

AUMENTO DO APELO TÉCNICO AO USO DE PELOTAS EM ALTOS-FORNOS¹

*Paulo F. Nogueira²
Fábio M. Mayrink²
Rogério Carneiro²
José Murilo Mourão³*

Resumo

Dentre os materiais que compõem a carga metálica do Alto-Forno, as pelotas são aqueles com maior grau de engenharia. Isto permite ao produtor de pelota projetá-las para atender a diferentes requisitos a médias e altas temperaturas. A redução na disponibilidade e qualidade de minérios granulados vem aumentando o interesse no uso de pelotas na composição da carga. O forno de queima de pelotas possui um fluxo de gases regenerativo, o que aumenta a eficiência térmica do processo e por conseqüência um menor consumo de combustíveis fósseis quando comparado com a sinterização. A conseqüência direta disto é uma menor emissão de gases causadores do efeito estufa. Além disso, a crescente preocupação pública com o meio ambiente vem tornando cada vez mais difícil o licenciamento de novas plantas de sinterização. Isto tende a aumentar a demanda por pelotas. Esta contribuição técnica apresenta algumas tendências de evolução da produção e consumo de pelotas.

Palavras-chave: Pelota; Alto-forno; Efeito-estufa.

INCREASING TECHNICAL APPEAL OF PELLETS USE IN BLAST FURNACE

Abstract

Pellets are unquestionably the most engineered Blast Furnace ferrous burden available. This allows the pellet maker to design pellets to meet different requirements with respect to medium and high temperature properties. With the scarceness in availability as well as in quality of lump ores, the interest in pellets when burdening the furnace is increasing. The pellet-indurating furnace has self-regenerative gas flow, which leads to higher energy efficiency, thus resulting in lower consumption of fossil fuels. The consequence is the reduction in emissions of greenhouse gases. Furthermore, as the mounting environmental pressure increases the difficulty of permitting new sintering plants, the demand for pellets will be favored. This paper presents the trends for the evolution of the production and consumption of pellets.

Key words: Pellets; Blast furnace; Greenhouse effect.

¹ *Contribuição técnica ao XXXVII Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 18 a 21 de setembro de 2007, Salvador - BA, Brasil.*

² *Departamento de Tecnologia e Assistência Técnica em Ferrosos - Cia Vale do Rio Doce*

³ *Departamento de Pelotização - Cia Vale do Rio Doce*

1 INTRODUÇÃO

A principal alternativa de produção de unidades primárias de ferro em usinas siderúrgicas integradas é o alto-forno. A maioria das usinas integradas no mundo opera com uma quantidade significativa de sinter na carga metálica, normalmente superior a 70%. Porém, as unidades de sinterização, juntamente com a coqueria, têm estado sob pressão constante para aumentar sua sustentabilidade. Além disso, a planta de sinterização se tornou o destino de vários dos resíduos gerados na usina integrada, ajudando no atendimento às suas metas de reciclagem de resíduos. Isto porquê geralmente a planta de sinterização está localizada no mesmo sítio que as instalações de redução, refino e transformação mecânica. As usinas de pelotização por outro lado estão localizadas próximas às minas de minério de ferro ou portos. Assim, apesar de ser possível adicionar resíduos siderúrgicos à estas plantas, normalmente os custos logísticos dificultam quaisquer possibilidade de uso em larga escala.

Apesar de ambos processos serem usados para aglomerar finos de minério utilizando a formação de líquido, seus fundamentos variam significativamente. A fração de líquido na sinterização tende a ser superior a 20% enquanto na pelotização este valor é usualmente inferior a 10%. À exceção do combustível utilizado no forno de ignição, a sinterização utiliza moinha de coque ou outros combustíveis sólidos enquanto que a pelotização pode operar com uma variedade de combustíveis líquidos, gasosos e sólidos. As usinas de grelha móvel da CVRD para pelotizar minérios hematíticos usam uma combinação de óleo combustível, gás natural e carvão.

