

RECUPERAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA MOAGEM DAS USINAS CVRD 1 E 2 APÓS ALTERAÇÃO NO MIX DE MINÉRIOS DA ALIMENTAÇÃO¹

Sidney Pessanha²

Romildo Mazolini³

Rômulo Rangel²

Aldo Gamberini Junior⁴

Kioshi Kaneko⁵

Lizziane Machado²

Rômulo Gomes de Menezes⁶

Glenderson Vianna Marcolan⁷

Resumo

O processo de pelletização tem como entrada principal uma pilha de minério composta por vários tipos de minérios. Estes minérios têm várias origens e precisam ser transportados até as usinas de Tubarão. Entretanto, com a crescente elevação dos custos de transporte do minério tipo 1 de sua origem até Tubarão para a produção de pelotas de redução de direta, surgiu a necessidade de se estudar a substituição deste por outros que fossem fornecidos a um custo mais baixo de transporte e que atendessem as mesmas necessidades do processo. Tínhamos duas preocupações naquela ocasião. A primeira com os resultados dos parâmetros metalúrgicos que supostamente eram sustentados pela presença deste minério no mix. A segunda com o índice de moabilidade do mix que seguramente também era sustentado pela presença dele. As opções que tivemos foram os minérios do tipo 2 e do tipo 3. Assim, o minério tipo 1 deixou de ser utilizado a partir de dezembro 2005. Como as moabilidades dos minérios substitutos eram bastante inferiores a moabilidade do minério do tipo 1, tivemos uma forte perda de produção da moagem o que nos obrigou a estudar alternativas para recuperá-la.

Palavras-chave: Características metalúrgicas; Moabilidade; Custos; Alternativas.

CVRD PLANTS 1 AND 2 GRINDING PRODUCTIVITY RECOVERY AFTER THE MODIFICATION IN THE FEED IRON ORE MIX

Abstract

The pelletizing process use as a main entrance, an iron ore pile composed by many kinds of iron ore, who we call iron ore mix. These iron ores have several sources and need to be transported until the Tubarao pelletizing plants. However, with the crescent increasing of the transport cost for the Type 1 iron ore, from it source until Tubarao, for the direction reduction pellets production, it emerges the necessity to study the possibility to substitute this one for another kind of iron ore with a lower cost of the supply. In that moment, we had two worries: the first one, with the metallurgical characteristics, which we supposed to be supported by that kind of iron ore. The second one, with the grindability degree, who we knew which that iron ore has had. The options we had in that moment were the iron ores Types 2 and 3. Then, we quit using the iron ore kind 1 since 2005 December. As the grindability degrees of the Types 2 e 3 were to much lower than the Type 1, we have got a terrible grinding production loss, which forces us to looking for the alternatives to recover it.

Key words: Metallurgical characteristics; Grindability; Costs; Alternatives.

¹ Contribuição técnica ao VIII Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 18 a 21 de setembro de 2007, Salvador - BA, Brasil.

² Técnico de Processo – Gerência de Operação das Usinas I a IV – CVRD/DIPE

³ Engenheiro Senior – Gerência de Garantia da Qualidade e Processos – CVRD/DIPE

⁴ Engenheiro Master – Ger. de Garantia da Qualidade e Processos – CVRD/DIPE

⁵ Geólogo Sênior – Ger. de Tecnologia de Processo de Aglomeração - CVRD/DITF

⁶ Técnico de Operação – Gerência de Operação das Usinas I a IV – CVRD/DIPE

⁷ Analista Operacional – Gerência de Operação das Usinas I a IV – CVRD/DIPE

1 INTRODUÇÃO

Este estudo tem como objetivo fornecer uma visão geral de como foi possível realizar uma alteração no mix de minérios de alimentação das usinas de pelotização CVRD 1 e 2, na produção de pelotas de redução direta. Mostraremos que a alteração no mix de minérios, que surgiu de uma necessidade de redução no custo de transporte do minério, causou como consequência inevitável, uma diminuição severa na produtividade da moagem dessas usinas, devido ao menor índice de moabilidade dos minérios substitutos, além da preocupação com um possível impacto negativo nos resultados dos parâmetros metalúrgicos. Surgiu então o grande desafio que foi buscar alternativas disponíveis e viáveis economicamente, para recuperar a produtividade da moagem destas usinas. Assim tornaríamos possível a sustentação da mudança atingindo então o objetivo que era a redução de custos no transporte. Abordaremos os estudos feitos nos minérios substitutos, bem como as ações que foram julgadas como mais convenientes e que foram implementadas para o objetivo citado. Por fim discutiremos os resultados alcançados.

