

LUIZ FERNANDO RETT

**EVOLUÇÃO DAS TÉCNICAS DE BLENDAGEM E HOMOGENEIZAÇÃO
DE MINÉRIOS**

Estudo de caso: Cosipa

Monografia apresentada ao Programa de Educação
Continuada da Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo, para a conclusão de MBA em Siderurgia.

**ESP/SO
2008
R316e**

**SÃO PAULO
2008**

Dedico este trabalho a meus familiares e companheiros de trabalho que me incentivaram e apoiaram em todos os momentos deste trajeto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente colaboraram para a elaboração desse trabalho e, em particular :

- Ao Prof. Cyro Takano pela orientação.
- A funcionária Vanessa Pereira Straioto pela ajuda na busca das revisões bibliográficas.
- Aos colegas de trabalho do suporte técnico da redução pelas orientações.
- A Cosipa em nome da gerência e superintendência pela oportunidade de participar deste curso tão renomado.

DEDALUS - Acervo - EPMT



31800007512

1826788

MBA / Si 2008

R316e

M 2008 5

RESUMO

O presente estudo apresenta a evolução das técnicas de blendagem e homogeneização de minérios. Tendo como literatura básica, estudos realizados com o objetivo de otimizar a disposição de matérias-primas no pátio primário de estocagem, otimizando assim as futuras operações de recuperação e blendagem dessas matérias-primas, contribuindo assim para a redução na dispersão da qualidade química dos minérios finos e consequentemente do sinter produzido na Cosipa. São apresentados os procedimentos adotados para implantação desta prática, avaliando os principais reflexos na operação das sinterizações e altos fornos.

Palavras-chave: Blendagem; Homogeneização; Sinterização.

ABSTRACT

The present study shows the evolution of the technics of blending and homogenization of ores. The objective of this study was to improve the disposition of raw materials on the primary stocking yard and consequently to optimize the recovery and blending operations. The effect is the reduction of chemical quality dispersion in ores and consequently Cosipa's sinter. The procedures used were showed to implement this practice and the results obtained in sintering and blast furnace operations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxo de produção do sinter	08
Figura 2: Exemplo de distribuição de matérias-primas em pacotes numa blendagem com 5 silos.....	08
Figura 3: Seção transversal da pilha blendada com 6 pacotes – modelo tradicional.....	09
Figura 4: Variação do teor de sílica nos pacotes de uma pilha blendada	10
Figura 5: Resultados do sistema de blendagem otimizado.....	10
Figura 6: Resultados do sistema de blendagem otimizados.....	11
Figura 7: Sinterização do minério de ferro na siderurgia.....	14
Figura 8: Fluxograma do processo industrial de sinterização tipo ‘Dwight-Lloyd’....	16
Figura 9: Matérias primas para sinterização.....	18
Figura 10: Micropelotas em mistura de sinterização.....	23
Figura 11: Empilhamento cônico.....	29
Figura 12: Base de pilha a ser formada.....	30
Figura 13: Seção transversal da pilha formada	30
Figura 14: Método anterior e atual da pré blendagem dos minérios de ferro	30
Figura 15: Média da sílica – Sínter 2 – modelo anterior.....	34
Figura 16: Desvio padrão da sílica – Sínter 2 – modelo anterior.....	34
Figura 17: Percentual de atendimento sílica – Sínter 2 – modelo anterior.....	34
Figura 18: Média da sílica – Sínter 3 – modelo anterior.....	34
Figura 19: Desvio padrão da sílica – Sínter 3 – modelo anterior.....	34
Figura 20: Percentual de atendimento da sílica – Sínter 3 – modelo anterior.....	35
Figura 21: Controle do SiO ₂ do sínter.....	35
Figura 22: Média da sílica – sínter 2 – novo procedimento.....	36
Figura 23: Desvio padrão da sílica – sínter 2 – novo procedimento.....	36
Figura 24: Percentual de atendimento da sílica – sínter 2 – novo procedimento.....	36
Figura 25: Média da sílica – sínter 3 – novo procedimento.....	37
Figura 26: Desvio padrão da sílica – sínter 3 – novo procedimento.....	37

Figura 27: Percentual atendimento da sílica – sínter 3 – novo procedimento.....	37
Figura 28: Desvio padrão da sílica - comparação.....	38
Figura 29: Volume de escória do alto forno 2.....	39
Figura 30: Fuel rate – alto forno 2.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabelas 1: Desvio padrão no sinter com e sem sistema de blendagem.....	21
Tabelas 2: Planilha de cálculo de leito de sinterização.....	33
Tabelas 3: Teor de SiO ₂ (%) em várias faixas granulométricas , para os minérios de ferro usados na produção de sinter.....	37
Tabelas 4: Planilha de simulação do programa do leito de fusão.....	50
Tabelas 5: Planilha de simulação do programa do leito de fusão relacionando variação do volume de escória e fuel rate.....	50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1. ESTOCAGEM EM PILHAS	12
2.2. BLENDAGEM	16
2.3. HOMOGENEIZAÇÃO	22
2.4. O PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO	24
3. ESTUDO DE CASO	34
4. CONCLUSÃO	51
5. RECOMENDAÇÕES	52
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1. INTRODUÇÃO

Este estudo tem como proposta abordar o processo de blendagem e homogeneização em minérios. A escolha do tema se justifica no fato do pesquisador atuar profissionalmente neste segmento, onde as técnicas de blendagem e homogeneização dos minérios são empregadas para garantir melhor qualidade dos minérios quando do envio as fábricas (sinterização e altos fornos).

Nas usinas siderúrgicas é sempre necessária a formação de estoques de matérias-primas, por alguma das seguintes razões: formação de reservas, pulmão ou necessidade de homogeneizar. A prática de estocagem, genericamente, pode ser efetuada de três maneiras: em vagões ferroviários, em silos e em pilhas.

A estocagem em vagões ferroviários não é prática usual no Brasil, a imobilização de capital nesta prática é grande. A estocagem em silos se aplica a quantidades moderadas para o consumo de, no máximo, alguns dias. Por fim, a estocagem em pilhas é o método mais amplamente usado na siderurgia, mas exige a utilização de alguns critérios que serão abordados neste estudo.

Primeiramente, cumpre destacar que, dentre os fatores que mais contribuíram para a melhoria da performance dos altos fornos atuais, pode-se destacar a utilização de carga metálica previamente preparada. Essa carga, geralmente, é constituída em sua maior parte, por aglomerados (sínteres e pelotas), com qualidade química e granulométrica já adequada, bem como características metalúrgicas, tais como redutibilidade e R.D.I (índice de degradação sob redução).

Para o bom desempenho dos altos fornos, um dos requisitos básicos está na regularidade das propriedades físicas e químicas das matérias-primas. Tal regularidade constitui um problema básico, já que a produção específica de sínter, com qualidade especificada para os altos fornos, deve

utilizar diversas matérias-primas, cada uma com um grau específico de variação de suas propriedades.

Para minimizar essas variações, é preciso empregar um processo preparatório, denominado blendagem de matérias-primas ou formação de pilhas blendadas.

O presente estudo tem como objetivo abordar a estocagem em pilhas utilizando a blendagem e homogeneização de minérios.

Pretende-se apresentar os conceitos básicos envolvidos no processo de blendagem de matérias-primas para a sinterização, os fatores que contribuem para seu melhor desempenho e a influência dos equipamentos disponíveis sobre o processo. Além disso, também serão apresentadas as técnicas de homogeneização, que consiste no manuseio ou mistura das quantidades de minério, com vistas a se obter um conjunto que tenha composição ou características uniformes.

Cumpre relevar que “blendagem e homogeneização não se misturam” (Chaves, 2006, p. 10). Esta é uma verdade essencial na medida em que as duas funções se tornaram tão importantes que precisam ser cuidadas individualmente, exigindo-se o máximo de atenção a cada uma. Além disso, os volumes envolvidos são de ordem de grandeza diferente, pois a blendagem deve fornecer continuidade para o longo termo e a homogeneização se refere a apenas um lote de material.

O estudo será baseado em uma revisão de literatura sobre o tema e, também, em um estudo de caso na empresa COSIPA.

A revisão de literatura consiste em levantamento e análise criteriosos e sistemáticos dos resultados e conclusões de outras pesquisas acerca do tema. O objetivo principal da revisão de literatura é organizar, comparar e resumir outras pesquisas e, portanto, a revisão de literatura constitui um instrumento extremamente útil para a realização da pesquisa em foco. A revisão de literatura é realizada por meio de pesquisa bibliográfica sobre o tema.

O estudo de caso constitui uma investigação empírica que verifica um fenômeno contemporâneo no contexto real, sobretudo, quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ESTOCAGEM EM PILHAS

Nas usinas é sempre necessária a formação de estoques de matéria-prima, de produto acabado, ou ainda, de produtos intermediários.

Os objetivos da estocagem são (Chaves, 2006, p. 4):

- . formação de reservas para a operação na época das chuvas, nas paradas previstas para a mina ou em paradas de emergência da mina. Em localizações especiais, como as regiões polares, as minas operam durante o ano inteiro, mas só podem embarcar durante 5 ou 6 meses do ano, quando o mar não está congelado. Semelhantemente em alguns locais da região amazônica, o acesso somente pode feito por barcos, durante a época das cheias. Noutros locais, na estação das chuvas, as estradas ficam intransitáveis. As minas trabalham o ano inteiro, mas não podem embarcar durante o período da estiagem. Nas situações descritas - em condições geográficas opostas - é forçoso estocar durante alguns meses.
- . pulmão entre operações de períodos ou vazões diferentes (por exemplo, entre usina de concentração operando três turnos diárias e mina e britagem primária operando apenas um). Seja o caso de uma mina (1 turno por dia), que tem que estocar R.O.M para atender uma usina (3 turnos por dia) - 16.000 t de R.O.M. contendo 7.000 t de concentrado.

- aguardar a chegada do meio de transporte (trem ou navio, por exemplo), para pode embarcar. Esta intermitência do meio de transporte torna necessário estabelecer outro estoque análogo no ponto de recepção. Seja o caso da mesma mina, cujas 7.000 t de concentrado produzidas por turno na usina precisam ser estocadas para aguardar o trem de 15.000 t, que leva o concentrado até o porto, onde existe um outro estoque para aguardar o navio, de 220.000 t.
- a necessidade de homogeneizar o material que entra em determinadas unidades, para evitar flutuações das características da alimentação e consequentes perdas de controle do processo é uma exigência cada vez mais freqüente da operação industrial. Com a introdução das normas ISO 9000 e do conceito de garantia de qualidade, esta necessidade torna-se ainda mais aguda. A homogeneização em pilhas alongadas e a sua retomada criteriosa é uma das maneiras mais cômodas e eficientes de formar estoques homogêneos.

No processo de estocagem, minérios de diferentes especificações, sejam elas químicas ou físicas, são armazenados na forma de pilhas para posterior retomada, visando à composição de lotes.

Como foi dito na introdução deste estudo, a estocagem pode ser feita basicamente de três maneiras (Chaves, 2006, p. 6):

- A estocagem em vagões ferroviários é praticada principalmente em pontos de transbordo, para evitar a movimentação do minério do vagão para uma pilha e da pilha para outro vagão. A imobilização do capital nesta prática é grande: a par com o capital representado pelos vagões, ramais ferroviários e terreno, mais o lucro cessante decorrente da paralisação dos vagões. Desta forma, somente se justifica por prazos relativamente curtos. Contudo, o custo operacional é praticamente nulo, bem como os efeitos do manuseio (degradação, segregação e perdas) sobre o minério estocado, de modo que deveria merecer

maior atenção, sobretudo, no caso de matérias-primas minerais que não demandam homogeneização.

A estocagem em silos se aplica a quantidades moderadas para o consumo de, no máximo, alguns dias. É pois, no campo da mineração, o caso característico de estoques intermediários ou de estoques de material em processamento durante o beneficiamento.

