

# MINÉRIO DE FERRO PARA A INDÚSTRIA BRASILEIRA DE GUSA <sup>(1)</sup>

JOSÉ MURILO MOURÃO <sup>(2)</sup>

## RESUMO

A indústria de gusa no Brasil, especificamente aquela comandada pelo grupo de “*Produtores Independentes*”, vem desempenhando um importante papel no campo sócio-econômico do país, a despeito das cíclicas crises financeiras globais e, também, das restrições ambientais crescentes ao uso de carvão vegetal.

Com uma capacidade nominal no país da ordem de 14 Mta <sup>(\*)</sup> de gusa, tem operado, nos últimos anos, ao ritmo de 10 Mta, ou o equivalente a 70% da capacidade instalada. Aos preços atuais do gusa, por volta de USD 300/t FOB porto, essa indústria tem faturado cerca de USD 3 bilhões/ano, sendo fonte geradora de importantes recursos para a balança comercial brasileira, haja vista que exporta volumes expressivos de gusa, anualmente.

Os 84 produtores independentes, listados pelo SINDIFER-MG (Sindicato da Indústria do Ferro de Minas Gerais), compreendendo 154 mini-altos fornos instalados, são responsáveis pela demanda de cerca de 16 Mta de minério de ferro, basicamente do tipo *granulado*, com potencial de consumo de 22 Mta, considerando-se a capacidade nominal de produção de gusa. Menos de 5% desses produtores têm minas próprias, de forma que a grande maioria adquire o minério de ferro no mercado brasileiro, de grandes e pequenos mineradores, o que representa cerca de 5% da produção brasileira.

Com a crescente degradação dos recursos e reservas de minério de ferro, a nível mundial, a qualidade e o volume disponível dos granulados vêm se reduzindo aceleradamente. Particularmente, as reservas de hematita compacta do quadrilátero ferrífero, em Minas Gerais, encontram-se em extinção, dando lugar aos itabiritos mais pobres, geradores de minérios finos tipo sinter feed e pellet feed (faixa de 0,0 a 6,3 mm). Dentro desse cenário, a indústria de gusa no Brasil estará a frente de um novo e *grande desafio*, já na próxima década, devendo se preparar para o uso crescente de *carga elaborada* nos seus altos fornos (aglomerados tipo sinter e ou pelotas), em vista da escassez dos minérios granulados.

Este trabalho apresenta uma visão geral da mineração de ferro, e as perspectivas de suprimento da indústria de gusa, sob o comando dos Produtores Independentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Minério de Ferro, Gusa, Produtores Independentes, Sinterização, Pelotização, Granulado, Sinter, Pelotas, Meio Ambiente.

(1) *Contribuição Técnica para o III Painel sobre a Indústria do Gusa, do 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas & 10º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, promovido pela ABM, Associação Brasileira de Metalurgia, Mineração e Materiais, Ouro Preto, MG, Brasil, Novembro de 2009.*

(2) *Engenheiro Metalurgista, Consultor sobre Minério de Ferro, E-Mail: [j-murilo@uol.com.br](mailto:j-murilo@uol.com.br)*

(\*) Mta – Milhão de toneladas por ano.

# IRON ORE FOR BRAZILIAN PIG IRON INDUSTRY <sup>(1)</sup>

JOSÉ MURILO MOURÃO <sup>(2)</sup>

## ABSTRACT

The pig iron industry in Brazil, specifically the one led by the group of “Independent Producers”, is playing an important role in the country's socio-economic area, despite the overall cyclical financial crises and increasing environmental restrictions on the use of charcoal.

With a nominal capacity in the country in the order of 14 Mty (\*) of pig iron, it has operated, in recent years, at the rate of 10 Mty, or the equivalent to 70% of capacity. Considering the current price of pig iron, around USD 300/t FOB port, the industry has revenue around USD 3 billion/year and generates important resources for the Brazilian trade balance, in view of the expressive volume of pig iron exports, annually.

The 84 independent producers listed by SINDIFER-MG ( Sindicato da Indústria de Ferro de Minas Gerais), including 154 installed mini-blast furnaces, are responsible for the demand of 16 Mty of lump ore, with a potential consumption of 22 Mty, based on nominal capacity of pig iron. Less than 5% of these producers have mine own, so that the vast majority acquires the iron ore in the Brazilian market, from large and small mines, representing around 5% of the total Brazilian production.

With the increasing degradation of resources and iron ore reserves around the world, there is relative scarceness of high quality lump ores. Particularly, the reserves of hard hematite in the state of Minas Gerais are being depleted, giving rise to the poorest itabirites, with generation of growing amounts of fine ore, like sinter and pellet feeds (size range from 0.0 to 6.3 mm). In this scenario, the pig iron industry in Brazil will face a new and great challenge in the next decade. It will have to make use of prepared burden as feedstock for blast furnaces (agglomerates like sinter and or pellets), in view of the scarceness of lump ores.

This paper provides an overview of iron ore mining, and the prospects for the pig iron industry under the auspices of independent producers.

**KEY-WORDS:** Iron Ore, Pig Iron, Independent Producers, Sintering, Pelletizing, Lump, Sinter, Pellets, Environment.

(1) Paper to be presented at the III Painel da Indústria Brasileira de Gusa, of the 39<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas & 10<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, sponsored by ABM, Associação Brasileira de Metalurgia, Mineração e Materiais, Ouro Preto, MG, Brazil, November, 2009.

(2) Metallurgist Engineer, Consultant on Iron Ore, Brazil. E-Mail: [j-murilo@uol.com.br](mailto:j-murilo@uol.com.br)

(\*) Mty – Million tons per year

## 1 – INTRODUÇÃO

A indústria brasileira de ferro gusa, liderada pelo grupo de produtores independentes, tem desempenhado um papel muito importante no desenvolvimento da indústria do país. Os desafios, ao longo dos anos, têm sido vencidos com muito empenho e criatividade, quer seja no campo tecnológico, quer seja no sócio-político. As inovações introduzidas nos processos produtivos possibilitaram consolidar a indústria de gusa, trazendo eficiência e competitividade nos diferentes mercados. Sendo consumidora, em grande escala, de carvão vegetal, a indústria não tem medido esforços, no sentido de consolidar a atividade de maneira sustentável, contornando as grandes pressões de organismos ligados à preservação do meio ambiente.

Com distintos pólos de produção de gusa, nos estados de Minas Gerais, Pará, Maranhão, Espírito Santo e Mato Grosso do Sul, essa atividade tem gerado muitas divisas para o Brasil, além de contribuição significativa na geração de empregos, impostos e desenvolvimento social, tanto direta, quanto indiretamente.

Tendo capacidade nominal de produção da ordem de 14 Mta <sup>(1)</sup>, essa indústria apresenta potencial de consumo de minério de ferro próximo de 22 Mta., ou algo próximo 5% da produção brasileira desse mineral.