2 O PROCESSO DE PELOTIZAÇÃO

Da necessidade de aproveitamento dos finos de minério de ferro gerados durante a extração nas minas, antes considerados rejeito, surgiu o processo de pelotização, que consiste na aglomeração destes finos em forma de pelotas tornando viável sua utilização na siderurgia tanto nos Altos fornos para produção de ferro gusa quanto nos reatores de redução direta para produção de ferro esponja.^[1]

Sendo assim, produzir pelotas consiste em transformar o minério fino ou ultrafino em pelotas para tornar viável a sua aplicação na siderurgia.

No complexo de pelotização de Tubarão temos 7 usinas. Este estudo foi conduzido com foco apenas nas usinas 1 e 2.

Para transformar os finos de minério em pelotas é necessário que atravessemos várias etapas dentro do processo de pelotização, as quais seqüencialmente alinhadas irão compor o processo produtivo (Figura 1). Segue abaixo a descrição das etapas envolvidas no estudo.

2.1 Descrição Resumida das Etapas

Pátio de Matérias primas – Local onde os vários tipos de minério de ferro são empilhados para compor a chamada pilha de finos de um determinado produto, ou seja, produção para alto forno ou redução direta. O grupo de minérios que compõem a pilha é chamado de mix de minérios.

Moagem e Classificação – Da pilha o material é levado aos moinhos de bolas à úmido, que têm o objetivo de reduzir o tamanho das partículas tornando-as aproximadamente do mesmo tamanho o que é um fato extremamente importante para a etapa de formação das pelotas cruas. Após a moagem, a polpa moída, que é basicamente a mistura entre os minérios e água, é levada aos hidrociclones que tem o papel de fazer a classificação de tamanho das partículas, permitindo que passem a etapa posterior, apenas aquelas que possuem tamanho adequado às especificações do processo.^[1]