A estocagem em pilhas é o método mais amplamente usado na mineração. Este processo exige regras e critérios e tem limitações sérias quanto, por exemplo, a perecibilidade do material e a granulometria (para evitar perdas pela ação do calor, do vento e da chuva, e a contaminação por outros materiais), que impedem a sua utilização, ou exigem cuidados especiais no projeto do pátio, ou ainda, forçam providências auxiliares (pilhas cobertas, por exemplo).

A estocagem em pilhas possui uma grande vantagem sobre os outros processos, que é a de permitir a estocagem de grandes quantidades, por longos períodos de tempo e a custo relativamente baixo.

As pilhas podem ter os formatos variados, dependendo das características do material e das disponibilidades de espaço e equipamento: cônicas, prismáticas, prismas de secção trapezoidal, primas com eixo circular ou semicircular, entre outros. A altura da pilha dependerá da degradação mecânica do material sob o peso das camadas sobrejacentes, das características do solo em que se apóia a pilha, e do equipamento disponível.

Quanto à qualidade dos padrões de estocagem, existem muitos Sistemas de Qualidade atualmente, sendo a série ISO 9000 a mais importante, devido à sua ampla aceitação.

A qualidade de um lote de concentrado é definida por diferentes parâmetros, variáveis de minério para minério:

- . Parâmetros físicos: distribuição granulométrica, área de superfície, cor, resistência mecânica, alvura, untuosidade, etc.
- . Parâmetros químicos: teor mínimo aceitável para o elemento útil ou mineral de minério, teor máximo admissível para os contaminantes, umidade máxima, etc.
- . Parâmetros metalúrgicos: redutibilidade, tendência à crepitação, resultados de ensaios de tamboreamento e da queda, etc.

A introdução das ISO 9000 na indústria mineral exige que toda equipe esteja atenta e pronta para acionar as medidas corretivas adequadas assim que a sua necessidade seja detectada.

Quanto à prática operacional do empilhamento, o processo é o seguinte: o lote de minério que chega ao pátio foi formado por parcelas de características diferentes entre si, e tem uma composição média dada pelo blending feito na frente de lavra. Ele é composto de lotes discretos, de características ainda individuais. A partir deste passo é preciso homogeneizar esse lote, o que é feito em pilhas alongadas, construindo pilhas elementares e distribuindo cada tipo de material ao longo da extensão da pilha. Os materiais dos lotes sucessivos vão sendo distribuídos uns sobre os outros, de modo que o total terá as características do blending desejado, apesar de que cada camada elementar mantém as suas características próprias.

2.2. BLENDAGEM

Sistemas de blendagem são processos utilizados para se fazer homogeneização de um ou mais constituintes de proporções químicas e físicas heterogêneas. O processo de blendagem visa, principalmente, a obtenção de uma mistura mais uniforme possível, com características bem próximas da média dos materiais empregados.

Inicialmente, o empilhamento nos pátios primários (pátio de recebimento) visa estocar os materiais destinados a blendagem. (Na COSIPA devido falta de área para estocagem de cada um dos materiais separadamente e visando uma material mais homogêneo para futura blendagem nos pátios secundários optou-se por fazer uma pré blendagem já no pátio primário com os minérios de ferro recebidos dos diferentes fornecedores). Em seguida, estes materiais, devidamente dosados através de um sistema de silos, são empilhados nos pátios secundários, constituindo-se assim a pilha homogeneizada, como mostrado na figura 1 a seguir:

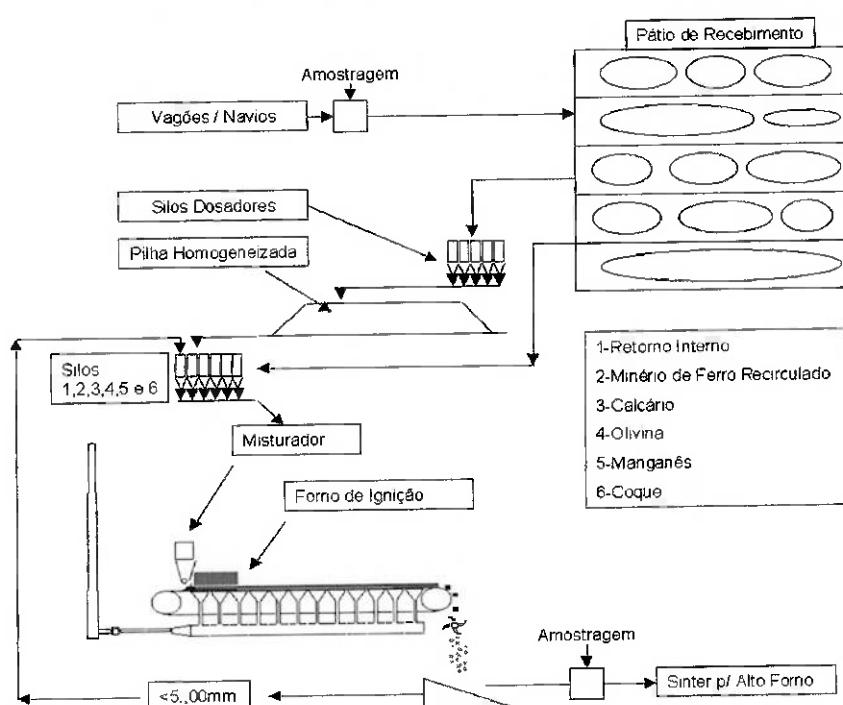


Figura 1 – Fluxo de produção do sinter.

Fonte: Tetti, 2004.

As funções das pilhas de mistura são (Silva et al. 1998):

- Armazenamento: que consiste na manutenção de um estoque estratégico de matérias-primas, que garanta um funcionamento contínuo e estável da máquina de sínter, mesmo que ocorram emergências em equipamentos na área de recebimento de matérias-primas.
- Composição: agrupando matérias com propriedades diversas, visando atingir uma composição média já ajustada às necessidades das sinterizações. Para cumprir a função de composição, cada material deverá ser empilhado ao longo do comprimento total da pilha, de forma que se assegure em cada seção transversal, a mesma composição da pilha como um todo.
- Homogeneização: que consiste na ação de empilhar cada material através de diversas camadas sobre o comprimento total da pilha. Através dessa ação as variações das propriedades dos materiais após o empilhamento, são reduzidas significativamente, quando comparadas às flutuações dessas propriedades, antes do empilhamento. O quociente entre os desvios padrões na recuperação e empilhamento é denominado de eficiência de blendagem e, geralmente, a mesma se eleva a medida em que aumentamos o número de camadas da pilha. Segundo Kolodej (Lemos et al 1976) , para um sistema de empilhamento e remoção como o da Cosipa, um bom valor para o quociente é cerca de 4.

De modo geral, os materiais utilizados na blendagem são os minérios de ferro, resíduos de usina, como a carepa, lixo industrial e pó de alto forno, o degradado do minério granulado abastecido para o forno, além de dolomita e parte do minério de manganês e calcário. O calcário e manganês restante é adicionado diretamente nos silos da sinterização, possibilitando, portanto, efetuar as devidas correções para controle de basicidade e manganês respectivamente.

O grau de homogeneização da mistura, obtida através do empilhamento nos pátios secundários, será tanto maior quanto:

- menor, mais regular e constante for a alimentação da empilhadeira;
- mais se aproximar a quantidade depositada pela empilhadeira nos dois sentidos de deslocamento ao longo do pátio;
- maior o comprimento da pilha;
- maior o número de camadas depositadas.

Na recuperação o grau de homogeneização será tanto maior quanto:

- menor for a seção transversal desmontada;
- mais adequada a máquina de recuperação para não destruir a homogeneização das seções transversais da pilha, devido aos efeitos de segregações normalmente devidas às variações granulométricas dos materiais;
- menor, mais regular e constante for a recuperação.

As vantagens da blendagem são:

- manutenção de carga com qualidade constante;
- utilização de grande número de matéria-prima;
- melhoria na qualidade do sínter;
- redução nos consumos específicos de combustível na sinterização de altos-fornos;
- aproveitamento de resíduos industriais.

A operacionalidade da blendagem ocorre da seguinte forma: deve-se dividir a pilha blendada em 'pacotes' para viabilizar a utilização de um número de matérias-primas superior ao número de silos, conforme está representado nas figuras abaixo.

MATERIAS-PRIMAS	QUANTIDADE (T)	DISTRIBUIÇÃO / PACOTES					
		01	02	03	04	05	06
Min. de Ferro A	15903	—	—	—	—	—	—
Min. de Ferro B	5440	—	—	—	—	—	—
Min. de Ferro C	2427	—	—	—	—	—	—
Min. de Ferro D	1907	—	—	—	—	—	—
Min. de Manganês	288	—	—	—	—	—	—
Calcário	2648	—	—	—	—	—	—
Carepa	520	—	—	—	—	—	—
Sinter fino	2867	—	—	—	—	—	—
TOTAL	32000	—	—	—	—	—	—

Figura 2: Exemplo de distribuição de matérias-primas em pacotes numa blendagem com 5 silos

Fonte: Emanuel, Usiminas, 2006.



Figura 3: Seção transversal da pilha blendada com 6 pacotes – modelo tradicional

Fonte: Emanuel, Usiminas, 2006.

O modelo otimizado de blendagem segue os procedimentos abaixo:

- . divide-se a pilha em pacotes, porém os pacotes não são iguais em quantidades;
- . os pacotes têm a mesma composição química da pilha blendada;

- premissas utilizadas pelo programa computador: tonelagem da pilha; qualidade de cada matéria-prima; capacidade das balanças dosadoras;
- a obtenção da melhor distribuição é feita alterando as quantidades relativas das matérias-primas por pacote.

PACOTES	TEOR DE SÍLICA (%)	
	TRADICIONAL	ATUAL
01	3,54	3,96
02	4,45	3,95
03	3,92	3,95
04	4,45	3,95
05	3,92	3,97
06	3,66	3,96
DESVIO-PADRÃO	0,386	0,008

Figura 4: Variação do teor de sílica nos pacotes de uma pilha blendada

Fonte: Emanuel, Usiminas, 2006.

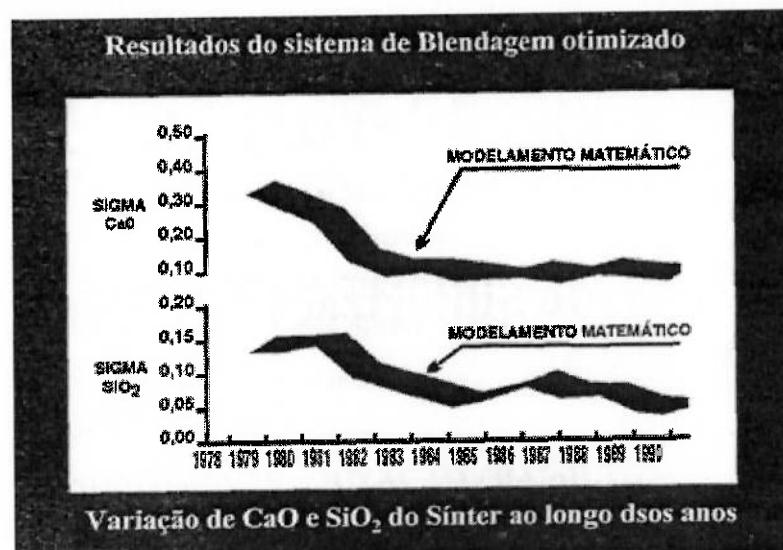


Figura 5: Resultados do sistema de blendagem otimizado

Fonte: Emanuel, Usiminas, 2006.

