

MINI-SINTERIZAÇÃO TCS, UMA ALTERNATIVA AO MINÉRIO GRANULADO PARA PEQUENOS ALTOS FORNOS¹

Everardo Tavares dos Reis Filho²

Maurício Theodoro³

Luiz Augusto Pinto Barreto⁴

Carlos Alberto Chaves⁵

Rodolfo Vinciprova dos Reis⁶

Resumo

Os produtores de ferro gusa e as siderúrgicas e metalúrgicas dotadas de pequenos Altos Fornos a carvão vegetal, e cujas cargas metálicas são hoje compostas por 100% de minério granulado (*Lump-ore*), estão se deparando com dificuldades crescentes de oferta desta matéria prima a custos compatíveis com os valores dos seus produtos finais no mercado de produtos siderúrgicos. Dentro deste contexto, a TCS – Theodoro Consultoria em Sinterização, desenvolveu um projeto de Mini-Sinterização que contempla baixo custo de investimento, curto prazo de implantação e, ainda, reduzidos custos de manutenção e operação, permitindo a obtenção de um produto (sinter) com características físicas, químicas e metalúrgicas similares ao sinter produzido nas melhores sinterizações nacionais e internacionais. O projeto TCS contempla um processo semi-contínuo de produção de sinter com seis unidades contratadas, sendo três já implantadas em território nacional (com capacidades de 25 mil toneladas/ano a 300 mil toneladas por ano) e cinco novos projetos (um internacional) em negociação para contratação e início de implantação, provavelmente ainda em 2006. Este trabalho apresenta algumas características do projeto, as vantagens da sua implantação e os resultados obtidos com o emprego do sinter nos Altos-Fornos.

Palavras-chave: Siderurgia; Empreendimento; Sinterização.

¹ *Contribuição técnica ao 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 1 a 4 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Presidente da ETR Consultoria, Volta Redonda, RJ, Brasil.*

³ *Presidente, Theodoro Consultoria em Sinterização – TCS, Volta Redonda, RJ, Brasil.*

⁴ *Engenheiro Projetista e Calculista de Sinterizações, TCFS, Volta Redonda, RJ, Brasil.*

⁵ *Gerente de Projeto da Hatch do Brasil, e Professor Adjunto da E.E.I.M.V.R., UFF, Volta Redonda, RJ, Brasil.*

⁶ *Diretor Comercial, ETR-Consultoria, Volta Redonda, RJ, Brasil.*

1 APRESENTAÇÃO

O Processo de Sinterização, conhecido pelos siderurgistas desde 1887, consiste na aglomeração de finos de minério de ferro (*sinter-feed*), através de uma mistura composta de diversas outras matérias primas, tais como finos de coque, antracito ou carvão vegetal, calcário, rejeitos industriais (carepa de laminação, pós de filtros de sistemas de despoejamento, pó de coletor de Altos Fornos etc.). O produto final do processo consiste em um material poroso, com excelente redutibilidade no processo dos Altos Fornos e que permite a eliminação do carregamento de fundentes (calcário, dolomita, quartzo) direto na carga dos Altos-Fornos.

A flexibilidade do processo, no que tange a reciclagem de rejeitos industriais (carbonosos e ferrosos), incompatíveis com o carregamento direto nos Altos Fornos, torna a produção de sinter uma solução atrativa para impedir a poluição secundária provocada pelo manuseio e destinação destes materiais.

A redução da demanda de carvão vegetal e energia elétrica pelos Altos Fornos, quando contemplados com a participação de sinter nas cargas, torna o processo de produção de gusa nos pequenos Altos Fornos mais competitivo, além de agregar índices mais favoráveis de produtividade.

2 HISTÓRICO DOS PROCESSOS DE SINTERIZAÇÃO

Existem três processos distintos de sinterização de minérios de ferro, ou seja, processos contínuos (Dwight-Lloyd), processos descontínuos (em painéis, Greenawalt) e processos semi-contínuos (em painéis tipo A.I.B. Holmberg).