No entanto, essa indústria está fundamentada na operação de mini-altos fornos, tendo como carga ferrífera básica o *minério granulado* (lump ore), com granulometria na faixa de 4 a 32 mm, rico em ferro e com baixos teores de impurezas e elementos deletérios. Por essa razão, terá um grande desafio, nos próximos anos, haja vista que a disponibilidade de granulados vai se escasseando, em todo o mundo. As reservas de hematita compacta vão dando lugar aos itabiritos mais pobres, os quais necessitam de beneficiamento com operações de cominuição e concentração, gerando concentrados finos, impróprios para o uso direto nos altos fornos. Dessa forma, os produtores devem se preparar para o uso crescente de carga elaborada nos mini-altos fornos, (aglomerados tipo sinter e ou pelotas), em substituição parcial ou total ao minério granulado. Poderão, passo a passo, promover as adaptações de processos necessárias a essa mudança, e tirar proveito das vantagens do uso de carga elaborada, na fabricação do gusa.

O Brasil detém conhecimento avançado das tecnologias convencionais de aglomeração de finos de minério de ferro, seja a sinterização, seja a pelletização, havendo, também, desenvolvimento nas áreas da briquetagem e processos de aglomeração a frio. Além do domínio tecnológico, há, no país, grande capacidade instalada de pelletização e sinterização. Adicionalmente, algumas empresas brasileiras estão empenhadas na busca de soluções para a escala dos produtores independentes de gusa e pequenas minerações de ferro, desenvolvendo miniplantas de sinterização e pelletização, (0,5 a 1,0 Mta de aglomerados), como é o caso da Minitec-Minitecnologias Ltda. <sup>(2)</sup>, localizada em Divinópolis, MG.

O presente trabalho visa avaliar cenários da mineração de ferro, com enfoque no atendimento dos produtores independentes de gusa, e analisar alternativas de suprimento de aglomerados para essa indústria, num ambiente de escassez de minério granulado.

## 2 – A INDÚSTRIA DE GUSA NO BRASIL – ABASTECIMENTO DE MINÉRIO

A indústria de gusa, no Brasil, está distribuída em 4 pólos produtores, abrangendo 5 estados da federação, conforme mostra a tabela 1.<sup>(1,3,4,5)</sup> A capacidade nominal de produção é de 14,1 Mta, abrangendo 84 empresas e 154 mini-altos fornos. Na figura 1, é mostrada a distribuição percentual da capacidade produtiva, evidenciando-se a grande participação dos pólos do quadrilátero ferrífero e de Carajás. Neste particular, vale ressaltar que o pólo de Carajás vem tendo o maior crescimento, nos últimos anos, aumentando a sua participação no mercado.

Tabela 1 – Características dos pólos produtores de gusa no Brasil <sup>(1)</sup>

<i>Localização</i>	<i>Empresas No.</i>	<i>Altos Fornos No.</i>	<i>Capacidade Nominal (Mta)</i>
<i>Pólo do Quadrilátero Ferrífero - MG</i>	<i>63</i>	<i>105</i>	<i>8,1</i>
. Região Oeste	29	46	3,3
. Região Noroeste	27	46	3,9
. Região Metalúrgica	7	13	0,9
<i>Pólo do Espírito Santo - ES</i>	<i>4</i>	<i>8</i>	<i>0,8</i>
<i>Pólo de Carajás - PA e MA</i>	<i>15</i>	<i>38</i>	<i>4,9</i>
. Maranhão	7	19	2,2
. Pará	8	19	2,6
<i>Pólo de Corumbá - MS</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>0,3</i>
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>84</b>	<b>154</b>	<b>14,1</b>

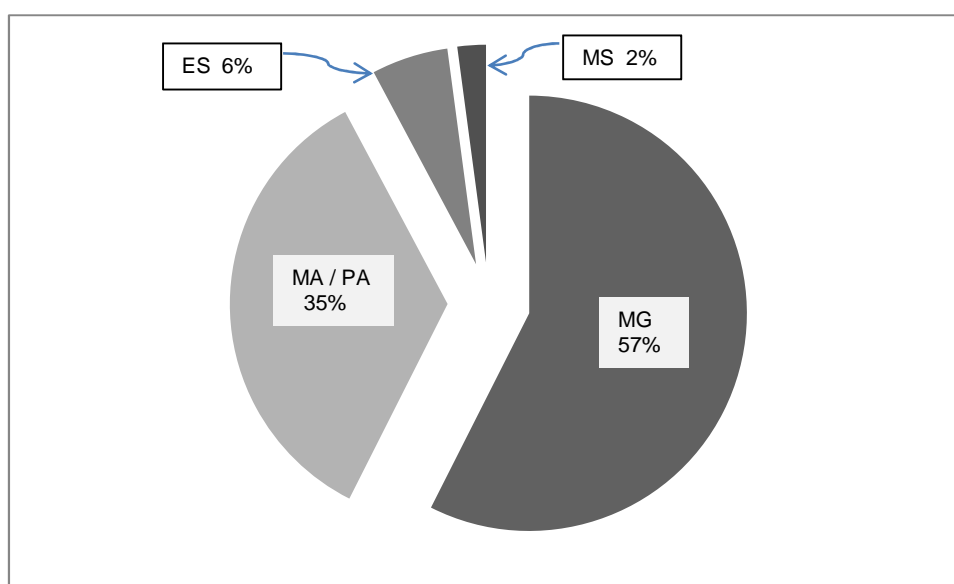


Figura 1 – Distribuição da capacidade de produção de gusa <sup>(1)</sup>

Quanto ao abastecimento de minério de ferro, um pequeno número de produtores (< 5%), possui mina própria. Dessa forma, a grande maioria adquire essa matéria prima no mercado brasileiro, a saber:

- Pólo do Quadrilátero Ferrífero: localizado no estado de Minas Gerais, dentro dessa província mineral. É o mais importante e antigo do país. Responde por cerca de 57% da produção brasileira de gusa e vem perdendo posição para outros pólos, nos últimos anos. Abastece-se com minério de ferro granulado mais fino, caracterizado como *hematitinha*, produzido em pequenas e grandes mineradoras do quadrilátero. Com a extinção das reservas de hematita compacta nessa área e a prevalência dos itabiritos mais pobres, paulatinamente o abastecimento das usinas deverá ser feito com minérios finos, em substituição ao granulado que irá se escasseando, nos próximos anos. Para o uso nos altos fornos, a parcela de finos deverá ser aglomerada.

- Pólo de Carajás: desenvolveu-se no entorno da estrada de ferro Carajás, abrangendo os estados do Pará e Maranhão. Tira proveito da infraestrutura mina-ferrovia-porto da Vale S.A., para o abastecimento de minério das minas de Carajás e para o escoamento da produção de gusa. Responde por 35% da capacidade de produção do país. O minério é de alto teor (~ 67% Fe), com boas características metalúrgicas. Como a parcela de granulado das minas de Carajás é pequena, as quotas das usinas são limitadas. Expansões de capacidade de produção de gusa deverão ser abastecidas com finos, os quais necessitarão aglomeração, para uso nos altos fornos.