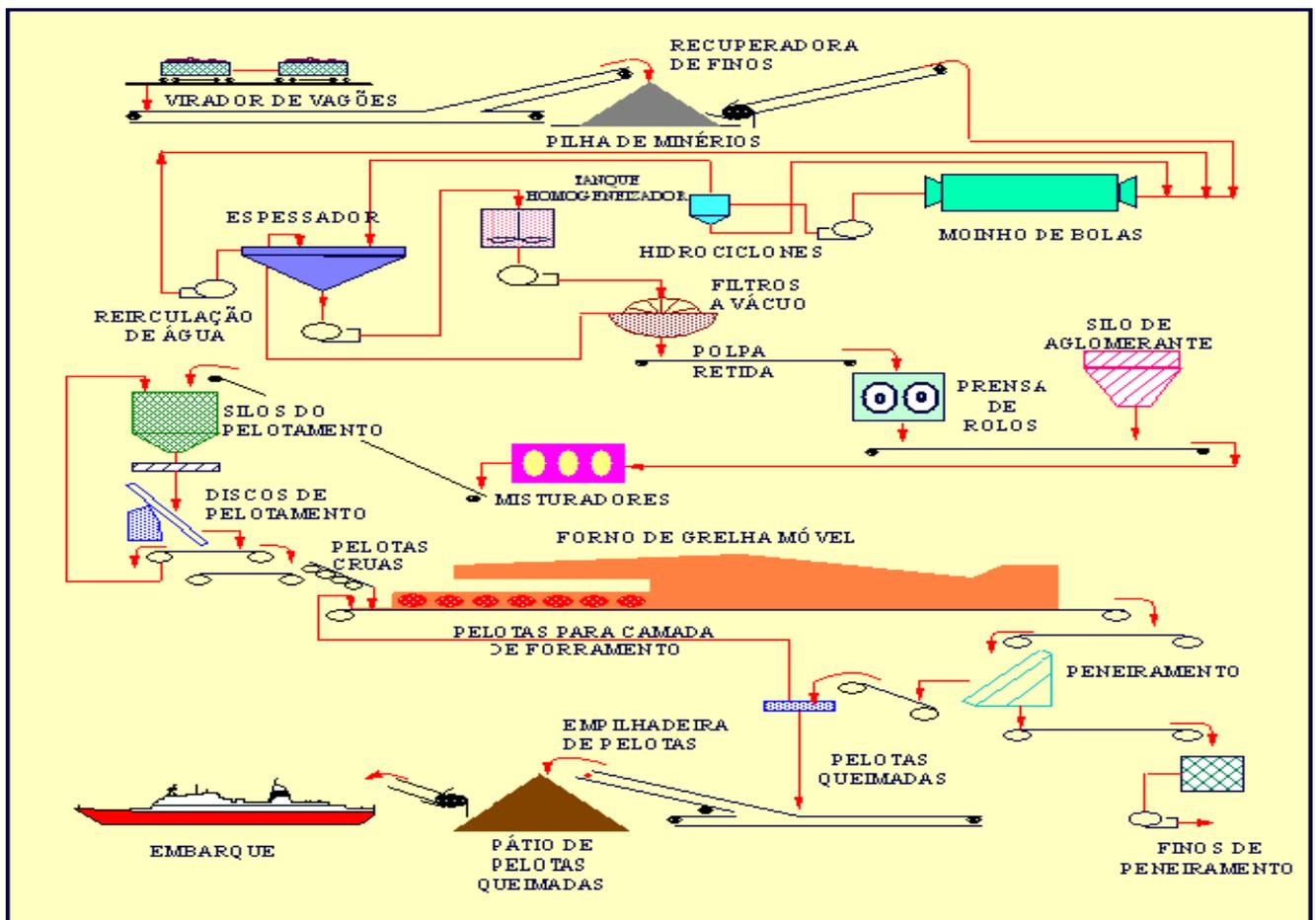


Figura 1 – Fluxograma do processo de pelotização

3 A FORMAÇÃO DAS PILHAS DE FINOS E O MIX DE MINÉRIOS

A formação das pilhas de minério é programada em função do tipo de pelotas a ser produzido, de acordo com as solicitações de cada cliente. Os minérios utilizados nas usinas localizadas no complexo de Tubarão são procedentes de diversas minas. Os minérios oriundos das minas do sistema sul são transportados de suas origens até o porto de Tubarão via transporte ferroviário. Os minérios procedentes do sistema norte chegam a Tubarão via transporte marítimo.^[2]

Assim, cada tipo de produto a ser produzido, tem um mix de minérios pré-definido de acordo com composição química, exigências de qualidade física e metalúrgica, grau de moabilidade e outros parâmetros. O minério do tipo 1 fazia parte do mix de minérios para a produção de pelotas para redução direta numa proporção de 30% em peso do total de minérios participantes, por fornecer a este tipo de pelota boas características metalúrgicas.^[3]

4 O ÍNDICE DE MOABILIDADE

O índice de moabilidade é o quociente entre a superfície específica gerada e a energia elétrica gasta durante um ensaio de moagem em bancada num moinho de tamanho

específico para o teste.^[4] É utilizado para prever o comportamento da moagem quando processando uma mistura de vários minérios de ferro. Uma consideração importante é que quanto maior o índice de moabilidade maior é a produtividade da moagem e de pelotas conseqüentemente. O minério tipo 1 em discussão, era utilizado por conferir ao produto final boas características metalúrgicas e, trazia como conseqüência favorável um elevado índice de moabilidade, o que gerava uma elevada produção da moagem. Os substitutos propostos possuem índices de moabilidade menor, o que gerou perda de produtividade na moagem. Abaixo a comparação entre os índices de moabilidade dos minérios envolvidos na alteração do mix.

