a 2 e 4 km das minas Pedra Preta e Pomba respectivamente. A capacidade média de produção da mina é de 10.000 t/dia para turnos de operação de 10 h. A produção anual de ROM é de 1,11 milhões de toneladas e a relação estéril/minério é de 0,7.

Beneficiamento

Britagem

O minério lavrado na mina de Pedra Preta é transportado até a britagem, situado cerca de 2 km da mina, onde ocorrem as britagens primária e secundária em britadores de mandíbulas FAÇO, 120 x 90 e 120 x 40, respectivamente. Após a etapa de britagem o material é peneirado em peneira vibratória PV-02 de deque duplo, telas de 70 e 40 mm, conforme mostra o fluxograma da Figura 1.

A fração acima de 70 mm segue para o alimentador vibratório AV-3, cuja fração grossa sofre uma catação manual, onde se obtém um refugo e um produto final superior a 70 mm destinado aos fornos HARBISON WALKER ou à usina de flotação.

A fração intermediária da peneira PV-2 segue para o alimentador vibratório AV-2 cuja fração grossa sofre uma catação manual, onde obtém-se um refugo e um produto final com granulometria entre 40 e 70 mm destinado à pilha pulmão dos fornos convencionais.

A fração fina da peneira PV-2 segue para a peneira vibratória PV-3, equipada com tela de 22 mm de abertura, cuja fração grossa segue para a peneira PV-4 equipada com tela de abertura de 12 mm. A fração acima de 12 mm é o produto final destinado ao forno de calcinação e a fração fina (-12 mm) é descartada como rejeito fino.

As frações finas da peneira PV-3 e dos alimentadores vibratórios AV-2/3 formam o rejeito final, com granulometria abaixo de 22 mm.

Flotação

O minério para produção de M-30, com teor de MgO em torno de 85%, alimenta a usina de beneficiamento, onde é obtido um concentrado com 98,5% de MgO. Esse concentrado é utilizado nos fornos HW onde o material sofre uma calcinação, que é seguida de briquetagem e finalmente sinterização, obtendo-se um produto final, *sinter* M-30, com densidade de 3,32 g/cm³.

Caminhões basculantes transportam o minério desde a britagem em Pedra Preta até o pátio da usina de flotação, situada no complexo industrial, a uma distância de 20 km, cujo

fluxograma está apresentado na Figura 2. No pátio de estocagem, uma carregadeira frontal retoma o material a uma taxa de 60 t/h e alimenta o britador de impacto, que trabalha em circuito fechado com uma peneira vibratória de 12,5 mm de abertura. A fração fina segue para a pilha de homogeneização e daí para uma balança dosadora, que alimenta o circuito de moagem. Dois moinhos de bolas com dimensões de 1,8 x 3 m (diâmetro x comprimento) operam em circuito fechado com hidrociclones (ϕ 25 cm), cujo produto final, com granulometria abaixo de 0,2 mm, alimenta uma bateria de hidrociclones deslamadores (ϕ 10 cm) onde a fração acima de 10 mm, segue para o circuito de flotação do talco. A fração fina dos hidrociclones deslamadores segue para os espessadores, onde se obtém a água de recirculação e lama, que é encaminhada para a bacia de rejeito.

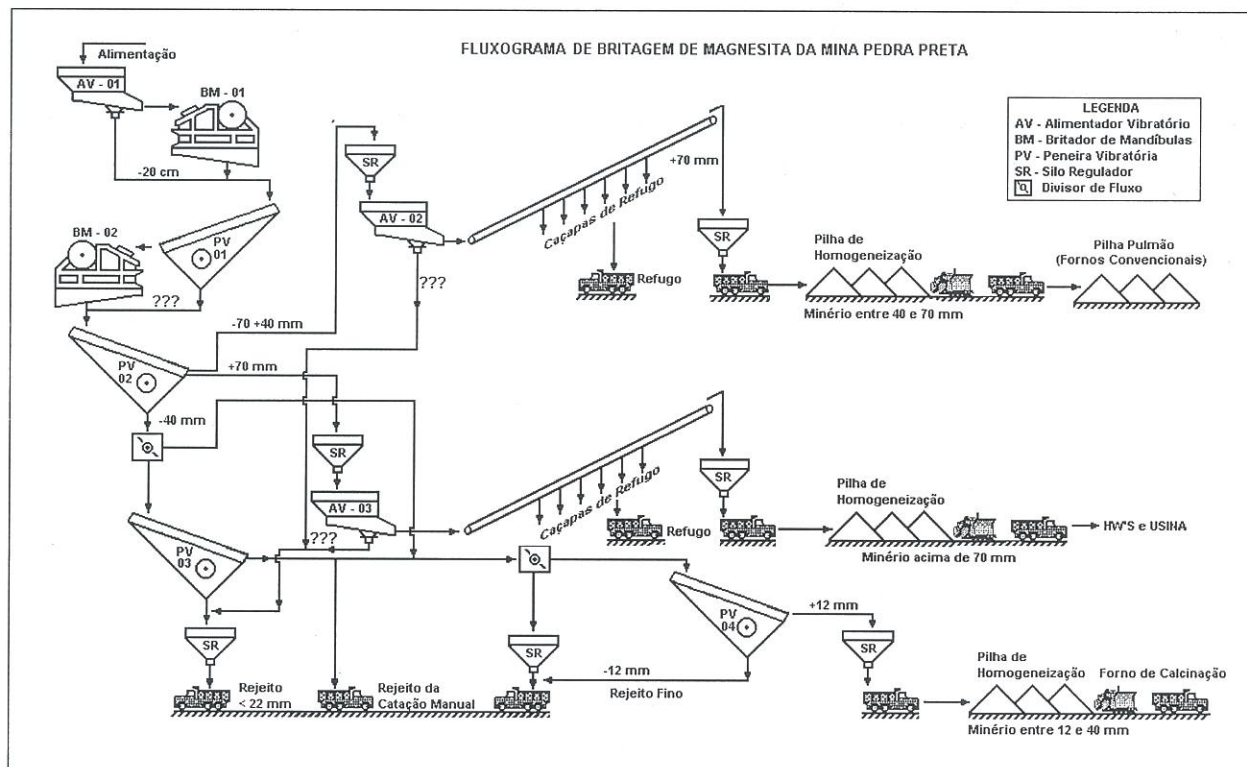


Figura 1: Fluxograma da britagem da MAGNESITA

A flotação do talco é feita em pH 8,2, utilizando-se apenas óleo de pinho como reagente e é realizada em duas etapas, *rougher* (3 células) e *scavenger* (3 células), nas quais os flotados são descartados como rejeito final. O depressido sofre uma nova ciclonagem, onde a fração fina retorna ao circuito de flotação do talco e a grossa segue para o circuito de flotação da magnesita, que é realizada em três etapas, *rougher* (6 células) *scavenger* (4 células) e *cleaner* (6 células). O rejeito final da flotação segue para os espessadores (ϕ 9 m) onde se obtém a água de recirculação e a fração sólida é descartada para a bacia de rejeitos.

No circuito de flotação da magnesita, o sistema de reagentes utilizado consiste em silicato de sódio e *tall oil*, cujos pontos de adição estão apresentados no circuito da Figura 2. O concentrado de magnesita com granulometria acima de 10 mm e 40% de sólidos segue para o filtro de discos (ENVIROTECH - ϕ 1,8 m) com capacidade de 20,5 t/h, cujo filtrado contém de 6 a 7% de umidade.

Na operação de espessamento do concentrado é adicionado MARFLOC como floculante nos espessadores de 5 e 4,2 m e capacidade de alimentação de 1500 kg/h de sólidos.

A recuperação em massa da usina de flotação é de 82% e de MgO é 87% , enquanto o consumo de água na usina é de 0,78 m³/t de minério tratado, da qual 36% é de água recirculada.

Consumo de reagentes na unidade de flotação é :

- óleo de pinho – 10 g/t (flotação de talco);
- tall oil – 240 g/t (flotação da magnesita);
- silicato de sódio – 200 g/t (flotação da magnesita).

A capacidade média da usina é de 25 t/h de minério com 85% MgO, produzindo 20,5 t/h de concentrado com teor de 98,5% MgO. A Figura 3 apresenta o fluxograma das operações para a obtenção da magnésia cáustica e sintetizada.

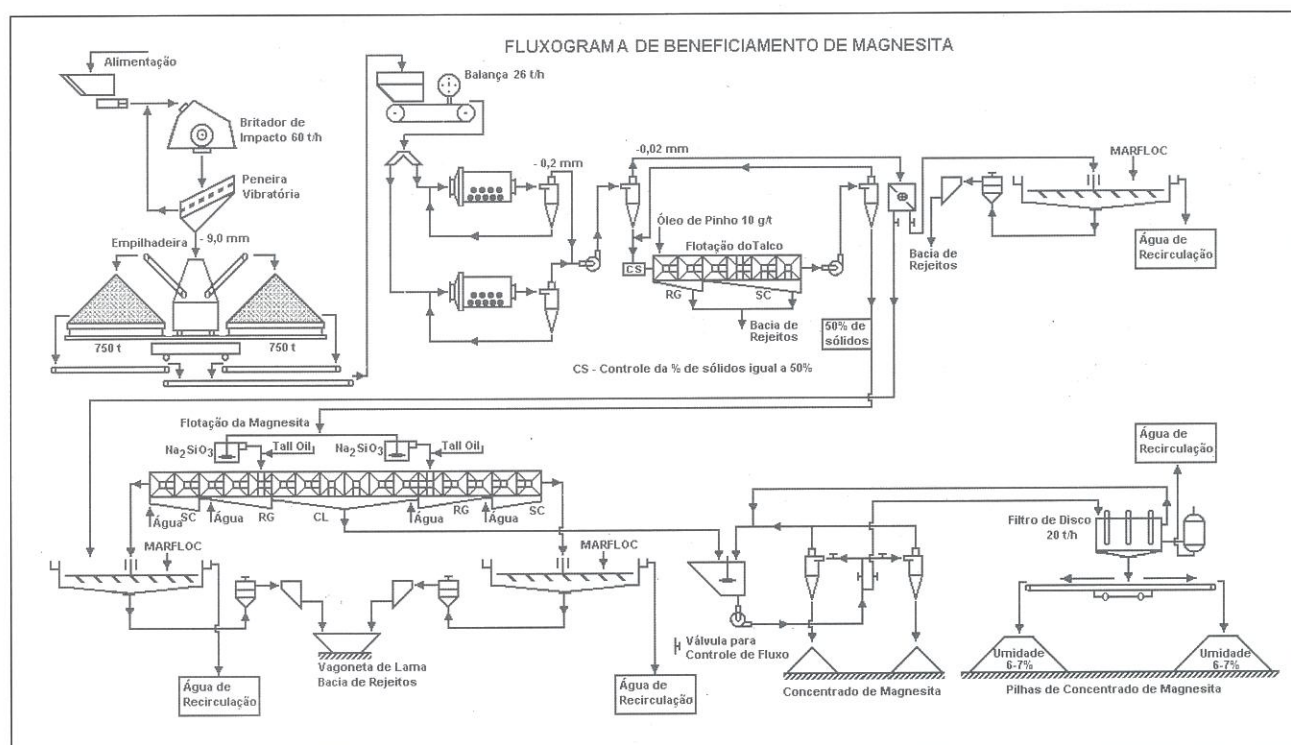


Figura 2: Fluxograma da usina de flotação da MAGNESITA na mina de Brumado, BA

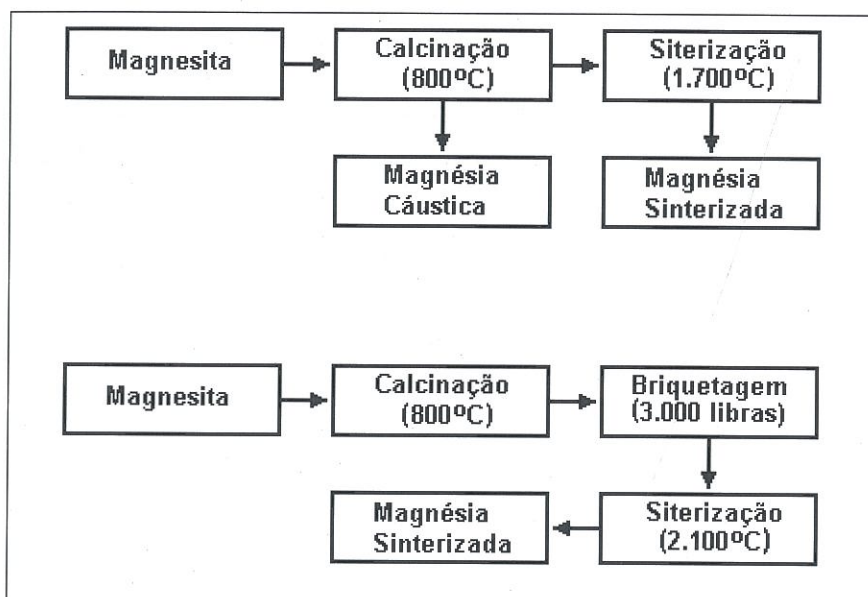


Figura 3: Fluxograma das operações de obtenção da magnésia cáustica e sinterizada

Outros dados operacionais

WI (moagem) : 9,2 kWh/t, motor 150 HP

Carga circulante (moagem): 300%

Percentagem de sólidos na moagem: 65%

Velocidade do moinho: 21 rpm

Percentagem de sólidos na alimentação da flotação: 50%

Volume das células de flotação: 1 m³ (Denver Sub – A – 24)

Percentagem de sólidos na flotação da magnesita:

flotação *rougher*, 25% de sólidos

flotação *scavenger*, 20% de sólidos

flotação *cleaner*, 20% de sólidos

pH da flotação: 8,2

Consumo de energia total na usina da magnesita: 24 kWh/t

talco

MAGNESITA

Salvador Luiz Matos de Almeida¹

João Alves Sampaio¹

Elias Salomão²

■ *O talco é um silicato de magnésio hidratado, utilizado principalmente como ingrediente para tintas, cosméticos, indústria cerâmica, farmacêutica, papel, borracha, etc.*

Os depósitos de talco em Brumado, BA, estão agrupados na Serra das Éguas fazendo parte de um conjunto litológico definido por gnáisses, quartzitos, dolomitos e bolsões intercalados de magnesita. Os jazimentos de talco aparecem na forma de veios, que têm desde centímetros até dezenas de metros de espessura, situados na capa e lapa dos bolsões de magnesita, dentro das camadas dolomíticas.

As principais minas de talco da MAGNESITA S/A em Brumado são Cabeceiras e Cordeiro. As reservas totais dessa empresa na região somam 3,0 milhões de toneladas. A produção de ROM é de 98.400 t/ano com produção anual de 25.000 t de talco e relação estéril/minério de 1:5.

A lavra é feita a céu aberto, com bancadas de 8 m de altura e berma de 10,0 m. No desmonte 10% é feito com explosivos, seguido de retomada com escavadeira. A capa tem geralmente 3,3 m e o talco é transportado por caminhão com 22 t de capacidade.

Na empresa são obtidos diferentes tipos de produtos, que variam principalmente quanto à granulometria final, alvura, densidade aparente e composição química.

Beneficiamento

O minério após lavrado é transportado ao setor de beneficiamento onde inicialmente passa por uma grelha de 152 mm. O *oversize* é estocado, enquanto o *undersize* alimenta uma peneira vibratória (FAÇO) com tela de 19 mm. O *undersize* é o produto final e o *oversize* segue para uma etapa de tamboramento, que é realizada num tambor de 1,5 x 2,0 m. Em seguida o material alimenta uma peneira vibratória (FAÇO) com abertura de 12 mm, conforme pode ser observado no fluxograma da Figura 1.

¹ Pesquisador, CETEM

² Engenheiro, MAGNESITA

O *undersize* segue para um classificador espiral (DENVER), no qual recupera-se água de processo, e o *oversize* constitui-se um produto final para as indústrias cerâmicas. A fração com granulometria superior a 12 mm, após passar por uma catação manual (descarte do rejeito), segue para uma pilha de homogeneização, seguido de britagem em um britador de impacto (HAZEMAG), a uma granulometria abaixo de 12 mm. Na etapa seguinte, o material é depositado em diferentes silos, de acordo com teor de talco, gerando cerca de 30 produtos, que serão utilizados de acordo com as solicitações dos clientes. Antes de passar pela moagem o talco passa pelas etapas de descontaminação (à temperatura de 200°C) e resfriamento com água. Na etapa seguinte o material segue para um dos três circuitos de moagem a seco: moagem em moinho *Fard* (talco < 74 µm); moagem em moinho *Raymond* (53 µm < talco < 74 µm); moagem em micronizador (talco < 20 µm).

Moagem em moinho *Fard*

O material é moído em quatro moinhos *Fard* (moinho de martelos) e a seguir passa por uma etapa de ciclonagem, obtendo-se um produto final com granulometria inferior a 74 µm.

Moagem em moinho *Raymond*

A operação consiste em moer o material em dois moinhos *Raymond* modelo 3036 da CBC com capacidade de 1,2 t/h cada. A seguir o talco moído passa por uma etapa de ciclonagem, obtendo-se um produto final com granulometria entre 53 e 74 µm, cujo controle da granulometria, alvura e análise química, respondem pela qualidade do produto.

Moagem em micronizador

O material após moagem em 74 µm segue para dois micronizadores modelo 3526 da CBC com diâmetro de 89 cm, capacidade de 800 kg/h cada e velocidade de 3.400 rpm. A seguir o talco alimenta dois filtros de manga, obtendo-se um produto final com granulometria inferior a 20 µm. Para esse produto, entre outros parâmetros, são controlados: granulometria, densidade aparente de sólidos, alvura e análise química.

Outros dados operacionais

O controle de qualidade dos produtos é feito por meio de:

- a) análises químicas para determinações de P.F, SiO₂, MgO, CaO, MnO, Al₂O₃ e Fe₂O₃;
- b) determinações da densidade aparente, granulometria e alvura.

Para os produtos destinados às indústrias de cosméticos e fármacos respondem pelo controle de processo/qualidade:

- d) análises microbiológicas para determinações de bactérias e fungos considerados patogênicos;
- e) análises químicas para determinação de P.F., SiO₂, MgO, CaO, MnO, Al₂O₃ e Fe₂O₃;
- f) determinação da alvura, granulometria e densidade aparente.

Consumo total de energia da usina de beneficiamento do talco: 185 kWh/t.

Pontos de amostragem do circuito: lavagem, britagem, moagem e micronização.

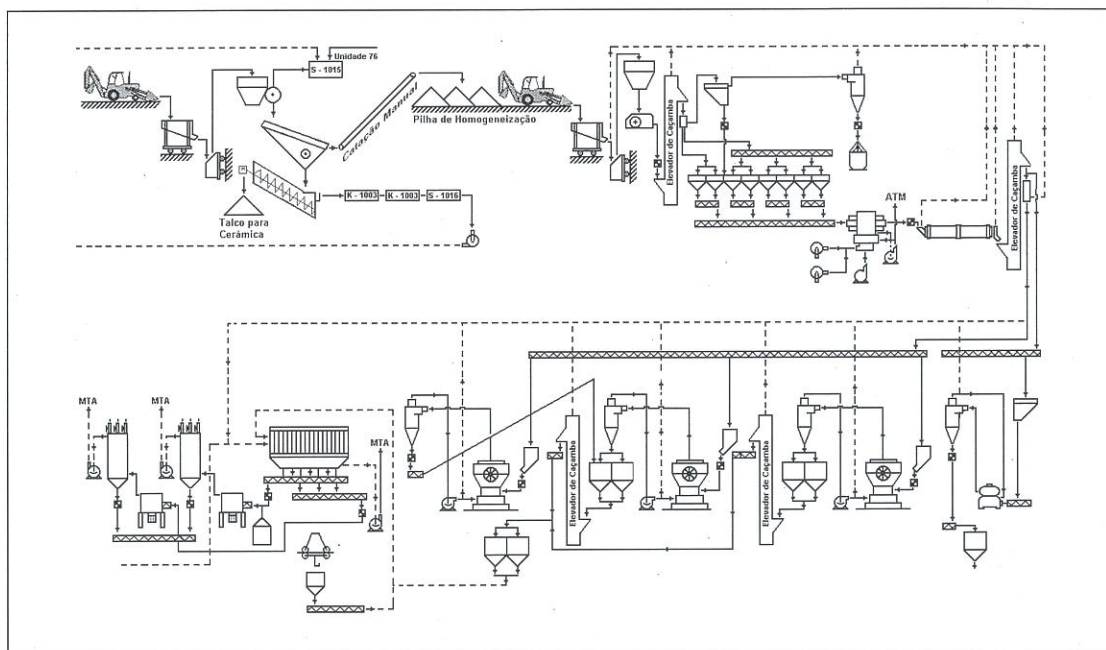
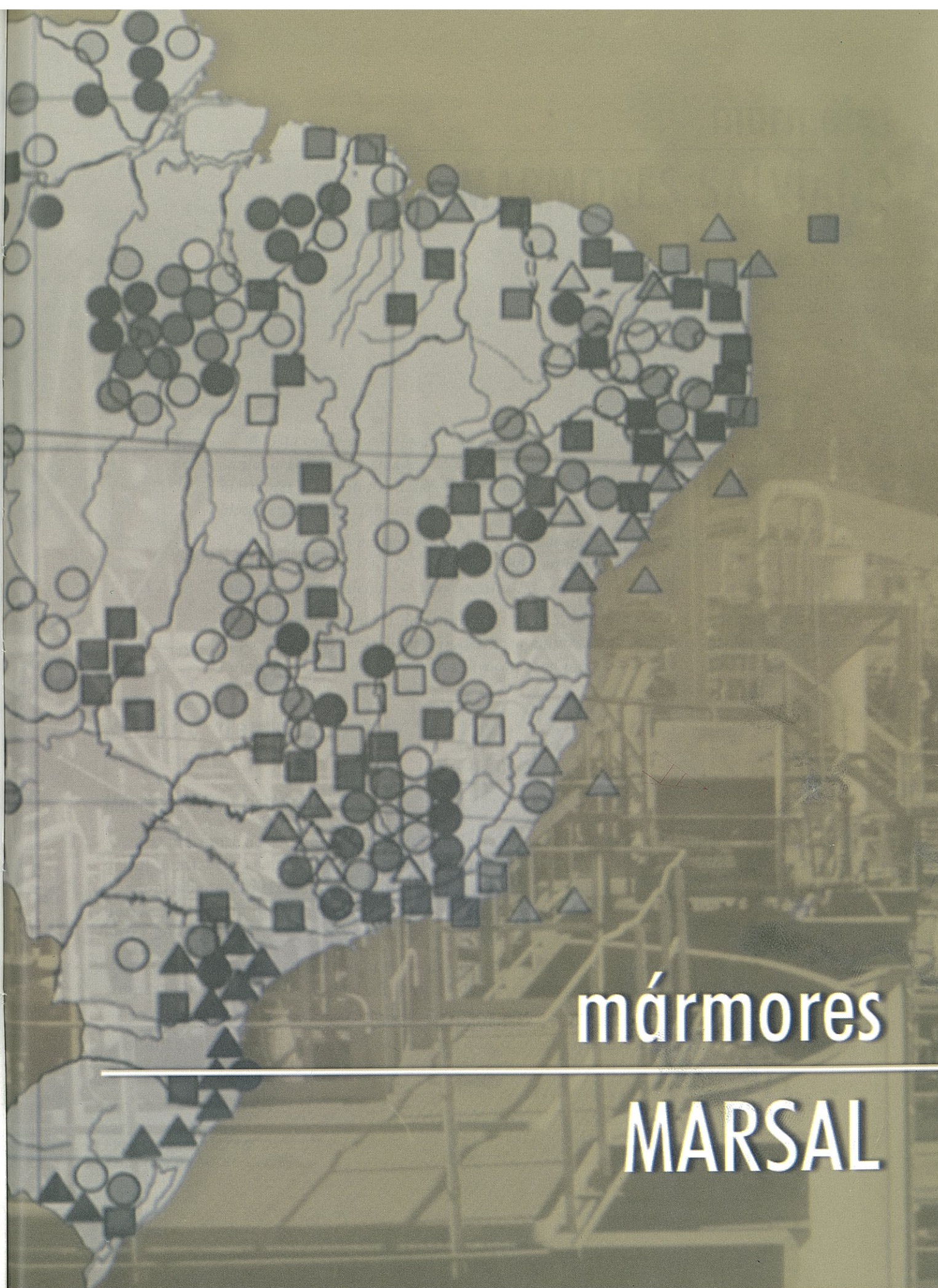


Figura 1: Fluxograma de beneficiamento de talco, MAGNESITA



mármores

MARSAL

MÁRMORES SALVIANO

João Alves Sampaio¹
Franz-Josef Wellankamp¹
Izabel Lacerda Salviano da Costa²

■ *Esta empresa está localizada na cidade de Cachoeiro de Itapemirim, estado do Espírito Santo, a 143 km da cidade de Vitória. É pioneira, no estado, em atividades de mineração de mármore e granitos e, desde 1965, atua nas áreas de lavra, serragem – desdobramento de blocos em chapas, fabricação de ladrilhos, etc.*

A MARSAL possui jazidas próprias, das quais, três pedreiras de mármore branco, no município de Castelo-ES, comercialmente conhecido por São Cristóvão, e outras jazidas de mármore no município de Vargem Alta-ES.

Para a produção de granitos, a MARSAL conta com as jazidas de granito preto e amarelo, em Aracruz-ES. Além dessas, a empresa possui outras jazidas nos municípios de Calçado, Mimoso do Sul e Atílio Vivacqua, no mesmo estado.