- Pólo do Espírito Santo: As unidades de produção desse pólo estão localizadas na região da grande Vitória, capital do estado do Espírito Santo. Também, aproveita-se da infraestrutura mina-ferrovia-porto da mineradora Vale S.A., para o seu abastecimento de minério de ferro e para o escoamento da produção de gusa. Neste particular, a estrada de ferro Vitória-Minas e os portos da Vale desempenham papel importante para esse negócio. A indústria do gusa é abastecida com minério de ferro granulado do quadrilátero ferrífero e, dependendo do mercado, faz uso também de parcelas de pelotas, oriundas do complexo pelletizador da Vale S.A., localizado em Vitória. No futuro, em face da escassez de granulados do quadrilátero, deverá ser abastecido com minérios finos e ou com pelotas da região.

- Pólo de Corumbá: É o de menor capacidade produtiva, situando-se no entorno da região de Corumbá, MS. O distrito mineiro de ferro e manganês de Corumbá compreende os depósitos de Jacadigo, Rabicho, Santa Cruz, Serras do Urucum e Tromba dos Macacos. As principais reservas de minério de ferro dessa região pertencem a Vale S.A., tendo a Argentina como o principal mercado. Esse pólo, em desenvolvimento, abastece-se com minério granulado tipo hematitinha, de teor próximo a 63% Fe, fornecido pelas mineradoras da região. São necessários estudos geológicos mais aprofundados, visando caracterizar as reservas de hematita compacta e o potencial de geração de granulados, no longo prazo. A infraestrutura para escoamento da produção de gusa é bem mais restrita, comparativamente às existentes, nos demais pólos.

Na figura 2, apresenta-se a evolução da produção brasileira de gusa, relativa aos produtores independentes, e também do consumo equivalente de minério de ferro.

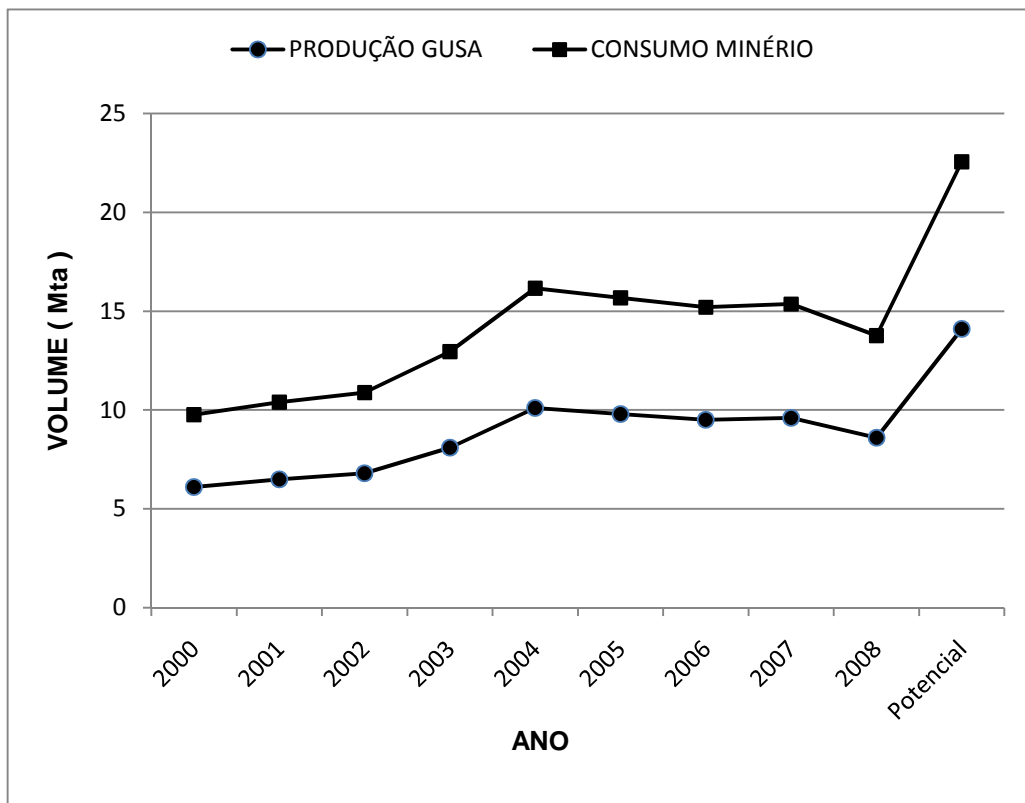


Figura 2 – Evolução da produção de gusa e do consumo de minério <sup>(1,3)</sup>

Conforme se pode constatar, a indústria vinha operando desde 2004, no patamar estabilizado 9 a 10 Mta de gusa, correspondendo ao consumo de 14 a 16 Mta de minério de ferro, basicamente do tipo granulado. Considerando-se a capacidade nominal de produção, verifica-se que a indústria opera com 30% de ociosidade e que o potencial de consumo de minério de ferro, a plena carga, seria de 22 Mta. Nesse cenário, e tendo-se em vista a produção brasileira de minério de ferro, estima-se que a indústria de gusa consuma *apenas* 5% do minério produzido no país. Desta forma, em termos de volume, os produtores independentes estarão bem supridos, no curto, médio e longo prazos.

Com a crise financeira global de 2008, houve um impacto muito grande na indústria brasileira de gusa, em vista da drástica queda na produção de aço dos Estados Unidos (principal mercado para o gusa), bem como da significativa redução no preço de exportação. No último trimestre de 2008, houve fechamento de muitos altos fornos, refletindo negativamente na produção de gusa desse ano. A indústria paralisou-se, praticamente, no primeiro semestre de 2009, aguardando o reaquecimento da economia e a volta do crescimento da produção mundial de aço.

Fortemente dependente da siderurgia nos países desenvolvidos, e tendo a sucata de aço como um forte competidor no mercado de ferro primário, a estabilidade da indústria brasileira de gusa é bastante frágil, em relação a crises globais. Assim, estratégias de consolidação, bem como de verticalização downstream, na busca de uma configuração de mini-mill, para atendimento regional da demanda de aço brasileira, seriam oportunas para esse setor. Com uma maior estabilidade em suas operações, a demanda de minério de ferro regional estaria fortalecida, melhorando as condições de desenvolvimento sócio-econômico.

### 3 - A MINERAÇÃO DE FERRO E A SIDERURGIA <sup>(6)</sup>

A mineração de ferro vem experimentando uma expansão vertiginosa nos últimos anos, fruto da grande escalada de produção e consumo de aço nos países asiáticos, em especial, na China.

O minério de ferro é a matéria prima básica da siderurgia, respondendo pelas unidades metálicas (Fe) de alimentação dos reatores de redução, como o alto forno e os módulos de redução direta convencionais. Processado nessas instalações, o minério dá origem ao ferro primário (gusa ou DRI/HBI) que, tratado nas aciarias, converte-se em aço. É importante ressaltar que a sucata de ferro e aço tem, também, um importante papel na siderurgia, haja vista sua utilização direta nos fornos elétricos a arco e nos conversores a oxigênio. No entanto, tem um peso muito menor que o minério de ferro, respondendo por cerca de 30% do suprimento de unidades de ferro à siderurgia.