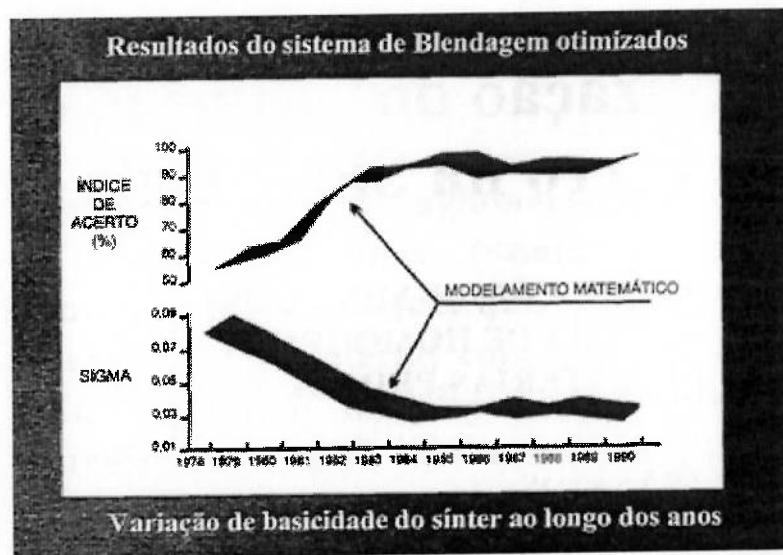


Figura 6: Resultados do sistema de blendagem otimizados

Fonte: Emanuel, Usiminas, 2006.

Por fim, deve ser ressaltado que a adoção de um eficiente sistema de blendagem permite a manutenção dos níveis de qualidade químicas, físicas e metalúrgicas do sínter e, até mesmo, dos parâmetros operacionais de controle da sinterização durante um maior período de tempo. No tabela abaixo desvio padrão na qualidade química do sinter nos períodos, com e sem o uso de um sistema de blendagem.

Composição química do sinter	FeT	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	BB	P	FeO	TiO ₂	K ₂ O
Desvio padrão no sinter com blendagem	0,34	0,08	0,04	0,30	0,10	0,10	0,05	0,001	0,68	0,001	0,004
Desvio padrão no sinter sem blendagem	0,48	0,18	0,06	0,52	0,24	0,10	0,10	0,004	0,93	0,005	0,005

Tabela 1: Desvio padrão no sinter com e sem o uso de blendagem.

Quanto aos reflexos da blendagem na operação dos altos fornos, pode-se afirmar que inúmeras vantagens são obtidas na fabricação de guxa, pela utilização de uma carga homogênea. A operação dos modernos fornos exige, em paralelo, que as instalações que os suprem equipem-se para atender, não só em produção mas, também, em qualidade a sua demanda.

A produção de um sínter condizente com o porte do alto forno reflete sobremaneira no seu desempenho. Além de uma notável estabilidade térmica verificada ao longo do tempo de operação.

2.3. HOMOGENEIZAÇÃO

A fabricação do gusa exige uma preparação adequada da carga. Um fator muito importante nesta preparação da carga é a utilização de sínter, cuja composição química seja desejada pelo alto forno e que se mantenha uniforme por períodos consideráveis de tempo, bem como as demais propriedades do sínter.

O sínter, de modo geral, é obtido a partir de várias matérias-primas cuja composição química difere largamente de uma para outra, além de apresentarem variações de composição na mesma matéria-prima. Contudo, é necessário que o sínter seja uniforme tanto quimicamente, quanto as demais propriedades, isto só é possível através de um bom conhecimento das matérias-primas utilizadas, e de uma boa preparação como a técnica de homogeneização.

Dentre as razões que justificam a utilização de um sistema de homogeneização são citadas a seguir algumas vantagens (Silva, 1998):

- . Um mesmo corpo de minério apresenta variações consideráveis em suas propriedades físicas e químicas e podem afetar significativamente seu uso posterior.
- . Uma fábrica de sínter ou de redução, dificilmente poderá ser operada com um tipo de minério. Em geral, várias matérias-primas deverão ser empregadas, para que se garanta uma qualidade média da mistura.
- . Através da homogeneização eficiente, é possível a utilização de materiais de diferentes teores, obtendo-se um teor médio pré-estabelecido e uniforme.
- . As matérias-primas utilizadas no sistema de homogeneização, via de regra servem como estoque pulmão, para prevenir eventuais atrasos de fornecimento ou outras urgências.
- . Uma técnica de homogeneização se bem aplicada, permite reduzir significativamente o desvio padrão dos vários constituintes do sínter e por consequência nos altos fornos.

Os principais métodos de homogeneização são silos e empilhamento.

Nos silos, o material é ensilado individualmente e retirado através de dosadores, alimentadores vibratórios ou mesas dosadoras. O material é transportado por correia transportadora, sendo sua disposição em camadas sobrepostas, uns sobre os outros.

A desvantagens dos silos são as seguintes (Garcia, 1999):

- . Pressupõe-se que a qualidade das matérias-primas ensiladas é uniforme, o que raramente é verdadeiro.
- . A ocorrência do fator segregação é significativo, o que pode comprometer a uniformidade do produto final.
- . O tamanho dos silos é limitado, obrigando a um contínuo reabastecimento.

- Há casos em que o número de silos necessários seria extremamente grande, o que exigiria grandes investimentos.

O empilhamento em pátios é a técnica mais aplicada, por se apresentar mais eficiente e barata.

Um sistema de preparação de matérias-primas, consiste em dois ou mais pátios de estocagem.

Um dos pátios tem por finalidade de receber todas as matérias primas separadamente por tipo de fornecedor, e devem ser suficientemente grandes para estocar material, seja para uma eventual crise ou para permitir a execução do plano de homogeneização. Nesse pátio tem inicio a homogeneização das matérias-primas, por tipo e fornecedor. É desejável que esse pátio de pré-homogeneização tenha capacidade definida, a fim de permitir a formação de lotes que somente serão utilizados após o conhecimento de suas qualidades.

2.4. O PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO

A sinterização é um conjunto de operações e processos unitários no qual se aplica a aglomeração física e química em matérias-primas particuladas.

A sinterização pode ser definida como o processo de aglomeração a quente de uma mistura de finos (<6mm) de minérios, fundentes, adições e coque, que tem por objetivo a produção de um material com granulometria (5 a 50mm), composição química e qualidades físicas e metalúrgicas compatíveis com as exigências dos altos fornos.

Esquema do Processo de Sinterização

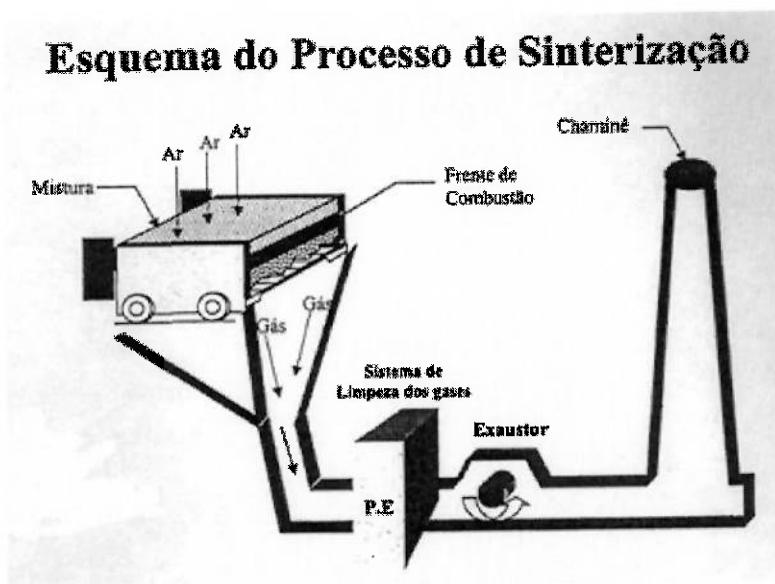


Figura 7: Sinterização do minério de ferro na siderurgia

Fonte: Emanuel, Usiminas, 2006.

As propriedades visadas no sínter são:

- Granulometria e composição química adequada;
- Isenção de elementos químicos indesejáveis aos altos fornos;
- Alta resistência mecânica à queda e abrasão;
- Alta redutibilidade e baixa degradação sob redução;
- Baixo custo de produção.

A moderna tecnologia de sinterização, visando a otimizar a produtividade e baixo consumo de energia no processo, tem como diretriz a produção de sínteres constituídos por uma parte fundida e outra não fundida. Em contraste com os sínteres produzidos em décadas passadas, chamados de sínteres homogêneos, onde se tinha praticamente todo material fundido, tem-se atualmente explorado a produção de sínteres heterogêneos, onde a parte não fundida aumentou significativamente, atingindo patamares de 30% a 40%, ou mais, da área de seção do aglomerado (Vieira et al., 2003).

Dessa forma, procura-se preservar os núcleos dos microaglomerados durante o processamento térmico na máquina de sinterizar e permitir a fusão somente de partículas aderentes com o menor aporte térmico possível. Os

fundentes devem ser empregados como partículas aderentes, para que, após a queima da mistura, venha compor a parte fundida do sínter com características mais homogêneas possíveis.

Um ciclo térmico apropriado deve ser empregado a fim de obter-se um sínter com uma microestrutura ideal, capaz de garantir um excelente comportamento no interior do alto forno, devido às suas excepcionais propriedades mecânicas, químicas e metalúrgicas.

O processo de sinterização mais empregado no mundo é o 'Dwight-Lloyd', processo contínuo.

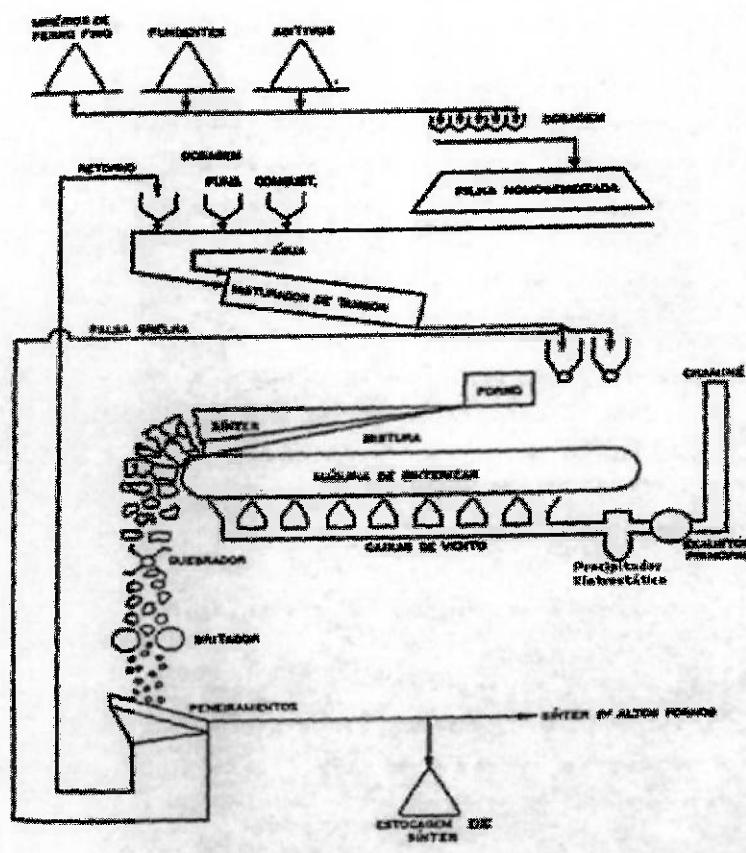


Figura 8 : Fluxograma do processo industrial de sinterização tipo 'Dwight-Lloyd'

Fonte: Serra et al., 2004.

No processo de sinterização tipo 'Dwight-Lloyd', a temperatura da mistura a sinterizar, que é composta de muitas 'quase-partículas', é elevada, pela combustão do carbono da moinha de coque com o oxigênio do ar succionado através da camada de mistura. Com essa elevação da temperatura, há uma fusão parcial das partículas nucleantes e aderentes, produzindo um material fundido, que no resfriamento se cristaliza formando várias fases mineralógicas, que são dependentes das matérias-primas (mineralogia, petrografia, química e granulometria) e do perfil térmico e do tempo a que são expostas.