Além disso, não são todas as plantas de sinterização possuem sistemas de recirculação de gases, ao contrário dos fornos de queima de pelotas, sejam do tipo grelha móvel ou grelha-rotativo. Isto tem um impacto significativo no consumo de combustível e portanto, emissões de carbono. Entretanto, o impacto se estende mais além na cadeia de produção do aço. Sinter e pelotas comportam-se diferentemente no Alto-Forno em termos de redutibilidade, escoamento de gases, quantidade de formadores de escória e propriedades de amolecimento e fusão. Nesse trabalho, o impacto de ambas rotas de aglomeração é discutido, comparando-se seu desempenho seja na usina de aglomeração, seja no Alto-Forno.

2 PRÁTICAS OPERACIONAIS ATUAIS NO ALTO-FORNO

A estratégia para definir a carga metálica do Alto-Forno é um processo complexo que permite soluções variadas. Diversos fatores devem ser considerados, considerando-se a localização da usina, seus objetivos operacionais, assim como aspectos tecnológicos. Além disso, diferentes filosofias operacionais induzem diferentes formas de abordar a questão dentre as diversas práticas operacionais no mundo. A participação de pelotas na carga metálica do Alto-Forno é um fator de diferenciação entre as diferentes práticas operacionais no mundo. Isto se deve a diversos aspectos, sendo o custo de aquisição o mais notável e o fato que na maioria dos casos as pelotas são produzidas fora da usina.

Nesta seção do trabalho uma análise preliminar das diferentes práticas operacionais, baseadas em sua carga metálica é apresentada.

2.1 Minimização do Custo de Carga Metálica

Uma estratégia bem definida para a seleção da carga metálica é a minimização dos custos de aquisição de matérias-primas. Esta estratégia baseia-se no fato que o custo de gusa líquido é afetado principalmente pelos custos de materiais. Assim, os custos de transporte e manuseio são os principais aspectos que os siderurgistas consideram para seleção das matérias primas, e as principais fontes de materiais se encontram relativamente próximos às suas instalações. Com a restrição na disponibilidade de granulados, esta filosofia resulta num maior desenvolvimento tecnológico do processo de sinterização, visando à seleção de matérias-primas. Segundo esta estratégia, a dependência de *sinter feed* de custo elevado é minimizado e, portanto, sua participação é limitada ao mínimo necessário para a manutenção do sinter e dos produtos do Alto-Forno dentro dos parâmetros desejados. A participação de pelotas no Alto-Forno é reduzida dentro desta lógica, pois as pelotas possuem custos mais elevados de aquisição.

Como neste caso a principal motivação é otimizar a produção de sinter, o desenvolvimento tecnológico avançou objetivando para os sinteres tendências similares às observadas para pelotas na operação de Altos-Fornos. Por exemplo: redução do teor de SiO_2 para diminuição do volume de escória e aumentar as propriedades à altas temperaturas, redução do teor de MgO , técnicas de segregação de mistura para aumentar a produtividade, segregação da alumina nas partículas nucleantes, aumento da participação de magnetita, entre outros.

2.2 Produtividade Maximizada

Se não há fontes de minério de ferro próximas da usina siderúrgica, uma outra filosofia operacional prevalece. Esta se baseia no uso de pelotas como um complemento de carga. Neste caso a distância em relação à região produtora de pelota não é tão crítica quanto no caso anterior. Além disso, a comparação do desempenho entre sinter e pelota no Alto-Forno, considerando-se também os diferentes custos de aquisição e produção, pode resultar no aumento da participação de pelotas na carga. Um outro aspecto a ser considerado é o aumento das restrições ambientais para a produção de sinter. Neste caso, a estratégia escolhida para aumentar a produção de gusa é o aumento da participação de pelotas. Também, a tendência de se concentrar a produção de gusa em fornos eficientes, de grande volume, é um outro fator que contribui para o aumento da participação de pelotas na carga. O ganho de produtividade, menor custo de investimento (quando o siderurgista compra pelotas) e um uso mais eficiente do Alto-Forno podem compensar o maior custo de aquisição em algumas circunstâncias. Assim o custo final fica mais competitivo.

Uma variante desta filosofia ocorre quando da existência de uma fonte abundante de minério de baixa qualidade nas vizinhanças da planta. A participação de pelotas de alta qualidade na carga metálica permite maximizar o uso de material local de baixa qualidade nas máquinas de sinterização. Além

disso, é também uma opção ao investimento necessário para expandir a sinterização. Estas pelotas podem ser adquiridas no mercado transoceânico e/ou produzida no local, com uma mistura apropriada de minérios de alta qualidade e concentrados locais pobres.