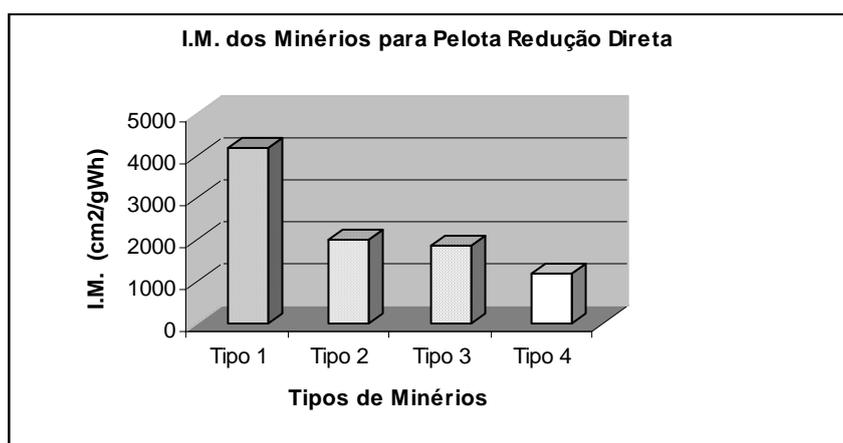


Figura 2 – Comparação entre os índices de moabilidade dos minérios envolvidos na alteração do mix.

5 AVALIAÇÃO DOS MINÉRIOS SUBSTITUTOS PARA O MINÉRIO DO TIPO 1

Para avaliação do comportamento do minério substituto Tipo 3 (o Tipo 2 já possuía comportamento conhecido) para utilização em pelotas do tipo redução direta, foram realizadas caracterizações químicas e mineralógicas além de experimentos em *pot grate* e *basket test*^[5]

5.1 Caracterização e Testes Piloto

Os minérios em discussão foram caracterizados em detalhe, levando em consideração a composição mineralógica, análise morfológica dos minerais e granulação (tamanho dos cristais). As Tabelas 1 e 2 abaixo mostram os resultados.

Tabela 1. Comparação dos resultados de avaliação química.

Caracterização Química (%)								
Minério	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	Mn	PPC
Tipo 1	67,55	0,69	0,37	0,02	0,02	0,019	0,240	0,70
Tipo 2	67,64	1,07	0,39	0,04	0,02	0,035	0,032	1,17
Tipo 3	67,04	0,61	0,54	0,02	0,03	0,042	0,050	1,23
Tipo 4	69,20	0,76	0,26	0,02	0,04	0,014	0,080	0,26

Tabela 2 – Comparação dos resultados de avaliação mineralógica

Caracterização Mineralógica (% Peso)				
Amostras	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
Hematita	93	86	91	97
Goethita - Limonita	6	12	5	2
Magnetita	0	0	4	0
Óxidos de Mn	0	0	0	0
Outros	1	2	0	1

Em relação à mineralogia, o minério Tipo 3 apresenta quantidade de martita e goethita alta, o que pode impactar positivamente o índice de moabilidade. O minério Tipo 3 apresenta também elevada proporção de hematita (granular + lamelar) o que pode refletir positivamente na resistência física e na etapa de queima.

5.1.1 Avaliação em *pot grate*

Para avaliar o impacto da utilização do Tipo 3 na qualidade das pelotas de redução direta, foram realizadas queimas em *pot-grate* (que é a queima realizada em forno de laboratório piloto) utilizando nas misturas, variações de 0 a 40% do Tipo 3 (Tabela 3). Os resultados de qualidade química foram similares aos da caracterização inicial e os resultados da análise física e metalúrgica estão na Tabela 4.

Tabela 3 – Composição das misturas para avaliação das pelotas queimadas

Misturas	Mistura (%)			
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
PRD ref.	40	0	0	60
1	0	40	0	60
2	0	0	40	60
3	18	22	0	60
4	18	0	22	60

Tabela 4 – Qualidade física e metalúrgica das pelotas queimadas

Misturas	Análise Física			Análise Metalúrgica		
	+6,3mm (%)	- 0,5mm (%)	R.C. (daN/p)	G.Met (%)	-3,15mm (%)	+10,0mm (%)
PRD ref.	96,30	3,70	365	93,60	1,00	97,80
1	96,30	3,50	348	93,70	0,90	97,50
2	96,60	3,30	340	95,00	1,00	98,20
3	95,60	4,20	371	94,90	1,10	96,80
4	96,60	3,30	341	93,40	0,80	97,00

Os resultados obtidos indicam que a utilização do minério Tipo 3 apresentou os seguintes aspectos:

- Manutenção da qualidade química da PRD;
- Ligeira diminuição da resistência à compressão média das pelotas, mas com valores ainda aceitáveis;
- Manutenção da resistência à degradação, RAR e abrasão;
- Manutenção do grau de metalização, que é o mais importante parâmetro de qualidade metalúrgica.