As Figuras 1 a 3 ilustram esquematicamente os três principais tipos de processos de Sinterização:

2.1 Processo *Dwight-Lloyd* (Contínuo)

O processo contínuo (Dwight-Lloyd) é indicado para grandes volumes de produção de sinter (acima de 600~700 mil toneladas por ano), abaixo dos quais o processo tem um custo de investimento muito elevado.

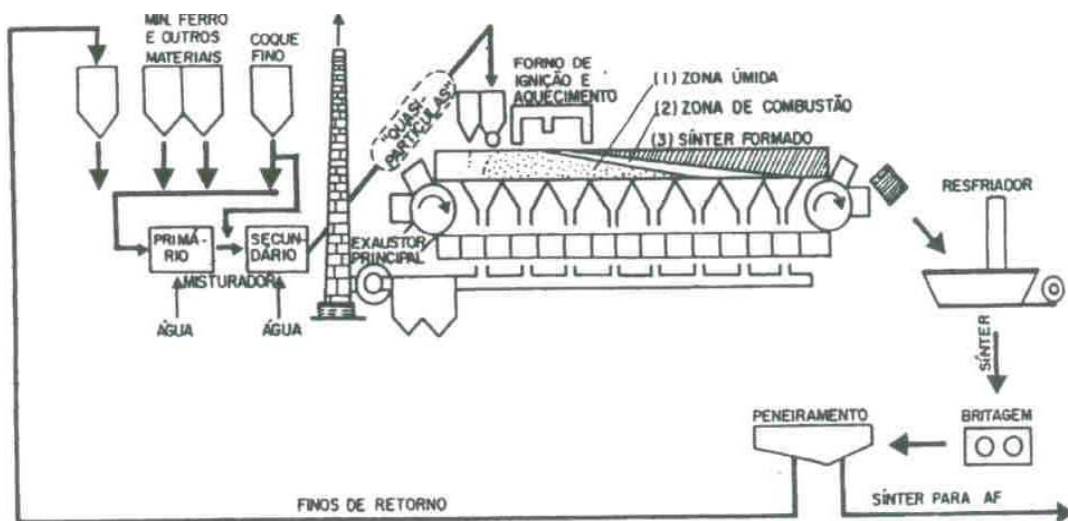


Figura 1. Fluxograma Esquemático das Instalações Dwight-Lloyd.

2.2 Processo Greenawalt (Descontínuo)

O processo descontínuo, conhecido como Greenawalt, encontra-se em desuso devido às próprias características de descontinuidade do processo de produção de sinter e seus reflexos nos custos de produção, manutenção, etc. Até alguns anos atrás, existiam unidades Greenawalt nas usinas da Acesita e da Belgo-Mineira (Monlevade).

O sistema consiste em uma panela fixa, alimentada de mistura a sinterizar por um silo alimentador móvel e após ignição dos finos de carvão com um queimador móvel dá início ao processo e a panela é basculada para descarregar o sinter após a complementação do processo de sinterização.

A Figura 2 ilustra o fluxograma esquemático do processo Greenawalt.