2.3 Operação com 100% Pelotas

Esta filosofia operacional é baseada no uso intensivo de pelotas no Alto-Forno, muitas vezes como o único componente da carga metálica. Esta opção é razoável naquelas situações onde a atratividade da produção de sinter é baixa, sejam pelas características do minério disponível, restrições ambientais, instalações antiquadas e/ou pelo custo de capital de novos projetos de sinterização. Neste cenário, as únicas plantas remanescentes são aquelas que se destinam à reciclagem de resíduos da usina. Genericamente estes Altos-Fornos possuem alta produtividade e baixo consumo de combustível, o que gera uma condição economicamente favorável associada ao uso maciço de pelotas na carga metálica.

3 O CONCEITO DE VALOR EM USO

Buscando aumentar sua competitividade o siderurgista busca focar seus esforços nos produtos finais e suas aplicações. Esta tendência é caracterizada pela relação entre as siderúrgicas e seus clientes, portanto exigindo que ele adentre na cadeia de valor de seus clientes, adicionando serviços, soluções e tecnologia.

Portanto, os produtores de minério de ferro devem estar prontos para assumir o mesmo papel com seus clientes, sendo capazes de oferecer soluções de carga metálica para seus clientes, assim como intensa cooperação com as seções de preparação de matérias-primas e redução das usinas siderúrgicas. A Figura 1 apresenta esquematicamente a abordagem resultante, geralmente denominada de geometurgia. Este conhecimento permite ao fornecedor compreender integralmente os fenômenos que correlacionam a gênese do minério de ferro (formação do depósito e processo de enriquecimento) e seu desempenho nos processos de mineração, beneficiamento e redução.

O Valor em Uso pode ser definido como a proposta de valor que uma determinada carga metálica pode representar para um cliente específico. A Figura 2 descreve este conceito. Para definir a melhor solução de carga metálica, é necessário inicialmente compreender completamente a realidade e objetivos do cliente. Então os dados operacionais precisam ser organizados, tratados e analisados. Esta geração de conhecimento e criação de uma estratégia específica varia de acordo com os objetivos da parceria. Em todos os casos, eles são atingidos através de simulações numéricas e físicas, que permitem propor uma carga metálica que atenda às necessidades dos clientes.

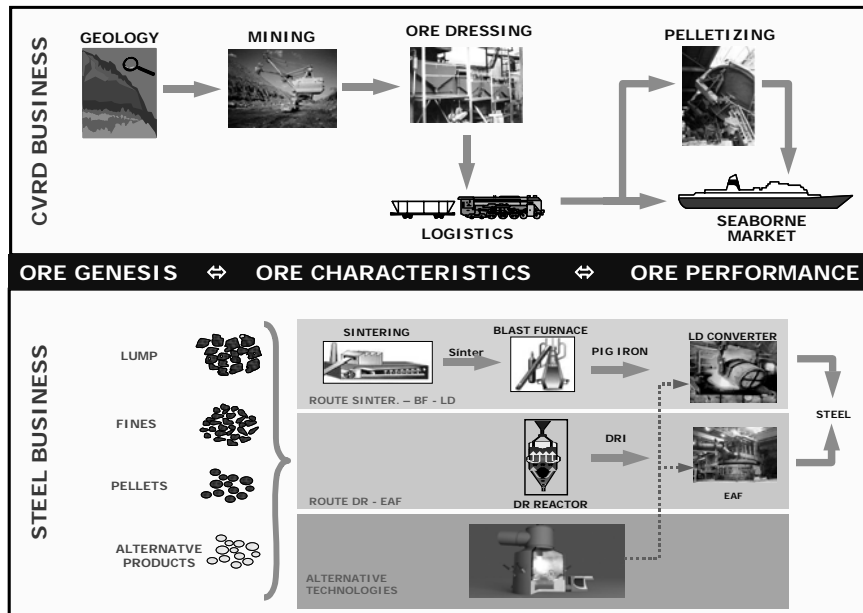


Figura 1. Ênfase da pesquisa em minério de ferro pela CVRD – da mina à aciaria.