Método de lavra

Mármore São Cristóvão

O mármore ocorre nos contrafortes da Serra do Forno Grande, que é um maciço granodiorítico de migmatização, com relevos aplainados e baixos. Existe um fraturamento NE-SW, evidenciado por zonas de milonitização, que condiciona localmente as lentes de mármore. A atitude de foliação dessas lentes tem direção geral NW-SE com ligeiras variações para NE-NW e mergulhos variando entre 20° e 60° para NE e SW, respectivamente.

O mármore tem coloração branca, granulação fina, com lentes calcossilicatadas e anfibolitos subparalelos à foliação. A espessura varia desde centímetros a alguns metros.

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises químicas do mármore branco São Cristóvão. A análises dos resultados leva a concluir que o mármore é dolomítico, tem cor branca, sem

¹ Pesquisador, CETEM

² Diretora da MARSAL

raizados e/ou veias, porém com raros veios de calcita cristalizada. Isso confere ao material uma qualidade especial como um dos melhores mármore no mercado nacional.

As reservas de mármore da MARSAL são: 31,5 milhões m³ (medida), 8.2 milhões m³ (indicada) e 1,0 milhão m³ (inferida).

O método de lavra utilizado pela MARSAL é a céu aberto, onde são obtidos blocos cujas dimensões dependem do método de lavra e da natureza do material.

No caso do mármore, utiliza-se a tecnologia de fio diamantado, onde são obtidos blocos com dimensões de 2,8 x 1,6 x 1,6 m (comprimento/altura/largura). A produção da lavra é 1.200 m³/ano. O transporte dos blocos, desde a pedreira até a cidade de Cachoeiro de Itapemirim, 35 km, é feito por caminhões. a Tabela 1 apresenta os resultados de análise química do mármore São Cristóvão.

Tabela 1 – Análise química do mármore São Cristóvão – MARSAL

Composição	Peso (%)	Composição	Peso (%)
CaO	49,8 – 38,0	RI	1,5
MgO	3,6 - 13,6	R ₂ O ₅	0,03
SiO ₂	0,2	TiO ₂	0,01
Al ₂ O ₃	0,06	PF	44,6

Granito

Na lavra do granito comum são usados explosivos para obtenção de grandes blocos, chamados de pranchas, que em seguida são subdivididas em blocos menores com dimensões de 3,0X2,4X1,7 m e, portanto, volumes da ordem de 12 m³.

Para o granito Preto Aracruz, o método de lavra empregado consiste na perfuração em linha reta, com espaçamento de 5 a 10 cm no máximo. Na etapa seguinte, utiliza-se a técnica de cunhas (cunhagem) para retirada final do bloco.

O transporte é feito por trem, desde as proximidades da pedreira até a estação ferroviária, propriedade da MARSAL, situada a cerca de 10 km da usina de beneficiamento em Cachoeiro de Itapemirim. Nesse transporte são utilizados os serviços das ferrovias Vale do Rio Doce e Centro Atlântico. Para tanto, a MARSAL – Intermodal de Cargas realiza os trabalhos de carga e descarga dos vagões, por meio de pontes rolantes com capacidade para 40 t, localizadas nas estações de Piraquiacu e João Neiva, no Norte do ES e em Cachoeiro de Itapemirim. Nessa etapa, o transporte é feito por caminhão até o pátio da MARSAL, onde são realizadas as operações de beneficiamento.

O granito Preto Aracruz é uma rocha ígnea granular, volumosa de estrutura densa, homogênea e, esse granito, é considerado como um dos produtos nobres da empresa. A rocha apresenta grãos que variam desde 0,3 até 0,5 mm, consistindo essencialmente em plagioclásio, biotita, ortopiroxênio/bronsita, minerais opacos, diopsídio e, muito raramente, grãos de quartzo. A bronsita mostra inclusões de hematita e alguns grãos substituídos parcialmente por anfibólio verde. O diopsídio e a bronsita são substituídos por carbonato, porém raramente.

A jazida apresenta um volume da ordem de milhões de metros cúbicos do granito Preto Aracruz, assegurando a lavra de um mesmo tipo de material, com características constantes, por

períodos muitos longos, séculos de exploração. Neste contexto, estão as novas tecnologias de lavra de rochas ornamentais em pedreiras modernas, contando com a exclusão de explosivos que, aliada às cuidadosas inspeções de qualidade ao longo do ciclo de extração, conferem ao granito Aracruz um produto de alta qualidade e de grande aceitação no mercado.

O granito Preto Aracruz apresenta baixo conteúdo de quartzo. Isso contribuiu para diminuir a resistência à serragem, reduzindo bastante o custo de obtenção das chapas, em virtude do seu menor índice de abrasão. Devido a essas e outras qualidades decorativas e mecânicas, esse granito é empregado em vários segmentos da construção civil que exigem elevado grau de elegância, tais como: monumentos, partes exteriores e interiores de fachadas ou paredes, degraus, pisos, construção de mesas, etc. A tabela 2 apresenta a composição mineralógica, propriedades físicas e mecânicas do granito Preto Aracruz

Tabela 2 - Composição mineralógica, propriedades físicas e mecânicas do granito Preto Aracruz

Minerais	Peso (%)	Propriedades Físicas e Mecânicas	
Plagioclásio	65-70	Densidade	2969 kg/m ³
Biotita	10	Resist. à Compressão	116,2 N/mm ²
Bronzita	5-10	Resistência à Ruptura	19,4 N/mm ²
Minerais Opacos	5	Absorção de Água	0,07 %Vol.
Quartzo	<5	Porosidade Aparente	0,19 %Vol.
Diopsídio	<5	Expansão Térmica	0,52 mm/m/100°C
Outros	-	Polidez	Excelente com longa duração

Beneficiamento

Após a lavra, os blocos de granitos são transportados de trem para Cachoeiro de Itapemirim onde são estocados na estação ferroviária. Daí, seguem por caminhões até a usina de beneficiamento, na sede do município. Devido ao espaço limitado na usina, a MARSAL prefere retomar os blocos, de acordo com a demanda do processo de serragem. Os blocos são colocados no pátio em posição adequada à sua retomada por um guincho de trilho que os coloca nos teares. São nove teares de fabricação MGM e dois diamantados, conforme apresentado na Figura 1.

Cada bloco de granito requer cerca de três a cinco dias para sua serragem nos teares convencionais. No caso do mármore, demandam-se 12 h de operação, utilizando-se os teares diamantados. A Figura 2 mostra os elementos do tear usado pela MARSAL na serragem de mármore e granitos.

Os teares convencionais são equipados com motores de 30 CV; 220 V e 1170 rpm, que operam com frequência de 70 ciclos/min. Na serragem dos granitos são usadas lâminas de aço, cujo quadro com 80 lâminas por tear, tem comprimento de 3,74 m e 4,0 mm de espessura. O número total de lâminas no quadro depende, dentre outros fatores, das dimensões do bloco e da espessura final das chapas. As lâminas devem ser tensionadas adequadamente para que não ocorram defeitos nas chapas durante a serragem. Esse controle na MARSAL é feito mecanicamente através de cunhas. Caso as lâminas não estejam bem tensionadas ocorrem

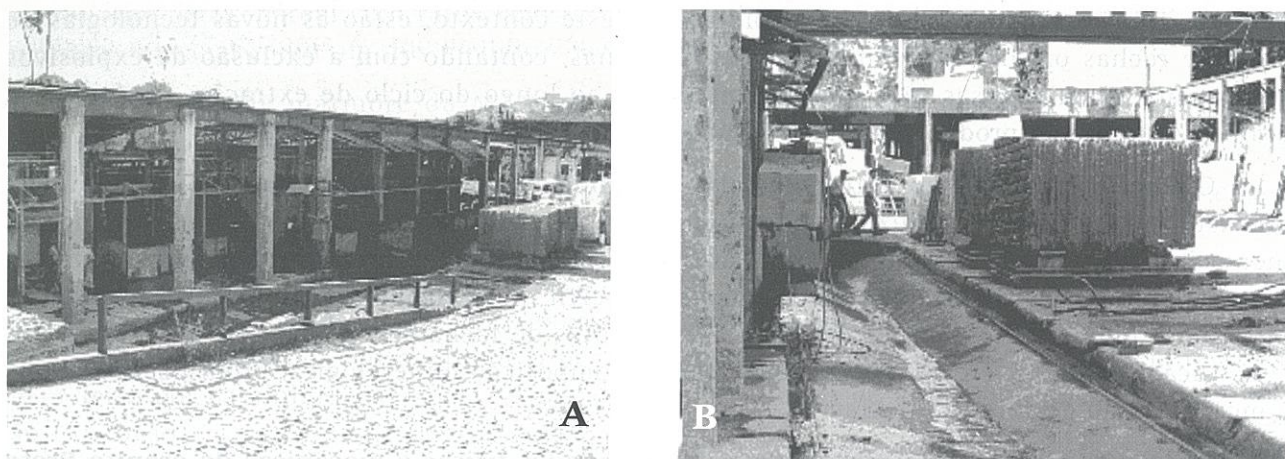


Figura 1: (A) Vista lateral dos teares. (B) Blocos de granito e mármore para instalação no tear, MARSAL

ondulações longitudinais nas mesmas, comprometendo a qualidade da superfície das chapas serradas, bem como decresce a velocidade de corte. Por outro lado, a tensão excessiva provoca curvas no sentido transversal das lâminas que provocam sulcos nas chapas.

Na MARSAL, a polpa abrasiva, constituída de água, cal, granalha e pó de rocha, é preparada manualmente, sem controle automático; apenas a alimentação da granalha é feita continuamente através de um alimentador de canecas. A alimentação é feita em forma de chuveiro, sobre as lâminas e na face superior do bloco onde se inicia a serragem. Isso é feito com uma bomba de polpa MGM equipada com motor de 10 cv. Maiores detalhes do equipamento estão apresentados na Figura 2. A Tabela 3 apresenta a taxa de alimentação da polpa e composição percentual em peso da polpa.

Tabela 3 – Taxa de alimentação e composição percentual em peso da polpa de serragem utilizada na MARSAL

Componentes da Polpa	Taxa de Alimentação (kg/h)	Percentagem em Peso
Cal	2,08	7,85
Granalha	3,60	13,60
Água	20,80	78,55
Total	26,48	100,00

A granalha de aço de fabricação IKK do Brasil apresenta uma granulometria com 90% em peso entre 1,2 e 0,83 mm. Uma boa granalha possui grãos de forma arredondada ou angular, o que acontece com a granada da IKK.

Para esse método de serragem de rocha, após certo tempo de operação, a polpa abrasiva perde, de forma gradativa, a eficiência, devido ao aumento do pó de rocha proveniente da sua serragem. Caso se prolongue essa contaminação da polpa até a sua total saturação pelo pó da rocha, a eficiência de corte do processo tende a zero, caindo a produtividade do tear. Quando se atinge essa situação, a polpa é descarregada ou expurgada e outra nova é adicionada ao processo. Esse procedimento é feito periodicamente e depende da natureza da rocha a ser serrada e da qualidade da granalha utilizada. Na MARSAL o controle desse parâmetro é feito visualmente pelo operador, que a cada 12 h de operação, substitui a polpa saturada por outra nova.

A Tabela 4 apresenta os resultados das análises granulométricas das amostras de polpa de serragem, bem como as suas densidades e percentagens de sólidos. A amostra "A" foi coletada durante a operação, com a polpa não saturada e a amostra "B", quando a polpa estava saturada. Observa-se um aumento de finos na fração abaixo de 37 μm , da ordem de 25%. Por outro lado, a densidade inicial da polpa é de 1,86 e na saturação cai para 1,63. Em ambos os casos, o fato está ligado ao aumento das partículas finas na polpa proveniente da serragem da rocha.

A Tabela 5 apresenta os valores médios dos principais insumos utilizados pela MARSAL no seu processo de serragem de rochas. Os valores são parâmetros de processo relativos a essa empresa e são expressos em m^2 de chapa serrada.

Tabela 4 – Resultados das determinações das distribuições granulométricas, densidade (d) e percentagem de sólidos para as duas amostras da polpa abrasiva.

Frações (μm)	Amostra - A		Amostra - B	
	(%) Retida	(%) Passante	(%) Retida	(%) Passante
417	3,29	96,71	0,90	99,10
295	2,51	94,20	0,85	98,25
208	3,65	90,55	1,45	96,80
147	4,97	85,58	1,87	94,93
104	7,97	77,61	4,15	90,78
74	12,70	64,91	6,90	83,88
53	9,06	55,85	5,99	77,89
37	12,28	43,57	9,51	68,38
-37	43,57	-	68,37	-
	d = 1,86	% sólidos = 61,25%	d = 1,63	% sólidos = 57,00%

Tabela 5 – Valores médios de consumo dos principais insumos utilizados na serragem de rochas da MARSAL

Consumos	Produtos – Rocha Serrada	
	Mármore	Granito
Água Nova ($\text{L}/\text{m}^2\text{cs}$).	150	170
Lâmina Diamantada* ($\text{L}/\text{m}^2\text{cs}$)	5.000	-
Granalha ($\text{g}/\text{m}^2\text{cs}$).	680	1.040
Cal (CaO) ($\text{g}/\text{m}^2\text{cs}$).	900	550
Lâminas de Aço ($\text{g}/\text{m}^2\text{cs}$).	240	450
Lâminas Diamantadas (m^2cs / lâmina).	165	-
Consumo de energia por tear ($\text{kW}/\text{m}^2\text{cs}$).	10,3	19,96

cs – chapa serrada. (*) Usa apenas água nova sem recirculação.

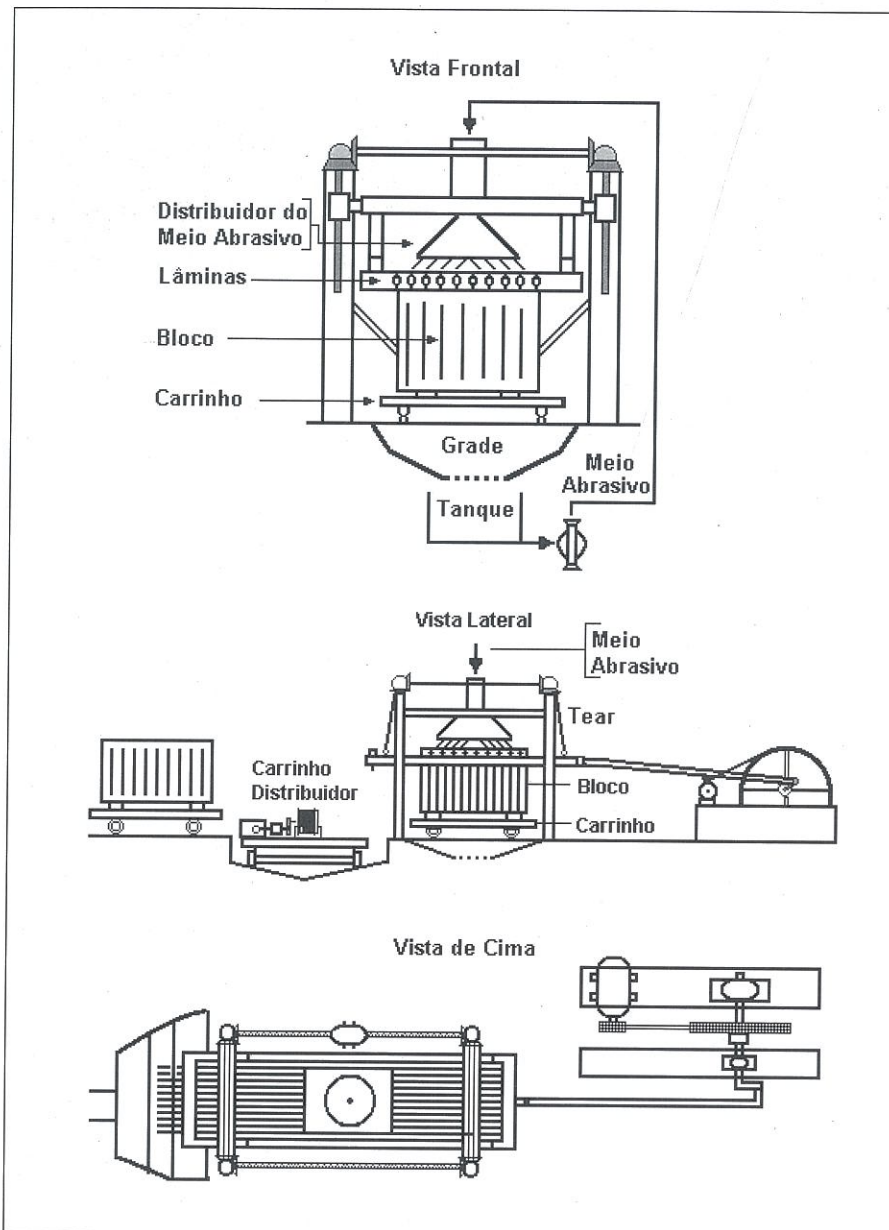


Figura 2: Elementos do tear usado pela MARSAL para serragem de granitos e mármore

A map of Brazil is overlaid on a background image of an industrial facility. The map is marked with various symbols: solid and hollow circles, squares, and triangles, representing different types of heavy mineral deposits. The symbols are distributed across the country, with a high concentration in the central and southern regions. The background image shows a large industrial complex with multiple buildings and structures, suggesting a mining or processing plant.

minerais pesados

MILLENNIUM

minerais pesados

MILLENNIUM

João Alves Sampaio¹
Adão Benvindo da Luz¹
Ronaldo Marquez Alcantera²
Luís Sérgio L. Araújo²

■ A MILLENNIUM Inorganic Chemicals é a segunda maior produtora mundial de pigmento de dióxido de titânio, com uma produção superior a 700.000 t/ano. Em julho de 1998 a Millennium comprou a Tibrás-Titânio do Brasil S.A., bem como a sua mina, antiga RIB-Rutilo e Ilmenita do Brasil S.A.

A mina do Guajú, primeiro investimento da Millennium na área mineral, localiza-se no município de Mataraca no litoral norte da Paraíba, distante 120 km de João Pessoa.

Os depósitos de minerais ocorrem na forma de dunas com, aproximadamente, 3,2% de minerais pesados, dos quais ilmenita e zirconita são os principais minerais úteis. A composição mineralógica dos minerais pesados consiste em: ilmenita 74%; zirconita 10%; rutilo 1,0% e silicatos de alumínio, basicamente cianita (~1%).

Na área do Guajú, a Millennium avaliou três depósitos de minerais pesados. Atualmente é lavrada a área do Guajú Sul, com uma produção, no ano de 1999, de 110.000 t de ilmenita, 16.500 t de zirconita, 1.700 t de rutilo e 300 t de cianita. As reservas conhecidas são suficientes para mais 20 anos, mantendo-se o nível atual de produção.

Lavra

O método de lavra empregado é a céu aberto e o desmonte é feito por meio de tratores de esteira D-65 e D-73 KOMATSU e D6R-XL CARTEPILLAR.

Existem três frentes de lavra, duas das quais trabalham simultaneamente, o que possibilita melhor homogeneização do minério lavrado. A terceira fica em espera, para qualquer eventualidade ou manutenção programada nas linhas de transporte em operação. A frente móvel de lavra permite o seu deslocamento, de acordo com o plano de aproveitamento econômico da jazida.

O transporte do minério até a calha vibratória (moega), instalada na base da duna, é realizado com o auxílio de tratores de esteira. Essa calha tem mecanismos que regulam o fluxo

¹ Pesquisador, CETEM

² Engenheiro, MILLENNIUM

de material no transportador de correia e conseqüentemente na alimentação da usina.

Da moega, o material é transportado até a usina por meio de transportador de correia, de fabricação SVEDALA FAÇO, com uma parte móvel e outra fixa. Na frente de lavra, o transportador de correia, de largura 0,76 m, desloca-se numa extensão de 300 m, conforme o avanço da lavra. As correias fixas, com 0,91 m de largura, possuem uma extensão total de 1.400 m.

Existe um plano de expansão para dobrar a capacidade de lavra mediante a utilização do método de dragagem, com previsão de investimento da ordem de US\$ 24 milhões.

Beneficiamento

As duas moegas alimentam um sistema de transportador e de correia fixas, com extensão aproximada de 1.400 m, que conduz o minério bruto (ROM) até a usina de beneficiamento (Figura 1). Este se inicia com um peneiramento a úmido, mediante o uso de duas peneiras vibratórias (abertura de 2,5 x 2,5 mm – SVEDALA FAÇO). O *oversize* é constituído de material orgânico e areia grossa, e utilizado para recomposição superficial das dunas e bases das estradas da mina. O *undersize*, abaixo de 2,5 mm, é condicionado num tanque com capacidade de 110 m³. A polpa, com 58% de sólidos, é bombeada na taxa de 650 t/h para duas baterias de nove cones *Reichert* com 73,8x2000 mm (*DSV Mineral Deposit Ltda.*). Em cada linha tem-se seis unidades de cones na etapa desbaste (*rougher*); duas na primeira limpeza e uma na segunda limpeza.

O concentrado resultante da segunda limpeza segue para um classificador hidráulico (AKW), de onde é conduzido à separação magnética, e o fino é reprocessado em 24 espirais concentradoras (HG7 – AKW e MULTOTEC). Os rejeitos das espirais, primárias e secundárias, retornam aos cones de primeira e segunda limpezas e o concentrado junta-se ao grosso (concentrado) do classificador e segue para separação magnética a úmido, realizada em separadores *Jones*, modelo DP180, operando com um campo de 15.000 G, conforme fluxograma apresentado na Figura 1.

A fração magnética, rica em ilmenita, com mais de 50% de óxido de titânio (TiO₂), é estocada separadamente da fração não-magnética. Esta, rica principalmente em zirconita, rutilo e cianita, abastece o circuito de concentração em mesa vibratória, denominado de via úmida zirconita.

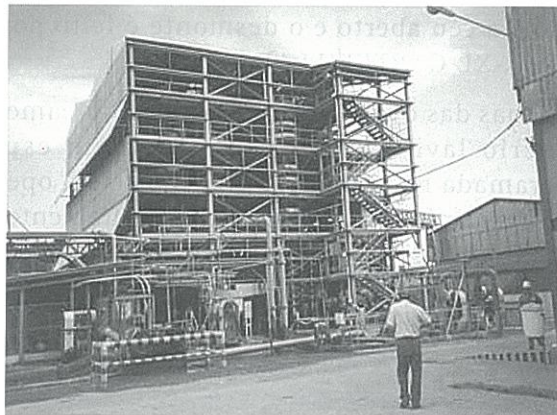


Figura 1: Usina de beneficiamento da MILLENNIUM, Mataraca – PB

A fração magnética dos separadores *Jones*, contendo essencialmente ilmenita (98%), com mais de 50% de óxido de titânio, passa em seguida pelas etapas de filtragem (filtro horizontal de bandeja rotativa) e secagem, antes de iniciar a separação eletrostática, que tem por finalidade separar o mineral condutor, como produto final (ilmenita), dos não condutores (Figura 2).

A filtragem é feita em filtro a vácuo (ϕ 2.450 mm – ZANINI), enquanto a secagem é realizada num secador vertical (KONUS ICESA – 19.641 x 580 mm), no qual se utiliza como combustível o bagaço de cana adquirido nas usinas produtoras de álcool da região.

Uma bateria de quatro separadores eletrostáticos de rolo duplo (1900 x 1785 x 1140mm – CARPCO Mod. HTP (25)221-200) (Figura 3) processa o pré-concentrado de ilmenita, devidamente seco, do qual se obtêm as seguintes frações:

- a) condutora, produto final com 55,0% de TiO_2 (ilmenita);
- b) não-condutora e semicondutora;
- c) semicondutora, com 30% de TiO_2 .

Um separador magnético CARPCO [MIH (13)221-100] separa as frações não condutora e semicondutora. Nessa etapa são obtidos os seguintes produtos:

- a) magnético-1, que retorna à alimentação da separação eletrostática;
- b) não-magnético-1 que é reprocessado para recuperação da zirconita;
- c) magnético-2, descartado como rejeito;

A Tabela 1 apresenta o balanço metalúrgico do circuito de ilmenita, via seca.

Tabela 1 – Balanço metalúrgico da usina de ilmenita via seca.