Através da figura 3 <sup>(6)</sup>, pode-se visualizar a relação entre a mineração de ferro e a siderurgia, mais detalhadamente. Através das operações de lavra, faz-se a extração do minério da jazida, encaminhando-se o produto bruto, run of mine, para o tratamento. Aí, o material é submetido a uma série de operações de fragmentação, classificação por tamanhos, concentração, desaguamento, etc., visando adequá-lo química, física e metalurgicamente para atendimento das exigências dos processos siderúrgicos. Um ponto muito importante para caracterizar os produtos minerais que saem da usina de tratamento é o estado de tamanho das partículas minerais ou mesmo da sua distribuição granulométrica.

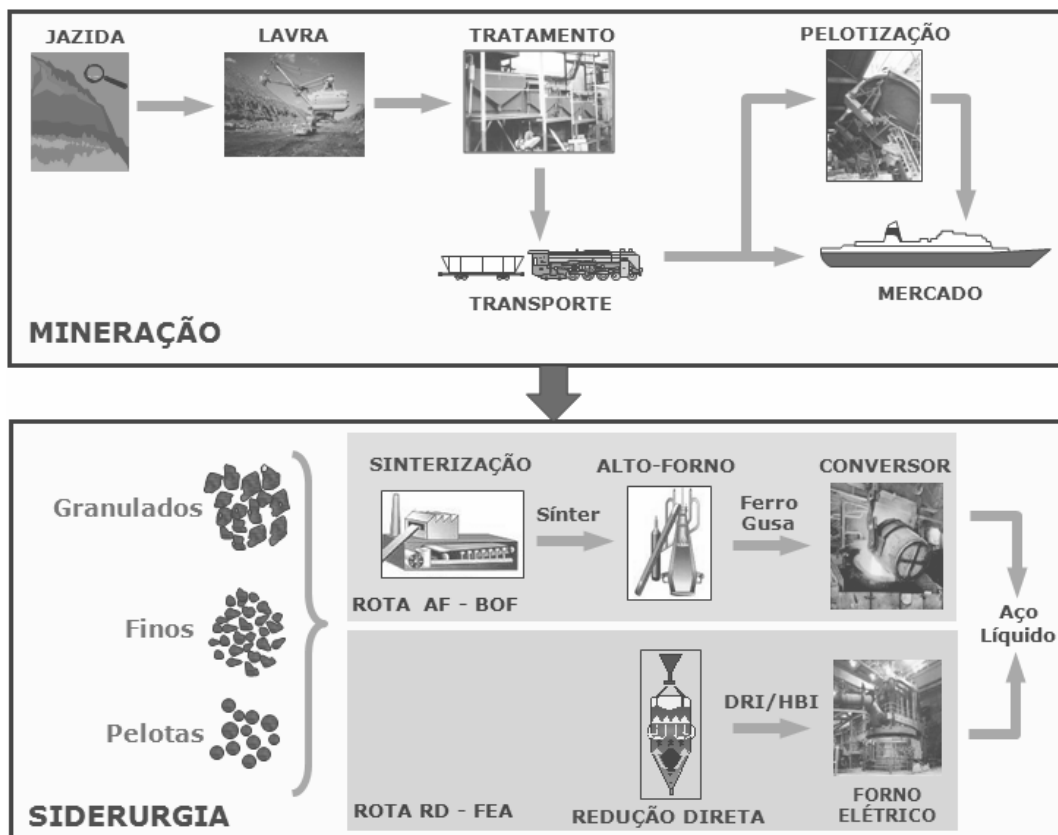


Figura 3 – A mineração de ferro e a Siderurgia<sup>(6)</sup>

Durante o desmonte, lavra, fragmentação e manuseio, muitos finos são gerados, os quais são inadequados ao uso direto nos reatores de redução, sendo aglomerados previamente, através da sinterização ou pelletização. Genericamente, poderiam ser nominados os seguintes produtos minerais de ferro, em função do tamanho:

<u>Produto</u>	<u>Faixa de Tamanho (mm)</u>	<u>Aplicação Básica</u>
. Granulado	4,0 a 31,7	Alto Forno e Redução Direta
. Sinter Feed	0,15 a 6,3	Aglomeração via Sinterização
. Pellet Feed	< 0,15	Aglomeração via Pelotização

A mineração de ferro é tanto mais econômica, quanto mais granulado é possível gerar. A qualidade das reservas é determinante, nesse aspecto. Os processos de concentração e aglomeração são de alto custo operacional, requerem grandes montantes de investimento e têm considerável impacto ambiental. A produção de sinter feed e pellet feed nas minas implica na necessidade de sua prévia aglomeração, para que possam ser utilizados na siderurgia. A grande vantagem dos processos de aglomeração é a possibilidade de agregar significativo valor aos produtos, sinter e pelotas, através de ajustes e controles de suas propriedades químicas, físicas e metalúrgicas. Neste sentido, tem-se o conceito de carga elaborada para os reatores siderúrgicos, bastante discutida e publicada na literatura mundial. Granulado, sinter e pelota constituem, então, os elementos básicos para alimentação dos reatores de redução siderúrgicos, na cadeia de produção de aço, segundo as 2 rotas consolidadas, em escala global:

- . Alto Forno (AF) – Conversor a Oxigênio (BOF) e
- . Redução Direta (RD) – Forno Elétrico a Arco (FEA)

Enquanto que na primeira o ferro primário é obtido na forma líquida no alto forno, para alimentação do BOF, na segunda, o ferro é gerado em estado sólido nos reatores de redução direta, para carga do FEA. Essas particularidades, dentre outras, são fundamentais na definição das cargas metálicas desses reatores, de forma que na mineração são tomados todos os cuidados para que os produtos de minério de ferro tenham performance adequada. De maneira geral, as cargas metálicas típicas dos altos fornos e reatores de redução direta são:

<u>Reator</u>	<u>Carga Típica (tamanho das partículas)</u>
. Alto Forno	Granulado (4 a 32 mm), Sínter ( 4 a 50 mm), Pelota (8 a 18 mm)
. Redução Direta	Granulado (6,3 a 32 mm), Pelota (8 a 18 mm)

Diferentes minérios de ferro, devido às variadas gêneses, apresentam propriedades distintas. Em consequência, mostram performance e comportamento variáveis, não só nas operações de lavra e beneficiamento, como também nos reatores siderúrgicos de aglomeração e redução.



#### 4 - AS RESERVAS DE MINÉRIO DE FERRO <sup>(6)</sup>

O ferro compõe a litosfera em cerca de 4,2%, sendo relativamente abundante. Os principais minerais que contêm ferro são a hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 69,9 % Fe), a magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$  – 72,4 % Fe), a siderita ( $\text{FeCO}_3$  – 48,3 % Fe) e complexos hidratados, como a limonita e a goethita, com teores variados de ferro, dependendo do grau de hidratação.