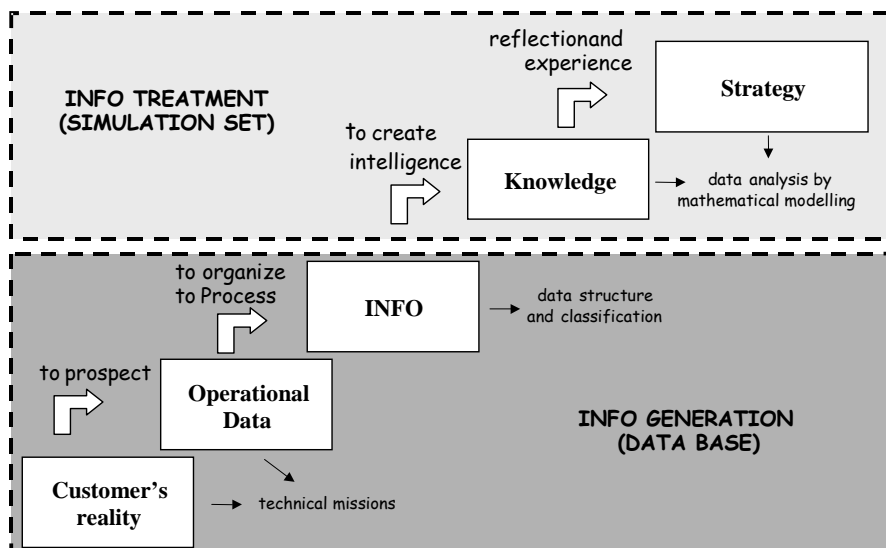


Figura 2. O Conceito de Valor em Uso.

Esforços contínuos vêm sendo realizados na CVRD melhorar as estimativas do valor em uso da carga metálica, contemplando a realidade de seus clientes. A CVRD tem investido expressivamente em pessoas, laboratórios, plantas piloto e simulação numérica buscando compreender as relações geometalúrgicas e sua aplicação para a geração de valor para o cliente.⁽¹⁾

Ferramentas para caracterização microestrutural, química, e física, assim como plantas piloto de sinterização e pelotização, forno para testes de amolecimento e fusão, juntamente com diferentes ferramentas de simulação numérica como programação linear, rede neurais e computação fluidodinâmica estão disponíveis para esta tarefa.

4 IMPACTO DO USO MACIÇO DE PELOTAS NA PRODUTIVIDADE

O uso de maiores porcentagens de pelotas na carga metálica resulta em modificações importantes nos processos de redução e refino. Obviamente, o primeiro impacto é o aumento do custo de matérias-primas. Entretanto, isto não necessariamente resultaria em um maior custo de gusa líquido e de aço acabado. Um primeiro aspecto a ser considerado é a opção de se produzir a maioria da carga metálica necessária dentro da usina ou adquirir uma parcela significativa. A produção interna de sinter pode garantir ao siderurgista o controle da produção de carga metálica e o conseqüente alinhamento de qualidade e custos com sua filosofia operacional. O processo do Alto-Forno deve ser analisado em detalhe para apoiar o aumento da participação de pelotas na carga. Um parâmetro importante que pode ser usado para comparar o desempenho de um Alto-Forno é a produtividade, por ser influenciado por praticamente todos aspectos do processo, como as dimensões do forno, equipamentos auxiliares, parâmetros de sopro e de carregamento. Entretanto, comparar produtividades entre culturas operacionais diferentes é difícil, pois as condições locais ditam a filosofia operacional, como exemplificado na seção 2.

Como regra geral, o aumento na fração de pelotas carregadas no forno deve aumentar a produtividade. Esta conexão entre produtividade e quantidade de pelotas é clara para o siderurgista e deve-se à diversos fatores como redução do volume de escória, escoamento dos gases na zona granular e redutibilidade a baixa temperatura. O volume de escória é reduzido devido ao menor teor de ganga das pelotas, enquanto que o escoamento dos gases é facilitado pelo seu formato regular. A redutibilidade a baixas temperaturas é maior do que outros materiais ferrosos devido à combinação de pequeno tamanho de grão e maior porosidade das pelotas.

A redução do volume de escória reduz a quantidade de combustível necessário para fundir a escória. Também gera condições adequadas no “*raceway*” para elevadas taxas de injeção ao reduzir a formação de “*ninhos de pássaros*” que limitam a penetração de gás no interior do forno. A melhoria da fluidodinâmica da zona granular reduz a perda de carga nesta região, o que, juntamente com a melhoria na redutibilidade à baixas temperaturas, reduz a quantidade de carbono necessária na zona de reserva térmica.

