A experiência da CVRD com a Planta de Concentração de Itabiritos do Cauê

Mário Roberto M. Pierry *
Francisco Valadares Póvoa *
José Armando F. Campos *

1. INTRODUÇÃO

2. CONCENTRAÇÃO DE ITABIRITOS DO CAUÊ

3. OTIMIZAÇÃO NA PLANTA

4. PELLET FEED PARA PELOTAS TIPO REDUÇÃO DIRETA

5. CONCENTRAÇÃO GRAVIMÉTRICA NO CAUÊ

6. CONCLUSÕES

7. BIBLIOGRAFIA

* Técnicos da Companhia Vale do Rio Doce - CVRD

Resumo

Este trabalho descreve as modificações e melhoramentos introduzidos na Planta de Concentração do Cauê, desde o início de operação pela Cia. Vale do Rio Doce em 1972 em Itabira - MG.

O projeto original apresentou pouca flexibilidade na obtenção de teores em ferro maiores que 66,8%, para o Pellet Feed, durante o primeiro ano de operação.

As modificações foram programadas para serem executadas em duas etapas. A primeira foi completada em 1977 consistindo na alteração das posições relativas dos estágios de classificação e concentração magnética. Além deste, todo o sistema de filtragem de Pellet Feed foi modificado, com aplicação de filtros a discos verticais em lugar de filtros planos horizontais. Em seguida, para se aumentar a capacidade de alimentação em vazão de polpa nos concentradores magnéticos de "finos" e, assim, permitir melhorias na qualidade dos concentrados, foi executado o segundo estágio-constituído principalmente por aumento da capacidade de bombeamento de polpa.

É mostrado também a experiência da CVRD com a colocação em operação de uma planta para enriquecimento de Pellet Feed por flutuação catiônica. Este fato tornou a CVRD capaz de fornecer concentrados com teores de SiO_2 entre 0,8 a 5,5% para as Usinas de pelotização em Tubarão, Vitória.

Finalmente são descritos os melhoramentos planejados para concentração por jigagem das frações grossas dos finos de sinterização.

1. Introdução

Desde a sua posta-em-marcha, no início de 1972, a Planta de Concentração de Itabiritos do Cauê sofreu várias modificações em seu fluxograma original. Estas modificações foram impostas pela evolução das especificaçoes de produto final e pela melhor caracterização dos tipos de minério disponíveis, o que foi possível, principalmente, através da própria lavra da jazida.

Dessa forma, este trabalho procura mostrar numa ordenação cronológica, as modificações que vêm sendo introduzidas, etapa por etapa, com as justificativas que impuseram a sua realização, bem como, as soluções encontradas.

2. Concentração de Itabiritos do Cauê

2.1. Fluxograma original

A Usina de Concentração de Itabiritos do Cauê foi concebida inicialmente com 28 linhas de produção idênticas e independentes, cujo único elo de ligação eram os sistemas de facilidades, tais como, suprimentos de água e minério, recuperação de água e manuseio e estocagem de produtos e deposição de rejeitos.

A capacidade nominal de cada uma dessas linhas era de 140 t/h e a situação desta usina em relação ao complexo de beneficiamento de minério do Cauê pode ser vista na figura 1.

Uma descrição sucinta daquele fluxograma original - mostrado na figura 2 - é a seguinte:

- Alimentação: Finos de itabirito, abaixo de 32 mm e com teor médio entre 48 e 52% de Fe, após estocagem e homogeneização em pátios.

- Peneiramento a úmido em peneiras de duas seções, a 1 e 6 mm de abertura. O produto acima de 6 mm podia ser rebritado ou então conduzido como *Natural Pellet* até o pátio de estocagem onde era empilhado. O produto entre 1 e 6 mm, chamado de *Sinter Feed 1*, após desaguamento em peneiras era misturado a outros componentes indo para o *Sinter Feed B*. O material abaixo de 1 mm era bombeado sob a forma de polpa a 50% de sólidos em massa para a deslamagem.