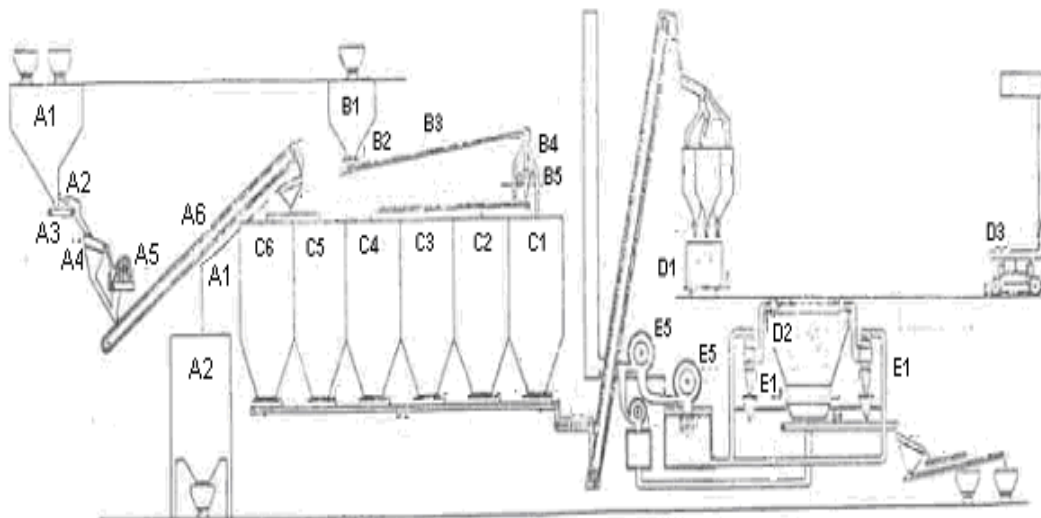


Figura 2. Fluxograma esquemático do processo Greenawalt. A1 a A6 – Sistema de Matérias Primas; B1 a B5 - Sistema de preparação do combustível (coque); C1 a C6 - Silos de minério, carepa, etc. (matérias primas); D1 – Alimentação de Mistura (Sistema de abastecimento da panela); D2 – “Panela” ou grelha Greenawalt; D3 – Carro de ignição; E1 – Ciclones de despoeiramento; E5 – Exaustores.

2.3 Processo A.I.B. (Semi-Contínuo)

O processo chamado semi-contínuo (com várias panelas), até tempos recentes, tinha uma única instalação no Brasil (hoje desativada), localizada na Siderúrgica Barra Mansa S/A – Grupo Votorantim, em sua Usina de Saudade, Barra Mansa, RJ. Tratava-se de uma unidade A.I.B. HOLMBERG, com tecnologia Sueca e capacitada a produzir cerca de 100~150 mil toneladas de sinter por ano.

A Figura 3 ilustra esquematicamente o processo A.I.B. Holmberg.

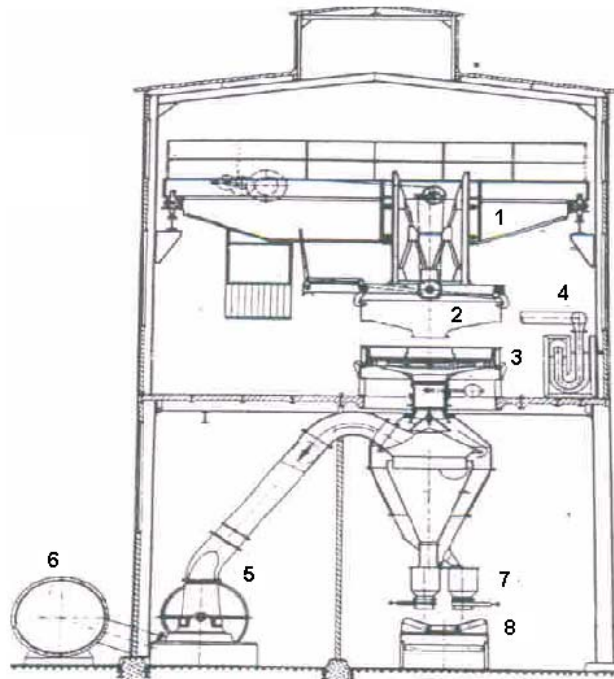


Figura 3. Vista em corte de uma planta de sinterização Aib Holmberg. (1) Ponte Rolante para Manuseio das Painelas; (2) Painela Suspensa; (3) Painela Acoplada ao Sistema de Exaustores; (4) Forno de Ignição da Mistura; (5) Exaustor; (6) Misturador; (7) Sistema de Elaboração da Mistura (Dosadores); (8) Correia Transportadora de Componentes da Mistura.

3 O PROJETO E PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO TCS

O Projeto TCS se inspira no processo semi-contínuo, assim como o A.I.B. Holmberg. O que difere principalmente as duas tecnologias é que o TCS contempla painelas fixas, ao contrário do Holmberg que contempla painelas móveis transportadas por ponte rolante e leitos transportadores. A solução TCS, com painelas fixas, apresenta como principal vantagem o menor custo de manutenção e maior simplicidade dos equipamentos envolvidos, notadamente por dispensar leito transportador e ponte rolante para transporte das painelas entre o setor de carregamento e setor de exaustão (produção do sinter).