Outro aspecto interessante é a diminuição do consumo de combustível do forno, e conseqüentemente do aporte de enxofre, com o aumento do uso de pelotas. Isto também afeta o valor em uso destas pelotas, tanto direta (menor custo de matéria prima) quanto indiretamente (qualidade do gusa e custo de dessulfuração). Uso de créditos de gás de topo reforça este fato, especificamente em casos nos quais o poder calorífico do gás de topo é utilizado na geração de energia elétrica.

O aumento do teor de MgO nas pelotas permitem a operação de uma máquina de sinterização com teor residual de MgO, aumentando a produtividade da máquina de sinterização sem prejudicar a dessulfuração no Alto-Forno. Apesar de pelotas geralmente terem temperaturas de amolecimento e fusão mais baixas do que os sinters, o projeto conjunto de pelota e sinter resultam numa carga metálica mista com desempenho otimizado em termos de suas propriedades a

altas temperaturas. Isto ajuda a melhorar a permeabilidade e conseqüentemente a produtividade do Alto-Forno.

Em termos de composição química, as pelotas possuem um impacto positivo na operação de refino do aço, já que é possível produzir materiais com menor teor de fósforo que, portanto reduzem os gastos com desfosforação. Outra possibilidade com o aumento da participação de pelotas é o uso de materiais de pior qualidade como carvões e coques com maior teor de cinzas e granulados com altos teores de alumina e fósforo. A tendência de qualidade dos granulados indica uma piora generalizada num futuro próximo, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Qualidade atual e prevista de diferentes granulados disponíveis no mercado transoceânico.

		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	PPC
Granulado A	Atual	65.5	3.35	1.45	0.050	1.20
	Futuro	65.3	3.70			
Granulado B	Atual	67.0	1.30	1.30	0.050	1.15
	Futuro	64.6	2.35	1.70	0.045	3.20
Granulado C	Atual	64.3	3.00	1.40	0.065	3.00
	Futuro	63.7	3.45	1.65	0.075	3.20
Granulado D	Atual	62.1	3.65	1.40	0.050	5.55
	Futuro	61.4	4.20	1.60	0.060	5.60

Independentemente destes fatores, em países com baixo custo de capital é possível operar economicamente reatores de grande porte com baixa produtividade, limitando o apelo ao uso de pelotas. Por outro lado, em condições de alto custo de capital em um mercado favorável é natural operar com a máxima produtividade possível, buscando diluir ao máximo os custos fixos. Além disso, se o siderurgista dispuser de excesso de capacidade de refino, lingotamento e laminação e demanda por aços com elevada margem, há uma nova situação para favorecer a maximização da produtividade. Nestes casos, o uso de pelotas é uma alternativa valiosa para atender a estes objetivos.

Os resultados obtidos através da combinação do modelo de redes neurais, otimização linear para sinterização e CFD para o Alto-Forno para diferentes cargas metálicas em um Alto-Forno de grande volume (4.800 m³) são apresentados na Figura 3. Estas simulações foram realizadas objetivando-se a manutenção da qualidade química da escória, enriquecimento de oxigênio do sopro e taxa de injeção de carvão pulverizado. Como apresentado nesta Figura, o Coque-Rate e o volume de escória reduziram, enquanto que a Produtividade aumentou. Dentre outros resultados, observou-se uma redução na relação CO/CO₂ no gás de topo, no teor de silício e enxofre do gusa. Com o aumento da fração de pelotas o aumento da permeabilidade na zona granular permitiu o aumento do volume de sopro e com isso, o aumento da permeabilidade. Um

aspecto não considerado foi a possibilidade de se aumentar a injeção de carvão pulverizado com a redução do volume de escória e aumento da permeabilidade.