Figura 1 - Arranjo geral das instalações de beneficiamento do Cauê

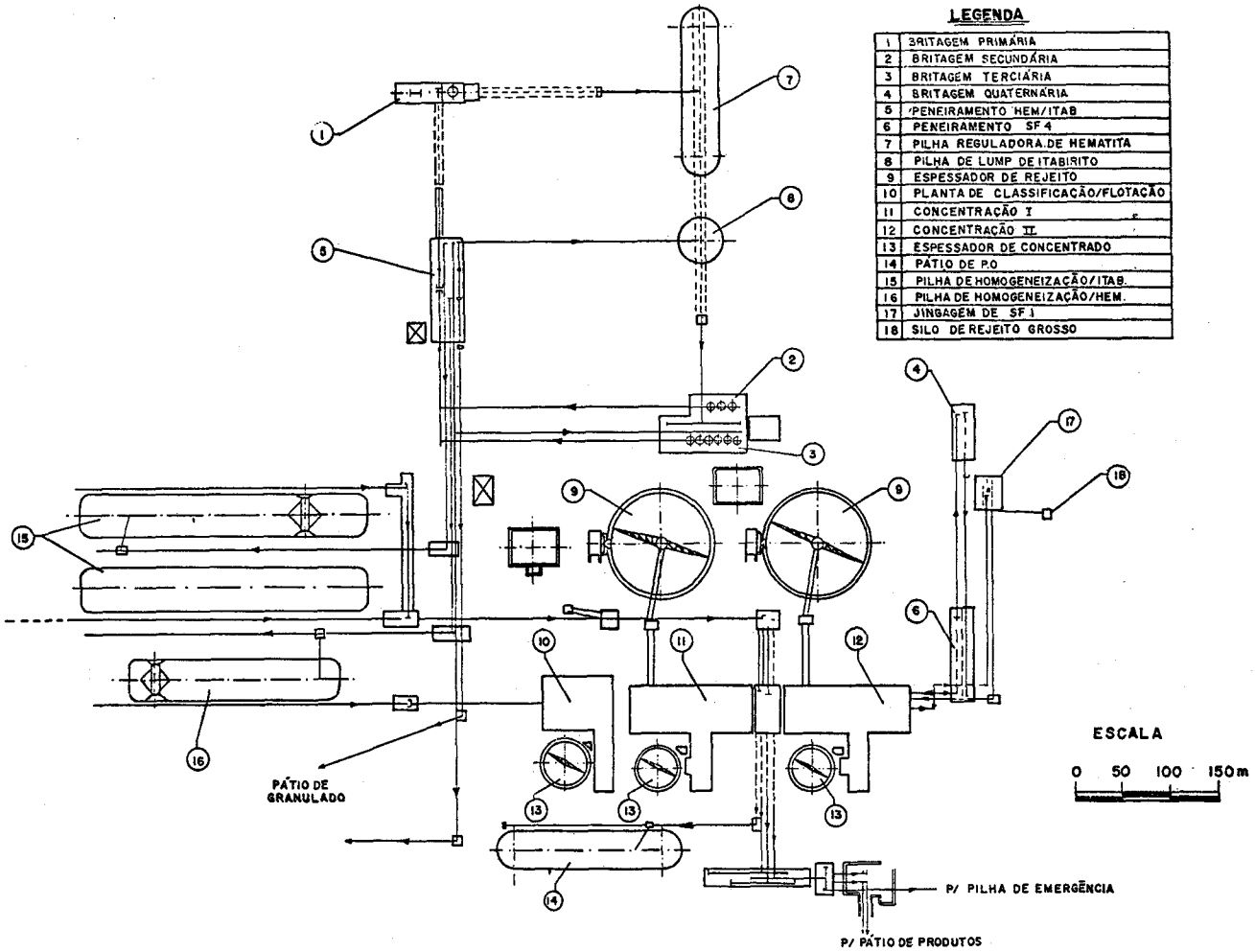
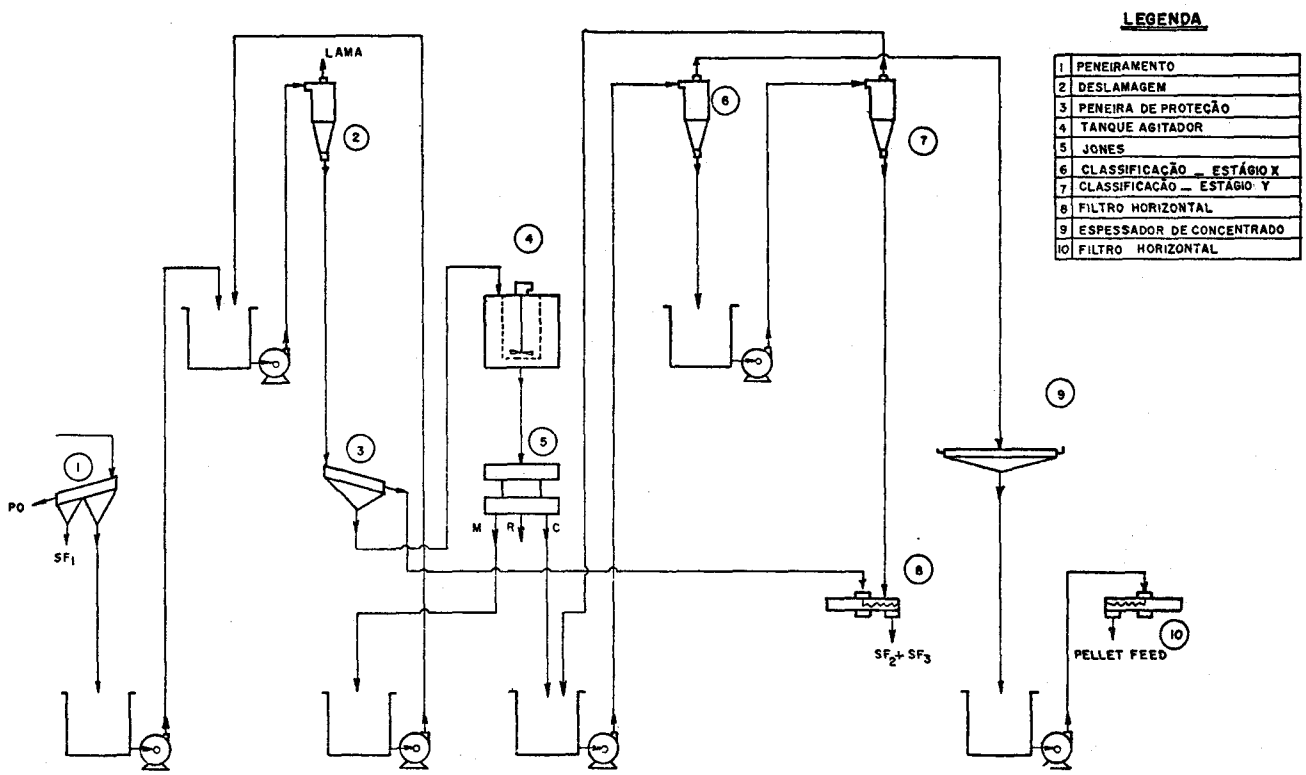


Figura 2 - Planta de Concentração Cauê - Fluxograma original



- A deslamagem era efetuada em uma bateria de 16 ciclones de 125 mm de diâmetro a 1,2 kg/cm² de pressão e com uma concentração de 35% de sólidos em massa. O produto de "overflow" era conduzido ao espessamento de lamas permitindo a recuperação de água para o processo.