5.1.2 Avaliação *Basket Test*

Para confirmar os resultados metalúrgicos obtidos nos testes de *pot-grate*, duas amostras foram enviadas para realização de *basket test* (teste realizado no forno onde a pelota será utilizada no cliente) no forno Midrex. Os resultados indicaram que não houve diferença significativa no grau de metalização entre as amostras compostas pelo Tipo 1 e pelo Tipo3.

5.2 Testes Industriais

Depois de feitos os testes de laboratório, passamos para a avaliação industrial para averiguarmos se o comportamento detectado em laboratório se confirmaria em escala industrial. Compusemos então pilhas com o novo mix para produção de redução direta para as usinas 1, 2 e 4. Acompanhamos o comportamento dos minérios substitutos durante uma pilha na usina 4, e três pilhas consecutivas nas usinas 1 e 2. Observamos que os resultados de laboratório se confirmaram em escala industrial e houve um decréscimo na produtividade da moagem conforme era esperado. Isto nos deu o aval para proceder a alteração no mix, mas não sem antes avaliar quais as alternativas de implementação no processo que pudessem nos assegurar uma produção de moagem suficiente para o cumprimento das metas de produção de pelotas destas usinas.

6 AVALIAÇÕES DAS OPORTUNIDADES DE GANHO DE PRODUTIVIDADE NA MOAGEM APÓS PERDA DE PRODUÇÃO PELA SAÍDA DO MINÉRIO DE MAIOR ÍNDICE DE MOABILIDADE

Conforme já enfatizado, o minério do tipo 1 possui excelente índice de moabilidade o que proporcionava ao processo produtivo uma elevada produtividade na moagem. A sua ausência causou uma drástica redução da produtividade da moagem pois, além de sua saída, os seus substitutos não possuíam elevado índice de moabilidade (Figura 2). Surgiu então a necessidade de buscarmos alternativas e oportunidades, seja dentro do processo produtivo ou através de investimentos, para que a produtividade fosse recuperada e que nenhuma consequência negativa fosse verificada após esta alteração. Foi então que constatamos algumas oportunidades:

Separação dos Tanques Homogeneizadores – As usinas de pelotização CVRD 1 e 2 são usinas geminadas, ou seja, muitas etapas unitárias do processo (Figura 1) são comuns ou interligadas. Sendo assim, alterações no processo produtivo de uma usina podem interferir negativamente na outra. Uma etapa do processo chamada tanques de

homogeneização, tinha esta característica. Os tanques trabalhavam todos interligados fazendo com que as produções das moagens 1 e 2 fossem misturadas nestes tanques. Assim, sempre que o sistema especialista de controle de produção solicitava uma redução de produção na moagem para adequação da superfície específica, todos os moinhos sofriam esta alteração causando assim, às vezes, uma perda de produção na em alguma das moagens.

Flexibilização da Superfície Específica de Trabalho – A superfície específica mede a finura do material moído. É um importante parâmetro de processo, pois define uma boa formação das pelotas cruas e conseqüentemente afeta a qualidade física das pelotas. Assim o produto da moagem deve ter uma superfície específica adequada à etapa de pelotamento. Se muito baixa, dificulta a formação das pelotas cruas. Assim é necessário que se busque um ponto ótimo onde esta não seja tão alta a ponto de baixar demais a produção dos moinhos, mas que também não seja tão baixa a ponto de prejudicar a qualidade física das pelotas queimadas. A busca deste ponto ideal é uma excelente oportunidade de ganho de produtividade na moagem, mas deve ser conduzida com cautela para não trazer prejuízos à qualidade física do produto final.

Substituição e Calibração dos Hidrociclones – Em termos conceituais, classificação é a separação de uma população original (denominada alimentação) em duas outras populações, que diferem entre si pela distribuição relativa dos tamanhos das partículas que as constituem. Estas duas partes, em termos de processo, são denominadas underflow (constituído basicamente de partículas grossas) e overflow (constituído basicamente de partículas finas).^[6] Hidrociclone é um equipamento que é utilizado para fazer a classificação à úmido conforme citado no item 2.1. A produção da moagem é função da superfície específica do material moído. Assim, os hidrociclones tem um papel fundamental na produtividade da moagem. Se a classificação for de alta eficiência, teremos aí uma oportunidade de ganho de produtividade da moagem. Os hidrociclones dos moinhos das usinas em discussão eram obsoletos e foram então substituídos por novos e calibrados de acordo com os parâmetros operacionais e com as orientações do fabricante. Esta foi sem dúvida a ação que mais contribuiu para a recuperação da produtividade da moagem após a alteração do mix de minérios.