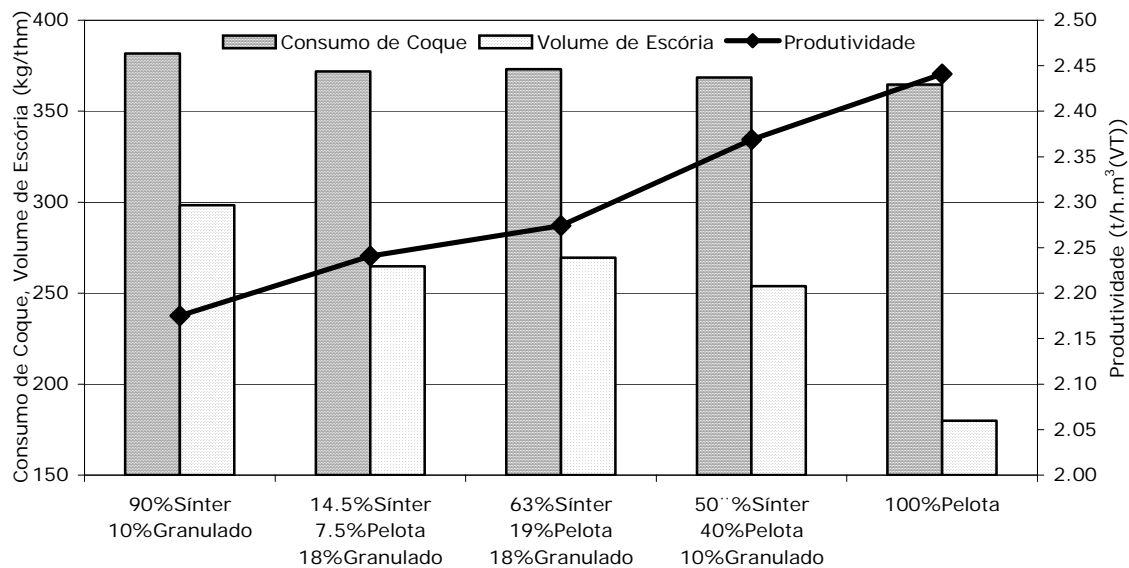


Figura 3. Variação do consumo de coque, volume de escória e produtividade em para diferentes proporções de carga metálica.

É importante ressaltar que os resultados apresentados aqui são baseados em simulações de transporte de massa e calor e fluidodinâmica dos gases em um leito poroso. Variações quantitativas em relação a estes resultados podem ocorrer em Altos-Fornos reais, dependendo da filosofia operacional e outros fatores locais. O mais importante aspecto colocado aqui são as tendências qualitativas gerais, desconsiderando-se os fatores econômicos de cada caso.

5 RESTRIÇÕES AMBIENTAIS E ECONÔMICAS

As diferenças conceituais de desenho entre as máquinas de sinterização e pelotização resultam em diferentes padrões de emissões para ambos. Usinas de pelotização baseadas em forno de queima do tipo grelha móvel ou grelha-forno rotativo emitem menos dioxinas e furanos do que as usinas de sinterização, principalmente devido ao perfil de temperatura e esquema de recirculação de gases. As emissões de SO_x também são mais baixas, devido principalmente à maior eficiência no uso de combustível, assim como a possibilidade de se utilizar combustíveis de baixo enxofre como, por exemplo, gás natural. Em plantas convencionais de sinterização são utilizados cerca de 50 kg de moinha de coque ou antracito moído por tonelada de sinter produzido, além do gás para o forno de ignição, cerca de 2.5 Nm^3 de gás de coqueria por tonelada de sinter. O elevado teor de SiO_2 dos sinters, necessário para atingir as propriedades mecânicas desejadas, requerem um teor compatível de MgO e de CaO. Normalmente as fontes destes óxidos são calcáreo calcítico e dolomítico, mas também podem ser usados dunito, serpentinito e olivina para o suprimento das necessidades de MgO

na sinterização e no Alto-Forno. À exceção dos calcários, as demais fontes possuem uma intensidade de carbono baixa. Com estas considerações, o processo de sinterização emitiria cerca de 225 kg de CO₂ para cada tonelada métrica de sinter. Destes aproximadamente 60kg devem-se à calcinação do calcário, que deveriam ser realizadas em algum momento na cadeia, para se obter as características desejadas na escória.

Em usinas de pelotização processando hematita, baseadas em grelha e forno rotativo são consumidos cerca de 20 kg de carvão e 10 Nm³ de gás natural por tonelada de pelota. No caso de usinas de grelha móvel, o consumo de combustíveis é de 15kg de carvão e 15 Nm³ de gás natural por tonelada de pelota. Independentemente do processo, a emissão de CO₂ deve ser em torno de 75 kg/t pelota produzida. Além disso, a produção de uma tonelada de pelotas consome cerca de 50 kWh de energia elétrica, enquanto que para uma tonelada de sinter este valor cai para 35 kWh. A conversão do consumo de energia elétrica em emissão de CO₂ varia geograficamente.