3.1 Descrição do Processo TCS

3.1.1 Equipamentos

Os equipamentos que compõem a Mini-Sinterização são basicamente os seguintes:

- sistema de preparação da mistura – consiste de silos metálicos para estocagem das matérias primas a serem utilizadas na Planta, que são o minério de ferro (sinter feed), a moinha de carvão, os rejeitos industriais ricos em ferro e/ou carbono, fundentes (calcário, cal) e o sinter de retorno (finos de sinter). O abastecimento dos silos normalmente é feito através de caminhões, que trazem as matérias primas do pátio de estocagem, porém poderá ser adotado o sistema de abastecimento através de outros processos, tais como correias transportadoras, solução que é selecionada caso a caso. Os materiais são descarregados dos silos por meio de alimentadores pesadores de correia, que irão fazer a dosagem de cada componente da mistura e levados por meio de correia transportadora até o misturador, onde é processada a homogeneização dos diversos materiais e obtida a formação de

micro pelotas, essenciais para garantir a permeabilidade adequada da mistura, necessária para o desenvolvimento do processo de sinterização com elevada produtividade. Do misturador a mistura é encaminhada até o silo de estocagem de mistura, de onde é descarregada por meio de rolo alimentador em um carro de carregamento que irá realizar a alimentação da mistura nas painéis de sinterização;

- painéis de sinterização – a capacidade da Planta de Sinterização é determinada pela quantidade de painéis instalados na unidade. Antes do carregamento da mistura a sinterizar nos painéis, é depositada sobre a grelha uma camada de sinter com granulometria entre 10 e 25mm, para protegê-la das altas temperaturas quando à frente de queima atingi-la ao término do processo de sinterização. O início da sinterização se dá com a ignição da moimha presente na mistura, utilizando-se um forno móvel de ignição. Cada painel está conectado por uma tubulação dotada de válvula de controle a uma tubulação principal que está acoplada a um sistema de despoejamento e ao exaustor principal, cuja sucção propicia o avanço da frente de queima, promovendo assim o processo de aglomeração. Os gases do processo são liberados para a atmosfera através de uma chaminé. Após o término da sinterização as painéis são basculadas através de pistões diretos em caminhões com caçamba, providos de revestimento especial e proteção contra calor na carroceria e cabine, ou em vagonetas especiais que irão transportar o sinter quente até o Sistema de Beneficiamento de Sinter. Como as painéis estão posicionadas em série, significa que como há uma defasagem entre o carregamento, a descarga e painéis em diferentes estágios de sinterização, o ciclo de produção de sinter pela unidade é quase contínuo; e
- sistema de beneficiamento de sinter – o sinter levado pelos caminhões caçamba é descarregado para alimentação do quebrador de sinter, instalado sobre um silo resfriador dotado de venezianas através do qual é insuflado ar por meio de ventilador para realizar o resfriamento do sinter para uma temperatura inferior a 100°C. O material descarregado do silo, por meio de esteira metálica vai, através de correia transportadora, até o sistema de britagem e peneiramento, onde são separados os finos, o sinter para proteção das grelhas das painéis e o sinter produto, que é armazenado em silo para transporte até o alto forno.

3.1.2 Características típicas das instalações

- Capacidade de produção – as unidades de Sinterização TCS podem ter suas capacidades de produção bem flexíveis, dependendo do número e dimensões das painéis instaladas, podendo variar desde 25.000 a 400.000 toneladas/ano (normalmente o projeto contempla painéis de 4t de capacidade);
- prazo de implantação – no que tange ao prazo de implantação, o cronograma depende das capacidades locais das empreiteiras de obras civis e montagem eletromecânica. O prazo previsto é de 9 a 12 meses após a assinatura do contrato. Outros aspectos que podem impactar o prazo de implantação são as interferências de outros equipamentos existentes em operação (os próprios Altos Fornos, por exemplo), redundando em interrupções dos serviços de construção e montagem, notadamente na fase de interligação entre as infra-estruturas de manuseio de materiais da Sinterização com a dos Altos Fornos;