7 A ALTERAÇÃO NO MIX DE MINÉRIOS DE REDUÇÃO DIRETA DAS USINAS 1 E 2

Depois de testar em laboratório e nas usinas os substitutos e após avaliarmos quais eram as oportunidades de busca de recuperação da produção disponíveis, o minério do tipo 1, que tinha elevado custo de transporte de sua origem até as usinas, foi totalmente substituído pelos minérios dos tipos 2 e 3, a partir de dezembro de 2005. Na verdade, houve uma sistemática de redução gradativa do percentual de participação dele no mix, de modo a observar o comportamento do processo sem ele e com os substitutos (Figura 3). Como conseqüências, tivemos inicialmente uma drástica redução de produtividade na moagem. A recuperação do nível de produção foi conseguida a partir da implementação das ações identificadas nas oportunidades citadas no item 6 (Figura 4).

A nova composição padrão do mix de minérios das usinas 1 e 2 ficou em: 15% de minério do Tipo 2 somado a 25% de minério do tipo 3 e o restante (60%) com minérios

do tipo 4. Sendo que a composição anterior era 30% de minério do Tipo 1 somado a 70% de minérios do Tipo 4.

Tipo 1		Período de Utilização do Minério do Tipo 1																							
		2004												2005											
Mês	%	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
30%																									
25%																									
20%																									
15%																									
10%																									
0%																									

Figura 3 – Evolução da Redução da Participação do Minério do Tipo 1 no mix de minérios das usinas 1 e 2 (os valores são os médios de cada período citado)

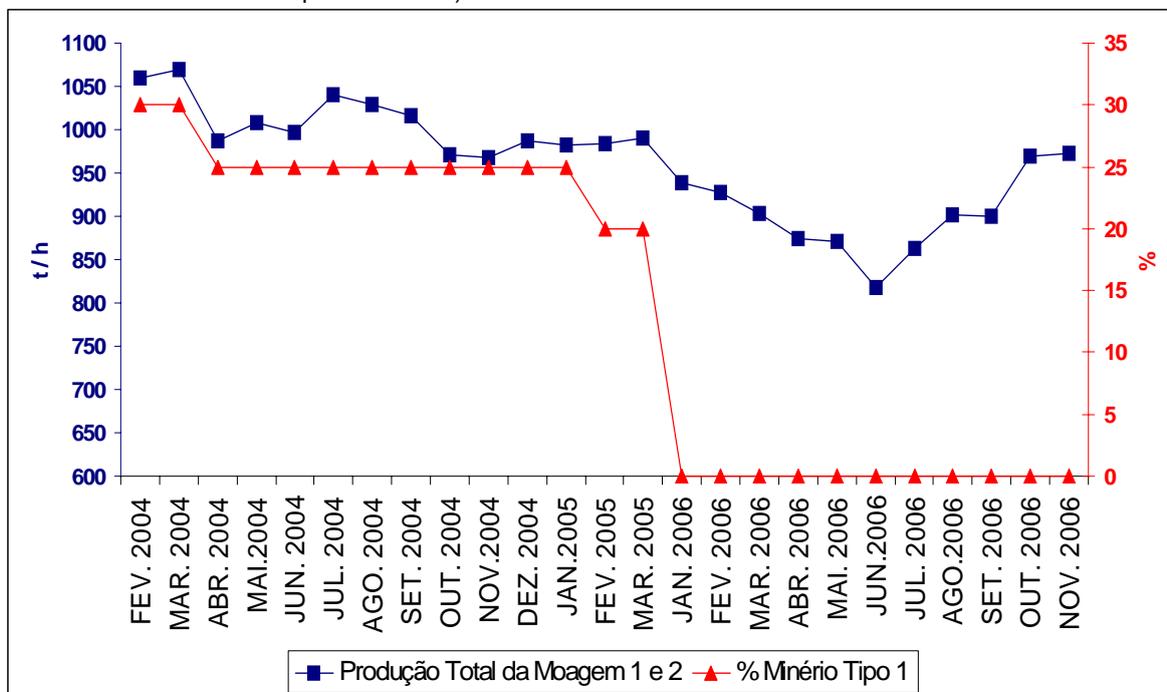


Figura 4 – Variação da Produtividade da Moagem (Usina 1 + 2) em função da diminuição do percentual de participação do Minério do Tipo 1 no mix