Assim, independentemente de variações locais, a emissão de CO₂ para ambos processos são bem diferentes. Além de eventuais ganhos devido à redução do consumo de combustíveis no Alto-Forno com elevado uso de pelotas, como demonstrado na seção 3, a troca de sinter por pelotas resultaria em menores emissões na cadeia inteira. Este efeito é apresentado esquematicamente na Figura 4 para usinas operando dentro de condições excelentes com diferentes quantidades de granulados. Além disso, esta Figura apresenta também a posição de várias siderúrgicas do mundo inteiro neste diagrama, considerando apenas a sua prática de carga metálica. Ganhos ou perdas devido ao volume de escória, condições de sopro, taxas de injeção diferente desta condição excelente não são consideradas neste diagrama.

6 CONCLUSÃO

O uso de pelotas nos próximos anos deve aumentar na siderurgia, não somente devido à perspectiva de redução na qualidade e disponibilidade de granulados, mas também como um meio de aumentar a produtividade e a eficiência no uso dos gases na zona granular. Além disso, a maior participação de pelotas na carga do Alto-Forno contribuirá para minimizar as emissões de CO₂. A composição da carga metálica dependerá de vários fatores como a filosofia operacional do Alto-Forno, custos, condições do mercado, qualidade do aço a ser produzido, localização da usina e questões ambientais, dentre outros. Neste cenário, a CVRD está se posicionando como um provedor global de soluções de carga, capaz de suprir as necessidades do mercado com minérios de ferro e aglomerados competitivos e de alta qualidade.

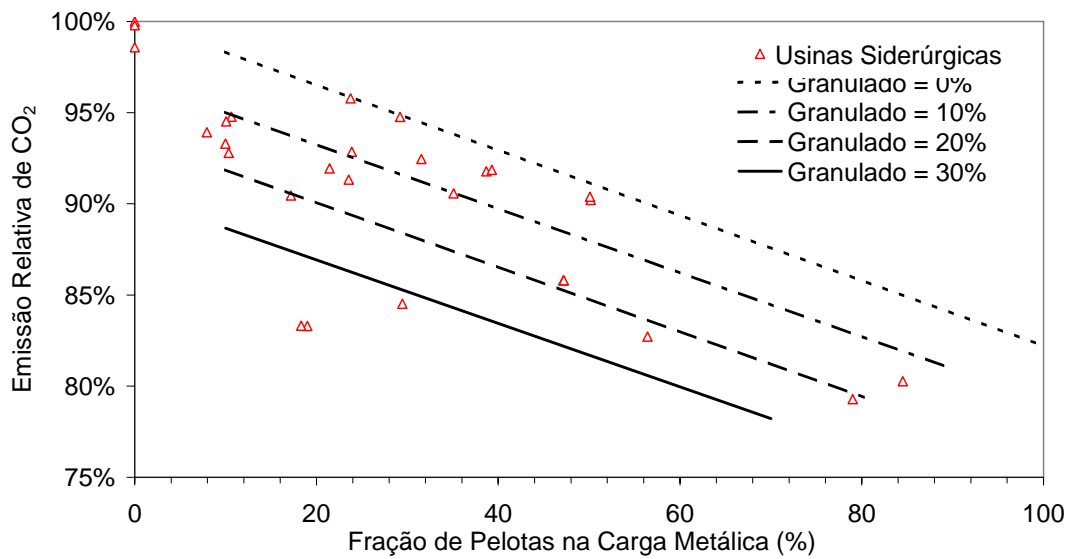


Figura 4. Taxa de emissão de CO₂ em função da quantidade de pelotas na carga. Linhas, calculadas para diferentes quantidades de granulado na carga metálica; triângulos vazados, usinas existentes.

REFERÊNCIA

- 1 NOGUEIRA, P.F. et al: "High Temperature Properties of Sinter and Pellets Produced With Brazilian Ores" – 4th International Conference on Science and Technology of Ironmaking – Osaka, Japan.