- área requerida para a instalação – a área necessária para a instalação de uma unidade TCS, para 300 mil toneladas/ano, por exemplo, depende da topografia local, porém pode-se estimar uma demanda de área em torno de 3.000m². Não está considerada a área necessária para estocagem de matérias primas, a qual, se necessária (se não puder aproveitar o pátio de estocagem existente para os Altos Fornos), poderá até dobrar a demanda de área, dependendo do pulmão desejado para a capacidade de estocagem;
- investimentos – os investimentos necessários para implantação do projeto, dependem da capacidade da planta (economia de escala), dos custos de serviços locais (construção e montagem) e das condições do terreno (leiaute, topografia, etc.), além das soluções técnicas alternativas selecionadas para alguns equipamentos, tais como sistema de transporte (interligação) do sinter produzido com o sistema de preparação (peneiramento e britagem), sistema de interligação com a infra-estrutura de abastecimento do Alto Forno, etc... Outros fatores que influenciam os custos são o nível de exigência de controle ambiental local e as características desejadas do sistema de controle operacional (automação). Dentro destas variáveis, pode-se estimar o custo de uma unidade TCS de US\$7 a US\$15/tonelada-ano de capacidade produtiva da Planta; e
- vantagens operacionais – a grande vantagem desta sinterização, em relação às sinterizações contínuas, diz respeito ao baixo índice de manutenção, visto que não possuem os equipamentos mecânicos sofisticados empregados em uma máquina de sinterização convencional, que por trabalharem em condições críticas (altas temperaturas e ambiente altamente abrasivo), apresentam alto custo de manutenção.

As Figuras 4 e 5 ilustram o arranjo geral e o fluxograma do projeto de Sinterização TCS.

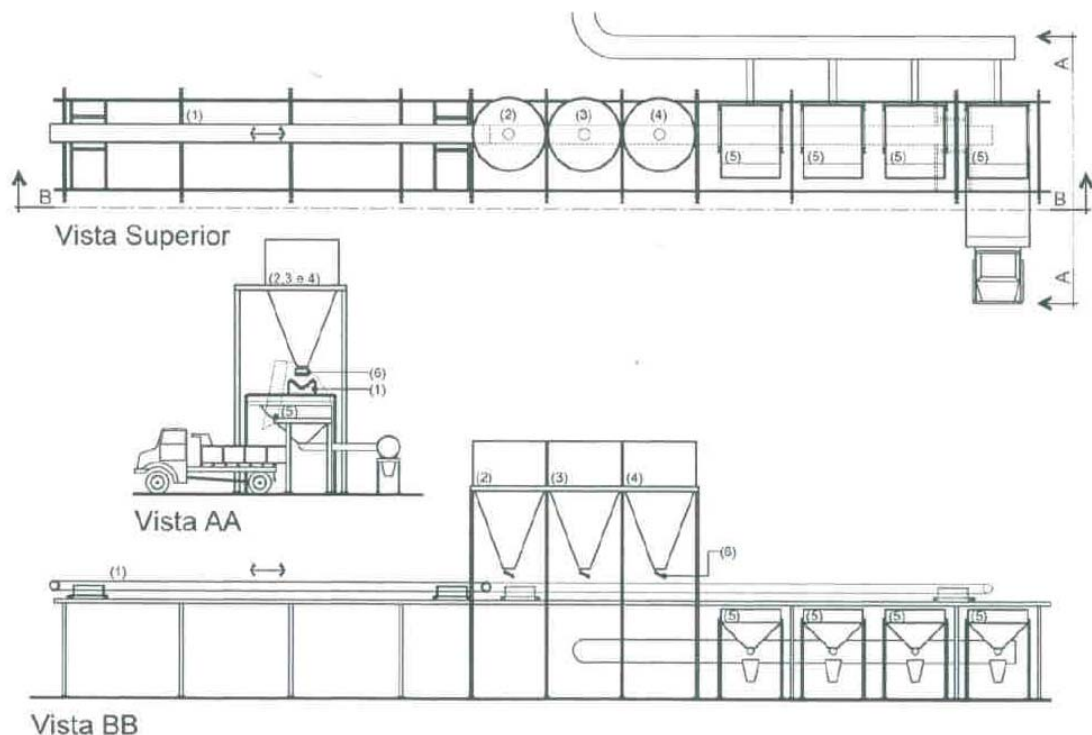


Figura 4. Arranjo geral do projeto de sinterização TCS. (1-4) Sistema de preparação da mistura; (5) painéis de sinter; (6) sistema de alimentação de mistura.