Produtos	Peso (t/h)	Peso (%)	Teor (% de TiO_2)	Rend. (% de TiO_2)
Rejeito	1,1	7%	15,0%	2,0%
Não Magnético	0,2	1%	3,5%	0,5%
Cond. (Conc. Ilmenita)	14,7	92%	55,0%	97,5%
Alim. Calculada	16,0	100%	1,5%	100%

Controle do processo

O procedimento de controle consiste num programa de amostragem em vários pontos do circuito. Para cada amostra coletada determina-se o teor de minerais pesados e, em alguns casos, o teor de TiO_2 . Os pontos de amostragem do circuito são:

- a) *run of mine* das lavras 1 e 2 (determinação dos minerais pesados);
- b) minérios das lavras 1 e 2 juntos (determinação de TiO_2 e minerais pesados);
- c) fração pesada das espirais concentradoras – (determinação de minerais pesados);
- d) fração magnética (determinação de TiO_2 e minerais pesados);
- e) rejeito final (determinação de TiO_2 e minerais pesados);
- f) alimentação da separação eletrostática (determinação TiO_2);

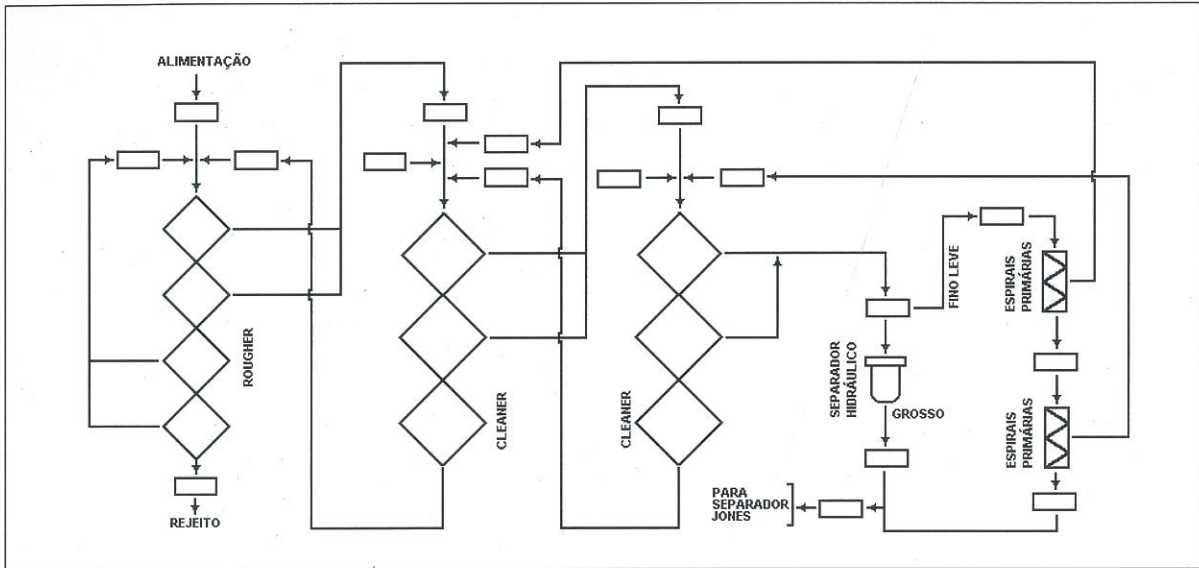


Figura 2: Fluxograma de beneficiamento de ilmenita via úmida

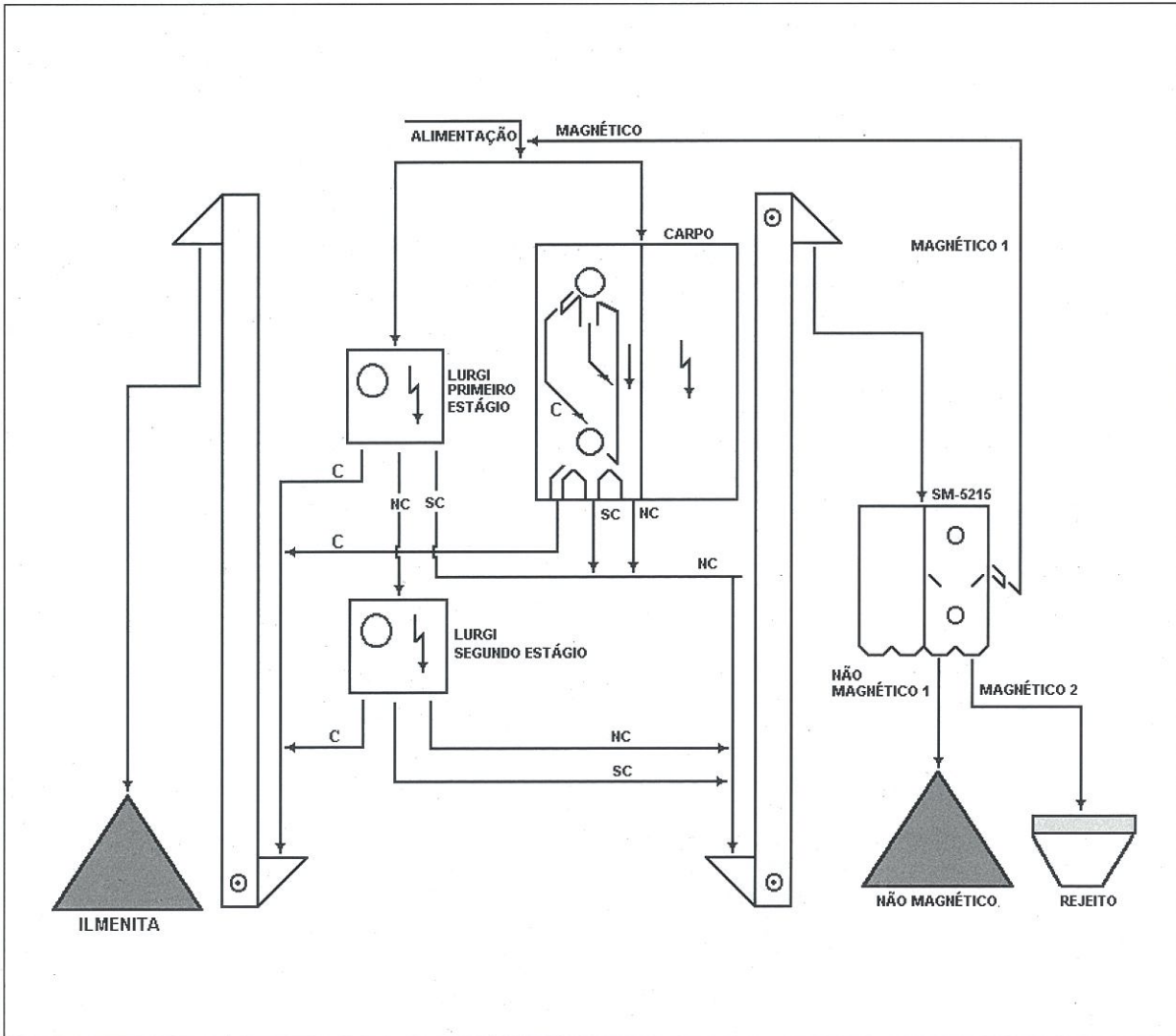


Figura 3: Fluxograma do beneficiamento da ilmenita via seca

- g) fração condutora (determinação de TiO_2);
- h) fração não condutora (determinação de TiO_2);
- i) fração não magnética (determinação de TiO_2 e minerais pesados).

Finalmente, em cada ponto do circuito coletam-se incrementos de hora em hora para compor uma amostra global do dia. Para essas amostras, procedem-se às análises químicas de óxido de titânio ou determinação da porcentagem de minerais pesados.

A MILLENNIUM possui também separadores magnéticos e eletrostáticos de bancada, que são usados eventualmente para controle do processo.

Produtos da usina

Os principais produtos da MILLENNIUM são ilmenita, zirconita, rutilo e, futuramente, cianita. A ilmenita é matéria-prima para produção de pigmento branco de TiO_2 , mediante o processo sulfato, para aplicação final nas indústrias de tintas, papel, plásticos, borracha, cosméticos etc. A zirconita é matéria-prima usada nas indústrias de cerâmica, refratários e fundição de elevada precisão. A Tabela 2 apresenta as especificações químicas dos produtos obtidos no processo.

Toda a produção de concentrado de ilmenita da MILLENNIUM (100.000 t/ano) apresenta um teor de óxido de titânio maior ou igual a 53% e é transportada, por caminhões, para a fábrica de pigmento, em Camaçari-BA.

O processo de beneficiamento da MILLENNIUM é totalmente físico e por isso não impacta o meio ambiente. A água utilizada no processo, após a etapa de sedimentação em barragens, retorna ao Rio Guaju, sem qualquer prejuízo ecológico. Parte dessa água é utilizada para irrigação das áreas em reflorestamento.

Os rejeitos da separação gravítica da usina retornam à cava da mina, para recomposição das dunas, através do reflorestamento com o plantio de árvores nativas. O projeto foi desenvolvido pela Universidade Federal de Lavras – MG.

O material proveniente do decapeamento da mina, contendo matéria orgânica, nutrientes, sementes e microorganismos, é transportado e espalhado sobre as dunas do rejeito do beneficiamento. Na etapa seguinte, são erguidos quebra-ventos (Figura 4), para, então, realizar



Figura 4: Quebra-ventos: auxiliam o reflorestamento da duna de rejeito da MILLENNIUM.

o plantio de mudas de espécies nativas, as quais são capinadas e adubadas até adquirirem a condição de auto-sustentabilidade.

O programa foi considerado como modelo, tendo recebido prêmios como o Lauro Pires Xavier 99, conferido pela Superintendência de Administração do Meio Ambiente da Paraíba – SUDEMA.

Tabela 2 – Especificações dos concentrados de ilmenita e rutilo obtidos no processo.

Especificações dos concentrados de ilmenita e Rutilo - 01			
Ilmenita		Rutilo - 01	
Compostos	Teor (%)	Compostos	Teor (%)
TiO ₂	54,50	TiO ₂	94,50
FeO	11,00	Ferro Total (Fe ₂ O ₃)	0,85
Fe ₂ O ₃	26,00	Al ₂ O ₃	0,70
P ₂ O ₅	0,10	ZrO ₂	1,50
SiO ₂	1,50	P ₂ O ₅	0,05
MnO	1,50	SiO ₂	1,00
Cr ₂ O ₃	0,08	MnO	<0,05
V ₂ O ₅	0,09	CaO	<0,10
ZrO ₂	0,40	MgO	<0,50
Nb ₂ O ₅	0,16	Nb ₂ O ₅	<0,60
Al ₂ O ₃	1,80	-	-

Especificações dos concentrados de Zirconita-E e Cianita			
Zirconita E	Cianita*	Compostos	Teor (%)
Compostos	Teor (%)		
ZrO ₂ (inclusive HfO ₂)	66,00	Al ₂ O ₃	58,00
Fe ₂ O ₃	0,11	SiO ₂	37,50
TiO ₂	0,06	TiO ₂	0,30
SiO ₂ (Total)	32,00	Fe ₂ O ₃	0,30
Al ₂ O ₃	0,80	ZrO ₂	2,50
Sílica livre	0,05	P ₂ O ₅	0,05
P ₂ O ₅	0,10	CaO	0,10
Nb ₂ O ₅	<0,10	MgO	0,50
MnO	<0,05	MnO	0,01
CaO	<0,10	K ₂ O	<0,01
MgO	<0,50	Na ₂ O	<0,01
-	-	Cr ₂ O ₃	0,02
		Sílica livre	0,30

* Em fase de teste no mercado.

Usina de beneficiamento de zirconita

O produto não-magnético proveniente do beneficiamento da ilmenita passa por duas etapas de concentração, a primeira, através de mesas vibratórias, resultando em diferentes tipos de pré-concentrados, e, numa segunda etapa, após secados, são submetidos às separações, magnética e eletrostática, para obtenção da zirconita, rutilo e cianita.

Principais dados operacionais dos circuitos

Separação eletrostática

Granulometria da alimentação: - 350 à + 75 mm.

Umidade na alimentação, 2,0%.

Temperatura da alimentação: 110°C.

Potencial do eletrodo: (cc – corrente contínua): 24 kV.

Potencial do limpador: (ca – corrente alternada): 5 kV.

Diâmetro do tambor: 254 mm.

Velocidade do tambor: 220 rpm.

Separação magnética

Granulometria da alimentação: - 355 + 75 mm.

Intensidade do campo magnético 10.000 G.

Velocidade do Tambor: 200 rpm.



gesso

MINERAÇÃO SÃO JORGE

MINERAÇÃO SÃO JORGE

Adão Benvindo da Luz¹
Carlos Adolpho Magalhães Baltar²
Erick José Gomes de Freitas³
Ana Paula da Silva³

■ A MINERAÇÃO SÃO JORGE S/A está localizada na Fazenda São Jorge, município de Ouricuri, PE, distante 650 km de Recife. É a maior produtora de gipsita bruta no Brasil e faz parte do chamado Pólo Gesseiro do Araripe, Sertão de Pernambuco, região responsável por 95% da produção de gesso do País.

De acordo com dados publicados pelo Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM, o Pólo Gesseiro do Araripe é formado por 45 minas de gipsita em atividade e 62 unidades industriais de calcinação. Considerando-se mais 7 unidades em implantação, atinge-se uma capacidade instalada de 75.000 t/mês. Da gipsita produzida em 1999, 48% destinou-se à indústria cimenteira e 52% ao segmento de calcinação. Desse, 61% vão para a construção civil (principalmente placas), 35% para revestimento, 3% para moldes cerâmicos e 1% para outros usos. A gipsita moída, denominada de gesso agrícola, tem sido usada como corretivo de solo, no entanto as informações estatísticas sobre esse segmento são precárias.

A gipsita é um mineral com reservas abundantes na região do Araripe, envolvendo os municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade. A produção atual do Pólo Gesseiro de Pernambuco é de 1,8 milhão de t/ano, sendo que cerca de 1,3 milhão destinam-se à fabricação de gesso e cerca de 500.000 t são usadas na fabricação de cimento. As jazidas de gipsita do Araripe são consideradas as de melhor qualidade no mundo. O Pólo Gesseiro proporciona cerca de 12.000 empregos diretos e é responsável, segundo estimativas, por 60.000 empregos indiretos.

Os depósitos de gipsita são formados a partir de sedimentos de salmoura provenientes de antigos oceanos. As condições geológicas transformaram esses sedimentos em gipsita de diferentes tipos. Os tipos mais comuns encontrados na natureza são o anidro e o di-hidratado.

A MINERAÇÃO SÃO JORGE possui uma reserva medida de 2 milhões de t de minério, além de uma reserva indicada mais inferida estimada em 25 milhões de toneladas. O minério é constituído, basicamente, por gipsita, esmectita e outras argilas e apresenta uma densidade in situ de 2,3 t/m³. A produção atual na mina é de 22.000 t/mês. Desse total, cerca de 72% seguem para calcinação e o restante é comercializado para fabricação de cimento. A empresa

¹ Pesquisador, CETEM

² Professor da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

³ Engenheiro, MINERAÇÃO SÃO JORGE

possui uma unidade de beneficiamento situada no município de Ipubi, PE, a 1,2 km da mina, onde são produzidos gesso ortopédico e gesso dental.

O uso da gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é justificado principalmente pela propriedade do sulfato de cálcio de rapidamente perder ou recuperar a água de cristalização. Com a aplicação de quantidades moderadas de calor, no processo conhecido como calcinação, a gipsita é convertida para sulfato hemidratado de cálcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$). Este, quando misturado com a água, retorna à forma estável diidratada e adquire consistência mecânica.

Dependendo das condições de calcinação, podem ser obtidos dois tipos de gesso: 'alfa' (gesso-pedra) e 'beta' (pasta de Paris). O gesso beta tem maior quantidade de energia contida e maior solubilidade. A distinção entre esses dois tipos de gesso (tamanho e forma dos cristais, principalmente), requer a utilização de métodos específicos de caracterização tecnológica. A forma alfa é menos reativa do que a beta e apresenta menor resistência. Isto é uma desvantagem para muitos usos, por exemplo, como estuque; no entanto a re-hidratação do gesso alfa torna a massa mais densa e resistente. No processo de calcinação, a gipsita começa a perder a água de cristalização quando atinge uma temperatura entre 43 e 49°C. Durante parte do ciclo de calcinação, a taxa de aquecimento do forno (tipo panela – kettle) é controlada para manter a temperatura em 104°C. Quando o ciclo de enchimento se completa, a taxa de aquecimento aumenta e, para diferentes taxas, têm-se propriedades diferentes do produto (estuque) final. Quando a temperatura da massa se eleva, a água de cristalização é liberada na forma de vapor, e, na temperatura de 116 a 121°C, a massa ferve vigorosamente. Ao cessar a ebulição, o conteúdo no forno (kettle) é reduzido em 15 a 20% do volume original. Este período silencioso indica que a maioria das partículas de gesso está passando de diidratado para hemiidratado. O aquecimento prossegue para secar a massa, até que a temperatura atinja entre 149 e 166°C. Neste ponto, descarrega-se o sistema num poço quente e o ciclo se completa.

O produto dessa operação é chamado de primeiro estuque e contém de 5 a 6% de água combinada, contra os 20,9% contidos na gipsita pura, ou seja, 75% da água combinada foi removida. Como esta reação ocorre à pressão atmosférica, num ambiente menos saturado, a maioria do gesso hemiidratado está na forma beta, embora quantidades variáveis de hemiidratado alfa possam estar presentes, dependendo do desenho do forno (kettle), da forma de remoção do vapor e da temperatura usada.

Elevando-se a temperatura até 177°C, obtém-se um outro produto denominado segundo estuque. Nesse ponto, o gesso entra novamente em ebulição, liberando vapores. Essa segunda etapa do processo de calcinação tem menor duração e é menos intensa do que a primeira, porque neste caso há menor quantidade de água de cristalização a ser removida. À temperatura de 204°C, o material é descarregado e neste ponto, quase toda a água de cristalização foi removida e o produto obtido nessas condições é usualmente referenciado como anidrita solúvel. Difere do primeiro estuque por ser menos plástico, mas por outro lado, após re-hidratação o produto torna-se mais denso e mais resistente. Esse produto tem uma afinidade elevada por umidade e é usado, principalmente, por suas propriedades dessecantes.

Existe uma variedade muito grande de processos de calcinação, tais como calcinação em autoclave, forno rotativo, transportador com ar quente, calcinação rápida (flash calcination). O calcinador em forno rotativo é ainda utilizado em vários lugares do mundo, e também predomina, ao que parece, no pólo gesseiro do Araripe. Nos Estados Unidos da América, o calcinador em forno rotativo tem sido quase que totalmente substituído pelos calcinadores tipo panela (kettle) ou tipo flash.

Geologia

A jazida está inserida em domínios da Formação Santana, do Cretáceo Inferior, formada por siltitos, margas, calcários, folhelhos e intercalações de gipsita. Observa-se a seguinte seqüência litológica da base para o topo:

- a) horizonte de perlitos de cor cinza-escura, correspondendo a um siltito argiloso que ocorre na base do minério;
- b) horizonte gipsífero, constituído de bancos de gipsita intercalados por um argilito síltico laminado, com a espessura do minério variando entre 27 e 31 m;
- c) cobertura estéril de até 3 m, constituída por níveis alternados de margas esverdeadas e siltitos argilosos avermelhados;
- d) cobertura estéril de depósitos correlativos, onde predominam areias argilosas avermelhadas;
- e) cobertura estéril de solos, formada por material areno-argiloso de características variáveis, com espessura do solo que varia de poucos decímetros a 1 m.

Lavra

A empresa utiliza o método de lavra a céu aberto (Figura 1) com desenvolvimento de bancadas de 19 a 20 m de altura e talude com inclinação de 15°. O trabalho é mecanizado e a recuperação é de 90%. A relação estéril/minério é de 1:2. A espessura média do capeamento é de 13 m.

As atividades na lavra envolvem cinco operações fundamentais: decapeamento, perfuração, carregamento de explosivos, desmonte, fragmentação de blocos e carregamento/transporte.

No decapeamento, o material argiloso é retirado por meio de uma escavadeira hidráulica CAT 320BL, com capacidade da concha de 1,5 m³, e transportado por dois caminhões RANDON 425, com capacidade de 25 t, para o bota-fora situado a uma distância de 600 m.

Na etapa de perfuração usa-se uma perfuratriz sobre esteira da DENVER, modelo AT-50, composta por um martelo da INGERSOLL VL-120 com hastes de 3 m de comprimento, (ϕ 40 mm) e *bit* de botões de 75 mm. Em bancadas de 20 m de altura, gasta-se em média 50 min por furo. A produção média da perfuratriz é de 23,5 m/h. Para a movimentação da perfuratriz utiliza-se um compressor estacionário da DENVER de 630 pcm modelo ESN150.

O desmonte é feito por explosivo. O carregamento de explosivos segue um plano de fogo que determina um afastamento de 2,2 m e um espaçamento de 5 m. As cargas de coluna e de fundo, por furo, são de 78 kg e de 5,0 kg, respectivamente. Por se tratar do desmonte de um minério de baixa dureza e tenacidade reduzida, são utilizados explosivos tais como: BELMEX THOR, ANBEL, NITREX, NITRON, HERVAL POWER e acessórios como: *booster* Np-100, cordel Np-05, espoleta de 80 cm ou de 1 m; brinel de 21 m e retardos de 20 milisegundos.

Os blocos grandes, resultantes do plano de fogo, são espalhados no pátio por carregadeiras frontais da MICHIGAN, modelo L-90, e CATERPILLAR, modelo 938F, com conchas de 1,9 m³ e 2,5 m³, respectivamente. Posteriormente, o material sofre nova fragmentação com a ajuda de uma CASE 988 com rompedor hidráulico (Figura 1B), 1.200 e uma KOMATSU PC-150 com rompedor hidráulico MTB-900.

Após a fragmentação, utilizam-se carregadeiras frontais para colocar o minério em caminhões basculantes, MB-1513, com capacidade para 6 m³, e MB-519, com capacidade de 8 m³, que transportam o minério até a unidade de britagem ou para a unidade de beneficiamento.

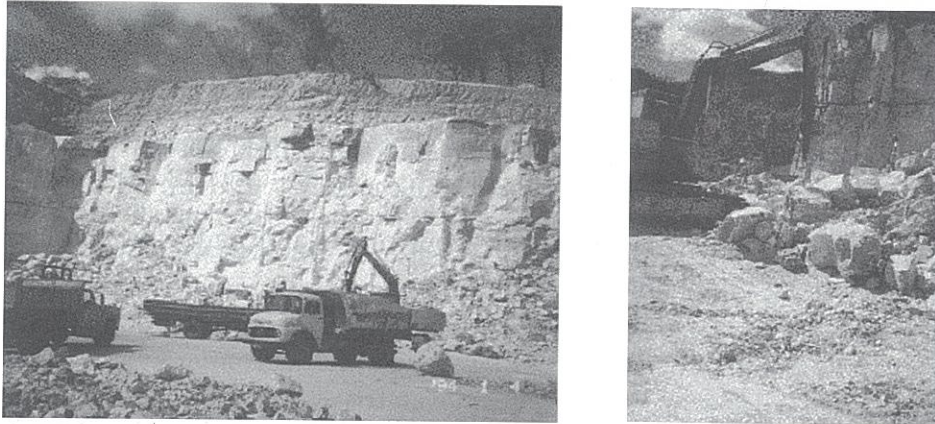


Figura 1: (A) Frente de lavra da MINERAÇÃO SÃO JORGE. (B) Fragmentação na frente de lavra com rompedor hidráulico.

Beneficiamento

A unidade de beneficiamento é alimentada por 7,5 t diárias de blocos de minério com granulometria entre 100 e 600 mm. O processo para produção de gesso alfa consta, basicamente, de três operações: calcinação, moagem e ativação.

Inicialmente, o material é colocado no pátio externo (Figura 2A) da unidade industrial, onde passa por um processo de catação manual. Essa operação descarta cerca de 1/3 do minério com um certo grau de impureza, para uso na fabricação de cimento. O minério restante, mais puro, é reduzido manualmente, por marramento manual, a uma granulometria entre 7,5 e 20 cm. A seguir, o minério é colocado no silo I, com capacidade para 6 t, de onde alimenta vagonetes. Nos vagonetes, o minério passa por uma lavagem e segue sobre trilhos para a etapa de calcinação (Figura 1B).

A calcinação é feita em uma autoclave (Figura 3), fabricada pela Indústria Mecânica Comodoro, com volume de 11 m³ e capacidade para 5 t de minério. Com uma perda de 14% em peso, o material calcinado segue em vagonetes para o silo II. Este alimenta um transportador de cinta metálica que conduz o material para a moagem primária num moinho de martelos.

A fração grossa produzida na moagem, com granulometria 86% abaixo de 74 µm, passa por um elevador de canecas (fabricado pela SM TANQUES) e, em seguida, pelo transportador helicoidal I, até alimentar um moinho de *cilpebs*, de 50 HP, fabricado pela ELEKON, com capacidade para 4 t/h. Os *cilpebs* e o revestimento do moinho são de cerâmica NGK. O produto da moagem secundária, com granulometria 95% abaixo de 74 mm, junta-se às partículas finas produzidas na moagem primária que são recolhidas por um exaustor, com capacidade para 30,6 m³/min. A fração fina representa cerca de 2% em peso do material de alimentação da moagem primária e tem uma granulometria com mais de 99% abaixo de 74 µm.

Os produtos são levados pelo transportador helicoidal II para a etapa de ativação. Essa operação é feita num misturador, de fabricação local, com volume de 2,3 m³, onde os produtos

químicos são adicionados ao gesso moído. Em seguida, o material ativado é transportado por elevador de canecas para o silo III, com volume de 4 m³, de onde alimenta um moinho de martelo Baumert. O produto moído é transportado por elevador de canecas para um silo IV, com volume de 4 m³, que alimenta a ensacadeira. O produto final tem uma granulometria com mais de 99% passante em 74 µm.

Na etapa de ativação, o material calcinado tem um tempo de residência no misturador de 40 min. Nessa operação é feita a adição de produtos químicos, responsáveis pelo aumento do tempo de “pega” do produto final.

Dados operacionais

A unidade de beneficiamento opera em três turnos de 8 h para produzir, mensalmente, 220 t de gesso alfa, sendo 170 t de gesso ortopédico e 50 t de gesso dental. O consumo energético é de 63 kWh/t.

A calcinação ocorre à temperatura de 175°C e pressão de 4,7 kgf/cm². O tempo total de residência na autoclave é de 12 h; sendo 8 h para a calcinação e 4 h para a secagem do produto calcinado. O equipamento usa diesel como combustível e funciona intermitentemente, produzindo o equivalente a 358 t/h de material calcinado.