- O produto de "underflow" dos ciclones de deslamagem passava então por uma peneira com abertura de telas de 0,8 mm, usada como proteção contra entupimentos, da separação magnética efetuada no passo seguinte. O produto acima de 0,8 mm era o *Sinter Feed 2* e os finos eram alimentados aos separadores magnéticos.

- Separação magnética a úmido de alta intensidade foi o processo selecionado para a concentração do minério hematítico. Esta separacão é efetuada em concentradores Jones modelo DP 317, constituído de dois rotores e quatro pontos de alimentação. A hematita, um mineral fracamente magnético, é retida entre as placas da matriz do separador, enquanto o quartzo, presente como o mais abundante mineral da ganga, é removido para as descargas de rejeito, por ação de forças de arraste hidráulico. A densidade de fluxo magnético entre os dipolos, na zona de separação, é da ordem de 1,0 Tesla (ou 10 000 Gauss). Médios constituídos de partículas completamente liberadas são produzidos e recirculados, garantindo, mesmo com uma alta recuperação, a obtenção de concentrados de boa qualidade. Fora da zona altamente magnetizada do separador, água de lavagem com pressão de 4 a 5 kg/cm² remove o concentrado das placas.

- O concentrado magnético era classificado em dois estágios cada um com 4 ciclones de 300 mm de diâmetro. O produto de "overflow" do primeiro estágio era o *Pellet Feed* sendo removido para o espessamento e filtragem. O "underflow" era alimentado ao 2º estágio, sendo o "overflow" recirculado no 1º estágio e o "underflow" retirado como *Sinter Feed 3*.

- A filtragem era feita em filtros planos horizontais. Eram usados 17 filtros de 16 m² cada para a filtragem do *Pellet Feed* enquanto 28 filtros de 6 m² cada um recebiam a mistura de *Sinter Feed 2* e *Sinter Feed 3*.

2.2. A experiência da CVRD com o fluxograma original

Decorrido um ano a partir do "start-up" da Usina de Concentração chegou-se à conclusão que o fluxograma utilizado não era o mais adequado à produção de *Pellet Feed* e *Sinter Feed B* (mistura de Sinter Feed 1, Sinter Feed 2 e Sinter Feed 3, que era comercializada àquela época) com uma qualidade boa e principalmente regular.

Os maiores problemas ocorriam nos ciclones de 300 mm de diâmetro que faziam a classificação do concentrado. Esta era de baixa eficiência, sem permitir uma nítida separação dos produtos "finos" e "grossos". A especificação de granulometria para o *Sinter Feed B* (máximo 41% menor que 0,15 mm) exigia uma concentração de sólidos bastante elevada na alimentação do ciclone. Por sua vez, a polpa com grande quantidade de sólidos causava um efeito de "meio denso", responsável por colocar grânulos grosseiros de quartzo no produto de "overflow" aumentando o teor de SiO_2 de *Pellet Feed*. A uma tentativa de melhoria da qualidade química deste produto, através da diluição da polpa de alimentação do ciclone, ocorria um "afinamento" do produto de "underflow" com fuga da especificação de granulometria para o *Sinter Feed B*.

Concentrados magnéticos com teor médio de 67,5% de Fe produziam *Pellet Feed* com 66,8% e *Sinter Feed 3* com 68,5% de Fe.

Os problemas com a qualidade química do *Pellet Feed* não residiam apenas no seu baixo teor. A diversidade dos tipos de pelotas, colocados à disposição do mercado pela CVRD, exigia variação de qualidade do *Pellet Feed*, principalmente em seu teor de SiO_2, numa faixa muito ampla. Àquela época esta faixa era de 5,5 a 1,8% de SiO_2, muito difícil de ser atingida com o fluxograma baseado em concentração seguido de classificação. A flexibilidade exigida para o ciclones de classificação trabalhando após concentração em faixa granulométrica total era excessivamente elevada.

Os problemas com as especificações para o *Sinter Feed B* ocorreram principalmente devido à tentativa de se controlar a granulometria do produto de "underflow" usando "stoppers" na saída. Este tipo de operação conduzia a uma descarga sobrecarregada, muito próxima do ponto de entupimento do ciclone.

Como decorrência natural dos problemas apontados, os gráficos das figuras 3 e 4 mostram, para os anos de 1973 e 1974, grande variação na qualidade do *Pellet Feed*, e do *Sinter Feed B* produzidos. Nestes dois gráficos são mostradas as médias e desvios entre trens (aproximadamente 6 000 t/trem), ano a ano, para o minério embarcado em Itabira, com destino ao Porto de Tubarão ou às Usinas de Pelotização.

2.3. Modificações

Tão logo concluidos os estudos e testes que comprovaram a origem dos problemas, a CVRD iniciou os testes em escala industrial. Para isto, duas linhas foram reunidas em um único sistema com a etapa de classificação em ciclones precedendo a concentração magnética. A figura 5 ilustra o fluxograma simplificado após a introdução das modificações.