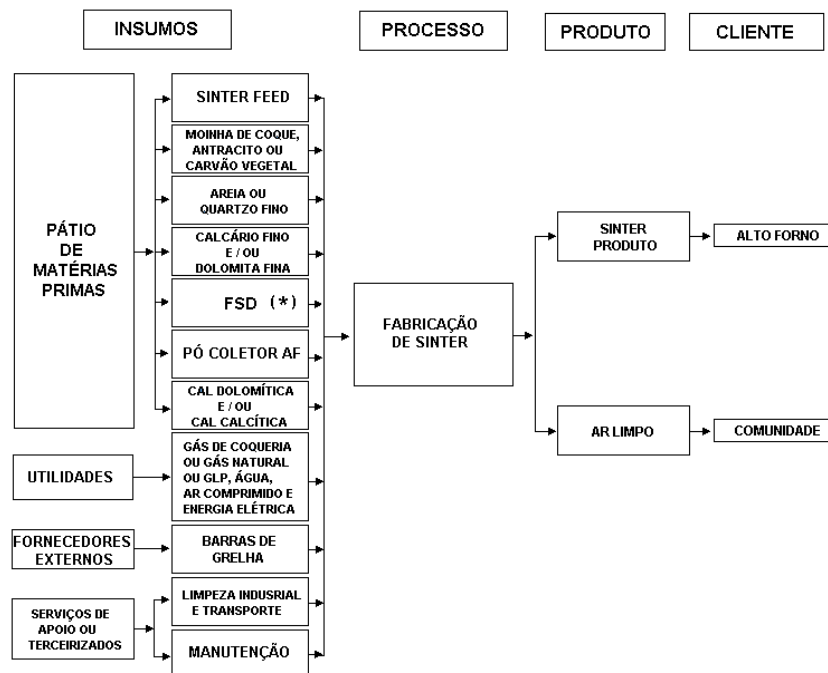


Figura 5. Fluxograma do Processo TCS.

3.1.3 Qualidade do sinter

As principais características de qualidade do sinter são estabelecidas pelas propriedades químicas, físicas e metalúrgicas do produto final. Pode-se afirmar que no que tange a estes aspectos o sinter produzido em uma Planta TCS, com assistência técnica operacional da TCS, não difere do melhor sinter produzido nas grandes sinterizações nacionais e internacionais.

A composição química do sinter depende das características das matérias primas envolvidas e pode ser ajustada em função do percentual planejado de sinter na carga e das características químicas do gusa que se pretende produzir.

Assim sendo, a composição química poderá ser ajustada para atender a necessidade do processo, ou seja, a análise do sinter não deverá ser a mesma para Altos-Fornos que produzem gusa para Aciaria (baixo teor de Silício) e Altos-Fornos que produzem gusa para Fundição (alto teor de Silício).

O mais importante, no que tange à análise química, é a uniformidade do produto, ou seja, a composição química do produto deve apresentar valores mínimos de desvio padrão dos componentes, principalmente da basicidade ($\text{CaO} / \text{SiO}_2$), sendo que o Processo TCS permite a obtenção de desvio padrão da basicidade inferior a 0,05.

No aspecto de qualidade física do sinter, no que tange à resistência mecânica, utiliza-se o teste de “shatter”, cujo índice mínimo deve ser superior a 90%, índice normalmente obtido nas Sinterizações TCS.

Por outro lado, índices igualmente importantes na qualidade física do sinter a ser carregado nos Altos Fornos são o tamanho médio da partícula (ideal próximo de 20mm), o percentual acima de 50mm que deve ser zero e o percentual abaixo de 5mm que deve ser inferior a 7%, itens que dependem não só do tratamento posterior do produto (britagem e peneiramento), bem como também da preparação da mistura e controle tecnológico do processo.