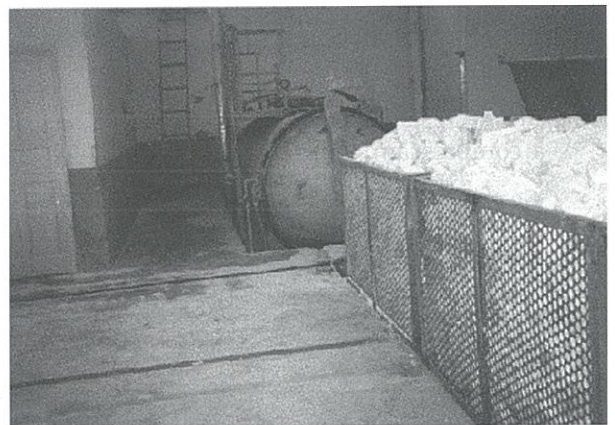


Figura 2: (A) Pátio de catção manual da gipsita na unidade industrial da MINERAÇÃO SÃO JORGE. (B) Sistema de alimentação da autoclave por vagonetas.

O moinho de martelos primário possui seis eixos, com seis martelos cada, que são trocados a cada oito meses. O moinho secundário opera com 20% de enchimento, em circuito aberto, e tem descarga por *overflow*. O P₈₀ da alimentação é de 53 µm, enquanto o do produto é de 43 µm.

A amostragem para controle do processo é feita em três pontos do circuito: descarga do moinho secundário, descarga do misturador e descarga do silo de ensacamento. O controle de qualidade é feito de acordo com o tipo de produto. São feitas determinações de distribuição granulométrica (a úmido), umidade (em estufa a 45°C), teor de água de cristalização (em mufla a 300°C), consistência, módulo de resistência à compressão e flexão, além de tempo de secagem (pega) inicial e final do gesso.

As especificações de mercado exigem que o gesso ‘beta’, utilizado principalmente na construção civil, tenha 95% de gipsita; o gesso ‘alfa’ (ortopédico ou dental) tenha no mínimo 98% de gipsita; enquanto a gipsita utilizada na fabricação de cimento tenha um mínimo de 40% SO₃.

Características tecnológicas dos produtos

As características tecnológicas e preços dos produtos obtidos na unidade de beneficiamento da MINERAÇÃO SÃO JORGE são apresentadas na Tabela 1. Os ensaios de caracterização tecnológica dos produtos são realizados no laboratório da própria empresa.

Tabela 1 – Características tecnológicas e preços (Fábrica) dos diferentes tipos de gesso e gipsita produzidos pela MINERAÇÃO SÃO JORGE

Características tecnológicas		
Características	Gesso Ortopédico	Gesso Dental
Alvura	88%	88%
Granulometria	100% < 100#; 98% < 150#; 96% < 200 #	100% < 100#; 98% < 150#; 96% < 200 #
Tempo de “pega” final	3 a 5 minutos	Inicial, ≥10 minutos; Final, ≤18 minutos
Água de cristalização	5,5 a 7,0%	5,5 a 7,0%
Teor de umidade	≤ 1% (45°C)	≤ 1% (45°C)
Módulo de resistência à flexão	≥ 100 kgf/cm ²	
Módulo de resistência à compressão	–	≥ 220 kgf/cm ²
Consistência	42 - 47%	35 - 40%
CaSO ₄	-	≥ 88%
Di-hidrato	-	≤ 5%
Preços dos diferentes tipos de gesso e gipsita		
Produto	Tipo	Preço, US\$/t ^(*)
Ortopédico	A	140
Ortopédico	B	110
Dental Tipo 3		182
Gipsita	Fábrica Cimento	4

1 US\$ = R\$ 1,80 (Junho/2000)

(*) Preço médio no ano de 1999 (Sumário Mineral 2000-DNPM).

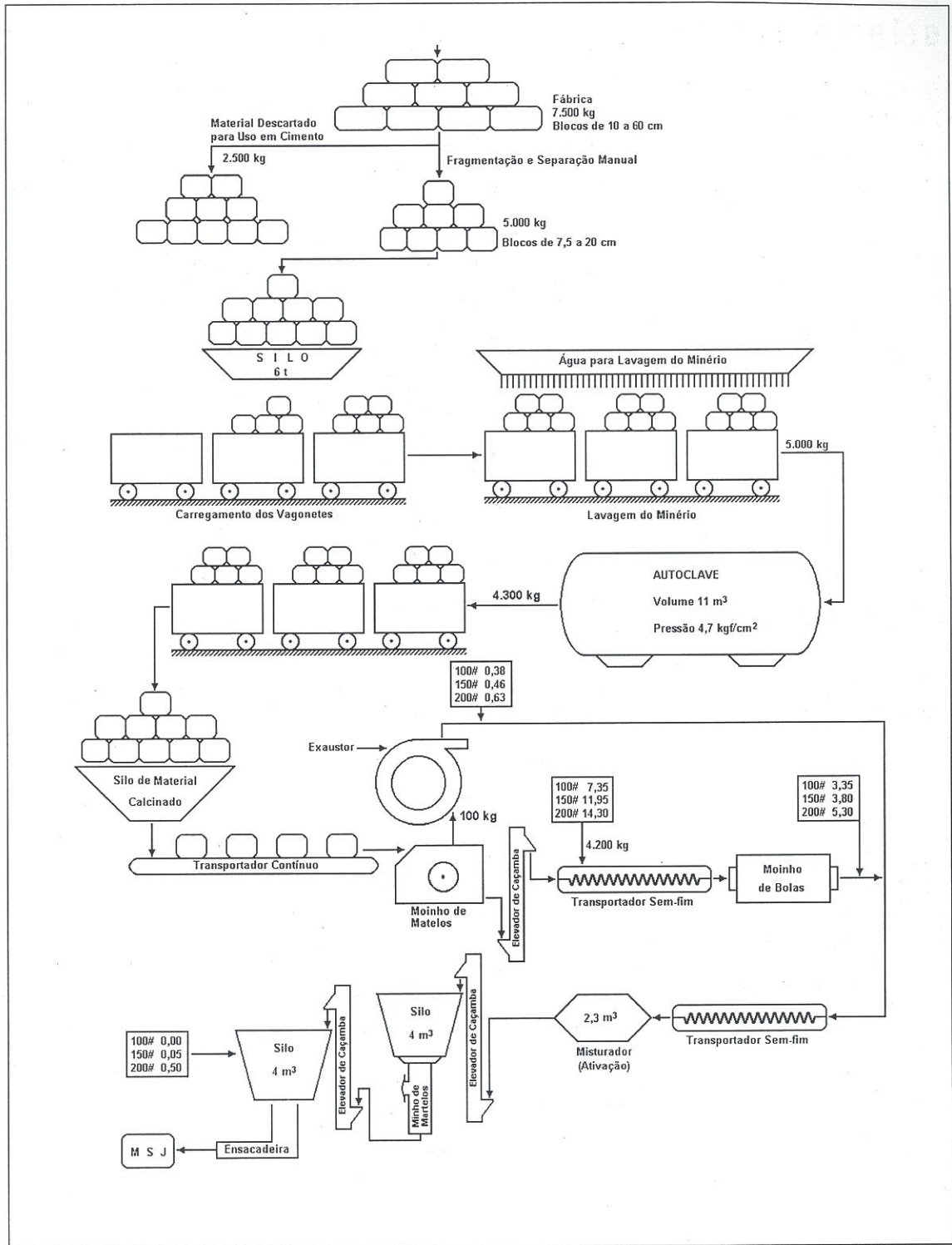
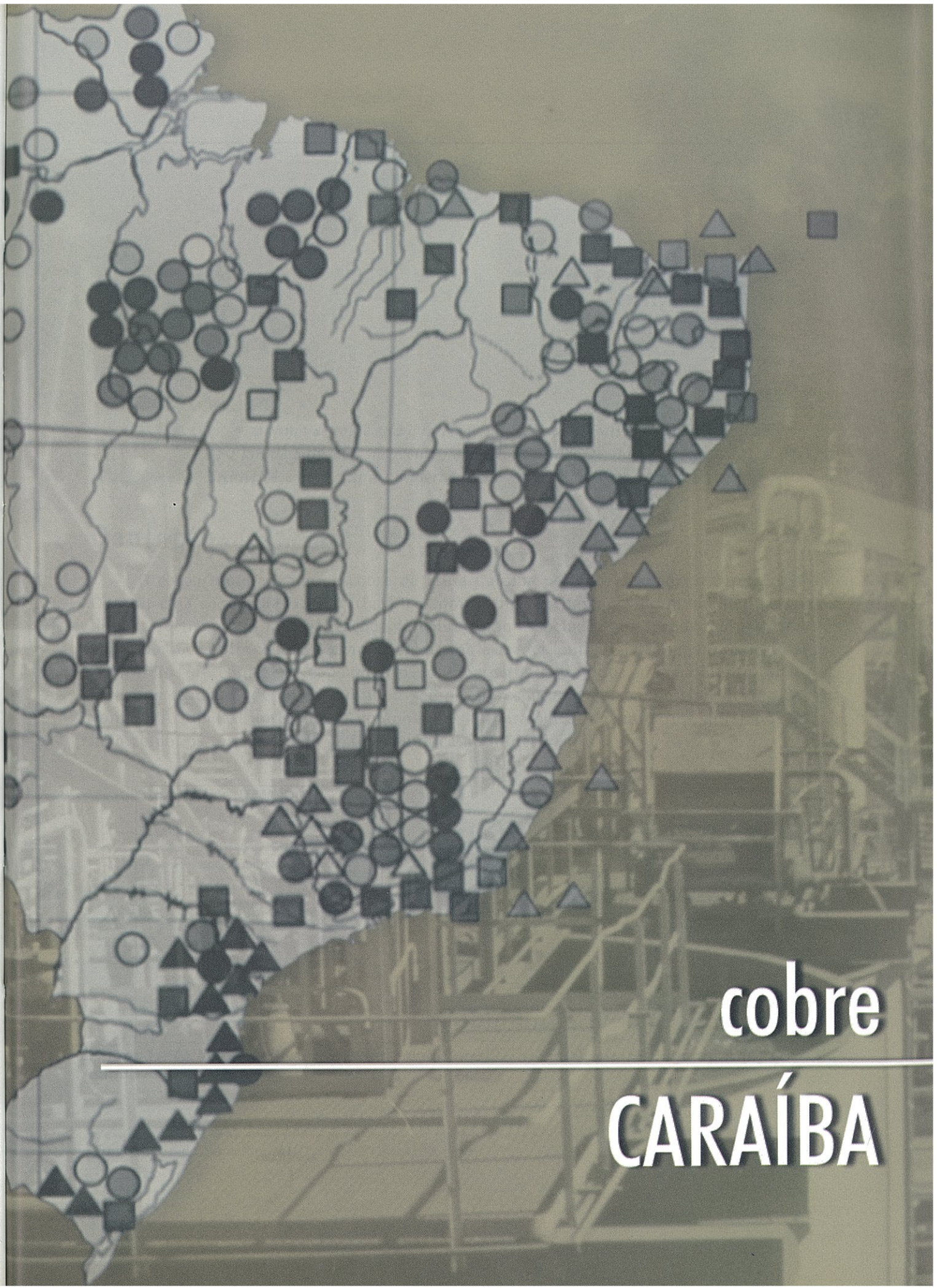


Figura 3: Fluxograma de beneficiamento de gesso da MINERAÇÃO SÃO JORGE.



cobre

CARAÍBA

cobre

CARAÍBA

João Alves Sampaio¹
Eduardo Augusto de Carvalho¹
Darlylson Geraldo Andrade²

■ A mina de cobre está localizada na Fazenda Caraíba, Município de Jaguarari, distante 450 km de Salvador, na região nordeste do Estado da Bahia (Figura 1A), a MINERAÇÃO CARAÍBA é hoje a única exploradora de minério de cobre no Brasil.

Geologia

O corpo mineralizado de cobre da mina Caraíba pertence ao distrito cuprífero do Vale do Curaçá, cuja seqüência litoestratigráfica compreende rochas que foram submetidas a alto grau de metaforfismo. As mineralizações de cobre estão associadas aos corpos máficos, classificados como noríticos-piroxeníticos e anfibólicos, sob a forma lenticular alongada, onde se encontram os sulfetos de cobre. No capeamento dos depósitos sulfetados, normalmente, encontram-se minerais oxidados de cobre que nem sempre apresentam valor comercial, devido ao pequeno volume. A Tabela 1 apresenta as composições mineralógicas dos minérios sulfetados e oxidados, bem como, os resultados de análise química do minério sulfetado.



Figura 1: (A) Mapa de localização da mina Caraíba, no município de Jaguarari. (B) Cava da mina.

¹ Pesquisador, CETEM

² Engenheiro de Processo, MINERAÇÃO CARAÍBA

Tabela 1 – Composições mineralógicas dos minérios sulfetado e oxidado, da lavra a céu aberto, da mina Caraíba e os resultados de análises químicas do minério sulfetado.

Composições mineralógicas dos minérios sulfetado e oxidado, da lavra a céu aberto.

Mineral	Min.Sulfetado (Peso %)	Min. Oxidado (Peso %)
Hiperistênio	90,0	56,0
Plagioclásio	5,0	-
Magnetita	2,0	-
Calcopirita + Bornita	2,0	-
Quartzo	-	28,0
Biotita Cloritizada	-	3,5
Feldspatos	-	5,5
Malaquita	-	1,3
Opacos (calcopirita + óx. de ferro)	-	1,0
Outros	1,0	4,7

Análise química do minério sulfetado

Elementos	Min. Sulfetado (Peso %)	Elementos Compostos	Min. Sulfetado (Peso %)
Cu total	2,0 – 4,0	SiO ₂	47,5
Fe	10,5	MgO	9,5
Ni	0,02	CaO	6,5
S	1,6	Al ₂ O ₃	5,0

Lavra da mina Caraíba

No período de 1978 a 1996, a lavra da jazida foi feita, unicamente, pelo método de lavra a céu aberto (Figura 1B), utilizando bancadas de 15 m de altura até a profundidade de 300 m. Caminhões fora-de-estrada transportavam o minério desmontado com explosivos até a britagem primária. Paralelamente à lavra a céu aberto, iniciou-se a subterrânea em outubro 1996, utilizando o método realce aberto (*sublevel stopping*), a partir da profundidade de 350 m. Na etapa seguinte, iniciada em setembro de 1998, passou-se a utilizar o método modificado VCR (*vertical crater retreated*), que utiliza o processo de avanços invertidos comparado ao método anterior. O método VCR permite lavar o minério com maior recuperação, segurança e menor custo, tendo em vista o seu desenvolvimento em apenas dois níveis, um para perfuração e outro para produção. Adicionalmente, é possível obter um produto lavado mais homogêneo, facilitando a operação da usina de concentração, sem a necessidade de pilha de homogeneização.

Ao longo do desmonte, o minério lavado é parcialmente utilizado como enchimento na mina para contenção de parede. Esse material permanece estocado, sendo removido no final da lavra.

Carregadeiras LHD (*low head dumpers*) transportam o minério lavrado até o britador primário de mandíbulas, instalado a 570 m de profundidade. O produto da britagem (abaixo de 15 cm) segue por transportador de correia até o *skip*, numa extensão de 800 m. O minério é conduzido à superfície sendo descarregado numa pilha intermediária que alimenta a rebitagem. No poço principal, além do *skip* e da gaiola para transporte do pessoal, há também dois outros poços, destinados à ventilação das galerias. Para o transporte de equipamentos pesados e saída de emergência existe uma rampa de 3 km, com 20% de inclinação.

Ao método VCR foi introduzida a tecnologia de preenchimento com um produto pastoso (*paste fill*), composto de cimento (3%), água (17%) e rejeito da concentração (80%). Tal procedimento permite uma redução de massa de 80% na deposição do rejeito da usina na barragem de rejeitos, atenuando substancialmente o impacto ambiental.

Estima-se até uma produção diária de minério de 4.000 t, com teor médio de 2,55% de cobre, até o ano de 2007, quando serão conhecidos os resultados dos novos estudos de sondagem e prospecção da jazida, o que poderá permitir a continuidade da lavra em níveis inferiores.

Rebitagem

O minério proveniente da pilha intermediária é peneirado em duas peneiras vibratórias, com abertura de 3,18 cm, operando em paralelo. A fração retida alimenta dois britadores cônicos. O produto da britagem junto ao passante (abaixo de 3,18 cm) nas peneiras é conduzido aos silos de estocagem e desses, por meio de alimentadores vibratórios, ao estágio de peneiramento secundário. Este é constituído por sete peneiras vibratórias em paralelo, com aberturas de 1,59 cm. O material retido é britado em circuito aberto com peneiras secundárias, em quatro britadores cônicos operando em paralelo. O passante em 1,59 cm ($95% < 1,2$ cm) é estocado num silo com capacidade de 4.500 t, que alimenta o circuito de moagem.

Moagem

A alimentação do moinho é levada a efeito por transportador de correia, a partir dos silos de estocagem. A operação de moagem é feita em moinho de bolas (Figura 2), operando com 71%

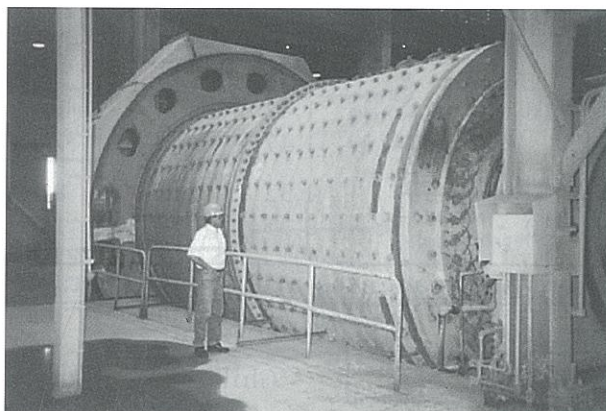


Figura 2: Moinho de bolas utilizado na moagem do minério de cobre da Mineração Caraíba

da sua velocidade crítica e carga de bolas de 38% do volume interno do moinho e 82% de sólidos na alimentação, o que permite obter um produto final com um P_{80} de 420 μm . O moinho trabalha em circuito fechado com dois hidrociclones KREBS, cuja fração fina, com 70% abaixo de 106 μm , constitui a alimentação do circuito de flotação. A fração grossa forma a carga circulante (300%) da moagem.

Flotação

A fração fina da ciclonagem alimenta o circuito de flotação, que é constituído das seguintes etapas: *rougher*, *scavenger do rougher*, *cleaner*, *recleaner* e *scavenger do cleaner*. O circuito é constituído de quarenta e duas células WEMCO, assim distribuídas: *rougher*, doze células de 14,15 m^3 ; *scavenger do rougher*; doze células de 14,15 m^3 ; *cleaner*, seis células de 8,5 m^3 ; *recleaner*, duas células de 8,5 m^3 ; *scavenger do cleaner*, dez células de 8,5 m^3 .

O concentrado *rougher* da flotação vai para a etapa *cleaner*, enquanto o rejeito segue à etapa *scavenger do rougher*. O concentrado *scavenger* retorna à alimentação do *rougher*, enquanto o rejeito *scavenger* é descartado como rejeito final do processo.

O concentrado da etapa *cleaner* alimenta as duas células *recleaner*, enquanto o rejeito é conduzido à etapa *scavenger do cleaner*, onde o concentrado retorna à alimentação da etapa *cleaner* e o rejeito à alimentação do primeiro estágio da etapa *rougher* (Figura 3). O concentrado final de cobre é obtido na etapa *recleaner*, enquanto o rejeito dessa retorna à etapa *cleaner*. A Tabela 2 apresenta as características dos produtos obtidos nas diferentes etapas da flotação com o consumo e origem dos reagentes utilizados na etapa de flotação.

Tabela 2 – Características dos produtos obtidos no processo de flotação da mina Caraíba, consumo e origem dos reagentes utilizados na etapa de flotação.

Características dos produtos obtidos no processo de flotação da mina Caraíba					
Etapa	Produtos	% de sólidos	Densidade de polpa	Cu (%)	% sólidos
Rougher	Alimentação	33-35	1,35	2,12-2,50	-
	Concentrado	28-30	1,36	7,00-10,00	94,06
	Rejeito	20-28	1,36	0,12-0,25	5,94
Cleaner	Concentrado	24-25	1,20	20-30	81,40
	Rejeito	46	1,48	4,66	18,60
Recleaner	Conc. Final	14-16	1,42	34-42	84,99
	Rejeito	45	1,47	7,50	15,01
Scavenger	Concentrado	32	1,32	8,10	41,82
	Rejeito	27-30	1,35	1,7-4,2	58,18

Consumo e origem dos reagentes utilizados na etapa de flotação.			
Função	Reagente	Origem	Consumo (g/t)
Coletor	SF 632	Chile	35
Coletor	AERO 4037	Chile	-
Espumante	MIBC	Brasil	35
Modulador de pH	Leite de cal	Brasil (Sergipe)	950

O pH da flotação é igual a 10,8, sendo modulado por meio da adição de uma suspensão de cal ao *underflow* dos hidrociclones. Utilizam-se como coletores o isopropil metileno tionofosfato de sódio (SF632) e o ditiofosfato de sódio (AERO 4037) e como espumante o metil isobutil carbinol (MIBC), conforme dados apresentados na Tabela 2. O coletor e espumante são adicionados ao *overflow* dos hidrociclones.

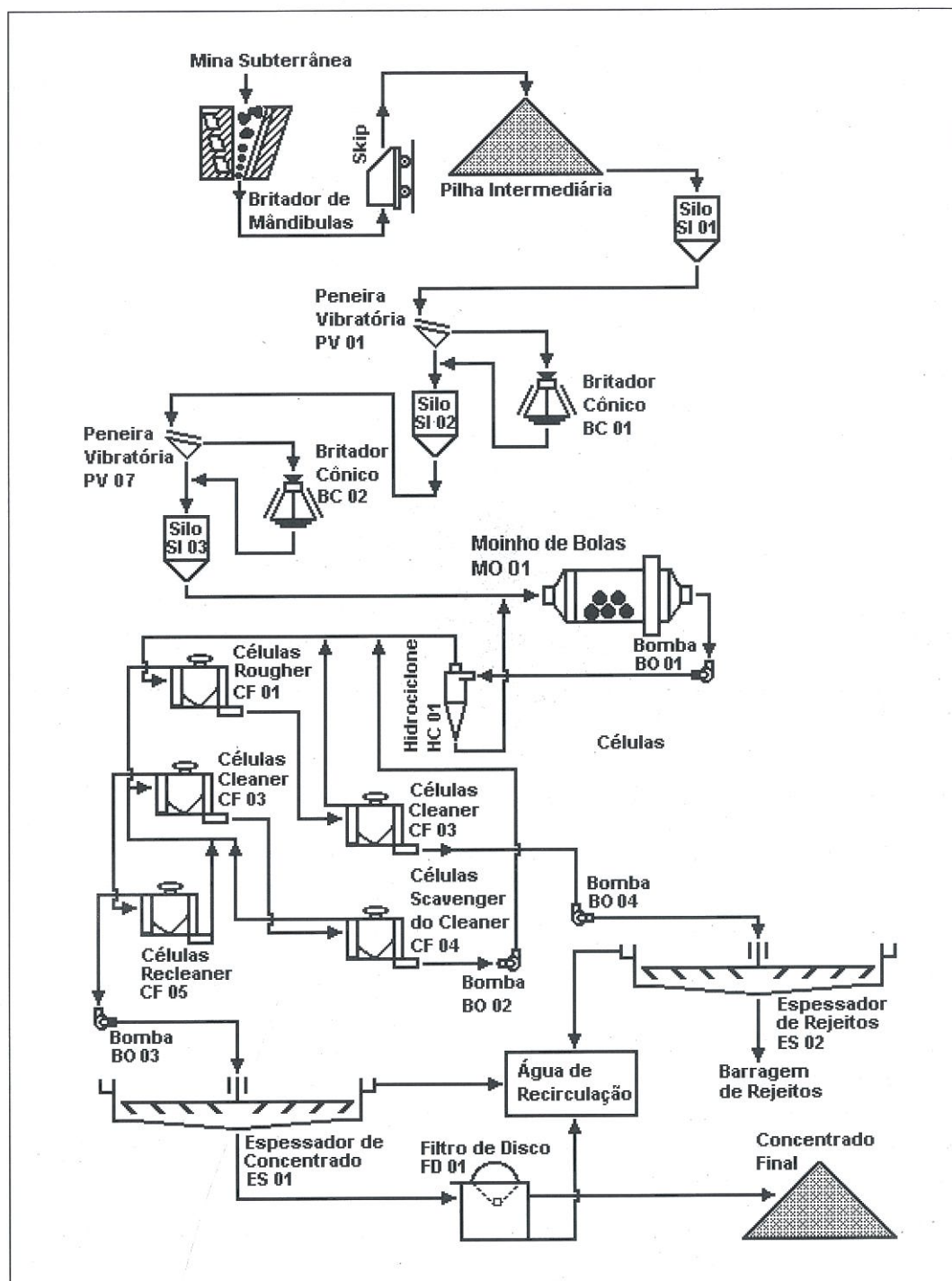


Figura 3: Fluxograma do circuito de beneficiamento do minério de cobre da mina Caraíba

Espessamento e filtragem

No espessamento do concentrado final da flotação utiliza-se um equipamento com sistema automático de levantamento do *rake*. O concentrado, com 15% de sólidos e vazão de 9,5 t/h, segue para o espessador. O *overflow* retorna à usina como água de recirculação, enquanto o *underflow*, contendo 65% de sólidos segue para um filtro de disco, gerando uma torta com 10% de umidade. A água removida durante a filtragem, também é reutilizada pela usina.

O rejeito final do circuito de flotação, contendo 25% de sólidos em peso, é bombeado para dois espessadores, sem sistema de levantamento automático de *rake*. A vazão de alimentação dos mesmos é de 190 t/h. Para acelerar a sedimentação dos sólidos, adiciona-se o floculante NALCO 7174 (15 g/t). O *overflow* constitui a água de recirculação e o *underflow*, com 65% de sólidos e 0,1-0,2% de Cu é bombeado para a barragem de rejeitos, distante cerca de 5 km da usina (Figura 4).