A seguir apresentamos as principais matérias-primas empregadas no processo de sinterização.

Matérias-Primas para Sinterização

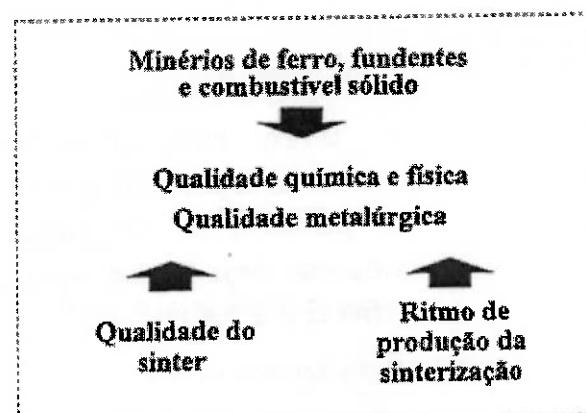


Figura 9: Matérias-primas para sinterização

Fonte: Emanuel, Usiminas, 2006..

MINÉRIO DE FERRO PARA SINTERIZAÇÃO

Diversos estudos na literatura têm discutido a importância e a relação existente entre as características microestruturais dos finos de minérios e a eficiência das etapas de aglomeração a frio e a quente no processo de sinterização e na qualidade final dos sínteres. De acordo com (Vieira et al. 2003):

- O tamanho, a forma e a distribuição dos cristais e poros das partículas nucleantes do 'sinter feed', entre outros fatores, influenciam a redutibilidade dos sínteres. *como?*
- O uso de minérios hidratados afeta a reação entre a fase líquida e o núcleo durante o processo de sinterização.
- Os fatores de tamanho de cristal e proporção de minérios hidratados, juntamente com minérios hematíticos compactos na mistura de sinterização, contribuem para melhorar a redutibilidade do sínter. *escuro?*
- Minérios goethíticos têm um efeito marcante na estrutura da parte fundida do sínter influenciando na formação de ferritos de cálcio, escória vítreia e porosidade, fatores que, por sua vez, controlam os parâmetros metalúrgicos e mecânicos do sínter, tais como redutibilidade, resistência, RDI (Índice de degradação com redução), etc.
- A intensidade de degradação granulométrica dos sínteres, durante redução em baixas temperaturas, é fortemente influenciada pelos seus tipos de constituintes microestruturais e pela presença de Al_2O_3 e TiO_2 na rede cristalina das hematitas secundárias.
- A presença de minérios limoníticos influencia a temperatura da fusão das partículas aderentes.

É importante observar que o termo 'sinter feed' é empregado para definir minérios de ferro com propriedades físicas e químicas compatíveis a produção de um sínter passível de ser consumido no alto-forno, ou seja, com qualidade adequada, estável e a baixo custo.

Além disso, os atributos supracitados devem ser avaliados juntamente com as suas características químicas. O desconhecimento desses atributos, assim como os da mistura a sinterizar, dificulta substancialmente a otimização dos fatores produtividade, qualidade e custo, que constituem o alicerce da sobrevivência desse processo de aglomeração.

Os minérios podem ser classificados em base e de adição (Emanuel, 2006):

- Minério base: é aquele minério que devido às suas características físicas e químicas é usado em maior proporção.
- Minério de adição: é aquele que devido às suas características físicas e/ou químicas especiais é usado em menor proporção, apenas como corretivo do minério base.

As características químicas do minério de ferro para sinterização, são as seguintes:

- é variável de usuário para usuário;
- sua definição depende da carga metálica do alto-forno tendo-se em vista o nível de participação do sínter, a natureza e o volume da escória produzida e qualidade do sínter;
- uma vez especificada a composição química do minério, a sua consistência é primordial;
- maior flexibilidade pode ser obtida com: diversificação de fontes, existência de área para estocagem, sistema de homogeneização.

Os minérios brasileiros possuem as seguintes características:

- alto teor de ferro;
- baixos teores de enxofre, titânio e álcalis;

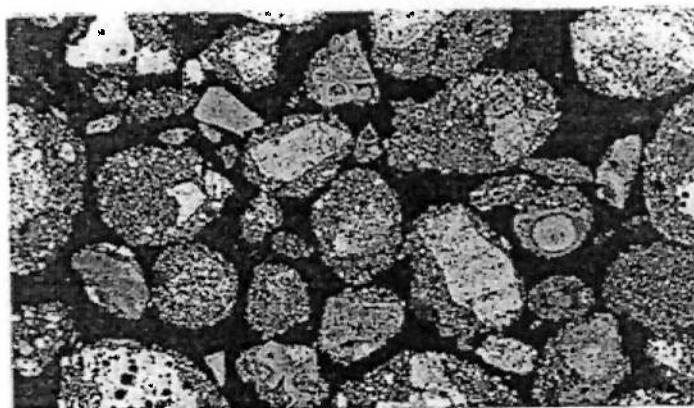
- limitações: teor de alumina (influência negativa no RDI do sínter; de preferência, concentrar-se na fração grossa do minério); teor de sílica (limites estabelecidos pelo volume de escória do sínter; de preferência, concentrar-se nas frações finas do minério); teor de fósforo (limita a produção de aços mais nobres).

As características físicas do minério de ferro para sinterização são: granulometria; presença de água combinada (provoca trincas no sínter); poder de aglomeração a frio.

Outras características importantes são: densidade; porosidade; forma de grão e textura; natureza da ganga do minério; e, carência de informações a respeito de métodos eficazes de avaliação.

Poder da aglomeração a frio: refere-se a capacidade dos minérios em formar micropelotas ou grânulos quando, providos de certa umidade, são submetidos a uma etapa de misturamento. Esta é uma característica bastante desejável e depende da distribuição granulométrica, da rugosidade, da forma e porosidade das partículas, e, também, da natureza da ganga. Não existe um ensaio padronizado para determinação do Poder de Aglomeração a Frio (PAF), mas sim, uma estimativa por meio do ‘Índice de Granulação de Misturas’.

Micropelotas em Mistura de Sinterização



UTILIZAÇÃO DO MINÉRIO DE FERRO NA SIDERURGIA

Figura 10: Micropelotas em mistura de sinterização

Fonte: Emanuel, Usiminas, 2006.

No processo de micropelotização a umidade ideal é aquela no qual um menisco de água é formado em toda a superfície dos poros existentes (Emanuel, 2006).

FUNDENTES PARA SINTERIZAÇÃO

Os fundentes para sinterização têm como função básica escorificar as impurezas introduzidas na carga, pelos minérios e pelo combustível sólido, formando uma matriz de escória capaz de promover a coesão dos grãos de minérios, de modo a proporcionar ao sínter uma resistência adequada à sua utilização no alto-forno.

Os fundentes são classificados como:

- Básicos: portadores de CaO e/ou MgO;
- Ácidos: portadores de SiO₂ e/ou Al₂O₃.

Em relação à granulometria, os fundentes têm granulometria ligeiramente inferior a do minério para facilitar sua incorporação.

COMBUSTÍVEIS PARA SINTERIZAÇÃO

Os combustíveis para sinterização podem ser de dois tipos:

- Combustível gasoso ou líquido (forno de ignição): gás de coqueria (COG), gás de alto-forno (BFG) e gás natural; e, também, óleo.

- Combustível sólido (mistura a sinterizar): coque, antracito, coque de petróleo e carvão vegetal.

As funções do combustível sólido são o fornecimento de calor para o processo de sinterização e a promoção da permeabilidade controlada (poros).

As características desejáveis no combustível sólido são:

- elevado poder calorífico e reatividade média;
- elevado teor de carbono;
- granulometria de 0,5 a 3,36 mm.

De acordo com (Serra et al. 2004), o objetivo principal do combustível sólido no processo de sinterização é fornecer calor, para as reações de vaporização da água, desidratação e decomposição dos carbonatos e formação do gás redutor CO, isto é, combustão de carbono.

Na produção de sínter, o combustível sólido mais aplicado é a moinha de coque, no qual o desempenho desse combustível no processo de sinterização está ligado a composição química, granulometria e quantidade.

Em relação à reatividade do combustível sólido, esta depende da granulometria e da composição petrográfica deste. Segundo (Serra et al. 2004), uma moinha de coque deve possuir alto teor de carbono (>83%), uma faixa granulométrica mais concentrada nas frações de menor que 3,36 a maior que 0,297mm (60%) e uma quantidade de inertes em sua textura, menor que 20% em volume, possibilitando uma fração de vazios (poros) aceitáveis, para a geração de gás redutor CO no processo de sinterização.

PLANO DE RECEBIMENTO DE MATERIAS-PRIMAS

Objetivo: matérias-primas para uma qualidade de sínter desejada:

- prever o ritmo de recebimento;
- manter estoque seguro;
- ajudar no controle dos pátios primários;
- possibilitar conhecimento da matéria-prima antes do uso.

É importante lembrar que a elaboração do plano de recebimento consiste basicamente na determinação das quantidades de matérias-primas a serem adquiridas e a distribuição do seu recebimento ao longo do mês. Leva-se em conta: carga-padrão de consumo; qualidade das matérias-primas; quantidades de matérias-primas de geração interna; quantidade de matérias-primas de proporção fixa. Na tabela abaixo planilha de cálculo de consumo médio mensal dos minérios para sinterização.

	QTDE	%	Cao	SIO2	MgO	MnO	AL2O3	P	Fe2O3	FeO	Fet	C	P.F.
CSN	136.000	26,9	0,00	4,28	0,01	0,58	0,85	0,038	92,8	0,0	64,9	0,0	1,28
FERTECO FEIJÃO	27.000	5,3	0,00	2,40	0,00	0,52	0,93	0,056	94,6	0,0	66,2	0,0	1,26
FERTECO FÁBRICA	27.000	5,3	0,00	3,98	0,00	0,34	1,04	0,051	93,0	0,0	65,1	0,0	1,78
ITA - SARZEDO	27.000	5,3	0,00	4,01	0,00	0,14	0,67	0,050	95,1	0,0	66,6	0,0	0,82
TPS-SF2	100.000	19,8	0,00	2,44	0,01	0,15	1,04	0,043	95,9	0,0	67,1	0,0	1,59
SF5	0	0,0	0,00	5,18	0,00	0,33	0,76	0,050	96,2	0,0	67,4	0,0	0,83
MFHO	0	0,0	0,00	2,71	0,00	0,15	0,89	0,052	94,1	0,0	65,9	0,0	1,50
PEN.FERTECO	0	0,0	0,00	1,43	0,00	0,28	1,12	0,038	95,8	0,0	67,1	0,0	1,09
PEN.MISTURA	20.000	4,0	0,00	4,72	0,01	0,41	1,64	0,048	92,2	0,0	64,6	0,0	2,66
PEN.ITAFERNAN	0	0,0	0,00	2,98	0,00	0,20	1,74	0,075	91,7	0,0	64,2	0,0	1,09
PEN.ITACOLOM	0	0,0	0,00	2,36	0,00	0,25	1,50	0,056	93,4	0,0	65,4	0,0	1,09
PEN.PICO	0	0,0	0,00	1,55	0,00	0,09	0,84	0,037	96,8	0,0	67,7	0,0	1,09
FERTECO FEIJÃO - FP	0	0,0	0,00	1,43	0,00	0,28	1,12	0,038	95,8	0,0	66,8	0,0	1,09
FERTECO FEIJÃO - F	0	0,0	0,00	1,97	0,00	0,50	0,92	0,035	95,5	0,0	66,3	0,0	1,09
CVRD - SLCO - FP	0	0,0	0,00	1,56	0,00	0,45	0,97	0,053	94,7	0,0	66,3	0,0	1,09
CVRD - SFCO	0	0,0	0,00	4,25	0,00	0,20	0,81	0,027	93,6	0,0	65,5	0,0	42,30
CALCÁRIO BARROSO	0	0,0	53,23	2,24	0,70	0,03	0,49	0,030	1,0	0,0	0,8	0,0	0,00
CAREPA	5.000	1,0	0,50	1,14	0,15	0,65	0,21	0,023	34,5	63,1	73,3	0,4	0,00
MnO serra da moeda	2.500	0,5	0,01	11,11	0,01	23,22	1,19	0,070	4,0	0,0	37,8	0,0	10,71
RAF PILHA	15.000	3,0	10,00	5,20	1,30	0,83	1,37	0,050	73,9	6,8	57,0	0,0	0,00
RAF SINTER	45.000	8,9	10,00	5,20	1,30	0,83	1,37	0,050	73,9	6,8	57,0	0,0	9,45
MN noguelha duarte	6.000	1,2	0,01	8,22	0,12	13,85	2,13	0,070	60,8	0,0	42,5	0,0	30,00
PÓ DE COLETOR	6.000	1,2	2,33	7,68	0,28	0,31	1,82	0,052	44,5	8,8	39,8	35,0	40,84
CALC.COM - PILHA	19.000	3,8	50,30	3,72	2,91	0,12	0,44	0,020	1,4	0,0	1,0	0,0	40,84
CALC.COM - SINTER	19.000	3,8	50,30	3,72	2,91	0,12	0,44	0,020	1,4	0,0	1,0	0,0	44,67
DOLOMITA	8.000	1,6	29,06	1,73	20,53	0,41	0,57	0,008	1,0	0,0	0,7	0,0	2,95
CAL FINA	12.000	2,4	92,79	1,10	0,82	0,15	0,30	0,028	0,5	0,0	0,3	0,0	12,22
SERPENTINITO	5.700	1,1	0,29	39,79	34,20	0,05	1,13	0,005	10,0	0,0	7,0	0,0	87,00
MOINHA	12.500	2,5	0,29	6,22	0,13	0,01	3,85	0,032	1,0	0,0	0,7	84,0	78,52
Antracito	12.500	2,5	0,96	9,71	0,21	0,03	3,93	0,040	1,0	0,0	0,7	74,5	
TOTAL	505.200	100	7,70	4,43	1,12	0,66	1,11	0,041	73,4	1,5	52,8	4,3	9,6