Nos aspectos metalúrgicos, existem os controles do RDI (*Reduction Degradation Index*) e o *Reductibility Index* (RI), ambos testes sofisticados e caros, somente utilizados para o controle do produto para carregamento nos grandes Altos-Fornos.

3.1.4 Referências de projetos e consultoria

A TCS já dispõe, como referência, de seis projetos de Sinterização contratados, sendo três já implantados e três em processo final de implantação (Tabela 1).

Tabela 1.

LOCAL/CLIENTE	CAPACIDADE INSTALADA (t/ano)	DATA DO START-UP
Tecnosulfur (MG)	25.000 (*)	11/2004
Sid. Ibérica, Marabá (PA)	300.000	1º Estágio 06/2005 2º Estágio 12/2005
Sid. do Maranhão (MA)	108.000	02/2006
Mineração Minas Gerais (MG)	300.000	05/2006 (**)
Mineração MBL (MG)	300.000	04/2006 (**)
Tecnosulfur (MG)	42.000 (*)	12/2005

(*) Sinter especial para Aciaria; (**) previsto.

Destas unidades, consideramos a instalação na Siderúrgica Ibérica, em Marabá, Estado do Pará, usina de ferro gusa de um Grupo Espanhol, como a mais típica e adequada de Tecnologia TCS (por ser a maior unidade já implantada).

Além da implantação de Plantas de Sinterização com a sua tecnologia, a TCS presta também serviços de consultoria à operação e manutenção para clientes dotados de projetos TCS, bem como de projetos de outros fornecimentos para quaisquer concepções de Sinterizações.

4 RESULTADOS OPERACIONAIS

Costuma-se dizer no meio siderúrgico que o sinter é o maior parceiro dos operadores dos Altos Fornos, pelas seguintes razões, dentre outras:

- assegura maior estabilidade de marcha dos Altos-Fornos, devido às suas características mais homogêneas que o Lump-ore;
- reduz o consumo específico de redutor (coque ou carvão vegetal), devido à sua maior redutibilidade e à eliminação do carregamento de fundentes (calcário e quartzo) direto nas cargas dos Altos-Fornos; e
- garante maior produtividade dos Altos-Fornos, devido à sua maior porosidade e redutibilidade.

A Figura 6 correlaciona as vantagens da introdução do sinter nas cargas dos Altos-Fornos.

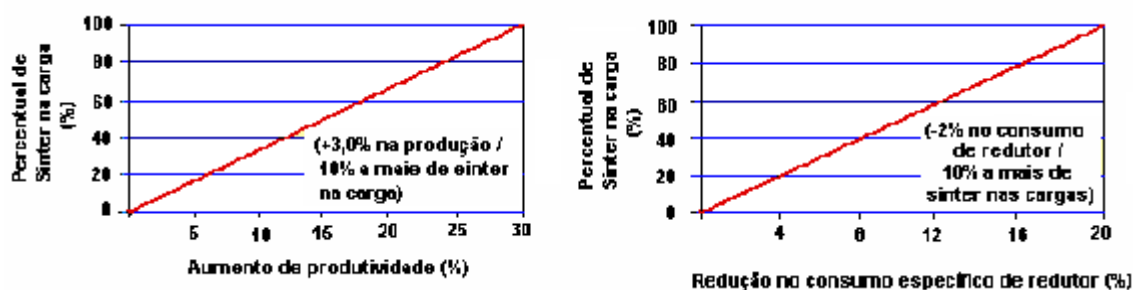


Figura 6.

Os resultados operacionais obtidos nos Altos Fornos dos nossos clientes, com carregamento do sinter produzido com tecnologia TCS, têm confirmado estes números e em alguns casos até mesmo superado estas expectativas.

Deve-se enfatizar, ainda, que além das vantagens anteriormente delineadas o sinter reduz a demanda de energia elétrica dos Altos Fornos (via sopradores), visto que reduz a demanda de ar soprado.

A unidade TCS de Marabá (Sid. Ibérica) encontra-se atualmente em ritmo de produção compatível com o previsto no projeto (300.000 t/a).