Os aspectos mais importantes do fluxograma modificado foram os seguintes:

- Troca de posições entre as etapas de classificação em ciclones e de concentração magnética;

- Alteração do diâmetro de 12" (300 mm) dos ciclones de classificação para 26";

- Introdução de mais um estágio de deslamagem e reposicionamento desta etapa no fluxograma de processo, imediatamente após a classificação. Este procedimento, aliado à troca de diâmetros, de 125 mm nos ciclones originais para 500 e 150 mm nos

FIGURA 3 - Qualidade do Pellet Feed Cauê
Médias e desvios entre carregamentos

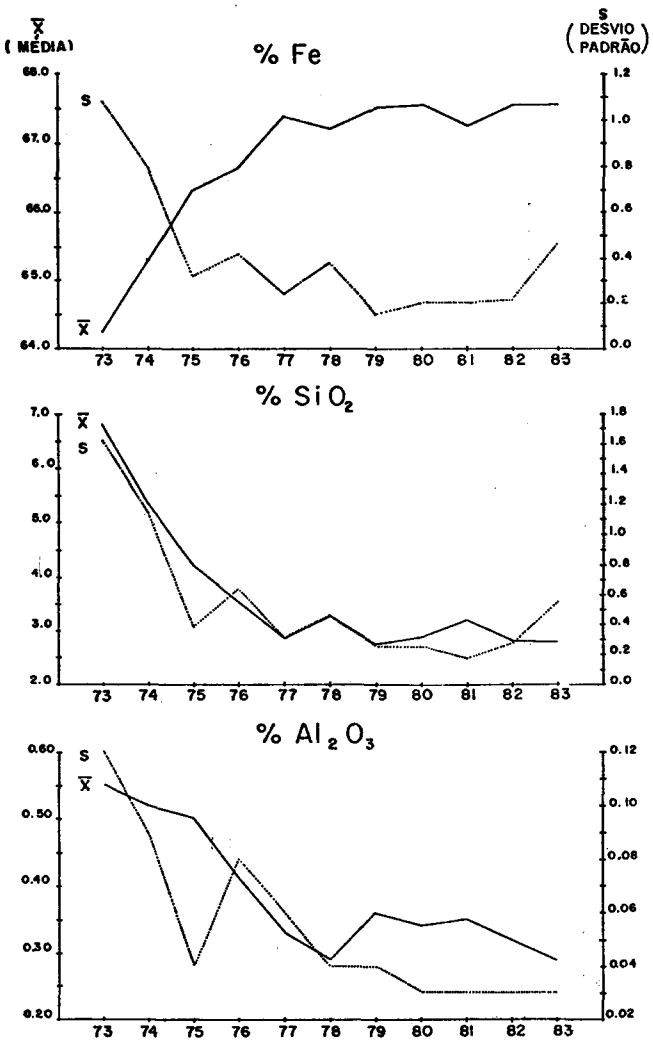


FIGURA 4 - Qualidade do Sinter Feed B
Médias e desvios entre carregamentos

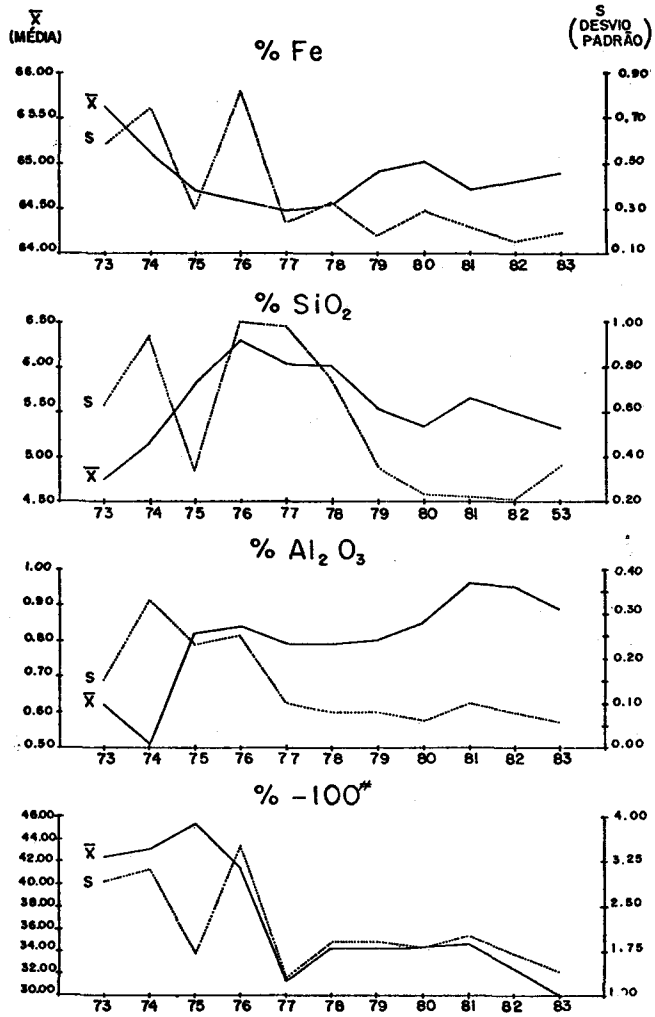
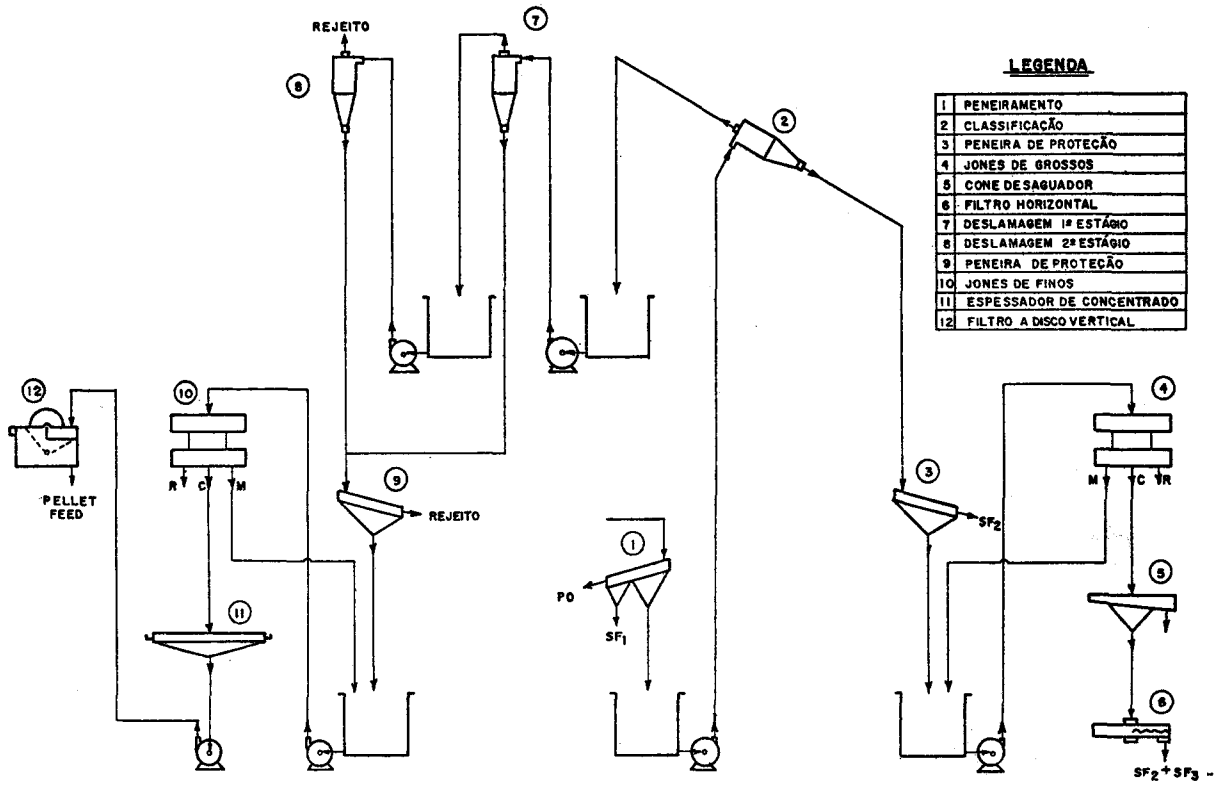