Segundo o USGS (United States Geological Survey), instituto de pesquisas geológicas do governo americano, *os recursos totais de minério de ferro na terra são estimados em 800 bilhões de toneladas, com ferro contido de 230 bilhões de toneladas, ou um teor médio equivalente de 28,8 %.*

As formações ferríferas bandadas, com camadas alternadas de sílica e hematita, denominadas Itabiritos, constituem-se nos recursos minerais de maior relevância, como é o caso típico brasileiro do quadrilátero ferrífero, em Minas Gerais. Essas formações primárias, enriquecidas em ferro através de processos geológicos, possibilitaram a geração de depósitos minerais ricos, com coexistência de hematita e itabiritos.

O minério de ferro é, quase que totalmente, utilizado na indústria siderúrgica para a obtenção de ferro e aço (> 97 %). Parcelas pequenas do montante de produção são destinadas às indústrias de cimento, química, etc.

Após a segunda grande guerra, os recursos econômicos de ferro, (reservas medidas + indicadas + inferidas), vêm aumentando significativamente a nível mundial, em virtude de:

- Intensificação das *pesquisas geológicas*,
- Avanços significativos nas tecnologias de mineração e de tratamento de minerais,
- Desenvolvimento das tecnologias de aglomeração (aproveitamento dos finos),
- Aspectos favoráveis de mercado, etc.

Particularmente, no Brasil, a evolução dos recursos econômicos mostrou um crescimento substancial, no período 1950 a 2000, principalmente com a incorporação dos itabiritos de Minas Gerais e a descoberta da província mineral de Carajás, no Pará. No ano de 1999, esses recursos somavam cerca de 58 bilhões de toneladas e, em 2005, 70 bilhões de toneladas, com teor de ferro médio da ordem de 50 %.

Os dados consolidados a nível mundial pelo USGS, referentes às reservas de minério de ferro, (medida + indicada - m+ i ), apontam para valor da ordem de 340 bilhões de toneladas, conforme mostra a tabela 2.

Quando se considera o volume de ferro contido nessas reservas, há de se destacar 5 países, configurados na tabela 3.

Em termos de ferro contido, o Brasil situa-se em 5º lugar, na detenção das reservas mundiais de minério de ferro. Porém, em termos de teor ou concentração em ferro, esse posicionamento muda significativamente para a 3ª posição. Quando são analisados outros elementos da composição química, tais como  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , P, S, Ti, V, Pb,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  etc., impurezas e elementos deletérios para a siderurgia, as

reservas brasileiras situam-se lugar de absoluto destaque, configurando-se como as mais puras, mundialmente.

O aspecto do teor de ferro coloca o Brasil em posição de real vantagem competitiva em custos de lavra e beneficiamento, em relação a China e Ucrânia que apresentam teores médios de 33 e 29%, respectivamente. Embora a Rússia se configure com reserva e teor médio em patamares elevados, ainda não se mostrou como um grande produtor de minério de ferro, para fins de exportação e competição no mercado internacional. Questões ligadas à falta de infraestrutura e logística, bem como à ocorrência de elementos químicos, contaminantes e indesejáveis, têm sido fatores determinantes, nesse atraso. A Ucrânia também tem problemas dessa ordem, com o agravante de reservas com baixo teor.

*Em termos de Siderurgia Brasileira, considerando-se as demandas de minério de ferro atual e projetada, assim como as reservas do país, pode-se dizer que as empresas desse setor estarão seguras quanto ao suprimento, em quantidade e qualidade, com benefícios para a sua competitividade.*

Analisando-se o quadro geral de produção de minério de ferro, tabela 2, constata-se que Brasil, Austrália e China são os mais importantes partícipes do negócio minério de ferro, nos últimos anos. Têm grandes reservas desse material e experimentam níveis de produção crescentes, num ritmo impressionante. Embora o minério Chinês seja pobre, contenha elevado grau de contaminantes, exija processos complexos de lavra e beneficiamento (custos), a sua produção se justifica, em vista do alto preço CIF dessa matéria prima, quando importada de outros países. É importante salientar que a China vem sendo o maior consumidor e importador de minério de ferro a nível mundial, já há bastante tempo, enquanto os demais países apresentam consumo estável ou com ligeiro crescimento (em termos absolutos).

No período 2005 a 2007, a produção mundial de minério de ferro cresceu 400 milhões de toneladas, passando de 1,5 para 1,9 bilhão de toneladas. Austrália, Brasil e China responderam pela maior parte desse crescimento.

Quanto à produção chinesa, presume-se que esteja mais relacionada ao minério bruto, tipo run of mine, com teor de ferro próximo de 30%. Como esse material não poderia ser utilizado na siderurgia, sem prévia concentração, IISI-WSA, UNCTAD e empresas de consultoria procederam a equalização dos números de produção, calculando-se os montantes equivalentes, com teor de ferro de 62%, (médio das importações da China).

*Nesse cenário, mostrado na tabela 2, o Brasil e a Vale figuram como os maiores produtores de minério de ferro do mundo, não só em qualidade, como também em quantidade.*

Embora as reservas Brasileiras venham aumentando no tempo, é importante destacar que esse crescimento tem um grande peso dos itabiritos de Minas Gerais, mais especificamente, do quadrilátero ferrífero. Novas *pesquisas geológicas* não têm relatado ocorrências de hematita compacta, em montante apreciável. Ao contrário, muitos estudos têm mostrado que novos jazimentos serão basicamente de itabirito, podendo gerar até *100% de pellet feed*, no beneficiamento.

Tabela 2 – Reserva mundial e produção de minério de ferro <sup>(6)</sup>

País / Empresa	RESERVA Medida + Indicada		RESERVA Lavrável		PRODUÇÃO t x 10 <sup>6</sup>				
	t x 10 <sup>6</sup>	% Fe	t x 10 <sup>6</sup>	% Fe	2005	2006	2007	Δ (2007-2005)	Δ % (2007-2005)
<b>BRASIL</b>	<b>27.000</b>	<b>52</b>	<b>16.000</b>	<b>56</b>	<b>281</b>	<b>318</b>	<b>370</b>	<b>89</b>	<b>32</b>
Vale	7.619	-	-	-	245	264	296	51	21
<b>AUSTRÁLIA</b>	<b>45.000</b>	<b>62</b>	<b>16.000</b>	<b>63</b>	<b>262</b>	<b>275</b>	<b>320</b>	<b>58</b>	<b>22</b>
BHPB	2.272	-	-	-	105	108	111	6	6
Rio Tinto	2.339	-	-	-	159	153	179	20	13
<b>CHINA (* )</b>	<b>46.000</b>	<b>33</b>	<b>21.000</b>	<b>33</b>	<b>420</b>	<b>588</b>	<b>600</b>	<b>180</b>	<b>43</b>
(**)					247	310	290	43	17
Canadá	3.900	64	1.700	65	30	34	33	3	10
Estados Unidos	15.000	31	6.900	30	54	53	52	-2	-4
Índia	9.800	63	6.600	64	140	140	160	20	14
Irã	2.500	60	1.800	56	19	20	20	1	5
Casaquistão	19.000	39	8.300	40	16	19	23	7	44
Mauritânia	1.500	67	700	57	11	11	11	0	0
México	1.500	60	700	57	12	11	12	0	0
Rússia	56.000	55	25.000	56	97	102	110	13	13
África do Sul	2.300	65	1.000	65	40	41	40	0	0
Suécia	7.800	64	3.500	63	23	23	24	1	4
Ucrânia	68.000	29	30.000	30	69	74	76	7	10
Venezuela	6.000	60	4.000	60	20	23	20	0	0
Outros países	30.000	57	11.000	56	46	67	70	24	52
<b>Total Mundial</b>	<b>340.000</b>	<b>47</b>	<b>150.000</b>	<b>49</b>	<b>1.540</b>	<b>1.799</b>	<b>1.941</b>	<b>401</b>	<b>26</b>

Obs.: (\* ) USGS, IISI e UNCTAD relatam que esses números oficiais de produção da China incluem minérios muito pobres, tipo run of mine.