Figura 4: Barragem de rejeitos da usina de concentração da mina Caraíba

Dados operacionais

A capacidade nominal de processamento atual da usina da mina Caraíba é de 4.800 t/d de minério. Até 1997 essa capacidade era de 9.800 t/d, no entanto, devido ao término da lavra da mina a céu aberto, a capacidade foi reduzida à metade.

A usina apresenta recuperação de cobre da ordem de 92%, com concentrado de 34-37% de cobre e MgO mais SiO₂ (refratários ao processo metalúrgico) inferior a 17,5%. A Tabela 3 apresenta a composição química do concentrado e o balanço metalúrgico da usina.

A usina de beneficiamento utiliza 1.000 m³/dia de água, correspondendo 40% desse total à água de recirculação da usina, e o restante - 600 m³/dia - de água nova, captada no Rio São Francisco, a uma distância de 86 km da usina. O consumo de água nova na mina é de 3,0 m³/t de minério tratado.

A moagem é responsável por cerca de 30% do consumo mensal de energia da usina, que, no entanto, tem seu maior consumo (33%) associado às operações da mina subterrânea.

O controle da flotação é feito através de uma amostragem automática em seis pontos do circuito: alimentação da flotação, concentrado *cleaner*, concentrado *rougher*, rejeito *scavenger*,

concentrado *releaner* e rejeito final. As amostras coletadas automaticamente no circuito são analisadas em forma de polpa em um analisador contínuo por fluorescência de raios X, (Modelo XRA 1600 da DENVER AUTOMETRICS). Esse analisador permite conhecer de imediato os resultados das análises. Para tal, o sistema antigo demandava pelo menos 90 min, o que prejudicava o controle do processo. A Tabela 3 apresenta a composição química do concentrado e o balanço metalúrgico da usina.

O transporte do concentrado até a CARAÍBA METAIS no Distrito Industrial de Aratu, distante 500 km, é feito por transporte rodo-ferroviário, reduzindo os custos da ordem de 25%, comparado ao sistema antigo. A tendência é que, nos próximos anos, o escoamento de toda a produção seja feito por via férrea, a partir do Município de Serradinho, distrito de Barrinha, distante 49 km da usina.

Tabela 3 – Composição química do concentrado e balanço metalúrgico da usina de concentração da Mineração Caraíba

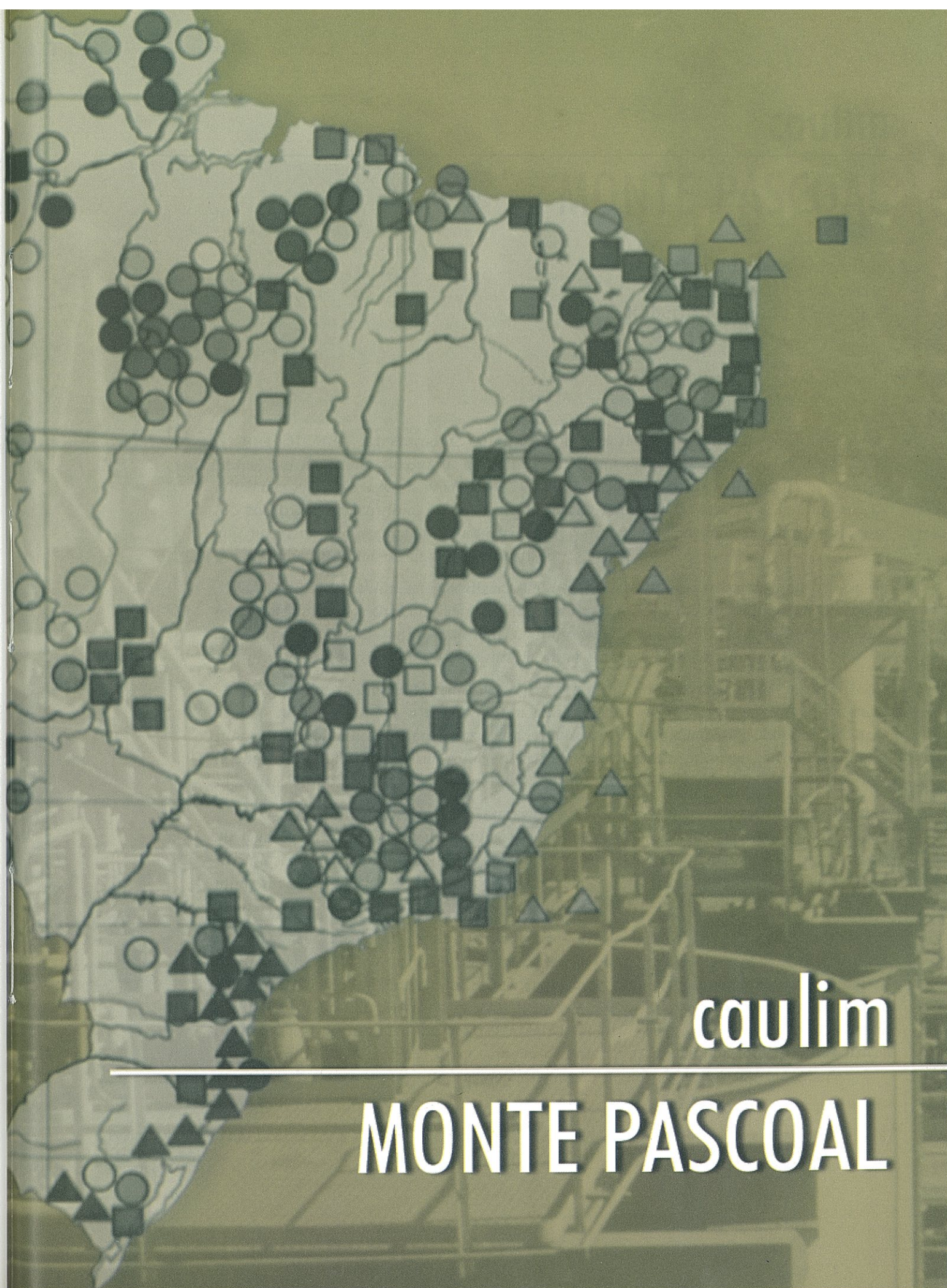
Composição química do concentrado				
Elementos/Compostos	Teor (%)	Elementos/Compostos	Teor (%)	
Cu total	37,53	MgO	5,00	
Fe total	15,90	SiO ₂	15,00	
S	19,80	CaO	1,11	
Ni	0,12	Al ₂ O ₃	2,58	
Balanço metalúrgico da usina de concentração da Mineração Caraíba				
Produtos	Produção (t/d)	Massa (%)	Teor de Cu (%)	Recuperação (%)
Alimentação	4800	100,00	2,0-2,5	100,0
Concentrado	228	4,75	34-37	90,0-95,0
Rejeito	4572	95,25	0,12-0,30	5,0-10,0

Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento de minério de cobre da Mineração CARAÍBA.

Código: PV 01	Equipamento: Peneira Vibratória
Fabricante: FMC; Quantidade: 2; Dimensão: 2,45 x 6,10 m;	
Abertura de tela: 3,18 cm; Motor: 40 HP;	
Código: BC 01	Equipamento: Britador Cônico
Fabricante: DEDINE KAWAZAI; Quantidade: 2; Dimensão: 5,7 m (padrão); Tamanho da aliment.: + 3,18 cm; Tamanho do produto: - 3,18 cm; Capacidade: 600 t/h; Motor: 350 HP;	
Disponibilidade média: 33%.	
Código: SI 01	Equipamento: Silo
Capacidade: 300 t	
Código: SI 02	Equipamento: Silo
Capacidade: 1.200 t	
Código: BC 02	Equipamento: Britador Cônico
Fabricante: SYMONS-NORDBERG; Quantidade: 4; Dimensão: 5,7m (cabeça curta); Tamanho da aliment.: + 1,59 cm; Tamanho do prod.: - 1,59 cm; Capacidade: 300 t/h; Motor: 350 HP. Disponib. média: 33%	
Código: SI 03	Equipamento: Silo
Capacidade útil: 4.500 t	
Código: HC 01	Equipamento: Hidrociclone
Fabricante: KREBS; Modelo: 26B-1085; Quantidade: 2; Pressão de alimentação: 68 kPa; Diâmetros: Vortex 2,54 cm / Comprimento: 66,04 cm; Apex: 15,24 cm Entrada: 2,54 cm; % de sólidos: <i>Overflow</i> 35% / <i>Underflow:</i> 85%; Efic. na classificação: 90-95%	
Código: CF 01	Equipamento: Célula de Flotação Rougher 1
Fabricante: WENCO; Tipo: Flotação convencional; Quantidade: 12; Capacidade unitária: 14,15 m ³ ; Motor: ARNO, 40 HP; Velocidade de agitação: 190 rpm;	
Código: CF 02	Equipamento: Célula de Flotação Rougher 2
Fabricante: WENCO; Tipo: Flotação convencional; Quantidade: 12; Capacidade unitária: 14,15m ³ ; Motor: ARNO, 40 HP; Veloc. de agitação: 190 rpm;	
Código: CF 03	Equipamento: Célula de Flotação Cleaner
Fabricante: WENCO; Tipo: Flotação convencional; Quantidade: 6; Capacidade: 8,5 m ³ ; Motor: ARNO, 40 HP; Veloc. de agitação: 220 rpm;	
Código: CF 04	Equipamento: Célula de Flotação Scavenger
Fabricante: WENCO; Tipo: Flotação convencional; Quantidade: 10; Capacidade: 8,5 m ³ ; Motor: ARNO, 40 HP; Veloc. de agitação: 220 rpm;	
Código: CF 05	Equipamento: Célula de Flotação Re-cleaner
Fabricante: WENCO; Tipo: Flotação convencional; Quantidade: 2; Capacidade: 8,5 m ³ ; Motor: ARNO, 40 HP; Veloc. de agitação: 220 rpm;	
Código: ES 01	Equipamento: Espessador do Concentrado
Fabricante: DORR-OLIVER; Modelo: A, com levantamento do tipo rake; Quantidade: 1; Dimensões: 24,40 m x 4,56 m; Capacidade: 460,8 t/dia; Área unitária: 1,01 m ² /t/24h.	
Código: ES 02	Equipamento: Espessador do Rejeito
Fabricante: DORR-OLIVER; Modelo: 122-S238, sem levantamento do tipo rake; Quantidade: 2; Dimensões: 90,00 m x 6,10 m; Capacidade: 4464,0 t/dia; Área unitária: 2,85 m ² /t/24h. <i>Overflow:</i> 350 m ³ /h. <i>Underflow:</i> 300 t/h de polpa com 62% de sólidos em média.	
Código: FD 01	Equipamento: Filtro a disco
Fabricante: ENVIROTECH; Modelo: 6 discos Dimensões: Diâmetro: 2,44m / Espessura : 2,54 cm; Vazão mássica média: 16 t/h; Área Unitária: 260,8 kg/m ² /h.	
Código: BO 01	Equipamento: Bomba
Fabricante: GALIGHIER; Tipo: Horizontal; Quantidade: 1; Pressão de recalque: 8,75 kg/cm ² ; Dimensão: Entrada :35,56 cm / Saída : 30,48 cm; Capacidade: 2.250 l/h;	
Ponto do circuito: Descarga do moinho (MO 01) para Hidrociclone (HC 01)	

Quadro 1- Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento de minério de cobre da Mineração CARAÍBA.

Código: BO 02	Equipamento: Bomba
<p>Fabricante: ENVIROTECH; Tipo: C-6-6; Quantidade: 1; Pressão de recalque: 8,75 kg/cm²; Dimensão: Entrada: 15,24 cm / Saída: 15,24 cm; Veloc. de rotação: 565 rpm; Ponto do circuito: Rejeito da célula de flotação <i>Scavenger</i> (CF 04) para Alimentação da célula de flotação <i>Rougher</i> (CF 01).</p>	
Código: BO 03	Equipamento: Bomba
<p>Fabricante: ENVIROTECH; Tipo: C-6-6; Quantidade: 1; Pressão de recalque: 8,75 kg/cm² Dimensão: Entrada :15,24 cm / Saída => 15,24 cm; Velocidade de rotação: 565 rpm; Ponto do circuito: Concentrado da célula de flotação <i>Recleaner</i> (CF 05) para Espessador de concentrado (ES 01)</p>	
Código: BO 04	Equipamento: Bomba
<p>Fabricante: ENVIROTECH; Tipo: D-11-6; Quantidade: 1; Pressão de recalque: 8,75 kg/cm²; Dimensão: Entrada: 27,94 cm / Saída :15,24 cm; Veloc. de rotação: 400 rpm; Ponto do circuito: Concentrado da célula de flotação <i>Recleaner</i> (CF 05) para Espessador de concentrado (ES 01)</p>	



caulim

MONTE PASCOAL

caulim

MONTE PASCOAL

Eduardo Augusto de Carvalho¹

Antônio Odilon da Silva²

Roberto Machado da Rocha³

■ A MCMP – Mineração de Caulim Monte Pascoal está localizada no município de Prado, sul do estado da Bahia, distante 780 km da cidade de Salvador, e iniciou suas atividades em 1993, com a produção de 9.600 t/ano. Os três principais produtos, coating 87, coating 90 e extrafino, são vendidos na forma pulverizada, com 10% de umidade. Os dois primeiros são destinados à indústria de revestimento de papéis, enquanto o último à produção de catalisadores de refino de petróleo.

A mina de caulim está localizada no distrito de Cumuruxatiba, distante 12 km da localidade de Vila de Guarani, e apresenta uma reserva medida de 6,2 milhões de toneladas de minério, da qual 2,5 milhões de toneladas apresentam um caulim de excelente qualidade. Em nível da produção atual, a vida útil da mina está estimada em 50 anos.

O caulim da Monte Pascoal é de origem primária, caracterizado como “mineralização do tipo calha”, formado a partir de um cisalhamento de rochas graníticas e gnássicas subjacentes, sob a ação de processos hidrotermais em profundidade, com posterior alteração intempérica e zoneamento com características de depósito sedimentar nas partes próximas à superfície. A ocorrência é semelhante à da Cornualha, na Inglaterra.

O corpo mineralizado, com espessura máxima de 40 m, apresenta um formato alongado, com maior desenvolvimento ao longo do eixo N-S e terminações em forma de funis irregulares; ocupa uma área de 44 ha, com profundidade não superior a 45 m. O corpo mineralizado está coberto por uma camada de solo argiloso, cuja espessura varia entre 0,5 a 25 m.

De acordo com as características físico-químicas, o caulim desta jazida pode ser classificado em diferentes tipos. Dentre esses, o caulim extrafino ocorre na camada mais superficial e tem como características a cor creme/acinzentada, quantidade elevada de quartzo e distribuição granulométrica com 92% abaixo de 2 mm. A espessura média da camada de caulim é de 3 m, limitada na base por uma camada sub-horizontal de quartzo. Os demais tipos de caulins estão abaixo dessa camada de quartzo e apresentam características físico-químicas bastante semelhantes, sendo classificados de acordo com a sua tonalidade.

¹ Pesquisador, CETEM

² Técnico, CETEM

³ Técnico, MCMP

Lavra e extração

O método de lavra empregado é a céu aberto, com bancadas múltiplas. Como a área da mina apresenta relevo variando de plano a suavemente ondulado (com altitudes em torno da cota 120 m), as cavas foram desenvolvidas em bancadas com altura máxima de 4 m e taludes do tipo subverticais. As bermas existentes não apresentam, em nenhuma de suas partes, largura inferior a 8 m. A relação estéril/minério é de 1:3.

Para facilitar a recuperação ambiental da área lavrada, optou-se pela lavra em seis frentes, das quais as de número 2, 4 e 6 serão transformadas em lagos e as outras serão utilizadas para o enchimento, após o término de suas atividades. As dimensões das frentes de lavras foram determinadas em função do volume de rejeito requerido para o preenchimento das chamadas "frentes de enchimento".

A primeira frente de lavra (frente de lavra de enchimento 1) possui formato triangular e área em torno de 10 ha. O avanço da frente de lavra é feito na direção norte, de modo a obedecer o formato do depósito. A segunda frente (frente de lavra do lago 2) teve início na extremidade sul e avança para o nordeste. Sua área é também estimada em 10 ha e possui volumes de minério e rejeito semelhantes ao da frente de lavra anterior.

O avanço das frentes de lavra deverá ser feito em função da facilidade de armazenamento do estéril e do seu posterior transporte para o enchimento da frente de lavra aberta na etapa anterior.

O caulim nas frentes de lavra a serem utilizadas como lago é extraído de forma a não atingir a rocha encaixante (deixando no piso uma camada de no mínimo 2 m de caulim e 10 m nas paredes de separação entre as cavas), de modo a vedar qualquer comunicação com as rochas de embasamento e também evitar o rompimento de lençóis freáticos.

Uma escavadeira mecânica e um trator de esteiras realizam os trabalhos de desmonte do caulim e conduzem o mesmo até as pilhas de estoque segundo o tipo de caulim (*coating* 87, *coating* 90 ou extrafino). Caminhões com capacidade de 20 m³ transportam o caulim até a usina de beneficiamento, distante 25 km.

Uma vez que a área de lavra era utilizada como pastagem, a etapa de decapeamento não envolve desmatamento. A camada fértil do solo, com 30 cm de espessura, é estocada e protegida em um determinado ponto da mina, de modo a ser utilizada na recuperação ambiental do local. A camada de estéril também é depositada em local apropriado, para ser utilizada durante a recomposição paisagística da área.

Beneficiamento

Uma carregadeira frontal realiza o trabalho de alimentação da usina, cuja operação consiste no transporte do caulim desde as pilhas de homogeneização, localizadas no pátio de estoque, até um alimentador de esteiras (Figura 1). O caulim segue para um tanque de agitação, onde se adiciona água e a solução dispersante (4,5 kg/t de hexametáfosfato de sódio e 5,0 kg/t de NaOH em solução de 50%) para obtenção de uma polpa com 40% de sólidos. Em seguida, a polpa é bombeada para um *scrubber* – tambor de atrição, contendo blocos de calcário com 30 cm de diâmetro, de modo a proporcionar maior desagregação do caulim bruto.

Na etapa seguinte, a polpa é levada a uma peneira vibratória, com abertura de 1,5 cm, de modo a remover os fragmentos de calcário presentes na polpa. Na etapa subsequente, é feita a

classificação em classificador espiral, para remoção parcial do material com granulometria acima de 360 μm , constituído principalmente de quartzo. O produto fino do classificador espiral, com 28 a 30% de sólidos, passa por uma separação em peneiras vibratórias, com abertura de 250 μm para remover impurezas, tais como matéria orgânica e outros resíduos, que, por apresentarem baixa densidade, são arrastados junto com a fração fina do caulim. O produto grosso do classificador segue até uma peneira de abertura 250 μm para recuperação do caulim residual. A fração retida nessa peneira segue para o pátio de estoque de rejeito, que também será utilizado para o enchimento da cava da mina.

As frações passantes nas peneiras de abertura 250 mm são conduzidas até um tanque, com capacidade de 30 m^3 , responsável pela alimentação da centrífuga (24 m^3/h para os caulins *coating* e 14 m^3/h para o caulim extrafino). Na centrífuga, obtém-se um produto fino em torno de 2 mm.

O produto grosso da centrifugação do caulim extrafino é classificado em um hidrociclone (ϕ 50 mm), com a finalidade de aumentar a recuperação da fração fina do caulim. O mesmo procedimento não se observa no beneficiamento do caulim *coating*, pois o produto grosso da centrífuga apresenta partículas prejudiciais à alvura do caulim, razão pela qual é encaminhado para a barragem de rejeitos. A fração grossa da ciclonagem, segue também para a barragem de rejeitos, enquanto a fração fina é adicionada ao produto fino da centrífuga (durante a produção do caulim extrafino). De modo a remover matérias orgânicas que são carregadas junto ao caulim, a fração fina da centrífuga (e também do hidrociclone, quando for o caso) alimenta cinco peneiras vibratórias com abertura de 44 μm . A fração abaixo de 44 μm (com 80 a 85% abaixo de 2 μm para caulins *coating* e 92 a 96% abaixo de 2 μm para o caulim extrafino) é conduzida para um tanque, com capacidade de 2.500 L que irá alimentar os tanques de alveamento químico e/ou floculação. A fração retida nas peneiras é encaminhada também à barragem de rejeitos. Nessa etapa obtém-se uma recuperação em massa de 96% para o caulim extrafino e de 60% nos caulins *coatings*.

Na etapa de alveamento químico e/ou floculação, a polpa (20-25% de sólidos para caulins *coating* e 13 a 18% de sólidos para caulim extrafino) é encaminhada para quatro tanques de fibra de vidro, com capacidade de 10 m^3 . No alveamento dos caulins do tipo *coating* são adicionados ácido sulfúrico (3 kg/t), sulfato de alumínio (1 kg/t) e hidrossulfito de sódio (3 kg/t). Os dois primeiros são utilizados para a floculação do caulim e o último para a lixiviação do ferro, elemento extremamente prejudicial à alvura do caulim. Já no processamento do caulim extrafino não é adicionado hidrossulfito de sódio à polpa de caulim, visto que a alvura deste já apresenta valores compatíveis com sua utilização. Após um período de 2 h de reação, a polpa floculada segue para dois tanques pulmão, com capacidade de 30 m^3 cada, que irão alimentar dez filtros prensa (Figura 6), operando em paralelo. Durante a filtragem dos caulins *coating 87* e *coating 90*, boa parte do ferro presente no caulim é removida junto com o filtrado. As tortas obtidas apresentam em média cerca de 32% de umidade e são encaminhadas à etapa de secagem. Aproveitando o clima da região, com temperaturas médias anuais entre 25 a 30°C, as tortas produzidas são colocadas em prateleiras, para remoção parcial da água por evaporação. O filtrado obtido na primeira etapa de filtragem alimenta dois filtros prensa, para recuperar o caulim presente no mesmo. O filtrado dessa segunda etapa é direcionado para um tanque com capacidade de 15 m^3 para posterior produção do caulim extrafino, após a correção do pH.

Após a secagem, as tortas seguem para um moinho de martelos, onde são pulverizadas e depois armazenadas em *big-bags*. O tempo em que o caulim permanece em estoque é suficiente para redução da umidade do mesmo a valores em torno de 10%, requerido pelo mercado consumidor. A Tabela 1 apresenta as principais características dos três tipos de caulim produzidos pela empresa.

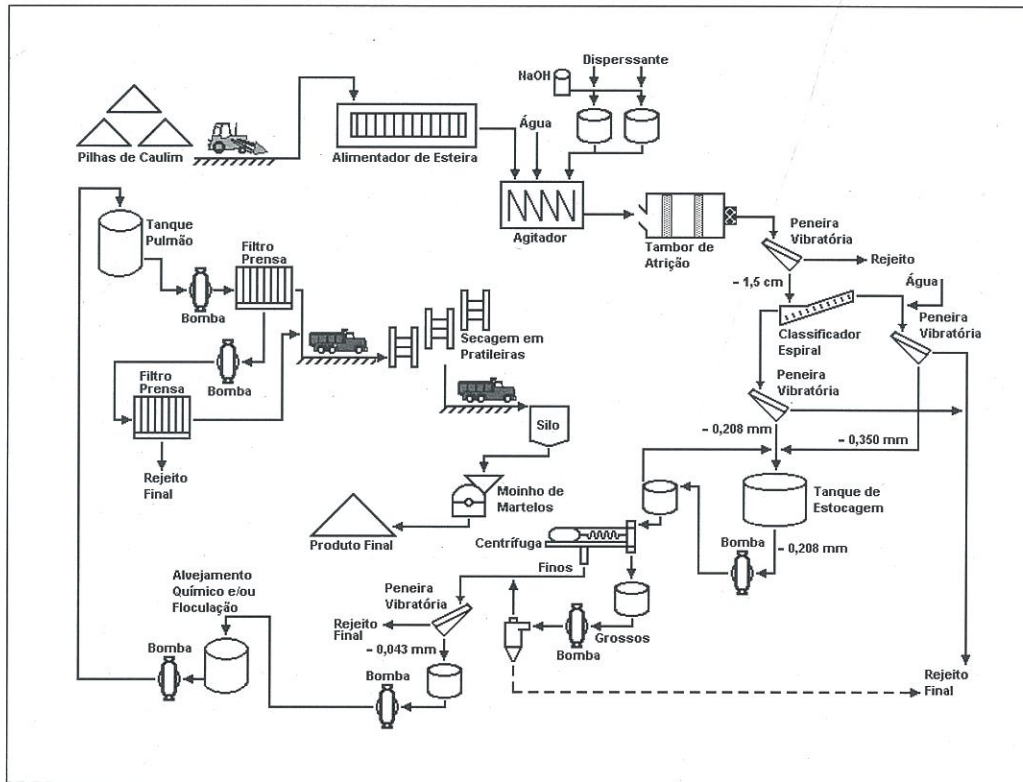


Figura 1: Fluxograma da usina de beneficiamento de caulim da Mineração MONTE PASCOAL

Tabela 1 – Características dos caulins *coating 87*, *coating 90* e extrafino, produzidos pela Mineração de Caulim Monte Pascoal S.A.