Figura 5 - Planta de Concentração Cauê - Fluxograma modificado



novos ciclones, para o primeiro e segundo estágios, respectivamente, contribuiu para uma melhoria da recuperação metalúrgica da usina, além de vantagens do ponto de vista de manutenção;

- Modificações gerais no lay-out para permitir os ajustes requeridos pela nova partição de massas no ciclone de classificação e pela nova distribuição de produtos. A partir de então, as 28 linhas de produção da Usina estão agrupadas em 4 sistemas de 6 linhas e 2 sistemas de 2 linhas.

Deve-se ressaltar também as modificações introduzidas, à mesma época, na filtragem do *Pellet Feed*. Filtros planos horizontais, em número de 17 e com área filtrante efetiva de 272 m^2 foram instalados inicialmente para esta operação. Devido à baixa disponibilidade dos filtros, a taxa de filtragem requerida era de 6,2 $t/h/m^2$, valor considerado como muito alto para permitir a obtenção de bons resultados. O teor de umidade médio era de 12%, causando constantes problemas de manuseio e de transporte.

A aplicabilidade de filtros verticais a disco foi então testada pela CVRD. Os testes foram conduzidos em todas as etapas, laboratório, piloto e industrial e tão logo esta operação não usual mostrou-se comprovadamente segura, a CVRD instalou 18 unidades de filtros verticais a disco 10 x 1,80m de diâmetro. O descréscimo da taxa de filtragem para 2 $t/h/m^2$ resultou numa umidade para o produto final, entre 7 e 8%.

A principal vantagem obtida com a troca do tipo de filtro foi permitir um aumento da disponibilidade de área filtrante sem acréscimo em área de piso ou nova construção. Além disto, a operação total, incluindo o transporte do *Pellet Feed* por ferrovia até Tubarão, tornou-se bem mais econômica.

3. Otimizações na planta

Várias técnicas de otimização foram usadas durante e após as modificações introduzidas no fluxograma da planta, de maneira que se obtivesse, simultaneamente, uma boa qualidade de produtos e uma alta produtividade na etapa de concentração.

O primeiro trabalho desenvolvido em termos de otimização dos separadores magnéticos Jones foi uma matriz de experimentação de Plackett-Burman. Variáveis tais como: diluição da polpa de alimentação, densidade de fluxo magnético e rotação da máquina, foram indicadas como tendo uma significância considerável nos resultados e sua eficiência da separação.

Esta seleção de variáveis foi feita em 1975 e em 1978, imediatamente após a complementação das modificações na Usina do Cauê, foi aplicada uma técnica dinâmica de otimização denominada SS-DEVOP (Simplex Self-Directing Evolutionary Operation).

As variáveis escolhidas foram rotação da máquina e densidade de fluxo magnético, esta última, medida indiretamente pela corrente alimentada às bobinas. O principal objetivo foi a maximização da recuperação metalúrgica para a produção de concentrados de alto teor metálico (àquela época SiO_2 de 2,5%). Os resultados dos testes indicaram as seguintes condições operacionais para os separadores magnéticos do circuito de *Pellet Feed*:

1) Velocidade do rotor - 5,75 rpm (após algum tempo reduzida para 5,25 por restrições de ordem mecânica);

2) Corrente elétrica de 220 A através das bobinas (campo magnético presumível de 0,92 T).