8 RESULTADOS ALCANÇADOS

8.1 A Recuperação de Produção da Moagem após a Implementação das Ações

Logo após a alteração proposta, tivemos uma queda da produtividade da moagem, como mostrado. Isso ocorreu primeiro devido ao fato de que até o momento da alteração do mix, não havíamos implementado ainda as ações para recuperação da produção da moagem e, segundo porque no início da alteração tivemos problemas de abastecimento e atendimento da qualidade na mina do minério do tipo 3 que era o

substituto mais importante por ser em maior participação e por sua mina ser nova. Logo após a implementação das ações, observamos uma recuperação da produtividade da moagem até níveis próximos do que tínhamos quando usávamos o minério do tipo 1 no mix de minérios (Figuras 4 e 5).

	20 a 30% Tipo1	Ausência do Tipo 1	
		Mar a Jul/06	Ago a Nov/06
Prod. Moagem (t/h)	1.004	865	942
Média S.E. (cm²/g)	1.914	1.774	1.827

Figura 5. Recuperação da Produtividade da Moagem (Usina 1 + 2) e parte da flexibilização da superfície específica em função das ações implementadas

8.2 Os Custos Relacionados ao Transporte do Minério Tipo 1 para Tubarão e os Ganhos com sua Eliminação

Um fator de grande importância relacionado a esta alteração no mix, está na redução dos elevados custos de transporte minério do Tipo 1 para Tubarão. O quadro abaixo (Figura 6) ilustra a evolução da redução dos gastos com o transporte, à medida que este foi sendo retirado do mix, evidenciando a grandeza da eliminação de gastos com este tipo de serviço. Este quadro mostra também o tamanho da expressiva conta que deixamos de pagar anualmente a partir de 2006.

Custo 2004 Total: US\$ 12.000.000	→	Custo 2005 Total: US\$ 8.000.000	→	Custo 2006 Total: US\$ 0
Custo Evitado (Logística) x (ton. Minério) US\$ 20.000.000				

Figura 6 – Quadro descritivo dos custos associados ao transporte do minério Tipo 1 e a economia gerada com sua saída do mix de minérios.

Como ganhos não quantificados, podemos citar a disponibilidade logística de carga e descarga inclusive nos viradores de vagão para manuseio de outros materiais, além da disponibilidade de minério do Tipo 1 para o Mercado.

8.4 O Comportamento da Qualidade do Produto Final após a Alteração no Mix

Os teste de pot grate e os resultados metalúrgicos indicaram que as pelotas obtidas com a participação do minério Tipo 3 em substituição a outros minérios do mix redução direta, apresentaram qualidade química, física e metalúrgica satisfatória e os testes de basket test confirmaram a manutenção do grau de metalização. O gráfico abaixo (Figura 7) ilustra esta afirmação.