Características	Coating 87	Coating 90	Extrafino
Granulometria, % <2 mm	85 (± 1)	80 (± 1)	93 (± 1)
Alvura, °GE	87 (± 1)	90 (± 1)	78 (± 1)
Resíduo em 44 μm %(máximo)	0,1	0,1	0,1
pH	4,5 ($\pm 0,5$)	4,5 ($\pm 0,5$)	4,0 ($\pm 0,5$)
Umidade, %	10 (± 1)	10 (± 1)	10 (± 1)
Viscosidade, mPa.s	200	300	1100

Dados operacionais

Taxa de alimentação da usina: 100-150 t/dia

Produção de *coating* 87: 600 t/ano

Produção de *coating* 90: 1.800 t/ano

Produção de extrafino: 7.200 t/ano

Consumo de hidrossulfito de sódio: 5,0 kg/t de caulim tratado

Consumo de H_2SO_4 : 1,5 kg/t de caulim tratado

Consumo de $Al_2(SO_4)_3$: 0,7 kg/t de caulim tratado

Consumo de água: 2,5 m³/t de caulim tratado

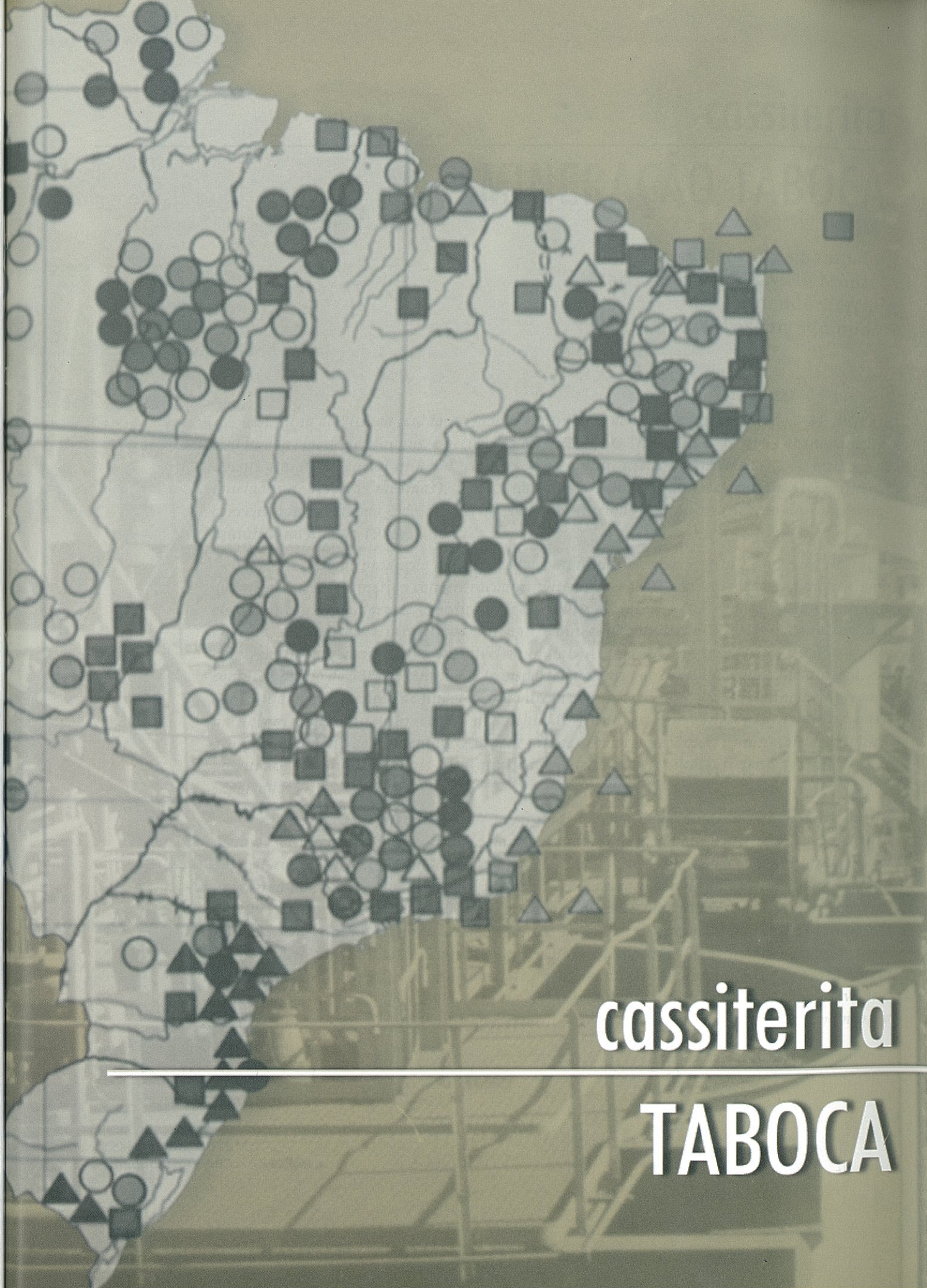
Consumo de energia: 32 kWh/t de caulim tratado

Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento de caulim da Mineração MONTE PASCOAL

Equipamento: Alimentador de Esteiras	Equipamento: Tanque de Alimentação da Centrifuga
Comprimento da esteira: 4,85 m; Largura: 1,40 m; Motor: WEG 5 A;	Capacidade: 0,5 m ³ ; Material de construção do tanque: Fibra de vidro ;
Velocidade de rotação: 1710 rpm 220v; Picotador: Motor WEG 7CV 870 rpm 220V; H/dia de trabalho: 8 h	Bomba: motor: WEG; potência: 2 CV; velocidade de rotação do motor: 1730 rpm; DDP: 220 V
Equipamento: Transportador de Correia	Equipamento: Centrifuga
Motor: WEG; Potência: 2 CV; Velocidade de rotação: 1730 rpm; DDP: 220V;	Fabricante: IMA ATLANTICA SEPARAD LTDA; Modelo: DT-150;
Velocidade de rotação do Redutor: 15 rpm	Velocidade de rotação: 3300 rpm; Motor: WEG; Velocidade de rotação do motor: 1765 rpm; DDP: 220 V; Comprimento: 1,60 m; Largura: 1,60 m
Equipamento: Agitador de polpa (Batedor)	Equipamento: Peneira Vibratória Circular
Comprimento: 2,60 m; Largura: 1,60 m; Altura: 1,50 m; Potência: 10 CV;	Diâmetro: 0,90 m; Abertura de tela: 44 µm (325 malhas); Potência do motor: 3 CV; Velocidade de rotação do motor: 1750 rpm; DDP: 220 V; Quantidade: 4
Velocidade de rotação: 1325 rpm; DDP: 220 V	Equipamento: Tanque de estoque da fração < 44 µm
Equipamento: Desagregador (<i>Scrubber</i>)	Capacidade: 2,5 m ³ ; Material de construção do tanque: Fibra de vidro ;
Comprimento: 4,40 m; Diâmetro: 1,58 m; Seixos: carbonato de cálcio;	Bomba: motor: WEG; potência: 15 CV; velocidade de rotação do motor: 3500 rpm; DDP: 220 V
Densidade de corrente: 12 A; Velocidade de rotação: 1720 rpm; DDP: 220 V	Equipamento: Tanque de Alveamento
Equipamento: Peneira vibratória	Capacidade: 10 m ³ ; Material de construção do tanque: Fibra de vidro ;
Comprimento: 1,90 m; Largura: 0,69 m; Ângulo de inclinação: 3°;	Motor: WEG; Potência: 5 hp; Velocidade de agitação: 1160 rpm; DDP: 220 V; Bomba: motor: WEG; densidade de corrente: 30 A; velocidade de rotação do motor: 1165 rpm; DDP: 220 V
Abertura de tela: 1,5 cm; Potência do motor: 3 CV; Velocidade de rotação do motor: 1750 rpm; DDP: 220 V; Quantidade: 1	Equipamento: Tanque pulmão
Equipamento: Classificador Espiral	Capacidade: 30 m ³ ; Material de construção do tanque: Fibra de vidro ;
Comprimento: 5,0 m; Largura da bacia de sedimentação: 2,10 m;	Quantidade: 2
Diâmetros das espirais: 0,54 m; Quantidade de espirais: 2; Potência do motor: 10 CV; Velocidade de rotação do motor: 1750 rpm; DDP: 220 V	Equipamento: Filtro Prensa
Equipamento: Peneira vibratória	Bomba de alimentação: Bomba de pressão NETZSCH ; Quantidade: 2; Motor: WEG; densidade de corrente: 34,7 A; velocidade de rotação: 1165 rpm; DDP: 220 V; Quantidade de filtros prensa: 10
Comprimento: 0,90 m; Largura: 0,69 m; Ângulo de inclinação: 3°;	unidades: Número de placas: 86; Diâmetro das tortas: 77cm; Bomba de rejeitos: Motor: WEG; potência: 15 CV; velocidade de rotação: 3500 rpm; DDP: 220V
Abertura de tela: 1,5 cm; Potência do motor: 3 CV; Velocidade de rotação do motor: 1750 rpm; DDP: 220 V; Quantidade: 1	Equipamento: Tanque pulmão de rejeitos do filtro
Equipamento: Peneira vibratória circular	Capacidade: 15 m ³ ; Material de construção do tanque: Fibra de vidro ;
Diâmetro: 1,5 m; Abertura de tela: 250 mm (60 malhas); Potência do motor: 3 CV; Velocidade de rotação do motor: 1750 rpm; DDP: 220 V; Quantidade: 3	Quantidade: 1
Equipamento: Tanque de estoque da fração < 250 mm	
Capacidade: 2,5 m ³ ; Material de construção do tanque: Fibra de vidro ;	
Bomba: motor: WEG; potência: 15 CV; velocidade de rotação do motor: 3500 rpm; DDP: 220 V	

Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento de caulim da Mineração MONTE PASCOAL

<p>Equipamento: Filtro Prensa para rejeitos</p> <p>Bomba de alimentação: Bomba de pressão; Quantidade: 1; Motor: WEG; potência: 25 hp; velocidade de rotação: 1750 rpm; DDP: 220 V; Quantidade de filtros prensa: 2 unidades; Número de placas: 86; Diâmetro das tortas: 77cm; Bomba de rejeitos: Motor: WEG; potência: 15 CV; velocidade de rotação: 3500 rpm; DDP: 220V</p> <p>Equipamento: Prateleiras de secagem ao ar livre</p> <p>Comprimento: 25 m; Altura: 3,6 m; Largura: 1,15 m; Quantidade: 30</p> <p>Equipamento: Silo (Alimentador de disco)</p> <p>Velocidade de rotação: 1020 rpm; Potência do motor: 25 HP ; Vazão de alimentação: 1-10 t/h</p>	<p>Equipamento: Transportador de Correia</p> <p>Motor: WEG; Potência: 2 CV; Velocidade de rotação: 1730 rpm; DDP: 220V; Velocidade de rotação do Redutor: 15 rpm</p> <p>Equipamento: Moinho de Martelos</p> <p>Densidade de corrente do motor: 71,2 A; Velocidade de rotação: 1775 rpm; DDP: 220 V; Vazão de produto: 3,3-6,0 t/h; Granulometria do produto: 95% < 35 malhas</p>
--	--



cassiterita

TABOCA

cassiterita

MINERAÇÃO TABOCA

João Alves Sampaio¹
Marisa Bezerra de Melo Monte¹
José Fernando Garcia²
José Anselmo Campos²

■ *A mina de Pitinga está localizada no Município de Presidente Figueiredo, AM, distante 300 km da cidade de Manaus, e pertence à MINERAÇÃO TABOCA, do Grupo Paranapanema. Possui grande potencial mineral, com reservas significativas de cassiterita (218 milhões de toneladas de reservas medidas), nióbio, tântalo, zirconita, criolita e xenotima. O principal concentrado produzido é de cassiterita, tendo-se iniciado a industrialização da columbita-tantalita no ano de 1998.*

O processo de produção da cassiterita compreende escalpe; cominuição, para liberação dos minerais de minério; concentração gravítica; secagem; concentração magnética e/ou eletrostática; embalagem e expedição. A estrutura da mina conta com geração própria de energia através da Hidrelétrica Pitinga, com capacidade de 26 MW, o que torna o empreendimento competitivo em nível mundial. A produção de cassiterita, 19.000 t/ano, com teor médio de 55% de estanho, é transportada através de caminhão até a metalurgia, em São Paulo, para obtenção de lingotes com pureza acima de 99% de Sn. O estanho é empregado principalmente na fabricação de folha de flandres, na confecção de latas para acondicionamento de alimentos. O Brasil, um dos maiores produtores mundiais de estanho, possui um produto de mais alta qualidade; além de ser auto-suficiente, é um grande exportador.

A empresa está investindo nos programas de Qualidade Total, visando, entre outras metas, "ser um grupo empresarial de classe mundial internacionalmente reconhecido, dentro dos critérios do PNQ (Prêmio Nacional da Qualidade) até o ano 2002". Possui também um programa de preservação ambiental voltado para a revegetação de áreas mineradas. No ano de 1998, foram recuperados 501 ha com plantio de 38.000 mudas de espécies florestais nativas. Em relação aos projetos de expansão da empresa, foram concluídos os estudos de viabilidade técnica e econômica para o aproveitamento do estanho primário na rocha fresca (chamada de rocha sã). O projeto exigirá grandes investimentos a curto prazo, todavia prolonga por mais 20 anos a vida útil do empreendimento atual. Nesse contexto, prevê-se o aproveitamento do nióbio, tântalo e criolita, como subprodutos do beneficiamento da cassiterita.

¹ Pesquisador, CETEM

² Engenheiro, PARANAPANEMA

Geologia

As mineralizações de maior valor econômico estão relacionadas ao Granito Madeira, isto é, estanho, zircônio, nióbio, tântalo, ítrio, terras raras e criolita, este último elemento presente apenas na rocha fresca. As fácies apogranito ocorrem na porção central do Granito Madeira. O apogranito contém mineralizações primárias importantes de cassiterita, que constituem a fonte principal de depósitos aluvionares secundárias. Esses depósitos são responsáveis por 50% da produção atual brasileira de estanho.

A diversidade da mineralização do Pitinga faz com que existam sete tipos de minerais possíveis de aproveitamento comercial, três em operação e quatro em projeto. A lavra do minério aluvionar e do minério primário intemperizado estão em atividade, bem como o reprocessamento do rejeito proveniente da bacia de mistos. Em relação aos projetos de implantação podem-se citar, entre outros, o minério primário não intemperizado, rocha fresca, também chamado granito cinza, cujo método de lavra será a céu aberto.

Lavra

Para cada tipo de minério tem-se um método de lavra específico. Assim, no caso do minério primário e intemperizado emprega-se o desmonte mecânico com trator de esteira para escarificação, seguida da retomada do minério por retro-escavadeira. O minério lavrado, com WI de 10,87 kWh/t e relação estéril/minério de 0,06, é transportado em caminhões fora-de-estrada, CAT 769 com capacidade de 28 t. A distância média de transporte entre a mina (Figura 1) e a usina de processamento é 1,9 km. O teor médio do minério é 0,17% de Sn, obtido a partir da blendagem de várias frentes de lavra. Com esse método, obtém-se uma recuperação na lavra próxima de 100%. O teor de corte é função do processo de pré-concentração, que permite tratar somente a fração do minério com granulometria acima de 45 mm. No caso de minério aluvionar, emprega-se o método de lavra com dragas.

Beneficiamento: pré-concentração do intemperizado

O minério primário de cassiterita, associado ao granito intemperizado da Serra do Madeira, é atualmente processado em duas etapas. Na primeira, denominada de pré-concentração ou lavagem, obtém-se um pré-concentrado de cassiterita com 3,5% de Sn. A segunda etapa consiste no reprocessamento do pré-concentrado. Assim, a pré-concentração é realizada em duas unidades distintas, localizadas em pontos diferentes da mina devido à forma de ocorrência da cassiterita em locais diversos da mesma área. Assim, para o minério intemperizado tem-se a Grota C e Paxiúba. No presente trabalho apresenta-se somente a descrição da unidade da Grota C, bastante semelhante à de Paxiúba.

Essas unidades processam o minério bruto da mina (ROM) e são chamadas de "usinas de lavagem". Nelas se obtém como produto final um pré-concentrado de cassiterita, que é posteriormente reprocessado nas unidades denominadas UBM1, UBM3 e UBM4.



Figura 1: Mina a céu aberto de minério primário de cassiterita de Pitinga

Descrição geral do processo existente na Grotta C

O minério bruto da mina, transportado em caminhões fora de estrada, é descarregado diretamente na moega de alimentação (MO-01) com capacidade de 70 m³, cuja alimentação é feita através de monitores hidráulicos que operam com pressão de 5 kgf/cm². A moega apresenta uma grelha fixa com abertura de 406 mm. Assim, parte dos blocos acima dessa dimensão são desagregados pela concha de uma retroescavadeira hidráulica CAT 235. Os blocos remanescentes são removidos pelo mesmo equipamento e depositados no pátio de alimentação.

O passante pela grelha fixa, com 39% sólidos, flui por gravidade para uma grelha vibratória (GV-01) de 1,5 x 3,0 m e abertura de 100 mm, equipada com monitores hidráulicos com pressão de água de 2,5 kgf/cm². O material retido na grelha (> 100 mm) é transferido por um alimentador de sapatas (AS-01), 750 x 3000 mm, para um britador de mandíbulas (BM-01), 800 x 500 mm, que opera com uma abertura de saída na posição fechada de 50 mm. Nessa etapa realiza-se manualmente a remoção de materiais orgânicos, metálicos e outros. Ocasionalmente, adiciona-se água no britador quando ocorre empastamento do material no interior do equipamento.

O produto do britador de mandíbulas e o passante na grelha vibratória alimentam duas peneiras vibratórias horizontais (PV-01; 1,5 x 3,0 m). Essas peneiras de dois deques estão equipadas com telas de poliuretano de abertura alongada (8 x 25 mm) e monitores hidráulicos com pressão de 2,5 kgf/cm². A fração retida nas peneiras PV-01 é depositada num silo, com capacidade de 36 m³. Deste, o material é retomado por um alimentador de sapatas (750 x 4500 mm), para alimentar o britador (BI-01), de impacto de eixo vertical, CANICA VSI90. Este britador tem 5 impelidores que lançam o minério contra um anel na parede da câmara de britagem. O britador opera em circuito fechado com a peneira PV-01 e gera um produto com tamanho máximo de 26 mm.

Finalmente, a fração passante na peneira PV-01 é bombeada para o módulo de pré-concentração através de um conjunto de três bombas, BP 02 (254 x 203 mm), conforme apresentado no fluxograma da Figura 2.

Pré-concentração

O minério com granulometria abaixo de 6,35 mm passa por uma classificação numa bateria de 3 hidrociclones KREBS, HC 01, cujo *overflow* com 6% de sólidos e abaixo de 45 mm, é descartado para a barragem de rejeitos e o *underflow*, com 45% de sólidos, segue para a concentração.

O *underflow* de cada hidrociclone é alimentado a uma bateria de quatro jiges primários (JP) YUBA, dispostos em paralelo, num total de doze unidades. Os jiges Yuba, de 1,07 x 1,07 m, de duas células, operam com tela de 4,7 x 12,7 mm de abertura, regulados entre 160 a 200 rpm e 13 a 15 mm de amplitude. O leito desses jiges é constituído de hematita selecionada em seixos arredondados e polidos, com granulometria entre $-19 + 12,7$ mm.

Os concentrados dos jiges primários são recolhidos em numa caixa de bomba, de onde são recalçados para um distribuidor estático, através de uma bomba de polpa PB-04 (150X150 mm), que alimenta quatro jiges secundários (JS), também tipo Yuba de duas células de 1,07 x 1,07 m, trabalhando em paralelo. Os jiges secundários operam com tela de 2,4 x 12,7 mm de abertura. Nesse caso, o leito é constituído de cassiterita grossa ou hematita beneficiada, funcionando em geral com 180 a 200 rpm e amplitude de 11 a 13 mm.

Os concentrados obtidos nas células "B" dos dois jiges secundários são transferidos, por gravidade, para a alimentação de um jigge terciário. O mesmo ocorre com os concentrados das células "B" dos outros dois jiges secundários, os quais alimentam um segundo jigge terciário.

Os dois jiges terciários são do tipo DENVER de duas células, com dimensões de 61 x 19 cm. Esses jiges possuem tela com 2,4 x 12,7 mm de abertura, leito de cassiterita natural e operam com 240 rpm e amplitude de 9 mm.

Os concentrados da primeira câmara dos quatro jiges secundários juntam-se ao concentrado dos jiges terciários e constituem o produto pré-concentrado, isto é, o produto das usinas de lavagem, que é bombeado, por meio da bomba BP-05, (100X75 mm), para o desaguamento, feito por um classificador espiral (f 1,22 m).

Os rejeitos provenientes dos jiges secundários e terciários são recolhidos em uma única caixa de bomba, de onde são recalçados por uma bomba de polpa, BP-06, (250 x 200 mm) para um distribuidor, que os dividem para outros dois distribuidores de polpa. Estes últimos alimentam quatro peneiras estáticas (DSM), de 45°, de 1.500 mm de largura e telas de poliuretano, com abertura de 1,7 mm. A fração fina ($< 0,84$ mm) das peneiras estáticas, abastece por gravidade a caixa da bomba de alimentação dos hidrociclones secundários e deslamagem do produto da moagem com barras.

O material retido nas peneiras, alimenta, por gravidade, um moinho de barras (D = 6ft; L = 10ft), com descarga periférica central. A alimentação do moinho, 43,5 t/h, fração grossa da peneira com P_{80} igual a 3,0 mm, (*top size* = 9,0 mm) é feita pelas duas extremidades do equipamento. O moinho trabalha com uma percentagem de sólidos de 40%, 22,4 rpm (70% da velocidade crítica). As barras são de aço DIN 90 MN4, 230-330HB com diâmetro de 65 mm e comprimento de 2.850 mm e o consumo das mesmas é de 222 g/t. A operação é realizada em

circuito fechado com uma peneira estática. O produto da moagem segue para a caixa da bomba de alimentação dos hidrociclones secundários. A granulometria do produto final tem um P_{80} igual a 1,6 mm e o WI do minério é 12 kWh/t.

O produto do moinho alimenta, através da bomba BP-08 (150x100 mm), uma bateria de quatro jigues Yuba, de duas células de 1,07 X 1,07 m, com arranjo em paralelo. Essa etapa é denominada de *scavenger* da jigagem (JSV). Esses equipamentos trabalham com tela de 4,7 x 12,7 mm, leito de cassiterita natural e/ou hematita beneficiada (-12,7 + 9,5 mm), pulsação de 180 rpm e amplitude entre 11 e 13 mm. A recuperação de cassiterita nessa etapa é de 48%. Os rejeitos de cada conjunto de dois jigues de material remoído seguem para uma peneira estática PE-02, cuja fração retida (> 20 malhas) constitui o rejeito grosso final. O concentrado retorna ao circuito de jigues secundários por meio das bombas BP-07 e BP-04.

O material passante nas peneiras estáticas (PE-02) junta-se aos finos na caixa de finos, para alimentar os quatro hidrociclones, HC-02 (operando com um hidrociclone sobressalente) para a operação de deslamagem dos finos da moagem, com corte em d_{50} igual a 45 mm. A fração fina é descartada e segue para a barragem de rejeito. Em alguns casos, essa fração é utilizada para diluir produtos mais espessos, tais como, o rejeito final e a alimentação dos hidrociclones classificadores.

Circuito de espirais

O *underflow* da ciclonagem é alimentada num conjunto de vinte espirais *rougher*, com 40% de sólidos na polpa.

O rejeito das espirais *rougher* é descartado como rejeito final. Os mistos seguem para as espirais *scavenger* e o concentrado para a bateria de espirais *cleaner*.

O rejeito obtido na operação *scavenger*, feita em oito unidades, também é descartado como rejeito final. O misto retorna à etapa *rougher* enquanto o concentrado é reprocessado na etapa *cleaner*.

Finalmente, a bateria de espirais *cleaner* é composta por três unidades. O misto retorna à etapa *scavenger*, os rejeitos à *rougher* e os concentrados são bombeados para o desaguamento de pré-concentrado.

Desaguamento de pré-concentrado

Os pré-concentrados do circuito de espirais são recebidos na caixa da bomba BP-05 (100X75 mm), que os encaminha para dois classificadores espiral de 430 mm. Nesses equipamentos promove-se o desaguamento do pré-concentrado. A água obtida é utilizada para a diluição do produto do moinho de barras.

O pré-concentrado desaguado, com teor de 3,5% de Sn, escoar por gravidade para um mesmo silo (7 m³), de onde é transportado por caminhões basculantes à Unidade de Beneficiamento de Minérios, UBM1.

Bombeamento de rejeitos

Como mencionado anteriormente, as lamas obtidas nas baterias de hidrociclones de finos moídos e da jigagem primária são transferidas, por gravidade, para a bacia de rejeitos.

Os rejeitos produzidos nos circuitos de jigagem e de espirais concentradoras são os seguintes:

- a) as frações retidas (> 0,8 mm) obtidas no conjunto de peneiras estáticas PE02, que peneiram o rejeito dos jigues de material remoído;
- b) os rejeitos das baterias de espirais *rougher* de finos moídos;
- c) os rejeitos da bateria de espirais *scavenger* de finos moídos.

Nas usinas de lavagem da Grotta "C", todos esses rejeitos são recebidos em uma mesma caixa de bomba (15 m³) e bombeados para a barragem de rejeitos.

Captação e adução de água

O abastecimento de água para o tratamento do minério das usinas de lavagem da Grotta "C" constitui-se da água recuperada no reservatório formado pela bacia de rejeitos e da captação de água nova no Igarapé Jabuti. A captação é feita por meio de seis bombas, de vazão 900 m³/h cada, instaladas sobre uma balsa, que conduzem a água para uma adutora com 609 mm de diâmetro e extensão de 1.500 m, de onde escoar, por gravidade, para o reservatório da estação de tratamento, situada próximo aos módulos de pré-concentração. Nesse local, estão instaladas nove bombas em paralelo, que distribuem a água aos pontos de consumo dos módulos de alimentação e de pré-concentração.