Em março de 1982 foi feita nova investigação sobre os efeitos da diluição da polpa e taxa de alimentação sobre o teor de SiO_2 no concentrado e sobre a recuperação metalúrgica.

Empregou-se um modelo fatorial bi-dimensional para dois fatores, com um arranjo octogonal, pois os dados experimentais mostraram ser melhor representados por um modelo de segunda ordem.

A análise estatística mostrou que a diluição da polpa de alimentação é muito mais significativa que a taxa de alimentação e afeta fortemente o teor de SiO_2 no concentrado do Jones. Para uma taxa de alimentação constante, ficou provado que o teor de SiO_2 do concentrado experimenta um decréscimo para diluição entre 40 e 42% de sólidos em massa e, a partir desse ponto, cresce rapidamente à medida que a porcentagem de sólidos aumenta. Este efeito torna-se mais significativo em valores mais elevados para a porcentagem de sólidos, quando esta variável tende à saturação (provavelmente em torno de 65% de sólidos) quando as placas da matriz de separação ficariam entupidas e a descarga de concentrados seriam igual à alimentação.

Os testes demonstraram uma grande dependência da qualidade do *Pellet Feed* e da performance do separador magnético com a relação quantidade de sólidos para quantidade de água na polpa. Em outras palavras, eles mostraram que a separação magnética do minério num Jones é função da vazão volumétrica entre as placas, ou seja, do resultado entre as duas forças competitivas: magnética e de arraste hidrodinâmico.

4. Pellet Feed para pelotas tipo redução direta

Após as modificações descritas acima, a CVRD estava apta a produzir *Pellet Feed* com teor variando entre 1,8 a 5,5% de SiO_2. Os parâmetros de qualidade para o *Sinter Feed B* foram mantidos de acordo com as especificações.

Devido à demanda de concentrados mais puros, destinados à fabricação de pelotas para Redução Direta, *Pellet Feed* com menos de 1,5% SiO_2 passou a ser requerido já no início de 1978. Assim, já no início de 1979 a CVRD começou a pesquisar a concentração magnética em duplo estágio. Simultaneamente, alguns testes de flotação catiônica, em caráter investigatório, eram feitos no Departamento de Pesquisas Tecnológicas da CVRD, em Belo Horizonte.

O processo de separação magnética em dois estágios utilizando um separador Jones na Planta Piloto mostrou ser possível a obtenção de concentrados com 1,4% de SiO_2 e com 95% de recuperação metalúrgica mas um estudo econômico indicou que seria necessário um investimento adicional de US$ 45 milhões representando cerca de US$ 6,50/t.ano de produto.

Considerando o alto investimento requerido para a implantação de um segundo estágio de concentração magnética, a CVRD decidiu concentrar os estudos de enriquecimento de *Pellet Feed* baseado no processo de flotação catiônica de sílica, o que foi feito com a execução das seguintes etapas:

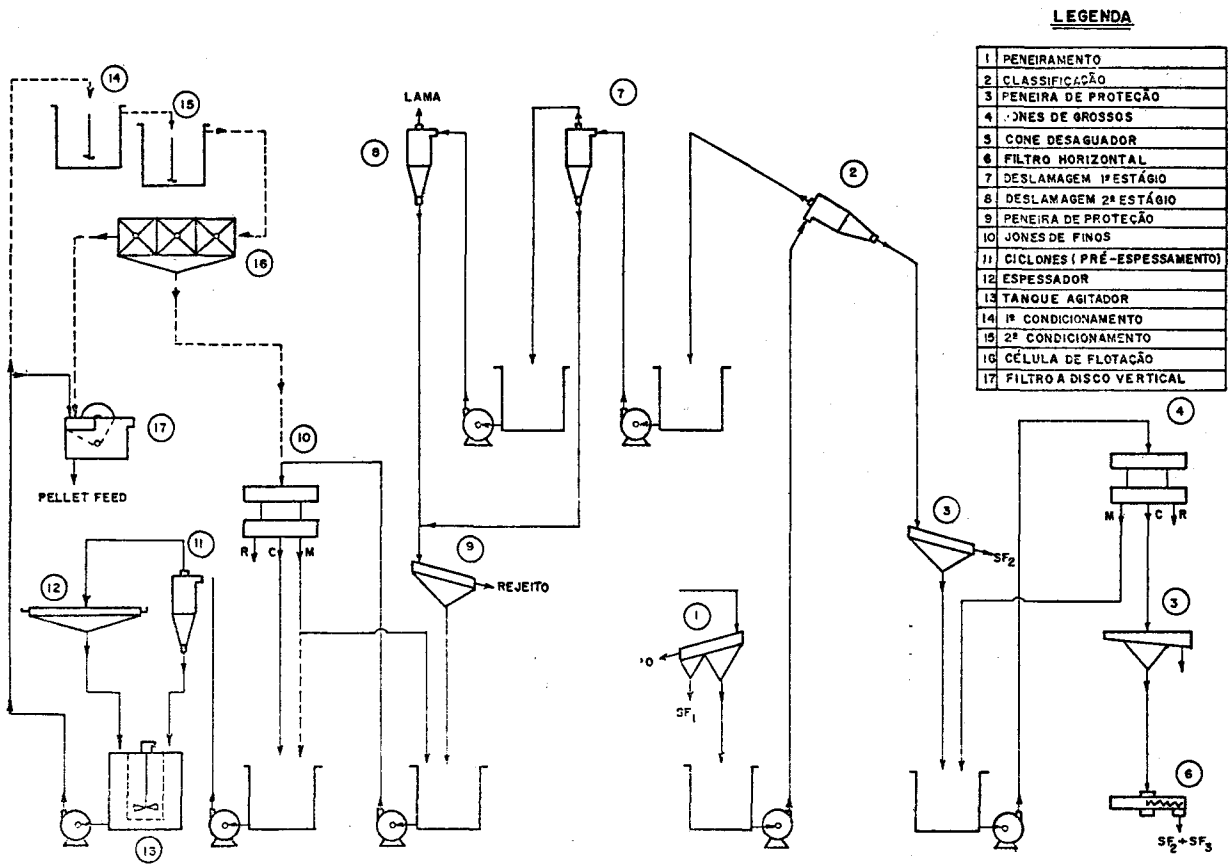
- Seleção de variáveis por meio de testes "batch" em células DENVER de 2,5 litros e seleção inicial de condições operacionais para uma planta piloto;
- Montagem de uma planta piloto com capacidade de 1,5 a 2,0 t/h e testes com o objetivo de se definir o melhor fluxograma;
- Otimizações do fluxograma escolhido e testes confirmatórios, quanto à estabilidade do processo, de longa duração;
- Testes para seleção de reagentes.