5 VANTAGENS ECONÔMICAS DAS MINI-SINTERIZAÇÕES PARA ALTOS FORNOS A CARVÃO VEGETAL

Considerando-se uma unidade siderúrgica com dois Altos Fornos produzindo 200 mil toneladas de gusa/ano com carregamento de 100% de granulados (*Lump-ore*) e passando a carregar 70% de sinter e 30% de minério granulado. As vantagens operacionais se comportariam aproximadamente, conforme Tabela 2.

Tabela 2.

CONDIÇÕES OPERACIONAIS	COMPOSIÇÃO DAS CARGAS METÁLICAS	
	Sem Sinter 100% Lump-Ore	70% Sinter 30% Lump-Ore
Custo dos componentes da carga metálica	Lump-ore R\$90,00/t	Sinter R\$84,00/t Lump-ore R\$90,00/t
Demanda de carga metálica / tonelada de gusa	1,55t/t gusa	1,65t/t gusa (sinter) 1,55t/t gusa (lump-ore) 1,620 t/t gusa (70% sinter + 30% lump-ore)
Custo da carga metálica	R\$139,50/t gusa	R\$138,87/t gusa
Economia na carga metálica p/ 200mil toneladas de gusa/ano	-	R\$126.000,00/ano
Redução de custos devido à retirada de calcário e quartzo da carga do Alto Forno	-	R\$468.000,00/ano
Demanda de carvão vegetal	2,70 m ³ /t	2,32 m ³ /t (-2% por 10% de sinter nas cargas)
Custo específico do carvão vegetal	R\$100,00/m ³	R\$100,00/m ³
Custo do carvão vegetal sobre gusa produzido	R\$270,00/t gusa	R\$232,00/ t gusa
Economia de custos no carvão vegetal	-	R\$7.600.000,00/ano (supondo-se a produção de 200 mil toneladas de gusa/ano)
Produção anual	200.000 t/ano	242.000 t/ano (+3% por 10% de sinter nas cargas)
Melhoria de resultados, considerando o aumento de produção com preço de venda de R\$700,00/t e margem de 20% (R\$140,00/t)	-	R\$5.880.000,00/ano
Demanda de energia elétrica nos sopradores	80kWh / t gusa 1.400 m ³ ar/t gusa	66kWh/t gusa (1.200m ³ ar/t gusa)
Redução de custo devido à menor demanda de ar pelos sopradores	-	R\$280.000,00/ano
Economia (vantagem) global com o emprego de 70% de sinter nas cargas	-	R\$14.354.000,00/ano

A Tabela 2 demonstra que uma unidade de Mini-Sinterização se paga em prazo inferior a um ano de operação nas condições consideradas e ilustradas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho mostrou que a implantação das Mini-Sinterizações da TCS para abastecimento de Altos Fornos a carvão vegetal, é uma boa opção para a redução da dependência de minério granulado para carregamento nos Altos Fornos e permite

além de recuperar os finos de carvão vegetal, reciclar através da Planta os rejeitos carbonosos e ferrosos, eliminando a poluição secundária provocada por estes materiais.

Ficou demonstrado, também, que os resultados operacionais dos Altos Fornos com o carregamento de sinter, trazem vantagens econômicas para o processo de tal magnitude que permitem um retorno dos investimentos em prazo extremamente atrativo, ou seja, inferior a um ano.

O projeto de Mini-Sinterização TCS caracteriza-se por baixo custo de implantação, pouca exigência de área para a Planta (2.500 a 3.000m² por planta de 300 mil t/ano), alta produtividade e baixo custo de manutenção. Além destas características o projeto permite disponibilidade operacional similar aos melhores projetos e boas qualidades física, química e metalúrgica do produto final, prazo reduzido de implantação e total harmonia com o meio ambiente.

A TCS, através do seu braço comercial, a ETR – Consultoria, se coloca a disposição dos interessados para maiores esclarecimentos quanto ao seu projeto e para o agendamento de visitas técnicas de potenciais interessados às unidades já implantadas com a sua tecnologia.

BIBLIOGRAFIA

- 1 ARAÚJO, L.A. Manual de Siderurgia. São Paulo: Arte & Ciência, v.1, 1997.
- 2 ARAÚJO, L.A. Manual de Siderurgia. São Paulo: Arte & Ciência, v.2, 1997.