Concentração final

A usina de beneficiamento de Pitinga tem capacidade para tratar 50 t/h do pré-concentrado oriundo das usinas de lavagem, gerando por concentração gravítica um produto final de cassiterita que contém cerca de 50% de Sn e um misto com zirconita, columbita-tantalita e xenotima, que são enviados para a usina de beneficiamento UBM3. Parte do processo na usina UBM3 é realizado a seco, para a produção do concentrado de cassiterita, bem como de columbita-tantalita, utilizando separadores eletrostáticos e magnéticos. Os rejeitos das usinas UBM1 e UBM4, contendo essencialmente quartzo (areia), são depositados em bacias de rejeito.

Unidade UBM1

O pré-concentrado produzido na Mina de Pitinga é descarregado em moegas e alimenta o circuito com uma vazão de 46 t/h, num tanque de polpa. Nesse tanque forma-se uma polpa com 13% de sólidos, que é bombeada para um conjunto de quatro hidrociclones KREBS D10B, denominados “desaguadores”. O *overflow* é descartado e segue para a barragem de rejeitos. O *underflow*, com 35% de sólidos e granulometria menor que 5 mm, alimenta uma bateria de dezesseis jigues primários, (JP) tipo Yuba de duas células de 1 x 1 m, com capacidade nominal de 2,5 t/h. Os jigues primários (JP) operam, em geral, com 180 rpm e 15 mm de amplitude, possuem telas de 3 x 13 mm de abertura, e leito de cassiterita natural.

Os concentrados das células “A” dos dezesseis jigues primários constituem o produto final com 66% de Sn, e os obtidos nas células “B” são recolhidos em uma caixa de bomba para alimentar os jigues secundários. O rejeito da jigagem primária segue para o circuito de espirais. A Figura 2 apresenta detalhes da operação na usina de beneficiamento UBM1.

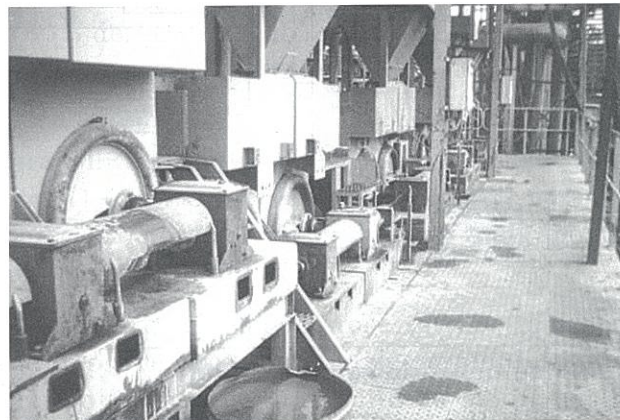


Figura 2: Detalhes da operação do circuito de jigagem da UBM1

O segundo estágio é composto por 12 jigues DENVER de duas células de 660 x 810 mm. Esses jigues também operam com tela de 2,4 x 12,7 mm de abertura, leito de cassiterita natural, e 220 rpm e amplitude de 11 mm. Os concentrados obtidos nos jigues secundários constituem também o produto final com 66% de Sn, enquanto que os rejeitos alimentam os moinhos de barras.

Um circuito de oito espirais duplas ACAFLEX, com capacidade para processar 3 t/h de material por espiral, é utilizado para reprocessar o rejeito proveniente dos jigues primários. A polpa, com 35% de sólidos e vazão de 1,5 t/h, alimenta as espirais levando a obtenção de um concentrado contendo 1,8% de Sn. Os concentrados das espirais bem como os rejeitos dos jigues DENVER são bombeados para o circuito de moagem.

A moagem é realizada por meio de cinco linhas paralelas, constando cada de um moinho de barras KHD em circuito fechado com uma peneira de alta frequência DERRICK. Cada moinho tem capacidade nominal de 5 t/h, opera com 70% da velocidade crítica (22,4 rpm) e carga de barras que corresponde a 40% do seu volume interno. A alimentação tem granulometria 64%

menor que 0,589 mm e percentagem de sólidos de 75%. Os produtos da moagem, com 100% do material abaixo de 0,589 mm e percentagem de sólidos de 50%, alimentam quatro peneiras vibratórias DERRICK, com abertura de 0,23 mm.

O passante do peneiramento é concentrado em mesas vibratórias Wilfley CIMAQ na vazão de alimentação de 1t/h para cada linha do circuito de finos, enquanto o retido alimenta as mesas vibratórias do circuito de grossos (Figura 3).

O primeiro estágio das mesas vibratórias do circuito de grossos é constituído de dezesseis mesas vibratórias e o segundo estágio conta com mais três mesas Wilfley. O circuito de finos tem como objetivo concentrar o material na granulometria entre -0,295 e +0,208 mm, em dois estágios de dez e três mesas vibratórias, respectivamente.

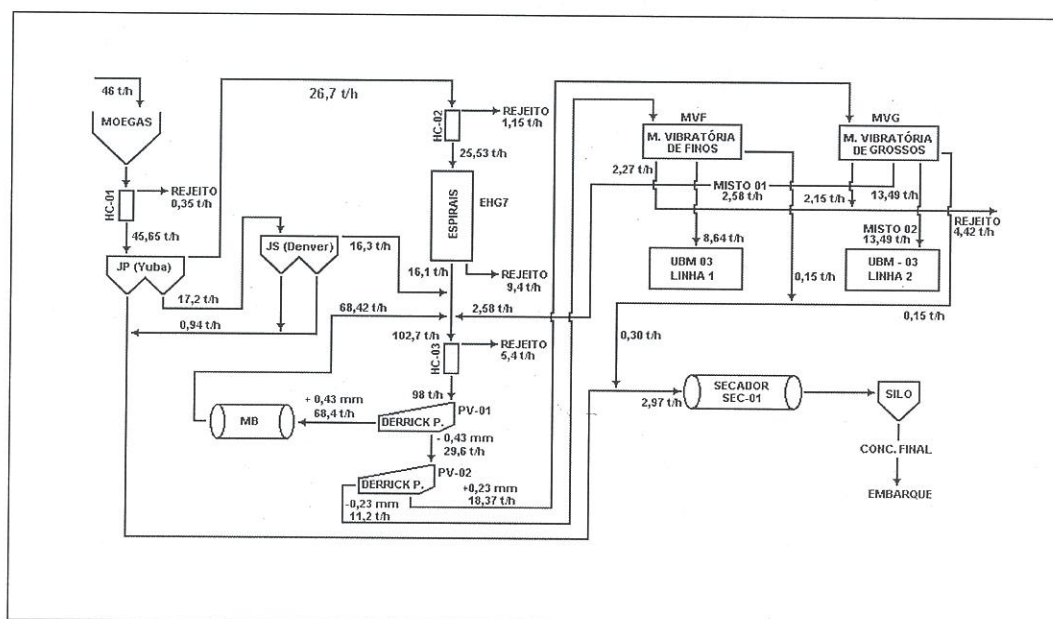


Figura 3: Fluxograma da usina de beneficiamento da UBM1

Nos circuitos de grossos e de finos são gerados três tipos de produtos: leves, mistos e pesados. Os mistos do primeiro e segundo estágios seguem para a usina UBM4 e lá são reprocessados. Os produtos leves dos dois estágios, isto é, os rejeitos das mesas vibratórias juntam-se na caixa de rejeito, de onde são enviados para a barragem de rejeito. O produto pesado do primeiro estágio é alimentado às mesas vibratórias do segundo estágio do circuito de grossos, sendo igual procedimento observado para o circuito de finos.

O concentrado de cassiterita é obtido no final do segundo estágio dos circuitos de grossos e de finos e, então, blendado. Este procedimento gera um produto contendo 50% de Sn. Os concentrados obtidos nos jigues, que constituem produto final contendo 66% de Sn, são também blendados com os concentrados da mesagem.

Dessa forma, os produtos blendados são desaguados em classificador espiral a uma taxa de 2,6 t/h. O *overflow* recircula na usina como água de processo. O *underflow* da classificação é alimentado nos filtros rotativos à vácuo, sendo a torta com 1% de umidade submetida à secagem em secadores rotativos. O secador rotativo a vácuo, de fabricação própria, opera numa faixa de temperatura entre 150 e 180°C e rotação de 12 rpm.

O produto seco é transportado por transportador de correia para se juntar aos produtos de cassiterita obtidos nas usinas UBM4 e UBM3. Após inspeção final, são enviados para o silo de armazenamento de produto final, por meio de um elevador de canecas. A Figura 3 apresenta o fluxograma geral da unidade UBM1.

Unidade UBM4

Os mistos provenientes das mesas vibratórias da unidade UBM1, com teor médio de 2,5% de Sn, são recebidos em caminhões fora-de-estrada e descarregados diretamente na moega de alimentação, com capacidade nominal de 40 t/h. Daí são retomados por meio de transportadores de correia para uma caixa de polpa, onde é adicionada água ao processo. A polpa, com 35% de sólidos, passa por uma bateria de seis hidrociclones KREBS. Nessa etapa é realizado um desaguamento, sendo o *overflow* enviado para uma caixa coletora e utilizado para a diluição da descarga do moinho. O *underflow* passa, ainda, por 4 peneiras vibratórias de alta frequência DERRICK com abertura de 0,23 mm. O material retido nessas peneiras de duplo deque alimenta um moinho de bolas, por meio de um transportador de correia.

A etapa de moagem consiste de dois moinhos de bolas FURLAN / FAÇO, operando em circuito fechado com as peneiras DERRICK. Cada moinho tem capacidade para processar 25 t/h, opera com 65% da velocidade crítica e carga de bolas correspondente a 40% do seu volume interno. O produto da moagem, com 95% do material abaixo de 0,23 mm, alimenta o hidrociclone (HC e 2). O *underflow* é retornado às peneiras vibratórias de alta frequência, fechando o circuito. O *overflow* do ciclone é descartado como rejeito, a uma taxa de 1 t/h.

O passante na peneira DERRICK, abaixo de 0,23 mm, segue para uma terceira bateria de hidrociclones desaguadores (HC-3). O *overflow* é recirculado para a caixa de alimentação. O *underflow* alimenta duas baterias de espirais desbastadoras AKW modelo HG7, objetivando ainda a recuperação dos minerais pesados de interesse.

As dez espirais duplas com capacidade de processar 1,5 t/h por espiral, operando com 40% de sólidos, geram 20 t/h de finos (rejeitos) que são descartados. O material pesado obtido nessa etapa é processado no circuito de mesas. O circuito de mesas da UBM4 consta de 40 mesas duplas, que operam num estágio único (Figura 4). O concentrado das mesas é enviado para a unidade UBM3 e o rejeito descartado para a barragem de rejeitos. A Figura 5 apresenta o fluxograma da unidade UBM4.

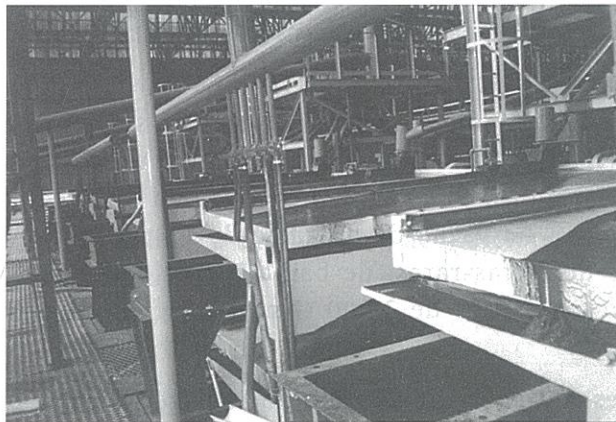


Figura 4: Vista geral das mesas vibratórias na unidade UBM4

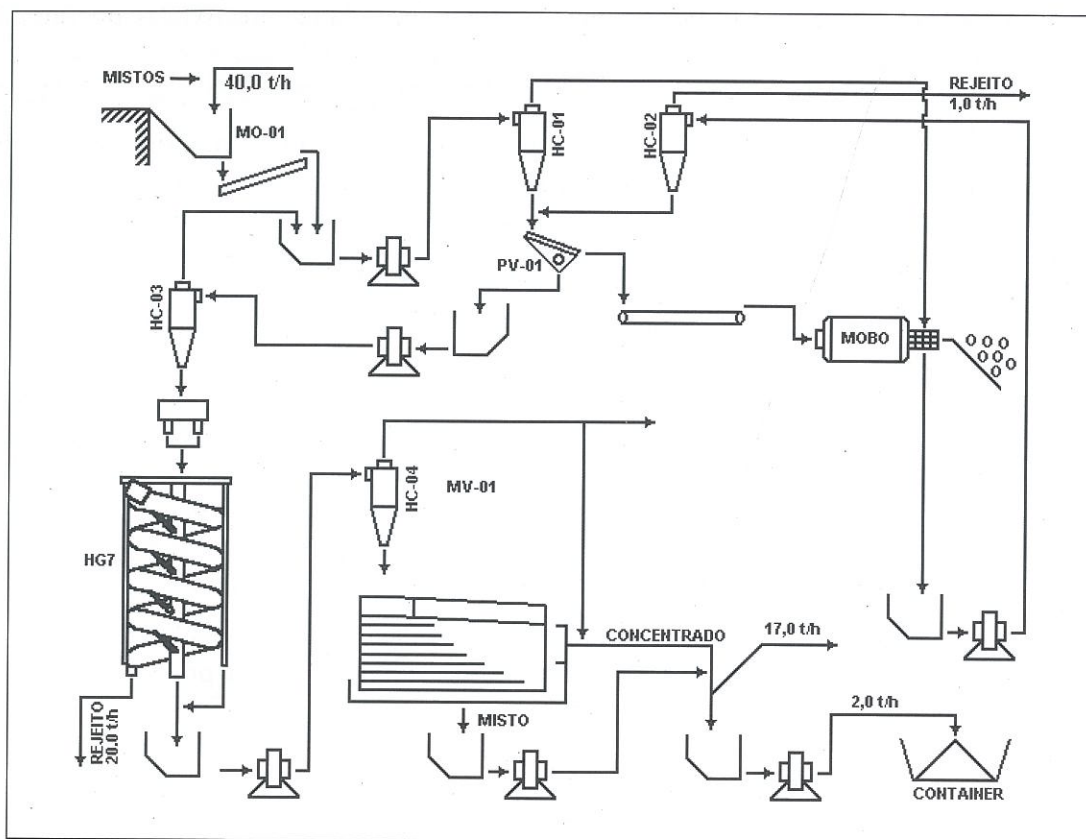


Figura 5: Fluxograma da usina de beneficiamento da unidade UBM4

Unidade UBM3

O concentrado das mesas vibratórias alimenta um classificador espiral AKINS com uma vazão de alimentação de 20 t/h. O *overflow* do classificador é descartado como rejeito. O *underflow* é distribuído para um banco de células de atrição para a limpeza da superfície das partículas com hidróxido de sódio, na concentração de 300 g/t. Esse procedimento é realizado em dois estágios, constituídos de 4 e 6 células no primeiro e segundo estágio, respectivamente.

O circuito de secagem é constituído por dois filtros rotativos a vácuo, de fabricação própria, e um secador rotativo. Esses equipamentos apresentam as mesmas características dos utilizados na UBM1. O produto seco alimenta os separadores eletrostáticos, iniciando-se, assim, os procedimentos para a separação dos óxidos de nióbio e tântalo, cassiterita, hematita, zirconita e quartzo.

O material menor que 0,23 mm (produto do secador) segue para duas linhas de separadores eletrostáticos CARPCO (HTP), com três unidades cada, na vazão de 4 t/h por separador. A fração não-condutora, obtida em um único estágio, é constituída de zirconita e quartzo, sendo enviada para a barragem de rejeitos, na vazão de descarte de 13 t/h. A fração condutora alimenta dois separadores magnéticos de terras-raras, de baixa intensidade-ERIEZ (STR) e que operam, em paralelo com um campo magnético de 3.000 G na superfície do tambor, promovendo, assim, a remoção do óxido de ferro.

Nessa etapa processam-se 7 t/h de material e é gerado um produto não-magnético que segue para dois separadores magnéticos de rolos induzidos (RI) CARPCO, operando em paralelo.

Conforme mencionado, o produto magnético do STR é constituído de óxidos de ferro, sendo assim descartado.

Os separadores de rolo induzido (RI) são de alta intensidade e operam com um campo magnético na superfície dos rolos, entre 15.000 e 19.000 G. A fração não-magnética é alimentada a dois separadores eletrostáticos de placas MDL MKII, operando em paralelo, e a fração magnética segue para os separadores magnéticos de disco.

O produto não-condutor obtido nos separadores MKII contém basicamente quartzo e zirconita. A fração condutora constitui o concentrado final de cassiterita com um teor de 45% de Sn, que é enviada para o silo de armazenamento de produto.

A fração magnética dos separadores RI é alimentada a um novo circuito de separação magnética, constituído de um separador magnético de correias e de discos. Este dispõe de três discos, com intensidades de campo magnético ajustáveis. Os discos geram dois produtos magnéticos, de alta e baixa intensidades de campo, e um produto não-magnético. Os produtos magnéticos do disco 1 constituem o rejeito final, que é constituído basicamente de óxidos de ferro. O produto não-magnético do disco 1 é alimentado ao segundo disco. Os dois produtos magnéticos obtidos no disco 2 constituem concentrados de columbita e tantalita. O não-magnético do disco 2 é alimentado ao disco 3, onde são ainda obtidos os concentrados magnéticos de columbita, juntando-se aos magnéticos obtidos no disco 2. O não magnético do terceiro disco segue para o circuito de separação eletrostática (separadores eletrostáticos de placas-HT) e junta-se aos não-magnéticos obtidos nos separadores magnéticos de rolos induzidos (RI). O produto columbita-tantalita obtido nesse estágio, com um teor médio de $Nb_2O_5 + Ta_2O_5$ de 40%, é estocado.

A fração não-condutora dos dois separadores eletrostáticos de placas HT contém basicamente quartzo e zirconita, sendo descartadas como rejeito. Nesse estágio é obtido um produto final constituído essencialmente de cassiterita, com teor de 45% Sn. Esse concentrado é armazenado em silos e, posteriormente, conduzido para a metalurgia. A Figura 6 apresenta o fluxograma da unidade UBM3.

Controle de qualidade do processo

O controle de qualidade do concentrado final de cassiterita é realizado com o auxílio de amostradores automáticos, além de amostras coletadas manualmente em diversos pontos do processo: lavra, moega UBM1, produto final UBM1, transportador de correia UBM4, descarga do forno rotativo UBM4, produto final obtido na UBM3. As amostras são submetidas a ensaios físicos (análise granulométrica, densidade de polpa, umidade) e químicos (teores de Sn, Fe_2O_3 e ZrO_2).

Embalagem e expedição

Aprovada no controle de qualidade, a cassiterita é acondicionada em sacos de 50 kg ou *big bags* de 1 t, estando pronta para o transporte.

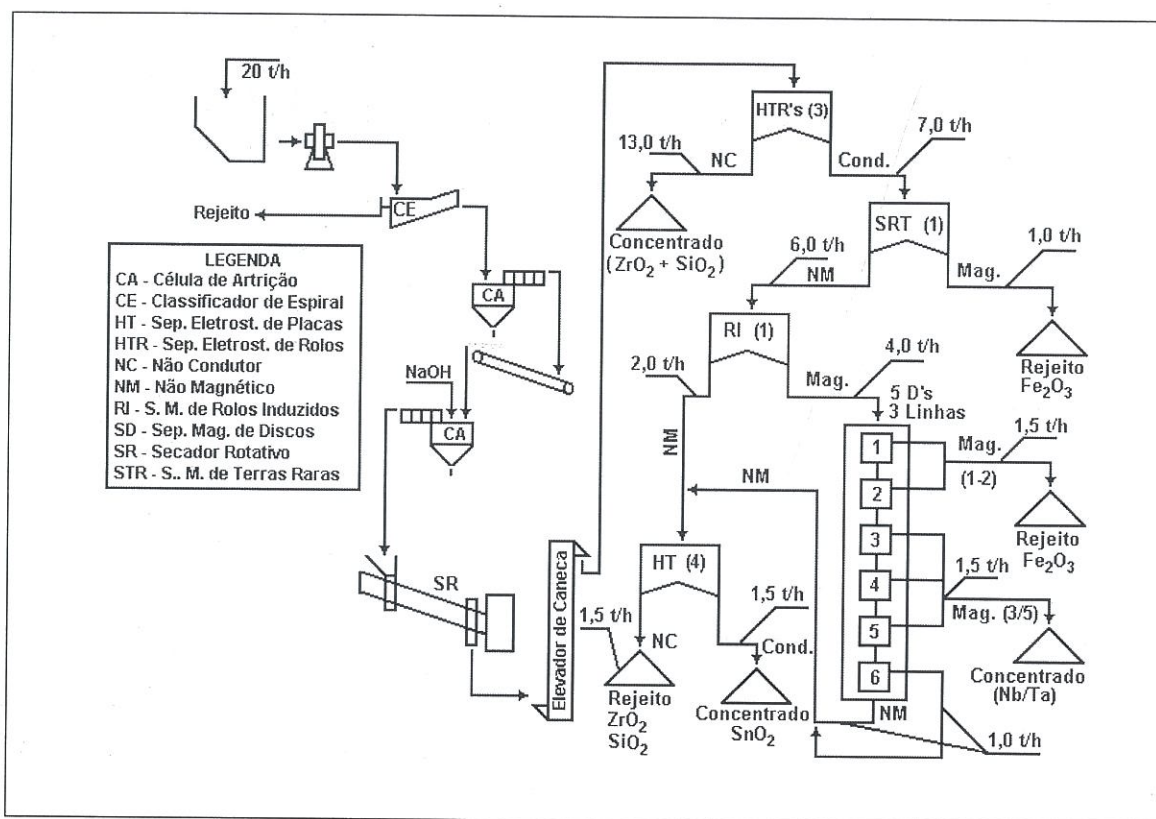


Figura 6: Fluxograma da usina de beneficiamento da unidade UBM3

Características do produto da Usina

Concentrado de Cassiterita (teores):

Sn: $55 \pm 3\%$

Fe₂O₃: $6 \pm 2\%$

ZrO₂: $11 \pm 2\%$

Balanco metalúrgico da Usina

PRODUTOS	Peso	Sn	
	(%)	Teor (%)	Dist. (%)
Alimentação	100	4,5%	100
Concentrado	6,5	55%	82,50%
Rejeito	93,5	0,845%	17,50%

Quadro 1 – Principais características dos equipamentos utilizados no módulo de concentração Grota C - Mineração TABOCA

<p>Código: GV-01 Equipamento: Grelha Vibratória Fabricante: FAÇO Modelo: M-3015 Serviço: Classificação Granulométrica do ROM Motor: 30 HP Quantidade: 2 Dimensões: 1,5 x 3,0m ; Abertura entre Trilhos: 102 mm Condições de Alimentação: Granito alterado – ROM Top size = 406mm ; Alimentação de Projeto: 209 t/h/grelha ; Abertura entre Trilhos: 102 mm</p> <p>Código: AS-01 Equipamento: Alimentador de Sapatas Fabricante: FAÇO Modelo: MT30075 Serviço: Alimentação do Britador de Mandíbulas Motor: 7,5 CV Quantidade: 2 Dimensões: Esteira: 3000x750 mm ; Condições de Alimentação: Granito Alterado Top size: 406 mm ; Alimentação de Projeto: 45,5 t/h</p> <p>Código: BM-01 Equipamento: Britador de Mandíbulas Fabricante: FAÇO Modelo: 8050C Serviço: Cominuição do oversize de grelha vibratória Motor: 75 CV Quantidade: 2 Dimensões: 800 x 500 mm ; Abertura (posição aberta): máx.:152 mm, mín: 76 mm Condições de Alimentação: Granito alterado Top size: 406 mm; WI: 10 kwh/sht; Alimentação de projeto: 45,5 t/h</p> <p>Código: PV-01 Equipamento: Peneira Vibratória Fabricante: FILSAN Modelo: SSI1716 Serviço: “Scalping” e fechamento do circuito de britagem Motor: 30 CV Quantidade: 4 Dimensões: 1,5x3,0m; Abertura :1ª Tela: 25,4 mm (polegada) , 2ª Tela: 6,35 mm Amplitude de oscilação: 12mm ; Frequência: 880 rpm Condições de Alimentação: Minério residual de cassiterita Top size: 100 mm ; Alimentação de projeto: 146,2 t/h/peneira</p> <p>Código: BI-01 Equipamento: Britador de Impacto Fabricante: CANICA Modelo: VIS90 Serviço: Cominuição do oversize da peneira vibratória Motor: 400CV/1760rpm Quantidade: 1 Dimensões: Impelidores: 5x33kg Condições de Alimentação: Granito alterado Top size = 102 mm , Alimentação de projeto: 116 t/h Top size do produto = 25,4 mm</p> <p>Código: BP-01 Equipamento: Bomba de polpa Fabricante: HERO EQUIP. Modelo: 4/3 CAH Serviço: Bombeamento do produto do britador de impacto Motor: 30CV/1770 rpm Quantidade: 1 Dimensões: diâmetro do rotor: 245 mm; altura manométrica: 18,97 m.c.a. Condições de Alimentação: Polpa de minério de granito alterado – produto britado. Top size: 15 mm; Alimentação de projeto: 83,5 t/h/Bomba ; % Sólidos: 51,4 (massa). Tubulação: Sucção: 101,6 mm; Recalque: 76,2 mm</p>	<p>Código: BP-02 Equipamento: Bomba de Polpa Fabricante: BAKER Modelo: 20MG Serviço: Transferência do módulo de alimentação para a concentração Motor: 124 CV/1780rpm Quantidade: 6* Dimensões: Altura manométrica total: 53,42 m.c.a. Condições de Alimentação: Polpa de minério de granito alterado – Produto Britado Top size: 6,35 mm; Alimentação de projeto: 191,4 t/h/Bomba ; % Sólidos: 25 (massa) Tubulação: Sucção: 203,2 mm; Recalque: 257 mm * sistema em série</p> <p>Código: BP-03 Equipamento: Bomba de Polpa Fabricante: Hero Equip. Modelo: 20MG Serviço: Bombeamento de minério grosso Motor: 100 CV Quantidade: 2 Dimensões: Altura manométrica total = 7,67 m.c.a. ; diâmetro do rotor = 365mm Condições de Alimentação: Polpa de minério de granito alterado – Underflow da caixa de classifica Top size = 6,35 mm ; Alimentação de projeto = 106 t/h/Bomba ; % Sólidos = 19,2 (massa) Tubulação: Sucção = 152,4 mm ; Recalque = 127 mm</p> <p>Código: HC-01 Equipamento: Hidrociclone Fabricante: CIMAQ Modelo: D20B Serviço: Deslamagem da fração grossa do minério, módulo de concentração Quantidade: 6 Dimensões: Diâmetro nominal: 508 mm ; Vortex : 19,05cm; Apex: 11,4 cm Condições de Alimentação: Polpa de minério de granito alterado – underflow da classificação estática Top size: 6,35 mm ; Alimentação de projeto: 53 t/h/Ciclone ; % Sólidos: 14,1 (massa) Diâmetro de corte admitido: 0,043 mm (d₉₅) Pressão de entrada admitida: 12 a 15 psi</p> <p>Código: JP Equipamento: Jigue Primário Fabricante: MAMORÉ Modelo: YUBA Serviço: Pré-concentração de granito alterado Motor: 2,5CV / 1710rpm Quantidade: 24 Dimensões: 1,07 x 1,07 mm (2 Células) ; Abertura da tela: 4,8 x 12,7 mm; Fio inox de 3mm; Frequência: 180 rpm Amplitude: 13 a 15mm Condições de Alimentação: Polpa de minério de granito alterado – underflow do ciclone HC-01 Top size: 6,35 mm; Alimentação de projeto: 10 t/h/jigue ; % Sólidos: 50(massa) Leito: hematita beneficiada; Granulometria: -19 +12,7 mm</p>
--	--