O processo de flotação mostrou-se capaz de produzir concentrados com até 0,5% SiO_2 com 95% de recuperação metalúrgica, num fluxograma com estágio "rougher", um "cleaner" e três estágios "scavenger".

Os testes realizados inicialmente mostraram que para um circuito de flotação alimentado com o mesmo fluxo que alimenta os separadores magnéticos (48% Fe, aproximadamente), praticamente metade do volume de células era usado em estágios "scavenger" colocando em recirculação um volume muito grande de espumas. Por esse motivo, a CVRD decidiu testar uma combinação dos processos de separação magnética e flotação, obtendo-se com isto uma alta recuperação metalúrgica mesmo com a produção de concentrados muito puros.

Uma concentração "rougher", com produção de rejeito final, é feita nos separadores magnéticos Jones. O pré-concentrado com teor de Fe entre 58 e 62% é então enviado à flotação, para uma operação de limpeza. Os rejeitos da flotação são recirculados na separação magnética. O fluxograma da Usina de Concentração Cauê após a introdução da flotação está mostrado na figura 6.

Figura 6 - Planta de Concentração Cauê - Fluxograma após implantação da flotação



As vantagens decorrentes da adoção de um projeto de engenharia com a combinação descrita foram as seguintes:

- Utilização dos 18 separadores magnéticos Jones do circuito de finos (pellet Feed) para as operações de desbaste e de retratamento dos rejeitos;
- Produção de concentrados puros, com baixo teor de impurezas;
- Boa recuperação metalúrgica;
- Decréscimo significativo da quantidade de reagente coletor requerido;
- Redução de 45% de volume de células;

- A possibilidade de utilização de um prédio já existente (antiga Planta de Lavagem de Hematita) para abrigar as células de flotação, o que manteve o investimento abaixo de US$ 10 milhões;

- Redução do tempo de implantação do projeto, sendo gastos apenas 12 meses com as obras.

5. Concentração gravimétrica no Cauê

Pesquisas geológicas complementares realizadas na Mina do Cauê no início de 1976 apontaram um ligeiro decréscimo de qualidade, em termos de teor de Fe, para as frações grosseiras das camadas mais inferiores do itabirito. Além desse fato, a relação hematita/itabirito na lavra desta mina, tende também a decrescer, contribuindo para um aumento do teor de sílica do *Sinter Feed* aí produzido.

Para solucionar este problema a CVRD decidiu promover algumas investigações sobre a concentração do *Sinter Feed 1* e do *Sinter Feed 2*, componentes oriundos apenas da classificação em peneiras do itabirito, antes da concentração magnética.

Os primeiros estudos foram feitos tendo como base uma mistura dos dois componentes.