SINTER PRODUTO	453.726	1,70	8,36	4,90	1,25	0,74	1,23	0,045	74,87	7,86	58,30
----------------	---------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	------	-------

Tabela 2: planilha de cálculo de leito de sinterização.

3. ESTUDO DE CASO

Este capítulo tem como objetivo apresentar os dados obtidos a partir de um estudo de caso, realizado na empresa Cosipa.

A necessidade de adotar medidas aprimoradas para o processo de formação de pilhas homogeneizadas visando a qualidade estável do produto final das sinterizações, sempre esteve entre as metas da Cosipa.

Como vimos na revisão de literatura, a homogeneização em pátios de um ou mais constituintes se realiza mediante a formação de pilhas. Existem vários tipos de empilhamento, mas a forma mais usada na preparação de materiais de uso siderúrgico, aquela de seção triangular obtida através da deposição de estratos de acordo com o comprimento da pilha.

Entre as técnicas de empilhamento mais difundidas podemos citar:

- Tipo Chevron:

Consiste no empilhamento de camadas elementares sucessivas, alinhadas sobre o mesmo segmento de reta, umas sobre as outras, na direção longitudinal da pilha. É o mais comum empregado, devido as seguintes vantagens:

- o stacker pode ter torre fixa, e sua lança, menor comprimento, resulta numa empilhadeira de peso relativamente menor, e com um custo total de instalação mais baixo,
- a automação dos movimentos da máquina de empilhamento é mais simples que nos demais métodos.
- Possibilita adição de materiais corretivos em qualquer instante (até nas últimas camadas empilhadas, de forma a manter o produto sempre dentro das especificações desejadas).

- A retomada dos cones extermos é mais simples do que nos demais métodos,

Em princípio, é o método básico de empilhamento, por ser o mais barato e satisfatório em termos de homogeneização. A sua desvantagem é a segregação granulométrica na seção transversal da pilha, eventualmente não controlável dependendo do tipo de equipamento utilizado na retomada da pilha.

. . . Tipo Windrow:

Consiste no empilhamento de cordões elementares sucessivos ao lado e sobre os anteriormente construídos, na direção longitudinal da pilha. Neste caso, a segregação granulométrica das partículas é consideravelmente reduzida, pois fica distribuída dentro dos cordões. Suas outras vantagens são a melhor homogeneização e maior densidade. As desvantagens são:

- É necessária uma empilhadeira com lança giratória, ou telescópica, e dotada também de movimento de elevação vertical, portanto, um equipamento mais caro que o utilizável no método chevron.
- A utilização dos cones extremos é bem mais difícil (se não impossível), sendo necessário recirculá-los.
- A automação dos movimentos do stacker é bem mais complexa, requerendo controlador programável.
- Se houver necessidade de adição de material corretivo, este ficará localizado somente em partes localizadas da seção transversal da pilha. Dependendo do método de retomada, a correção pode se tornar ineficiente, ou pior ainda, agravar a variabilidade cíclica da qualidade do material retomado.

. . . Tipo Windrow modificado (six row):

As desvantagens dos sistemas são similares àquelas listadas para o método windrow, sendo no entanto reduzidas. A automação dos movimentos do stacker

continua complicada, sendo adotado, na maioria dos casos um sistema semi-automático de operação. Neste sistema, o operador regula a localização da lança manualmente em cada uma das seis posições possíveis, passando em seguida para o modo automático.

Na Cosipa, até o ano de 1983, foi prática operacional forma pilhas de minérios em forma de cone no pátio primário, tendo em vista que a empilhadeira utilizada não ser equipada para movimentos contínuos de vai e vem.

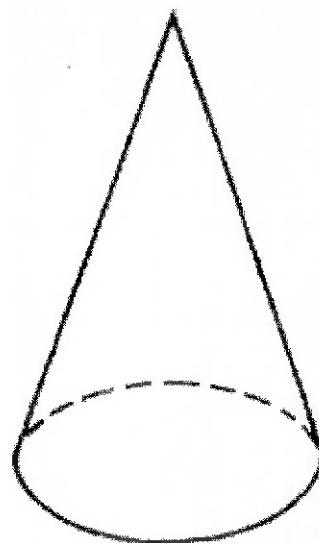


Figura 11: Empilhamento cônico

Fonte: Garcia e Silva, 1986.

Este tipo de empilhamento, devido a forte segregação observada na base da pilha e, associado ao tipo de recuperador existente (Bucket Wheel Reclaimer) que remove por patamares, tem o inconveniente de provocar grande oscilação no teor de sílica, em relação à média do lote estocado, o que era observado durante a remoção através de análises efetuadas. A tabela abaixo mostra a associação existente entre segregação granulométrica e segregação química para alguns tipos de minérios de ferro usados no

processo de produção de sinter. Fica evidente a maior concentração de SiO₂ nas frações mais finas.

	Fração > 6 mm	Fração entre 1 e 6 mm	Fração entre 0,15 e 1 mm	Fração <0,15mm
FORNECEDOR A	0,68	0,81	1,50	2,15
FORNECEDOR B	2,46	2,44	4,25	6,52
FORNECEDOR C	3,79	2,78	4,65	6,54
FORNECEDOR D	1,02	1,17	1,77	2,08

Tabela 3 : Teor de SiO₂ (%) em várias faixas granulométricas , para os minérios de ferro usados na produção de sinter.

Fonte: Ulisses Tetti, 2004.

Esses inconvenientes aliados às variações que ocorrem entre os lotes recebidos ainda que da mesma procedência – o que é uma característica da própria especificação – afetavam de modo significativo a qualidade da pilha homogeneizada, uma vez que esses lotes eram estocados, uns sobre os outros.

Neste contexto, tornou-se prioritária a necessidade de se desenvolver um novo método de empilhamento no pátio primário que garantisse maior estabilidade na qualidade das pilhas homogeneizadas.

Ao longo do ano de 1983 foi adotado um tipo de empilhamento que se aproxima geometricamente durante a formação, do empilhamento tipo Windrow.

O novo método procura formar como base da pilha final várias séries de pequenas pilhas cônicas, séries estas, estocadas paralelamente, cujo número dependerá da largura da área reservada para aquele material.

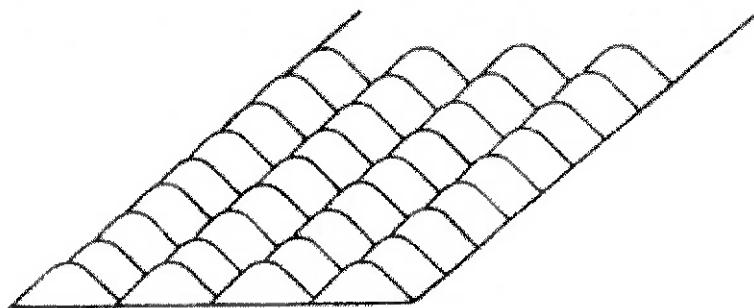


Figura 12: Base de pilha a ser formada

Fonte: Garcia e Silva, 1986.

Uma vez completada a base, o empilhamento terá prosseguimento, sendo que, cada camada de séries paralelas será o número da anterior menos uma, até que se tenha como último empilhamento uma única série de pequenas pilhas, obtendo-se assim uma seção final transversal triangular.

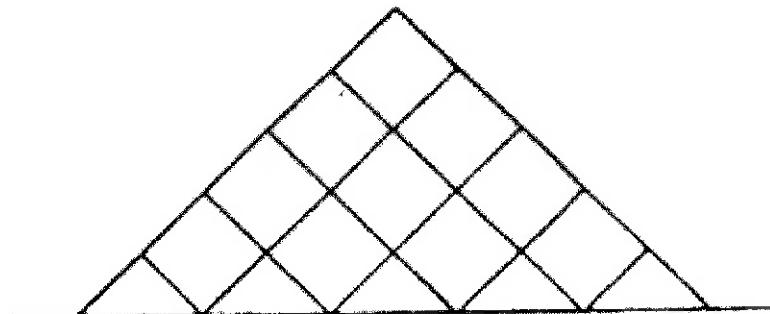


Figura 13: Seção transversal da pilha formada

Fonte: Garcia e Silva, 1986.

O método de empilhamento adotado a partir de 1983 pela Cosipa, promoveu a redução dos desvios e a estabilização da qualidade, eliminando as amostragens de minérios, manganês e serpentinito que eram efetuadas durante a remoção para o pátio secundário. Portanto, passou-se a prática operacional de formarem-se pilhas homogeneizadas, utilizando-se as análises

de recebimento. Isso foi possível em virtude da melhor eficiência do empilhamento no pátio primário e a não estocagem de um lote sobre o outro em remoção.

Este método de empilhamento no pátio primário da Cosipa possibilitou:

- Reduzir os desvios padrões dos elementos analisados das pilhas homogeneizadas.
- Reduzir os desvios dos constituintes do sínter, principalmente a sílica.
- Eliminar as análises de formação de pilhas homogeneizadas sem contudo perder o controle da qualidade.

Até o primeiro semestre de 1994, o sistema de recebimento de matérias-primas na Cosipa foi composto basicamente por 4 pontos de descarga de graneis, englobando 1 Virador de Vagões (recebe vagões da RFFSA), 1 Descarregador de Vagões (recebe materiais da Fepasa e RFFSA) e 2 Descarregadores de Navios (Pier e Cais), os quais recebem materiais transportados por via marítima.

A estocagem de praticamente todas as matérias-primas para as sinterizações, calcinações e altos fornos (minérios de ferro), era efetuada no pátio primário de estocagem, o qual possui três pistas com dimensões de 300x50m e duas pistas, com dimensões de 300x30m.