(\*\*) Montantes de produção chinesa, após equalização para teor de ferro do produto igual a 62% (médio das importações).

Tabela 3 – Características das principais reservas de minério de ferro

PAÍS	FERRO CONTIDO ( t bilhão )	RESERVA (m+i) ( t bilhão )	Fe %
1o. Rússia	31	56	55
2o. Austrália	28	45	62
3o. Ucrânia	20	68	29
4o. China	15	46	33
5o. Brasil	14	27	52

A figura 4 mostra, de forma genérica e qualitativa, a evolução das reservas de minério de ferro do quadrilátero ferrífero, a partir da década de 1950. Como colocado, a participação da hematita vem se reduzindo à medida que a de itabirito vai crescendo.

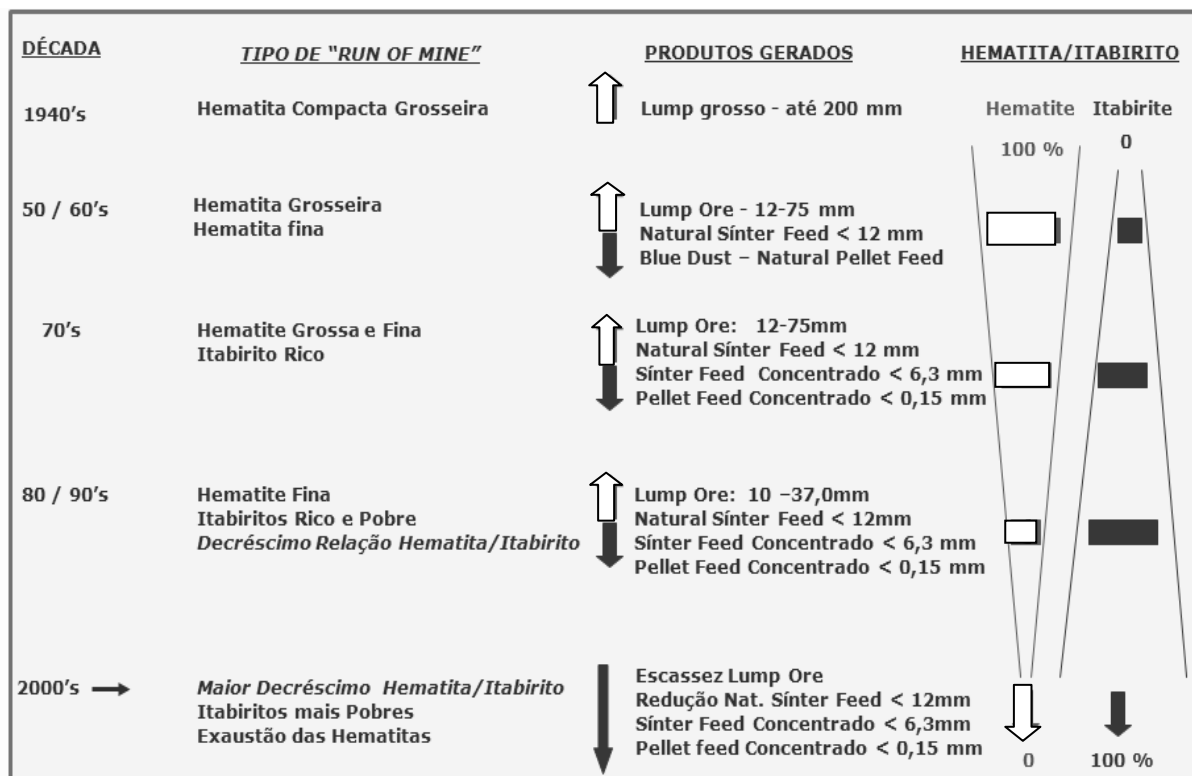


Figura 4 – Degradação das reservas de hematita do quadrilátero <sup>(6)</sup>

Os seguintes pontos merecem destaque, na análise desses dados:

- As hematitas estão em processo de exaustão nas reservas conhecidas do quadrilátero e, por conseguinte, deverá haver *escassez de granulado*, em futuro não muito distante,
- Sendo mais pobres em ferro, os itabiritos necessitam de usinas mais complexas de beneficiamento, com etapas de concentração mais sofisticadas e menores índices de recuperação metálica,
- A geração de minério ultrafino, tipo pellet feed, estará aumentando, principalmente com o advento dos novos projetos,
- A *pelotização* vai se configurando e se fortalecendo como um caminho para mineração, em vista do crescente pellet feed, e também para a siderurgia, devido à redução da disponibilidade de granulado (pelotas como substituto).

Nesse cenário, os custos de capital e operacionais da mineração estarão sendo impactados negativamente. O aumento da produtividade será arma fundamental para que não haja perda de competitividade da mineração de ferro, num ambiente cada vez mais global. De outro lado, a siderurgia estará readequando a carga metálica de seus reatores de redução, podendo tirar proveito do benefício de se usar maior quantidade de *pelotas* em substituição a parcelas de granulado.

A nível mundial, também observa-se uma degradação das reservas e da produção de granulado, tanto em volume, quanto em qualidade .

*Em 1983, a produção mundial de granulado era de 107,5 milhões de toneladas, e representava 45% do mercado transoceânico e 25% da produção mundial de minério de ferro. Em 2000, a despeito do crescimento considerável da produção de*

*minério, o montante de granulado já havia caído para 77,1 milhões, representando apenas 19% do transoceânico e 7,6% da produção mundial de minério.*

Quanto à qualidade, constata-se uma piora progressiva na resistência e nas características químicas (Fe, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P, álcalis, etc.) dos granulados disponíveis no mercado. Há empresas no quadrilátero ferrífero, gerando granulados com teor de SiO<sub>2</sub> na faixa de 8 a 12%, o que impacta significativa e negativamente o volume de escória e o consumo de carbono, nos altos fornos. Nesse cenário de escassez de granulados, os produtores independentes de gusa terão uma competição acirrada com as grandes usinas brasileiras e integradas a coque, na busca por esse material.