Quadro 1 – Principais características dos equipamentos utilizados no módulo de concentração Grota C - Mineração TABOCA

<p>Código: JS Equipamento: Jigue Secundário</p> <p>Fabricante: MAMORÉ Modelo: YUBA Serviço: Concentração de granito alterado Motor: 2,5CV / 1710rpm Quantidade: 8 Dimensões: 1,07 x 1,07 mm (2 Células) ; Abertura da tela: 2,4 x 12,7 mm ; Fio inox de 3 mm; Frequência: 180 a 200 rpm Amplitude: 11 a 13 mm Condições de Alimentação: Polpa de pré-concentrado de minério de granito alterado – Concentrado da jigagem primária Top size: 4 mm; Alimentação de projeto: 3 t/h/jigue ; % Sólidos: 50 (massa) Leito: hematita beneficiada; Granulometria: -12,7 x + 9,5 mm</p>	<p>Código: PE – 01 e 02 Equipamento: Peneira Estática</p> <p>Fabricante: FILSAN Modelo: FS60 Serviço: Peneiramento da alimentação da moagem e rejeito da jigagem de moídos Quant.: 8 e 4 Dimensões: largura: 1500mm; raio de curvatura: 2040 mmarco e comprimento: 45° e 1600mm; Abertura: 1,7mm; Condições de Alimentação: polpa de minério de granito alterado – rejeito da jigagem de grossos Top size: 6,4mm; Alimentação de projeto: 26,8 t/h; Corte: 0,84mm. Condições de Alimentação: polpa de minério de granito alterado – rejeito da jigagem do minério moído Top size: 3,5 mm; Alimentação de projeto: 24 t/h ; Corte: 0,84 mm.</p>
<p>Código: JT Equipamento: Jigue Terciário</p> <p>Fabricante: MAMORÉ Modelo: DENVER Serviço: Concentração de granito alterado Motor: 2CV/rpm Quantidade: 4 Dimensões: 610 x 915 mm (2 Células) ; Abertura da tela: 2,4 x 12,7 mm ; Fio inox de 3mm; Frequência: 200 a 240 rpm Amplitude: 9 mm Condições de Alimentação: Polpa de pré-concentrado de minério de granito alterado – Concentrado da célula “B” da jigagem secundária Top size: 2mm; Alimentação de projeto: 0,5 t/h/jigue; % Sólidos: 30 (massa) Leito: cassiterita; Granulometria: -9,3 x +6,4 mm</p>	<p>Código: HC - 02 Equipamento: Hidrociclone</p> <p>Fabricante: CIMAQ Modelo: D20B Serviço: Deslamagem para as espirais existentes Quantidade: 8 Dimensões: diâmetro nominal: 508mm; vortex: 19,05 cm; apex: 8,26cm Condições de Alimentação: Polpa de minério de granito alterado – rejeitos finos Top size: 1,0mm; Alimentação de projeto: 27 t/h/Ciclone ; % Sólidos: 9,9 (massa) Diâmetro de corte admitido: 0,035 mm (d₅₀) Pressão de entrada admitida: 1,34 kg/mm²</p>
<p>Código: MB Equipamento: Moínho de Barras</p> <p>Fabricante: HUMBOLDT WEDAG Serviço: Moagem primária de oversize de peneira estática Motor: 150 HP Quantidade: 4 Dimensões: diâmetro: 1,8 m; comprimento: 3,25 m; Barras: 65 x 2850 mm , Aço DIN 90 MN 4 ; 290 – 330HB Condições de Alimentação: Granito alterado Top size: 9mm; WI: 12 kwh/sht; Alimentação de projeto: 52,2 t/h</p>	<p>Código: ELG Equipamento: Espiral Concentradora</p> <p>Fabricante: AKW Modelo: LG7 Serviço: Concentração de finos de cassiterita – <i>rougher</i> dupla Quantidade: 32 Material de Construção: fibra de vidro / poliuretano; Dimensões: diâmetro: 620mm; comprimento: 3035mm. Condições de Alimentação: polpa de minério fino de cassiterita deslamado Top size: 0,84 mm ; Alimentação de projeto: 2,0 t/h/espira ; % Sólidos: 40,2 (massa)</p>
<p>Código: BP-08 Equipamento: Bomba de Polpa</p> <p>Fabricante: BAKER Modelo: 10MG Serviço: Bombeamento de minério moído Motor: 20 CV Quantidade: 2 Altura manométrica total = 20,3 m.c.a. Condições de Alimentação: Polpa de minério de granito alterado – produto de moagem Top size = 3,5 mm ; Alimentação de projeto = 47,9 t/h/Bomba ; % Sólidos = 40 (massa) Tubulação: Sucção = 101,6 mm ; Recalque = 101,6 mm</p>	<p>Código: EHG Equipamento: Espiral Concentradora</p> <p>Fabricante: AKW Modelo: HG7 Serviço: Concentração de finos de cassiterita – <i>cleaner</i> e <i>scavenger</i> dupla Quantidade: 8 e 12 Material de Construção: fibra de vidro / poliuretano ; Dimensões: diâmetro: 620 mm ; comprimento: 3035 mm. Condições de Alimentação: polpa de minério fino de cassiterita deslamado Top size: 0,84 mm; Alimentação de projeto: 1,5 e 2,5 t/h/espira; % Sólidos: 40 (massa)</p>
<p>Código: JSV Equipamento: Jigue “Scavenger”</p> <p>Fabricante: MAMORÉ Modelo: YUBA Serviço: Pré-concentração de granito alterado Motor: 2,5CV / 1710rpm Quantidade: 12 Dimensões: 1,07 x 1,07 m (2 Células) ; Abertura da tela: 4,8 x 12,7 mm; Frequência: 180 a 200rpm; Amplitude: 12 mm Condições de Alimentação: Polpa de minério de granito alterado moído – produto do moínho de barras Alimentação de projeto: 10 t/h/jigue; % Sólidos: 40 (massa) Leito: hematita beneficiada; Granulometria: -12,7 + 9,5 mm</p>	<p>Código: BP2 Equipamento: Bomba de Polpa</p> <p>Fabricante: BAKER Modelo: CD66 Serviço: Bombeamento de finos Motor: 100 CV Quantidade: 1 Altura manométrica total: 20,82 m.c.a. Condições de Alimentação: polpa de minério de granito alterado – <i>overflow</i> do Classificador Estático Top size: 0,6 mm; Alimentação de projeto: 96,1t/h ; % Sólidos: 14,1 (massa) Tubulação: Sucção: 254mm; Recalque: 304,8mm</p>

Quadro 1 – Principais características dos equipamentos utilizados no módulo de concentração Grota C - Mineração TABOÇA

<p>Código: BP3 Equipamento: Bomba de Polpa</p> <p>Fabricante: BAKER Modelo: D66 Serviço: Bombeamento de finos para as espirais existentes Motor: 200 CV Quantidade: 2 Altura manométrica total = 27,93 m.c.a. Condições de Alimentação: Polpa de minério de granito alterado Top size = 0,84 mm ; Alimentação de projeto = 110,9 t/h/Bomba ; % Sólidos = 9,9 (massa) Tubulação: Sucção = 333,5 mm ; Recalque = 333,5 mm</p>	<p>Código: HC-01 e 02 Equipamento: Hidrociclone</p> <p>Fabricante: KREBS Modelo: D10B Serviço: Deslamagem da alimentação da jigagem primária e Espirais Quantidade: 4 Dimensões: diâmetro nominal: 254mm; vortex: 89 mm; apex: 510 mm Condições de alimentação: polpa de minério de granito alterado – pré-concentrado Top size: 4,5 mm; % Sólidos = 13 (massa) Pressão de entrada admitida: 11 a 15 psi</p>
<p>Código: HC1 Equipamento: Hidrociclone</p> <p>Fabricante: CIMAQ Modelo: D20B Serviço: Deslamagem da fração fina do minério, módulo de concentração</p> <p>Quantidade: 4 Dimensões: Diâmetro nominal: 508 mm; Vortex : 19,05cm; Apex: 6,35 cm Condições de Alimentação: polpa de minério de granito alterado – overflow da classificação estática Top size: 1 mm; Alimentação de projeto: 32 t/h/Ciclone; % Sólidos: 14,1(massa) Diâmetro de corte admitido: 0,047 mm (d_{50}) Pressão de entrada admitida: 0,7 kg/mm²</p>	<p>Código: HC-03 Equipamento: Hidrociclone</p> <p>Fabricante: KREBS Modelo: D20B Serviço: Deslamagem da alimentação das peneiras Derrick Quantidade: 4 Dimensões: diâmetro nominal : 508mm ; vortex: 172 mm; apex: 83 mm Condições de Alimentação: polpa de minério de granito alterado – <i>underflow</i> da classificação estática Top size: 6,35 mm; Alimentação de projeto: 53 t/h/Ciclone; % Sólidos: 14,1(massa) Diâmetro de corte admitido: 0,085 mm (d_{50}) Pressão de entrada admitida = 0,5 kg/mm²</p>
<p>Código: HC2 Equipamento: Hidrociclone</p> <p>Fabricante: CIMAQ Modelo: D20B Serviço: Deslamagem da fração grossa do minério, módulo de concentração Quantidade: 4 Dimensões: diâmetro nominal: 508 mm; vortex: 19,05cm; Apex: 11,4 cm Condições de Alimentação: polpa de minério de granito alterado – <i>underflow</i> da classificação estática Top size: 6,35mm; Alimentação de projeto: 53 t/h/Ciclone; % Sólidos: 14,1 (massa) Diâmetro de corte admitido: 0,085 mm (d_{50}) Pressão de entrada admitida: 0,5 kg/mm²</p>	<p>Código: JP Equipamento: Jigue Primário</p> <p>Fabricante: MAMORÉ Modelo: YUBA Serviço: Jigagem de pré-concentrado Primário e Aluvionar Motor: 2,5CV Quantidade: 16 Dimensões: 42" x 42" (2 células), Malha da tela = 3,2 x 12,7 mm , tela de inox fio de 3mm, Amplitude = 14 a 16 mm Frequência = 180 rpm Condições de Alimentação: Polpa de minério de pré-concentrado Primário e Aluvionar Top size = 4,5 mm ; % Sólidos = 35(massa) ; Alimentação de Projeto = 3,0 t/h Leito: Cassiterita natural ; Granulometria = -9,5 + 6,4 mm</p>
<p>Código: HC3 Equipamento: Hidrociclone</p> <p>Fabricante: CIMAQ Modelo: D20B Serviço: Deslamagem para as espirais existentes Quantidade: 4 Dimensões: diâmetro nominal: 508 mm; vortex: 19,05 c; Apex: 8,26 cm Condições de Alimentação: Polpa de minério de granito alterado – rejeitos finos Top size = 1,0 mm; Alimentação de projeto = 27 t/h/Ciclone ; % Sólidos: 9,9(massa) Diâmetro de corte admitido = 0,035 mm (d_{50}) Pressão de entrada admitida = 1,34 kg/mm²</p>	<p>Código: JS Equipamento: Jigue Secundário</p> <p>Fabricante: MAMORÉ Modelo: DENVER Serviço: Jigagem do concentrado da célula "B" da jigagem primária Motor: 2CV Quantidade: 12 Dimensões: 24" x 36" (2 células), Malha da tela = 2,4 x 12,7 mm , tela de inox fio de 3mm , Amplitude = 10 a 12 mm Frequência = 220 rpm Condições de Alimentação: Polpa de minério de pré-concentrado Primário e Aluvionar Top size = 4,5 mm ; % Sólidos = 35 (massa) ; Alimentação de Projeto = 2,5t/h Leito: Cassiterita natural ; Granulometria = -6,4 + 3,2 mm</p>
<p>Código: CE Equipamento: Classificador Espiral</p> <p>Fabricante: CIMAQ Modelo: CE760 Serviço: Concentração de finos de cassiterita – cleaner e scavenger Quantidade: 4 Dimensões: 760 x 430 mm Condições de Alimentação: Polpa de pré-concentrado de cassiterita Top size: 6 mm; Alimentação de projeto: 1,5 t/h/CE ; % Sólidos: 35 (massa)</p>	<p>Código: EHG7 Equipamento: Espiral de Humphrey</p> <p>Fabricante: ACAFLEX Modelo: HG7 Serviço: Concentração de cassiterita do rejeito da jigagem primária Dupla HighGrade Quant.: 10 Material de Construção: Fibra de vidro / Poliuretano ; Dimensões: diâmetro: 620 mm ; comprimento: 3035 mm. Condições de Alimentação: Polpa de minério de cassiterita – rejeito da jigagem primária Top size: 3,0 mm ; Alimentação de projeto: 1,5 t/h/espiral ; % Sólidos = 40,2 (massa)</p>

Quadro 1 – Principais características dos equipamentos utilizados no módulo de concentração Grota C - Mineração TABOÇA

Quadro 2 – Principais características dos equipamentos utilizados no beneficiamento de minério de estanho da mina de Pitinga – UBMI

<p>Código: CE Equipamento: Classificador Espiral</p> <p>Fabricante: CIMAQ Modelo: CE760 Serviço: Classificação de concentrado final Motor: 5 CV Quantidade: 2 Dimensões: 760 mm Condições de Alimentação: concentrado final de cassiterita</p>	<p>Código: MVSF Equipamento: Mesa Vibratória Secundária finos</p> <p>Fabricante: CIMAQ Serviço: Concentração de cassiterita <0,23 mm Motor: 2CV Quantidade: 10 Dimensões: 2,1 x 5 m Amplitude: 12 mm; Frequência: 240 rpm; Inclinação: 4º Condições de Alimentação: concentração da mensagem primária Granulometria: <0,23 mm; Alimentação de projeto: 0,6 t/h/mesa; % Sólidos: 35 (massa)</p>
<p>Código: MB-01 Equipamento: Moinho de Barras</p> <p>Fabricante: ZANINI Serviço: Moagem dos rejeitos das jigagens primária e secundária Motor: 60CV Quantidade: 5 Dimensões: diâmetro: 1,4 x 2,0 m; barras: cilíndricas aço DIN 90 MN4 – Dureza 330 – 370 HB, diâmetro: 60 mm, comprimento: 1.900 mm Condições de Alimentação: pré-concentrado de granito alterado Top size: 5 mm ; WI : 14,4 kWh/shot; Alimentação de projeto: 5,0 t/h ; % Sólido: 65 (massa); circuito fechado ; Enchimento: 40%; Revestimento: borracha; Descarga: overflow Granulometria: f_{80} 1000 microns , P_{80} : 500 microns</p>	<p>Código: FH Equipamento: Filtro Horizontal</p> <p>Fabricante: MAMORÉ Modelo: Vácuo Serviço: Secagem de concentrado de cassiterita Motor: 3CV Quantidade: 2 Tipo: Filtro rotativo à vácuo; Porcentagem de sólidos da alimentação: 21% Porcentagem de sólidos do produto: 3%; Capacidade: 8 t/h; Reutilização da água do filtro: Sim; Tempo de filtragem: 20s Condições de Alimentação: concentrado de cassiterita</p>
<p>Código: PV Equipamento: Peneira Vibratória</p> <p>Fabricante: DERRICK Modelo: K48-96MS3 Serviço: Classificação da alimentação dos moinhos Motor: 3 CV Abertura da tela: 0,23 mm Amplitude de oscilação: 5 mm ; Frequência: 3600 rpm Condições de Alimentação: Top size: 0,6 mm; Alimentação de projeto: 5 t/h/peneira</p>	<p>Código: HC-1/2 Equipamento: Hidrociclone</p> <p>Fabricante: KREBS Modelo: D20B Serviço: Deslamar alimentação das peneiras Quantidade: 4 Dimensões: Diâmetro nominal: 508 mm; Vortex: 101 mm; Apex : 76 mm Condições de Alimentação: mistos UBMI Top size: 0,6 mm; % Sólidos: 13 (massa) Pressão de entrada admitida: 12 a 15 psi</p>
<p>Código: MYPG Equipamento: Mesa Vibratória Primária G.</p> <p>Fabricante: CIMAQ Mod.: SSI1716 Serviço: Pré-concentração de cassiterita >0,23mm Motor: 2 CV Quantidade: 16 Dimensões: 2,1 x 5 m Amplitude: 12 mm; Frequência: 240 rpm; Inclinação: 4º Condições de Alimentação: Minério de cassiterita moído -0,43 +0,23 mm Top size: 0,5 mm; Alimentação de projeto: 1 t/h/mesa; % Sólidos: 35 (massa)</p>	<p>Código: D20B Equipamento: Hidrociclone</p> <p>Fabricante: KREBS Modelo: D20B Serviço: Desaguar alimentação das espirais HG7 Quantidade: 2 Dimensões: Diâmetro nominal: 508 mm ; Vortex: 101 mm; Apex: 76 mm Condições de Alimentação: produto do moinho de bolas classificado Top size: 0,6 m; % Sólidos: 14,1 (massa) Pressão de entrada admitida: 12 a 15 psi</p>
<p>Código: MVSG Equipamento: Mesa Vibratória Secundária G.</p> <p>Fabricante: CIMAQ Serviço: Concentração de cassiterita >0,23 mm Motor: 2 CV Quantidade: 3 Dimensões: 2,1 x 5 m Amplitude: 12 mm; Frequência: 240 rpm; Inclinação: 4º Condições de Alimentação: Concentrado da mensagem primária Granulometria: -48+65 malhas; Alimentação de projeto: 0,5 t/h/mesa; % Sólidos: 35 (massa)</p>	<p>Código: PV Equipamento: Peneira Vibratória</p> <p>Fab.: DERRICK Modelo: K48-96MS3 Serviço: Classificação do alimentação do circuito de espirais Motor: 3CV Quantidade: 8 Abertura: 0,23 mm Amplitude de oscilação: 5 mm; Frequência: 3600 rpm Top size: 0,6 mm; Alimentação de projeto: 5 t/h/peneira</p>
<p>Código: MVPF Equipamento: Mesa Vibratória Primária finos</p> <p>Fabricante: CIMAQ Serviço: Pré-concentração de cassiterita <0,23 mm Motor: 2CV Quantidade: 10 Dimensões: 2,1 x 5 m Amplitude: 12 mm ; Frequência: 240rpm ; Inclinação: 4º Condições de Alimentação: Minério de cassiterita moído <0,23 mm Granulometria: <0,23 mm ; Alimentação de projeto: 1,0 t/h/mesa ; % Sólidos: 35 (massa)</p>	

Quadro 3 – Principais características dos equipamentos utilizados no beneficiamento de minério de estanho da mina de Pitinga – UBM3/4

Código: MBO-01 e 02	Equipamento: Moinho de Bolas
Fabricante: FAÇO / FURLAN	Serviço: Moagem de mistos
Motor: 400 HP / 1190rpm	Quantidade: 02
Dimensões: diâmetro: 4,4 x 6,0 m;	Bolas: diâmetro: 50 e 60mm;
Dureza: 64 a 66 HRC	Condições de Alimentação: Pré-concentrado de granito alterado
WI: 14,4 kwh/sht;	Alimentação de projeto: 25,0 t/h/moinho; % Sólido: 65 (massa); circuito fechado;
Enchimento: 40%;	Revestimento metálico; Descarga por <i>overflow</i>
Granulometria: f_{80} : 500 mm , P_{80} : 212 mm.	
Código: EHG7	Equipamento: Espiral de Humphrey
Fabricante: AKW	Modelo: HG7
Serviço: Pré-Concentração de mistos	UBMI DuplaHighGrade
Quantidade: 10	Material de Construção: Fibra de vidro / Poliuretano;
Dimensões: diâmetro: 620mm ; comp.: 3035 mm.	Condições de Alimentação: polpa de minério de cassiterita – Mistos
Top size = 3,0 mm;	Alimentação de projeto: 1,5 t/h/espiral ; % Sólidos: 40,2 (massa)
Código: MV	Equipamento: Mesa Vibratória
Fabricante: CARPCO	Modelo: 6A
Serviço: Concentração gravítica final	Motor: 2CV
Quantidade: 16	Dimensões: 2,1 x 4,6 m
Amplitude: 12 mm	Frequência: 260 rpm ;
Inclinação: 3°	Condições de Alimentação: Concentrado das espirais
Top size: 0,23 mm ;	Alimentação de projeto: 1,8 t/h/mesa ; % Sólidos: 35 (massa)
Código: CA-1	Equipamento: Célula de Atrição Estágio 1
Mod.: N10 x 4	
Fab.: MININGTECH	Serviço: Scrubagem 1º estágio
Motor: 25CV	Quantidade: 4
Condições de Alimentação: Concentrado das mesas vibratórias	
Código: CA	Equipamento: Célula de Atrição Estágio 2
Fabricante: MININGTECH	Serviço: Scrubagem 2º estágio
Quantidade: 6	Condições de Alimentação: Concentrado das mesas vibratórias
Código: FH	Equipamento: Filtro Horizontal à vácuo
Fabricante: MAMORE	Modelo: 1800/2000
Serviço: Secagem de concentrado misto	Motor: 2 CV
Quantidade: 2	Dimensões: Condições de Alimentação: Concentrado das mesas vibratórias
Código: SR	Equipamento: Secador Rotativo
Fabricante: MAMORE	Modelo: 5/8
Serviço: Secagem de concentrado misto	Motor: 3CV
Quantidade: 2/2	Dimensões: Rotação: 1110 rpm
Condições de Alimentação: Umidade do produto = 1% ; Capacidade de cada equipamento: 5 e 8t/h; Temperatura de secagem: 150 - 180 graus; Tempo de secagem: 1 minuto; Combustível: Lenha; Inclinação: 6-7 graus; Rotação do tambor: 11,7 rpm.	
Código: HTP	Equipamento: Separador Eletrostático de Rolos
Fab.: CARPCO	Mod.: 221-150-4
Serviço: Separação entre condutores e não condutores	231-150-6
Quantidade: 6	Campo Elétrico: 17 a 20 kw ;
Nº de Estágios = 1 ;	Eletrodo: fio de Tungstênio e alumínio
Condições de Alimentação: Granulometria = < 0,23 mm ; Alimentação de projeto = 5 t/h/HT	
Código: STR	Equipamento: Separador Magnético de baixa intensidade
Fab.: ERIEZ	Mod.: 20.1 e 30.1
Serviço: Separação dos ferromagnéticos	Quantidade: 2 Nº de Estágios = 1 ;
Condições de Alimentação: Granulometria = < 0,23 mm ; Alimentação de projeto = 10 t/h/HT	
Código: RI	Equipamento: Separador Magnético de Rolos Induzidos
Fabricante: BOX MAG	Modelo: MIH-13
Serviço: Pré-concentração de cassiterita e columbita	221-100P
Quantidade: 2	Nº de Estágios = 1
Granulometria = < 0,23 mm ;	Alimentação de projeto = 6 t/h/HT
Código: HT	Equipamento: Separador Magnético de Discos
Fabricante: CARPCO	Modelo: BOG34005
Serviço: Concentração de cassiterita e columbita	Quantidade: 8 Nº de Estágios = 1
Condições de Alimentação: Granulometria = < 0,23 mm ; Alimentação de projeto = 6 t/h/HT	
Código: HT	Equipamento: Separador Eletrostático de Placas
Fabricante: Mineral Deposit	Modelo: MARK IV
Serviço: Concentração final de cassiterita	Single Start
Quantidade: 2	Campo Elétrico: 17 a 20kw ;
Nº de Estágios = 1 ;	Eletrodo: fio de Tungstênio e alumínio
Condições de Alimentação: Granulometria = < 0,23 mm ; Alimentação de projeto = 0,7 t/h/	