Historicamente, a estocagem de minérios finos no pátio primário era efetuada com o objetivo de separar lotes por fornecedores distintos. Com o aumento da diversificação de minérios finos e bitolados utilizados, desenvolvimento da utilização de rejeitos industriais e necessidade de liberação de áreas exclusivas para recebimento de materiais de terceiros, foi desenvolvido e implantado o sistema de pré-blendagem para os minérios de ferro finos recebidos na Cosipa, a partir de outubro de 1994.

Para a implantação dos procedimentos de pré-blendagem, foram definidas áreas específicas nas pistas B e C, respectivamente, principalmente em função de maior largura das mesmas, facilitando o processo de empilhamento, menor ocorrência de interferência com a descarga de materiais

por via marítima, tendo em vista que a empilhadeira dessas pistas normalmente é destinada somente para empilhamento de minérios recebidos por ferrovia. Em função das características gerais da empilhadeira a ser utilizada, foi adotado para a formação das pilhas homogeneizadas o método de empilhamento por associação de cones, com altura inicial de empilhamento de 2,5m.

A pilha blendada seria formada somente com os minérios finos recebidos por via ferroviária, devido maior dificuldade no ajuste das datas de recebimento de navios com o período de formação das pilhas, além do fato de que os lotes de minério recebidos por esse modal, apresentavam tamanhos (pesos) distintos dos lotes recebidos por ferrovia, dificultando o acerto da participação de cada minério no blending, sem ocasionar desvios significativos em relação a participação otimizada.

Neste contexto, a pilha a ser formada foi composta por 07 composições (lotes) de minérios de ferro, com participação definida previamente, em função da mistura otimizada obtida através do modelo de carga metálica para os Altos Fornos. Para o empilhamento, foi reservada área de 70m de comprimento e 40m de largura, nas pistas B e C do pátio primário.

A nomenclatura desta pilha foi definida como MFHO (Minério fino Homogeneizado). Visando obter uma melhor distribuição dos minérios na pilha a ser formada, a ordem de recebimento dos lotes deveria ser iniciada com o minério de maior volume em participação percentual na mistura.

Para a operação de empilhamento foi implantada norma operacional específica para estocagem de matérias-primas no pátio primário.

Com a implantação da pré-blendagem de minérios de ferro finos no pátio primário da Cosipa foi possível aumentar a eficiência de ocupação de área do pátio de estocagem, garantindo maior flexibilidade nessa operação possibilitando liberação de áreas específicas do pátio para futura utilização por terceiros, menor movimentação dos recuperadores durante as operações de remoção do número de trocas de materiais durante a blendagem, garantia de consumo de pilhas com qualidade previamente determinada, maior

estabilidade na mistura, possibilitando redução na dispersão dos teores de sílica do sínter.

Desta forma, até o ano de 2004, o controle da sílica do sínter era feito somente nas dosagens de matérias-primas, na formação das pilhas de mistura, sendo que na operação da sinterização era feito o controle, através de gráficos, da basicidade (CaO/SiO_2), adicionando-se ou retirando-se calcário em função dos desvios da basicidade em relação ao valor objetivado. Este controle leva em conta apenas os valores da basicidade, e não, os valores individuais da sílica e do óxido de cálcio. Com este procedimento, a variação da sílica estava muito elevada, comprometendo a qualidade do sínter e consequentemente alguns parâmetros de controle na operação da sinter e por consequência dos altos fornos. Visando diminuir os desvios de SiO_2 nas sinterizações foi implantado dois novos procedimentos operacionais.

1º MUDANÇA NO MÉTODO DE EMPILHAMENTO DA PRÉ BLENDAGEM DOS MINÉRIOS QUE COMPÔEM O MFHO.

Com a reforma e automação da empilhadeira 1 do pátio primário onde é feita a blendagem dos minérios que compõem o MFHO (55% do minério de ferro utilizado na futura blendagem nos pátios secundários) foi possível a mudança no método de empilhamento de associação (múltiplos) de cones para o método Windrow alongado conforme figuras abaixo. Método este mais eficiente na homogeneização.



Figura 14 método anterior e atual da pré blendagem dos minérios de ferro.

Fonte: Perfetti, 2004.

2º IMPLATAÇÃO DO CONTROLE DE SÍLICA DO SINTER

O controle da sílica passou a ser feito, nas máquinas de sinterização, através da adição ou retirada do serpentinito (dependendo dos valores individuais de sílica). Este material era utilizado para correção do teor de MgO do sínter, e com a sua utilização para controle da sílica, o controle deste último passou a ser feito na dosagem das pilhas de mistura. Com a implantação deste procedimento, diminuíram-se os desvios de sílica, melhorou o atendimento da especificação deste elemento, e, permitiu a redução do teor deste elemento no sínter, visando a redução do volume de escória do alto forno e, consequentemente, do 'fuel rate'.

No sistema de controle anterior, empregado na Cosipa, o controle da sílica era feito na dosagem das matérias-primas na pilha de mistura no pátio de minérios; e o controle da Ba (CaO/SiO_2), MgO, MnO e FeO na sinterização.

O novo sistema implantado, possui gráficos de controle da sílica (conforme figura 21 relaciona a sílica objetivada com adição ou retirada de serpentinito do leito de fusão nos painéis de sinterização (controle efetuado pelo operador).

Os figuras apresentadas a seguir representam os dados da situação anterior .

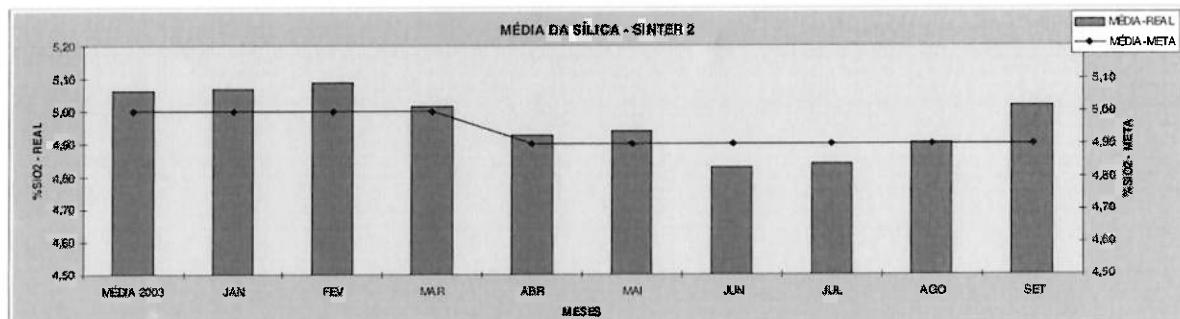


Figura 15: Média da sílica – Sínter 2 – modelo anterior



Figura 16: Desvio padrão da sílica – Sínter 2 – modelo anterior

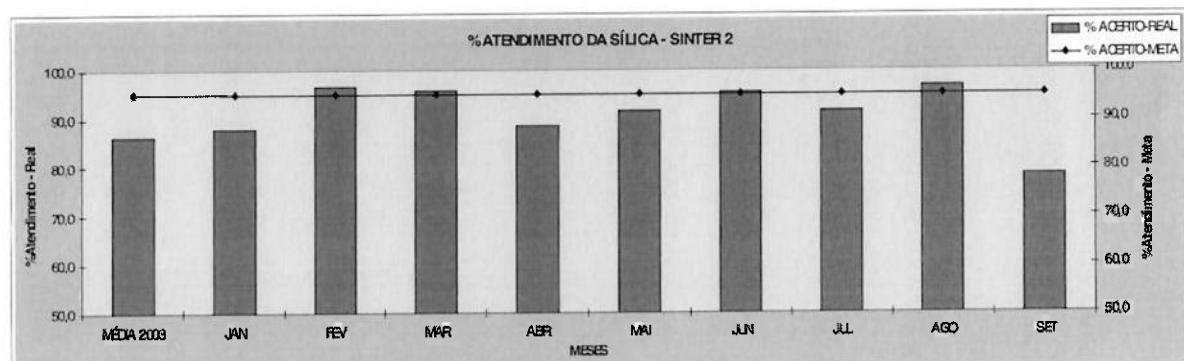


Figura 17: Percentual de atendimento sílica – Sínter 2 – modelo anterior

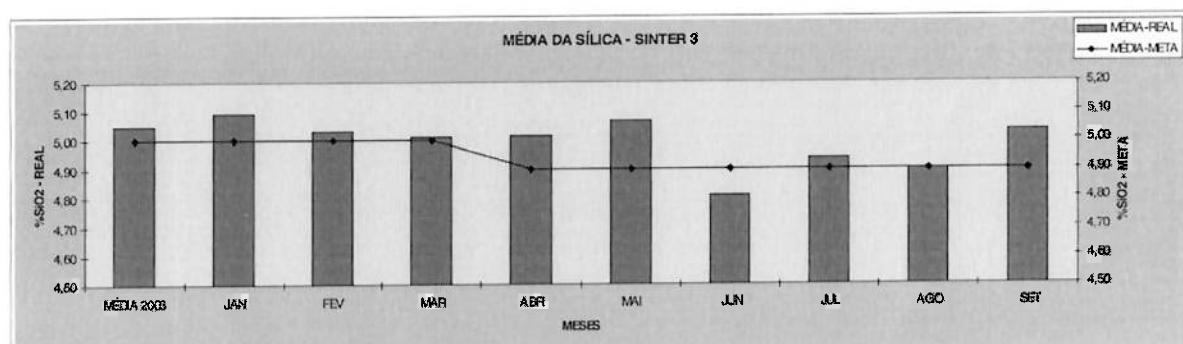


Figura 18: Média da sílica – Sínter 3 – modelo anterior



Figura 19: Desvio padrão da sílica – Sínter 3 – modelo anterior

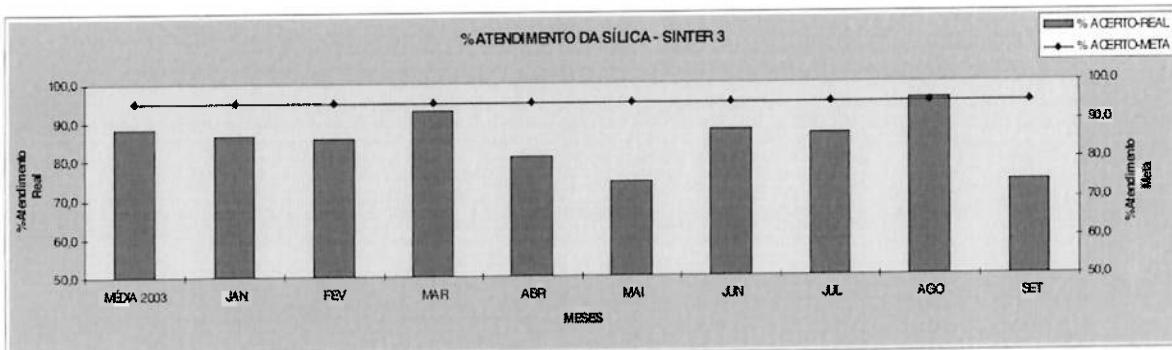


Figura 20: Percentual de atendimento da sílica – Sínter 3 – modelo anterior

O novo procedimento, implantado , introduziu o gráfico de controle de sílica nas sinterizações 2 e 3. Isto possibilitou a correção da sílica através de serpentinito. O serpentinito deixou de ser usado como corretivo de MgO.

A seguir apresentamos o modelo do gráfico conforme figura abaixo de controle de sílica.