Quando se analisam os novos projetos de empresas estabelecidas e de potenciais emergentes, verifica-se que uma série relativamente grande estará gerando *pellet feed*, em volume crescente e, por vezes, significando toda a futura produção. Nessas condições, os investimentos crescem e, devido à maior complexidade das operações de mineração e beneficiamento, haverá acréscimos substanciais nos custos operacionais. Alguns desses projetos poderiam ser citados, para confirmação dessa realidade, conforme mostra a tabela 4:

Tabela 4 – Geração de pellet feed em novos projetos brasileiros

<i>PROJETO</i>	<i>CAPACIDADE (Mta)</i>	<i>ESTADO</i>	<i>% PELLET FEED</i>
Ferrous Mining	50	MG	100
Anglo Ferrous / Minas- Rio	33	MG	100
Usiminas / Serra Azul	28	MG	50
Namisa/CSN-JSM	40	MG	40
Bahia Mineração	15	BA	100
<i>TOTAL</i>	<i>166</i>	<i>-</i>	<i>77</i>

Assim, a *pelotização* estará se evidenciando como a tecnologia adequada para tratar e aglomerar esse pellet feed em pelotas, possibilitando o seu aproveitamento como carga dos reatores de redução siderúrgicos, em especial, do alto forno. A *pelotização* continuará reinando absoluta, até que *novas tecnologias de redução* possam fazer uso direto desses finos, em escala econômica e comercial. Muitas tentativas e investimentos têm sido dirigidos nesse sentido, pesquisando-se rotas inovadoras e, por vezes, radicais. Até o presente momento, nenhuma delas foi provada e consagrada em caráter industrial, destacando-se as seguintes mais estudadas: *DIOS, Finmet, Circored, Circofer, Iron Carbide, Hismelt, Tecnored, Finex, etc.* Pesquisas nesse sentido devem ser incentivadas, assim como aquelas dirigidas para maior uso de pellet feed em sinterização, aglomeração a frio, etc.

## 5 – ALTERNATIVAS DE SUPRIMENTO DE MINÉRIO DE FERRO - VANTAGENS DOS AGLOMERADOS

Considerando-se que a indústria brasileira de gusa, capitaneada pelos produtores independentes, tem o minério de ferro *granulado* como a base de suas operações, e que esse minério já se encontra em estágio avançado de extinção, tanto em volume, quanto em qualidade, haverá a necessidade de se desenvolver um planejamento, visando a sua substituição parcial ou total. Sendo consumidora de minério, no mercado brasileiro, esforços deverão ser desenvolvidos com as mineradoras, para contornar o problema. Como a Vale S.A. é a empresa brasileira que detém a maioria das reservas no país e tem implantada uma ampla estrutura de produção de finos, e também de pelotas, poderá disponibilizar alternativas competitivas de suprimento dessa indústria.

De outro lado, como as empresas produtoras de gusa são de pequeno porte, poderão buscar alternativas tecnológicas que estão sendo disponibilizadas, no mercado, procedendo verticalização upstream. Há empresas brasileiras desenvolvendo minitecnologias de aglomeração de finos de minério de ferro, tanto no âmbito da sinterização, quanto no da pelotização. Neste aspecto, pode ser citada a MINITEC Minitecnologias Ltda., localizada em Divinópolis, MG, a qual trabalha com miniplantas de aglomeração, com capacidade de produção na faixa de 0,5 a 1,0 Mta de sínter e pelotas. Há, ainda, opções em franco desenvolvimento, relativas à produção de aglomerados a frio (bloquetes, pelotas e briquetes), as quais poderão ser consideradas em estudos de viabilidade econômica. A tabela 5 apresenta alternativas tecnológicas, envolvendo os processos de aglomeração, sob a ótica da operação de mini-altos fornos a carvão vegetal, com minério granulado. São destacados os pontos fortes e fracos, os quais poderão ser considerados nos estudos de cenários.

Se por um lado haveria aumento de custos de investimento e de minério de ferro para os produtores independentes de gusa, por outro, eles poderiam tirar proveito das vantagens de se trabalhar com carga elaborada, nos altos fornos.

Experiências realizadas em pequenos e grandes altos fornos demonstraram performances de cargas elaboradas significativamente superiores àquela com o uso de minério granulado. A melhor qualidade química, física e metalúrgica do sínter e da pelota possibilita aumento de permeabilidade da carga no alto forno, com grande aumento de produtividade e redução do consumo de carbono/carvão.

Como exemplo dessa performance superior dos aglomerados, e em especial das pelotas, na tabela 6, são mostrados os resultados de teste industrial, conduzido pela Vallourec & Mannesmann,<sup>(7)</sup> em 2001, em mini-alto forno a carvão vegetal, com capacidade nominal de 400 t/dia de gusa em operação com granulado, 248 m<sup>3</sup> de volume útil e produtividade nominal de 1,61 t / m<sup>3</sup> volume útil / dia.

Grandes siderúrgicas européias <sup>(8)</sup>, integradas a coque, operam com diferentes cargas de minério, privilegiando os aglomerados tipo sínter e pelotas, em combinação com granulados. A figura 5 mostra como a carga elaborada (sínter + pelotas) melhora a produtividade dos fornos, medida em t/m<sup>2</sup> de cadinho/dia.

Tabela 5 – Alternativas tecnológicas de aglomeração de finos de minério de ferro

PROCESSO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
SINTERIZAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Tecnologia dominada</li> <li>. Disponibilidade de sinter feed</li> <li>. Qualidade metalúrgica</li> <li>. Miniplantas em operação</li> <li>. Alta performance no Alto Forno</li> <li>. Moderados CAPEX e OPEX</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Alto volume de escória</li> <li>. Baixa resistência ao transporte</li> <li>. Emissão de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e dioxinas</li> </ul>
PELOTIZAÇÃO CONVENCIONAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Tecnologia dominada</li> <li>. Crescente disponibilidade de pellet feed</li> <li>. Qualidade química, física e metalúrgica</li> <li>. Alta performance no Alto Forno</li> <li>. Baixo volume de escória</li> <li>. Resistência ao transporte</li> <li>. Baixa emissão de gases (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dioxinas)</li> <li>. Baixos níveis de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P e S</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Altos CAPEX e OPEX</li> <li>. Operações unitárias mais complexas</li> </ul>
AGLOMERAÇÃO A FRIO (bloquetes, pelotas e briquetes)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Baixo consumo de energia</li> <li>. Operações unitárias simples</li> <li>. Baixo CAPEX</li> <li>. Flexibilidade no uso de finos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Tecnologia em desenvolvimento</li> <li>. Uso limitado no Alto Forno</li> <li>. Alto volume de escória</li> <li>. Aditivos complexos e caros</li> </ul>

Tabela 6 – Alta performance de pelotas no alto forno da V&M <sup>(7)</sup>

V & M - ALTO FORNO 2:		
Capacidade Nominal - 400 t/dia		
Volume Trabalho - 248 m <sup>3</sup>		
Produtividade Nominal - 1,61 t/m <sup>3</sup> /dia		
Taxa de injeção (PCI) - 100 a 150 kg/t		
Performance	Período Base Janeiro a Agosto 2001	Período Teste Setembro a Novembro 2001
1) Carga do Alto Forno		
% Granulado	80	30
% Pelotas	20	70
2) Produção (t gusa/dia)	500	700
3) Produtividade (t/m <sup>3</sup> /dia)	2,00	2,82
4) Consumo Carbono (kg/t)	470	417
5) Vazão de Ar (Nm <sup>3</sup> /h)	27000	34000