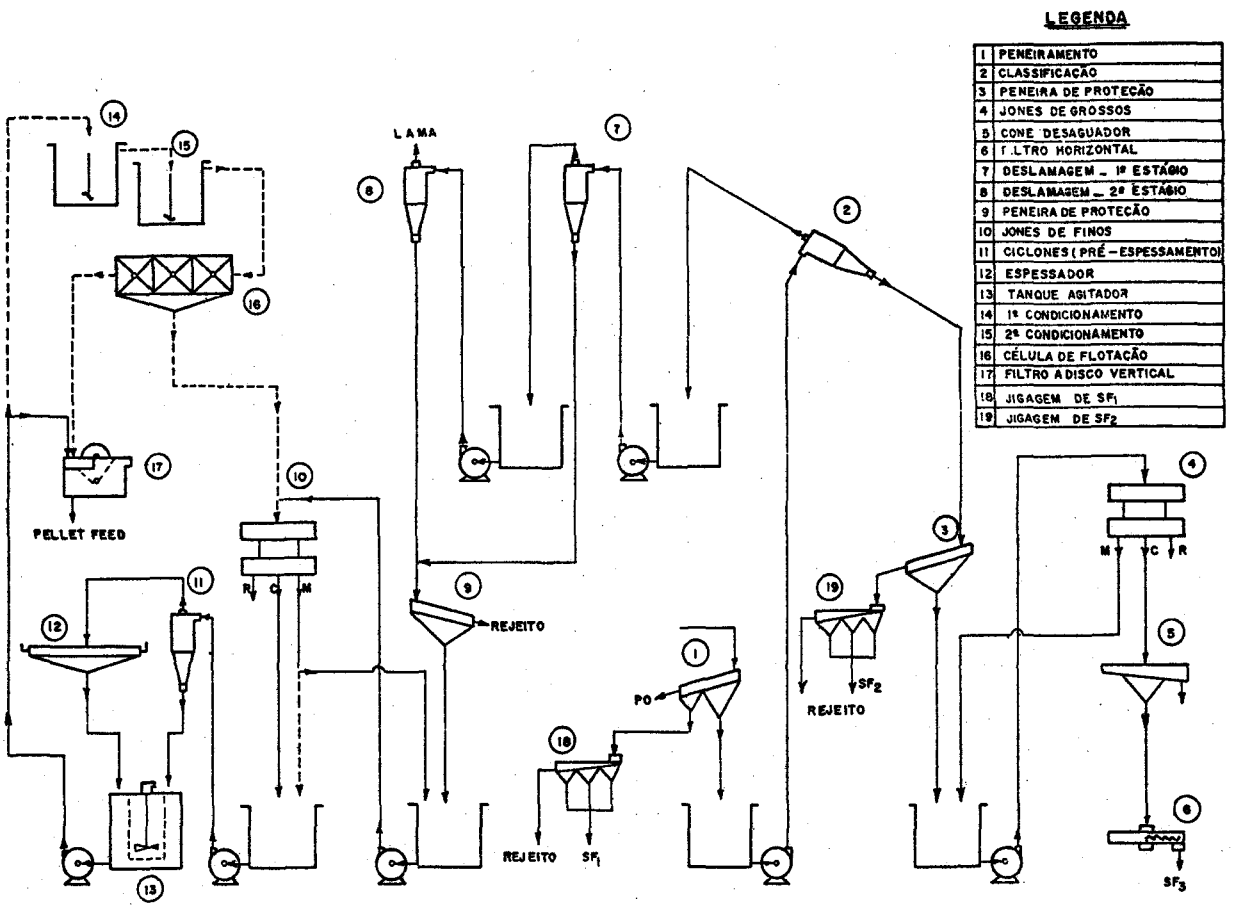
Nesta fase, foram feitos testes em escala industrial usando um jigue Remer 5'x16' da Planta Piloto. Alternativamente, no Departamento de Pesquisas Tecnológicas, foram feitos ensaios de separação em líquido denso, cujos resultados foram utilizados em simulação de separação em ciclones de meio denso pela DSM (Dutch States Mines) na Holanda. Concluiu-se ser possível a obtenção de concentrados com 65% Fe e recuperação de 94%, com uma densidade do meio de 2,73. Contudo o processo não foi recomendado devido ao alto custo de reposição do meio denso.

Posteriormente, para melhorar os resultados obtidos nos testes de jigagem decidiu-se testar separadamente as duas frações. Obteve-se para o *Sinter Feed 1* concentrados com 66,0% Fe e recuperação de 82,3% e para o *Sinter Feed 2* concentrados com 65,3% Fe e recuperação de 86,4%.

A partir dos resultados obtidos a CVRD iniciou, ainda em 1982, a desenvolver o projeto básico para a implantação da jigagem. Atualmente, com todos os equipamentos comprados e todo o projeto de detalhamento completado, inicia-se a contratação de obras, prevendo-se que, até meados de 1985, esteja implantada na Usina de Concentração do Cauê, a separação gravimétrica em jigues.

O fluxograma da Usina do Cauê, incluindo a concentração gravimétrica projetada, está mostrado na figura 7.

Figura 7 - Planta de Concentração Cauê - Fluxograma após implantação da jigagem



6. Conclusões

A experiência da CVRD com a lavra e o beneficiamento de itabirito na mina do Cauê durante os últimos 12 anos apenas corrobora o que já há muito é sabido.

As características de detalhe de um depósito só são conhecidas na sua totalidade após a lavra do mesmo, depois que a evolução tecnológica, tanto na área de processamento de minérios quanto na da indústria de transformação, exige especificações de qualidade química, física e metalúrgica mais rigorosas, com padrões de melhor homogeneidade.

Conquanto é desejável um bom conhecimento da jazida no início de sua lavra, este deve ser compatível com um plano de aproveitamento realista que, sem perder a antevisão do futuro, concentre atenções e cuidados nas reservas que serão lavradas nos primeiros anos.

O projeto de engenharia ótimo para as instalações de beneficiamento, deve ser aquele que permita após sua implantação, o ajuste à dinâmica imposta pelo par conhecimento da mina - evolução tecnológica. Flexibilidade e compatibilidade devem nortear cada revisão do planejamento.

Dentro dessa ótica a CVRD procurou mostrar que cada modificação ou complementação efetuada numa instalação de beneficiamento deve ser, na medida do possível, a mais compatível com o projeto existente, já implantado, buscando segundo a conveniência do momento, ou o menor investimento ou o menor custo operacional.

7. Bibliografia

(1) PÓVOA, F.V. & ABE, K. Modificações na Usina de Concentração de Itabiritos do Cauê. In: CONGRESSO ILAFA, 1979. Belo Horizonte, 1979. p. 44-49

(2) VILELA, A.E. & PÓVOA, F.V. Aplicação de filtros verticais na filtragem de pellet feed. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS, 5. Salvador, 1978.

(3) CAMPOS, J.A. Seleção de variáveis com utilização de Matriz de Plackett Burman; Rel. Int. CVRD. s.l.,s.ed., 1975. (inédito).

(4) LAGE, E., et alii. Otimização de processos utilizando SS-DEVOP. CVRD-Revista, 1(1):27-36, ago. 1980.