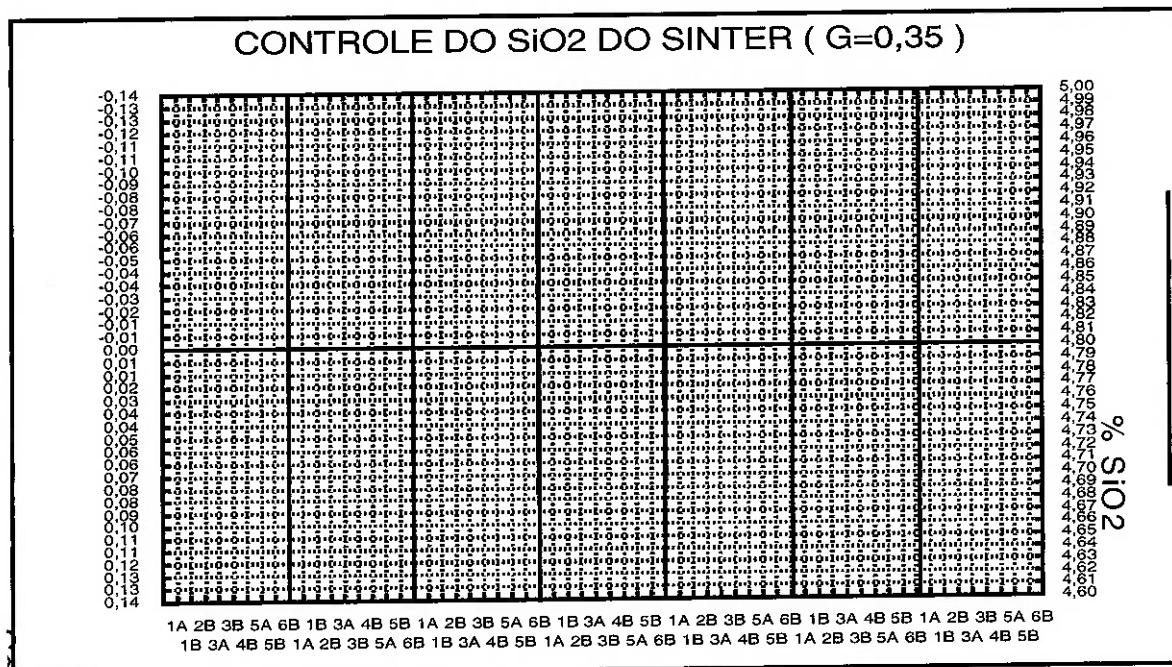


Figura 21: Controle do SiO2 do sínter

Os gráficos a seguir apresentam os resultados obtidos com o novo procedimento.

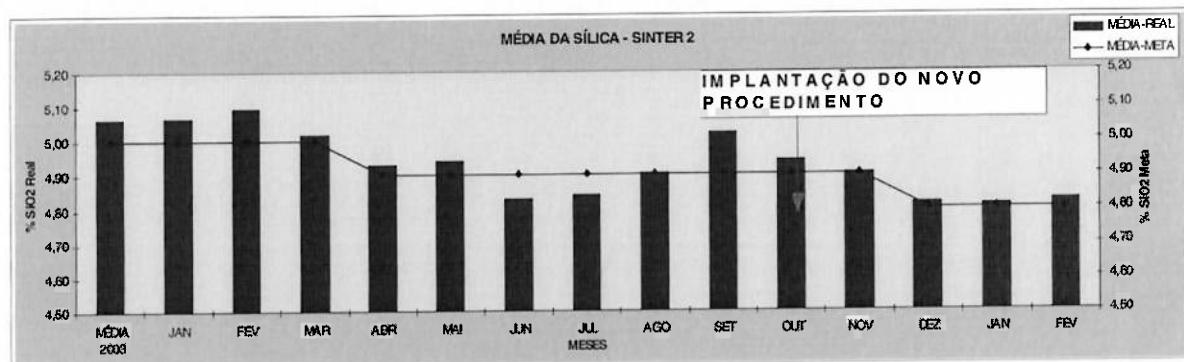


Figura 22: Média da sílica – sínter 2 – novo procedimento



Figura 23: Desvio padrão da sílica – sínter 2 – novo procedimento



Figura 24: Percentual de atendimento da sílica – sínter 2 – novo procedimento

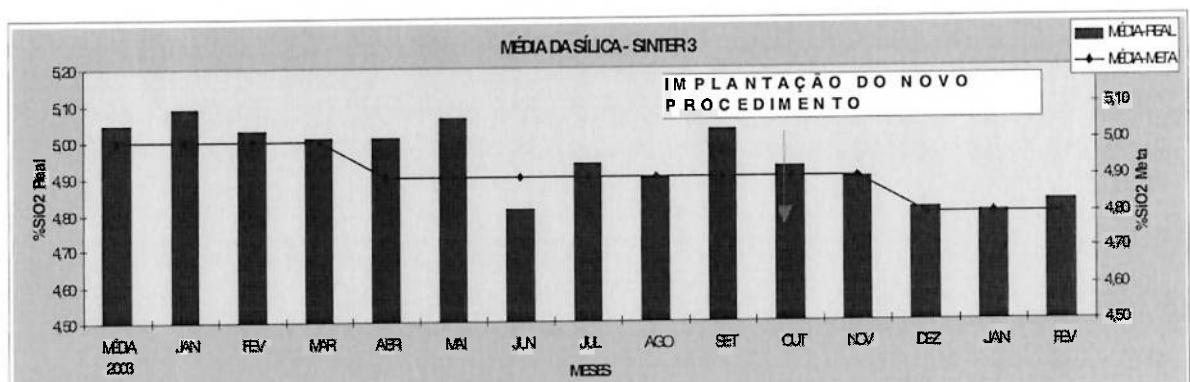


Figura 25: Média da sílica – sínter 3 – novo procedimento

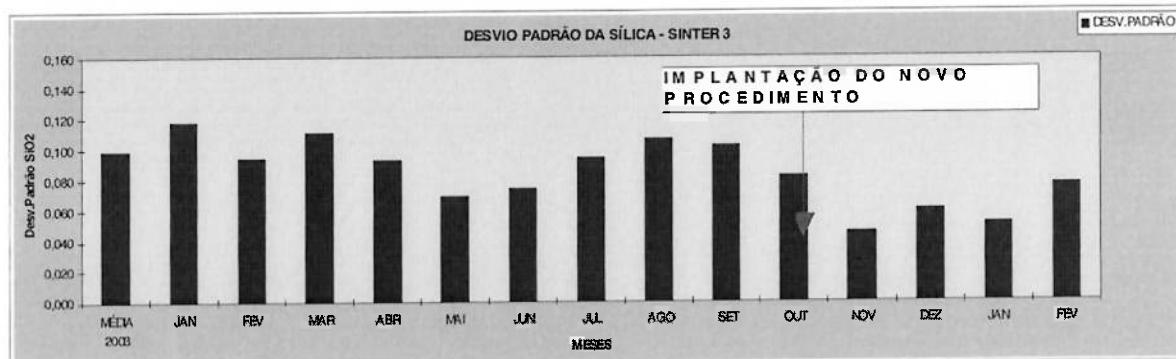


Figura 26: Desvio padrão da sílica – sinter 3 – novo procedimento

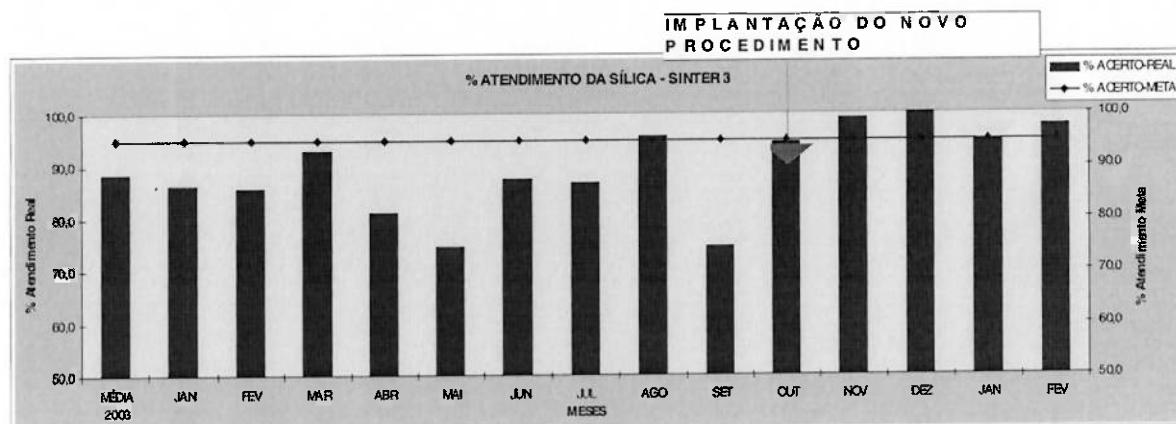


Figura 27: Percentual atendimento da sílica – sinter 3 – novo procedimento

O gráfico a seguir apresenta uma comparação dos desvios no padrão da sílica.