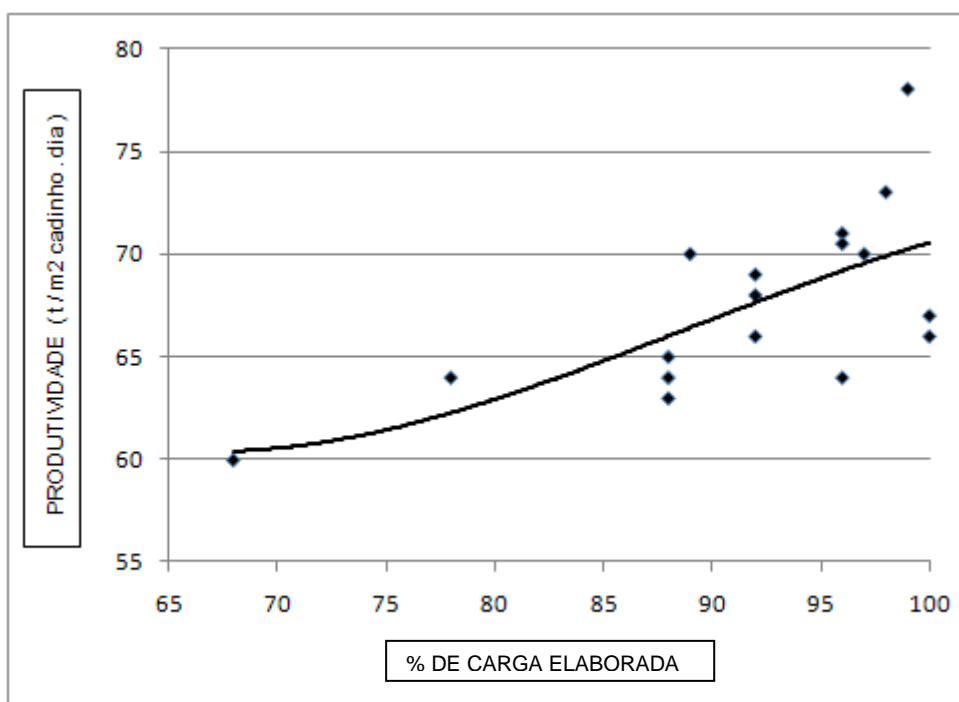


Figura 5 – Efeito de carga elaborada em alto forno a coque <sup>(8)</sup>

## 6 – CONCLUSÃO

A indústria brasileira de gusa desempenha um papel de relevância para o país, não só sob o ponto de vista econômico, mas também sob o enfoque do desenvolvimento social. Tem enfrentado, com muita criatividade e empenho, grandes desafios nos campos político, macro e microeconômico, ao longo dos anos. As cíclicas crises financeiras globais colocam à prova essa indústria, já que grande parcela de sua produção se destina ao mercado de exportação. Tais desafios têm sido vencidos e o setor vem se fortalecendo e aumentando a produção de gusa.

Tendo o minério de ferro granulado como a base de alimentação dos altos fornos, deverá enfrentar um novo desafio, em futuro breve e já na próxima década, haja vista que a disponibilidade desse insumo estará em declínio, em face da degradação e extinção das reservas de hematita compacta. Dessa forma, deverá se empenhar na busca de substitutos para o granulado, mantendo a lucratividade do setor.

O Brasil detém amplo domínio das tecnologias de aglomeração de finos de minério de ferro, tanto da sinterização, quanto da pelletização, além de lavar os minérios mais puros existentes no mundo. Assim, os produtores independentes de gusa têm à sua disposição a alternativa de substituir total ou parcial o granulado, pelo sinter e ou pelota. Embora essa alternativa venha a acarretar custos de capital e ou de aquisição desses aglomerados, a indústria poderá tirar proveito dos grandes benefícios de se trabalhar com carga elaborada, nos altos fornos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) SINDIFER-MG: Sindicato da Indústria do Ferro de Minas Gerais. Anuário 2007. Dados estatísticos da indústria brasileira de gusa. Minas Gerais, Brasil. [www.sindifer.com.br/Anuario\\_2007.html](http://www.sindifer.com.br/Anuario_2007.html)
- 2) MINITEC Minitecnologias Ltda. Empresa envolvida no desenvolvimento de mini-tecnologias de aglomeração de finos de minério de ferro. Divinópolis, MG, Brasil. [www.minitecnologias.com.br](http://www.minitecnologias.com.br)
- 3) AMS – Associação Mineira de Silvicultura. Anuário estatístico 2009. Minas Gerais, Brasil. [www.silviminas.com.br](http://www.silviminas.com.br)
- 4) Ferreira, E.G.; Calaes, G.D.; Amaral, J.A.G; Kruger, P.V.; A Indústria Brasileira do Gusa de Mercado. Contribuição Técnica elaborada para o CETEM, como livro da série estudos e documentos no. 66, CT2006-071-00. CETEM, Ministério da Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, Brasil, Novembro 2006. [www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2006-071-00.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2006-071-00.pdf)
- 5) Ferreira, G.E.; Calaes, G. D.; Gusa: Oportunidade de Agregação de Valor. Contribuição Técnica publicada no XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Volume 2, pgs. 359-365, Natal, RN, Brasil , Novembro 2005, [www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2005-094-00.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2005-094-00.pdf)
- 6) Mourão, J.M.: Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico, Nota Técnica, NT-TR02: Minério de Ferro e Pelotas – Situação Atual e Tendências 2025. Projeto coordenado pelo CGEE (Centro de Gestão de Estudos Estratégicos), Brasília, DF, e pela ABM, São Paulo, SP, Brasil, 2008. [www.cgее.org.br](http://www.cgее.org.br) / [www.abmbrasil.com.br](http://www.abmbrasil.com.br)
- 7) Vilela, J.D.A.; Souza, J.L.; Cruz, J.G.; Gonçalves, P.M.; Velloso, C.M.: Alto Forno 2 da Vallourec & Mannesmann do Brasil; Recorde de Produção de Gusa e Consumo de Carbono. Contribuição Técnica para o XXXII Seminário de Redução de Minério de Ferro, patrocinado pela ABM, Vitória, ES, Brasil, Novembro de 2002. [www.abmbrasil.com.br](http://www.abmbrasil.com.br)
- 8) Virtala, J.; Stricker, K.P.; Perini, P.G.; Godjn, R.; Dufresne, P.; Dauwels, G.; Lacroix, P.; High blast furnaces productivity operations with low coke rates in the European Union. La Revue de Métallurgie – CIT, Mars 2001, pgs. 259-268, France. [www.revue-metallurgie.org](http://www.revue-metallurgie.org)