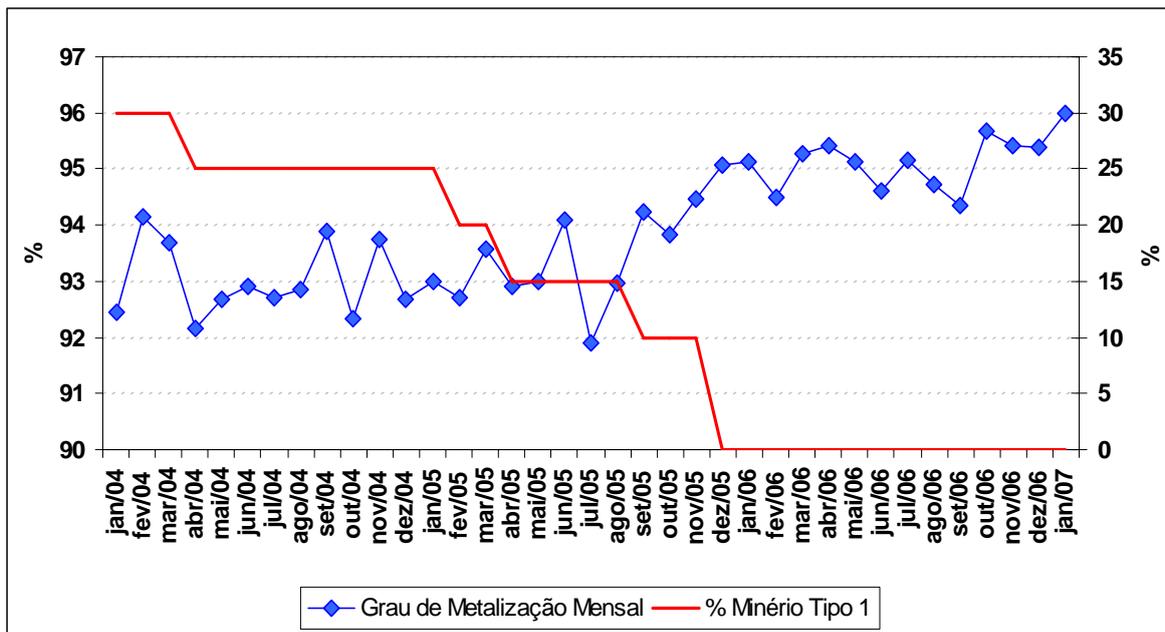


Figura 7 – Evolução dos resultados do grau de metalização após a alteração no mix de minérios

9 CONCLUSÕES

A mudança no mix de minérios para a produção de pelotas de redução direta nas usinas 1 e 2 foi, para o grupo de trabalho e para a CVRD, uma autêntica quebra de paradigma, pois este custo elevado nos incomodava há muito e muito havíamos discutido em torno do assunto. Nunca levávamos a discussão adiante pois sempre nos defrontávamos com o receio da perda de produtividade da moagem e com a redução do grau de metalização o que geraria, respectivamente, perda na produtividade de pelotas e perda de competitividade da pelota de redução direta da CVRD no mercado conforme discutido.

A substituição do minério do Tipo 1 no mix, trouxe expressiva redução de custos para o Departamento de Pelotização e conseqüentemente para a CVRD. As ações implementadas, mesmo que com um ligeiro atraso em relação à alteração, foram de fundamental importância para a recuperação da produtividade da moagem e conseqüente manutenção do nível de produção de pelotas destas usinas que com o tempo pôde alcançar também um patamar ainda mais elevado.

O ano de 2006 foi um ano de excelentes resultados para as usinas de pelotização 1 e 2 quando foram cumpridas todas as metas de produção e, além disso, foram também superados vários recordes de produção num ano onde tivemos uma parada longa (10 dias) numa das usinas. Estes resultados se devem a muitos fatores. Sem dúvida alguma o mais importante deles foi a recuperação da produtividade da moagem, sem a qual isto não teria sido possível.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Cia. Vale do Rio Doce em particular ao Jair Nassur Penido que nos deu todo o incentivo e apoio do início até a conclusão deste trabalho. Agradecimento também ao Fernando Corrêa que nos deu todo o suporte necessário na parte relativa aos custos.

REFERÊNCIAS

- 1 BARCELOS, Carlos Alberto e PERDIGÃO, Francisco. **Apostila de Operação de Usinas de Pelotização para Operadores e Técnicos da Companhia Vale do Rio Doce.** Vitória. 1992.
- 2 BARCELOS, Carlos Alberto e PERDIGÃO, Francisco. **Pátio de Finos. Manual de Operação de Pátio de Finos – Usinas 1 e 2 – Cia. Vale do Rio Doce.** Vitória. 2003.
- 3 NETO, Arthur Napoleão de Souza e FREITAS, Thásia Medeiros. **Avaliação da Qualidade Física e Metalúrgica de Minérios de Ferro para Alto-Forno e Processos de Redução Direta, segundo as normas ISO.** Belo Horizonte. 2007.
- 4 MOURÃO, José Murilo e STEGMILLER, Leonídio. **Influência da Estrutura dos Minérios de Ferro na sua Moabilidade.** Vitória. 1989.
- 5 DUTRA, Eider et al. **Caracterização Tecnológica do Pellet Feed da Mina de Fábrica Nova para Utilização em Pelotas de Redução Direta - XXXVI Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas e VII Seminário Brasileiro de Minério de Ferro – Volume 2.** Ouro Preto – MG. 2006
- 6 CHAVES, Arthur Pinto. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios – Volume 1.** São Paulo. 2002.