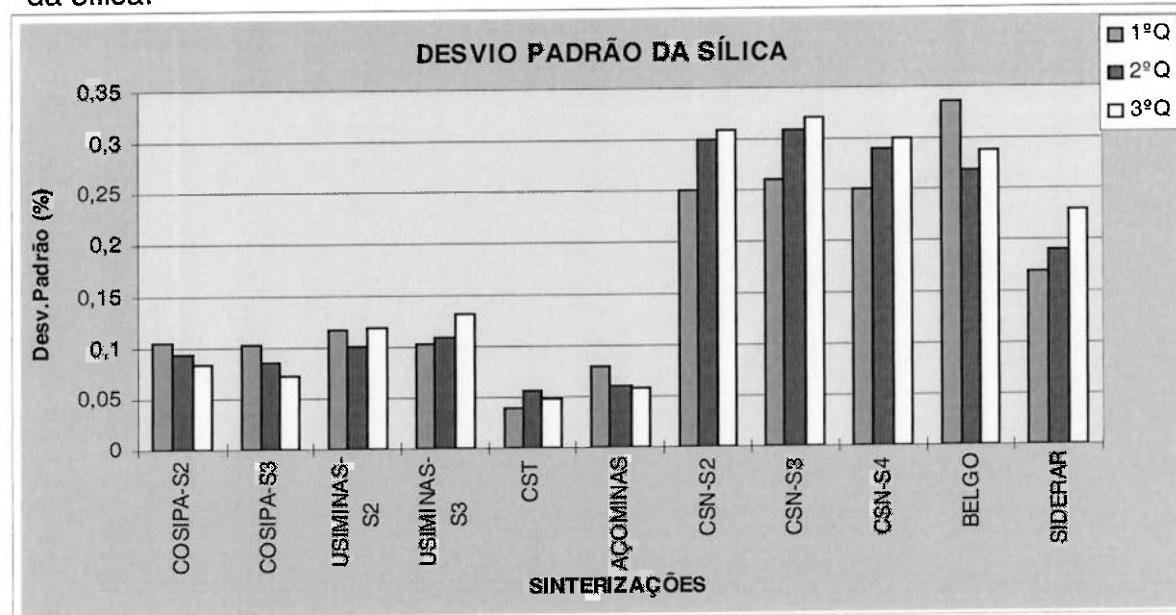


Figura 28: Desvio padrão da sílica – comparação

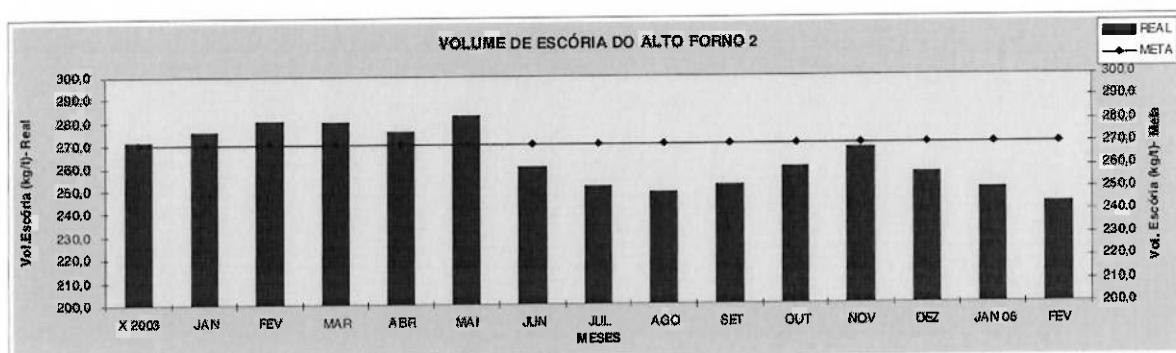


Figura 29: Volume de escória do alto forno 2

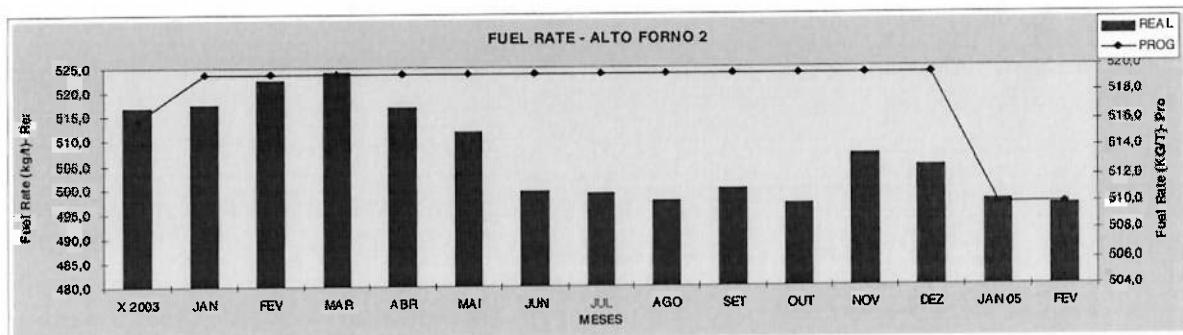


Figura 30 : Fuel rate – alto forno 2

De acordo com os dados supracitados podemos observar que foi implantado o novo sistema de controle de sílica no painel operacional das sinterizações através de gráfico de controle, diferentemente do processo utilizado até a referida data, que era controlado apenas na formação das pilhas nos pátios de mistura.

O novo sistema teve como efeito a redução dos desvios padrões da sílica nas sinterizações 2 (de 0,104 para 0,063%) e na 3 (de 0,096 para 0,063%), como também, das porcentagens de atendimento (sínter 2, de 91 para 97%, e sínter 3, de 85 para 97%). Esta redução acima, consequentemente resultou na redução do desvio padrão da basicidade e no volume de escória da sinter, que como é sabido, são estes alguns fatores que afetam grandemente a resistência a frio do sinter, sua resistência durante a redução e sua redutibilidade.

Cabe ressaltar que a qualidade química do MgO no sinter pode variar na medida que adiciona-se ou retira-se o serpentinito no controle da SiO₂. Mas vale destacar que conforme estudo realizado por (Pinheiro, 1979) que sob a condição de manter constante o teor de SiO₂ e Basicidade binária mostra que dentro de uma faixa estreita de MgO (caso da cosipa) as mudanças mostram-se irrelevantes ao processo.

Com a redução dos desvios padrões de sílica permitiram a tomada de ação quanto à redução na especificação do teor de sílica do sínter em (- 0,10%). Os altos fornos devido as grandes variações anteriores mantinham a especificação da SiO₂ no sínter acima da sua própria necessidade, garantindo assim suas estabilidades operacionais .

A redução do teor de sílica implicaram na redução do volume de escória nos altos fornos e consequentemente, do "fuel rate".

VANTAGEM DA REDUÇÃO DO VOLUME DE ESCÓRIA NOS ALTOS FORNOS.

Definição (Emery, 2002)

O volume de escória é a produção específica de escória dos altos fornos. É um valor calculado no programa de leito de fusão. O valor é atualizado toda vez que houver alteração de análise das matérias primas, coke rate, etc.

Efeito no fuel rate

A escória produzida deixa o forno em uma temperatura cerca de 50°C maior que o gusa e, portanto, necessita de um aporte térmico considerável. Através de um balanço térmico global, avalia-se que a escória produzida requer de 7 a 9% da energia fornecida no processo, dependendo das condições operacionais. Portanto, a redução do volume de escória, além de melhorar as condições de drenagem do forno, propicia uma redução significativa do "fuel rate". A correlação estatística entre volume de escória e "fuel rate" indica a seguinte relação:

menos 10kg no Volume de escória = menos 1,5kg no fuel rate

Na tabela 4 abaixo pode ser vista a simulação do leito de fusão, visando determinar a influência quantitativa de cada parâmetro operacional no volume de escória .

Tabela 4: planilha de simulação do programa do leito de fusão

	C.RATE kg/t	P.C.R. kg/t	SINTER %	HEMATITA %	B/A SINTER	MgO SINTER %	CASCALHO kg/t	SiO2 SINTER %	CINZA %	VOLUME DE ESCÓRIA kg/t
PADRÃO	420	100	75	25	1,87	1,55	0	5,01	10,5	265
C.RATE	430	100	75	25	1,87	1,55	0	5,01	10,5	266
P.C.R.	420	110	75	25	1,87	1,55	0	5,01	10,5	265,9
SINTER	420	100	80	20	1,8	1,55	0	5,01	10,5	272,1
B/A.SINTER	420	100	75	25	1,89	1,55	0	5,01	10,5	266,4
MgO SINTER	420	100	75	25	1,87	1,75	0	5,01	10,5	267,9
CASCALHO	420	100	75	25	1,87	1,55	50	5,01	10,5	266
SiO2 SINTER	420	100	75	25	1,87	1,55	0	5,11	10,5	269,1
CINZA	420	100	75	25	1,87	1,55	0	5,01	11	266,9

Na tabela 5 abaixo pode ser vista a relação do consumo do Fuel Rate com o volume de escória .

Tabela 5 planilha de simulação relacionando consumo do fuel rate com o volume de escória

	VARIAÇÃO	UNIDADE	VARIAÇÃO VOLUME DE ESCÓRIA kg/t	VARIAÇÃO FUEL RATE kg/t
P.C.R.	10	kg/t	-0,95	0,14
SINTER	5	%	7,1	1,07
B/A SINTER.	0,02	-	1,43	0,21
MgO SINTER	0,2	%	2,86	0,43
CASCALHO	50	kg/t	0,96	0,14
SiO2 SINTER	0,1	%	4,11	0,62
CINZA	0,5	%	1,94	0,21

4. CONCLUSÃO

Com a elaboração deste estudo podemos afirmar que, dentre os diversos benefícios obtidos com os sistemas de blendagem, temos:

- Manutenção de carga com qualidade constante e preestabelecida para a sinterização.
- Utilização de um grande número de matérias-primas com qualidades distintas, principalmente na produção de sínter auto-fundente.
- Redução significativa nos desvios-padrão dos constituintes do sínter.
- Redução nos consumos específicos de combustíveis nas sinterizações e altos fornos.
- Aproveitamento de resíduos industriais ricos, gerados pelas usinas siderúrgicas.

Em resumo, podemos concluir que, com a prévia definição da qualidade do sínter, são definidos os limites de especificação. Além da adoção de faixas para os elementos principais, adota-se ainda no carregamento da sinterização os minérios corretivos, que além de reduzir a variabilidade de qualidade, permite ainda alterar a qualidade do sínter a partir da necessidade dos altos fornos mesmo depois das pilhas estarem formadas.

Outros procedimentos que merecem destaque foram: a pré-blendagem de minérios finos e o sistema de controle de sílica, com gráficos, nas máquinas de sinterização, através da adição ou retirada do serpentinito (dependendo dos valores individuais de sílica). Com a implantação do sistema de controle de sílica e a pré blendagem, foi possível diminuir os desvios de sílica, melhorar o atendimento da especificação deste elemento e permitir a redução do teor deste elemento no sínter, visando a redução do volume de escória escória do alto forno e, consequentemente, do 'fuel rate'.

É interessante notar que, com o controle da sílica no sinter com o serpentinito, a variação de sílica no minério de ferro não é mais um problema. Portanto, a utilização do sistema de controle de sílica é de suma importância para a otimização do processo de sinterização como um todo.

Como podemos observar, a evolução técnica no processo de blendagem, associada a criação de metas específicas conferiram ganhos substanciais de qualidade, bem como ao processo de sinterização em geral.

5. RECOMENDAÇÕES

- A pré blendagem é efetuada apenas com os minérios de baixa sílica que corresponde aproximadamente a 55% do minério de ferro fino consumido na sinter. Assim podemos estudar a possibilidade de também fazermos a pré blendagem nos minérios de alta sílica que corresponde aos outros 45%.
- O método windrow tem a vantagem de melhor homogeneizar pois a segregação granulométrica é consideravelmente reduzida (fica dentro dos cordões) mas tem as seguintes desvantagens: houver necessidade de adição de material corretivo (caso da Cosipa com o minério de manganês) este ficará localizado somente em partes localizadas da secção transversal e da própria complexidade do método de formação. Assim podemos estudar a possibilidade de utilizarmos o método chevron que tem a desvantagem da segregação mas em contrapartida eliminamos o exposto acima.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAVES, A.P. **Pátios de estocagem: programa de educação continuada**, Vitória: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2006.

EMANUEL. **Utilização do minério de ferro na siderurgia**. Belo Horizonte: Usiminas, 2006 (Transparências)

EMERY. E. **Redução do volume de escória dos altos fornos**. In SIMPÓSIO INTERNO DA COSIPA, 2004, Cubatão. Cubatão: COSIPA, [s.d.], 10p. (Apostila em Power Point).

GARCIA, A.S. **Matérias-primas e sinterização teoria e prática**.. Cubatão Gerência de treinamento e desenvolvimento da COSIPA, 1999. v.1.

GARCIA, A.S.; SILVA, M. **Nova prática de empilhamento de matérias-primas no pátio primário da Cosipa**. Cubatão: COSIPA, 1986.

LEMOS, M.R.C. et al. **O sistema de homogeneização de matérias-primas da USIMINAS e sua influência nas qualidades do sínter e do gusa**. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 31, 1976, Belo Horizonte. Ipatinga: USIMINAS, [s.d.]. 20 p.

NATAL, L.F.G. et al. **Implantação do controle da sílica do sínter nas sinterizações da Cosipa**. Cubatão : COSIPA, 2004.

PERFETTI, L.T. et al.. **Mudança no método de formação de pilha da empilhadeira 1**.In: SIMPÓSIO INTERNO DA COSIPA, 2004, Cubatão, Cubatão: COSIPA, 2004. .

PINHEIRO, P; RODRIGUES, J.C; **Efeito do MgO na produção e qualidade do sinter**. In: SIMPÓSIO SOBRE MATÉRIAS PRIMAS, 1979, São Paulo. São Paulo: ABM, [s.d.]. p.75-97.

SERRA, A.. R.; DIAZ, F.R.V.; COELHO, A.C.V. **Matérias-primas para a produção do material cerâmico: sinter de minério de ferro.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais., 2004.

SILVA, D.C.. **Apostila de treinamento pátio de minérios** Cubatão: COSIPA, 1998.

SILVA, M.H.R.T.;et al. **Implantação da pré-blendagem de minérios de ferro finos no pátio primário da Cosipa.** In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 51, 1996, Porto Alegre. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1996.

SILVA NETO, P.P. ; MUNIZ, G.L.F.; RODRIGUES, J.C.; **Efeito do MgO na produção e qualidade do sinter.** [s.n.t].

TETTI, U.; **Sistema de controle dos componentes químicos do sinter de minério de ferro baseado no controle automático e controle estatístico do processo.** Campinas: Universidade de campinas, tese de mestrado dezembro 2004.

VIEIRA, C.B. et al.. Avaliação técnica de minérios de ferro para sinterização nas siderúrgicas e minerações brasileiras: uma análise crítica.. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, vol. 56, n. 2, abr./jun. 2003.