2014

Produção Independente de Ferro-Gusa ("Guseiros")

EBC

Núcleo de Estudos de Economias de Baixo Carbono

Prof. Dr. Germano Mendes de Paula
(Instituto de Economia, UFU)

Equipe de Coordenação do Projeto Economia de Baixo Carbono – 2ª Fase

Coordenação Geral – Rudinei Toneto Junior
Coordenação Geral Adjunta – Marcelo Pinho

Coordenação de Estudos Setoriais 2014
Ferro-gusa - Germano Mendes de Paula
Cal - Katia R. Garcia Punhagui; Vanderley M. John; Maria Alba Cincotto
Vidro - Mauro Akerman

Auxiliares de Coordenação
Beatriz Selan
Guilherme Henrique Albertin dos Reis

Estagiário
Felipe Leite

Este projeto foi realizado com recursos do Fundo de Estruturação de Projetos (FEP) do BNDES. O conteúdo é de exclusiva responsabilidade dos autores, não refletindo, necessariamente, a opinião do BNDES. Informações sobre o FEP encontram-se em HTTP://www.bndes.gov.br.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
CONTRATO DE COLABORAÇÃO FINANCEIRA NÃO-REEMBOLSÁVEL
N° 11.2.0488.1
FUNDACE – BNDES

ECONOMIA DE BAIXO CARBONO: AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DE RESTRIÇÕES E PERSPECTIVAS TECNOLÓGICAS

PRODUÇÃO INDEPENDENTE DE FERRO-GUSA (“GUSEIROS”)

Relatório Final

Germano Mendes de Paula

RIBEIRÃO PRETO-SP
DEZEMBRO – 2014

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 6

1 CARACTERIZAÇÃO SETORIAL 8

1.1 Produtos e mercados 8

1.2 Principais países exportadores e importadores 13

1.3 Rotas tecnológicas, verticalização e inovações 20

2 QUADRO NACIONAL 25

2.2 Capacidade instalada e produção 25

2.2 Comercialização doméstica e exportação 28

2.3 Estrutura patrimonial, barreiras à entrada e saída e esforço inovativo 31

3 IMPACTOS AMBIENTAIS SETORIAIS 34

3.1 Fontes de insumos por rota tecnológica 34

3.2 Consumo de energia e emissões de CO2 36

3.3 Desmatamento e carvoejamento 40

4 BALANÇO DE CARBONO E INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE 42

4.1 Balanço de carbono 42

4.2 Inventário de emissões de GEE 45

4.3 Mudanças climáticas e regulação setorial 48

5 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E MUDANÇA TECNOLÓGICA 49

5.1 Fornos retangulares de produção de carvão 49

5.2 Centrais termoelétricas 53

5.3 Injeção de finos de carvão pulverizado 56

5.4 Sinterização 58

6 PROJEÇÕES DAS EMISSÕES SETORIAIS DE GEE NO BRASIL ATÉ 2020 61

6.1 Cenários de produção 61

6.2 Cenário de emissão de GEE 62

7 Diretrizes de uma política setorial para a transição rumo à Economia de Baixo Carbono 68

Referências 76

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1: Tipos de ferro-gusa 8

Quadro 2: Estrutura produtiva nos principais países 21

Quadro 3: Difusão de tecnologias instaladas nos guseiros, 2014 50

Quadro 4: Centrais termoelétricas de propriedade dos guseiros 54

Quadro 5: Prioridade para investimentos em florestas e fornos retangulares, considerando cenário estagnação 72

Quadro 6: Prioridade para investimentos em central termoelétrica, injeção de finos de carvão e sinterização, considerando cenário estagnação 75

Tabela 1:Vendas domésticas de ferro-gusa na Índia, Brasil e Rússia, 2000-2013 10

Tabela 2: Matriz das importações de ferro-gusa, 2013 (mil toneladas) 18

Tabela 3: Limites teóricos e práticos dos consumos específicos de energia e de emissão de CO_2 (por tonelada de aço bruto) 38

Tabela 4: Análise de sensibilidade entre a produção de ferro-gusa e o rendimento rendimento gravimétrico (RG) para determinação do nível de emissões na produção de carvão vegetal consumido na fabricação de ferro-gusa pelos guseiros (milhões de toneladas de CO_2eq) 66

Tabela 5: Déficit de florestas plantadas pelos guseiros, 2014-2020 (mil hectares) 70

Gráfico 1: Exportações mundiais de ferro-gusa (milhões de toneladas) e utilização da capacidade instalada da siderurgia mundial (percentual), 2000-2013 11

Gráfico 2: Exportações / produção mundial de ferro-gusa, 2000-2013 (%) 12

Gráfico 3: Composição das exportações mundiais de metálicos, 2000-2013 (%) 13

Gráfico 4: Participação nas exportações mundiais de ferro-gusa, 2000-2013 (%) 14

Gráfico 5: Participação nas importações mundiais de ferro-gusa, 2000-2013 (%) 15

Gráfico 6: Importações norte-americanas de ferro-gusa, 2000-2013 (milhões de toneladas) 16

Gráfico 7: Participação norte-americanas nas exportações brasileiras e participação brasileira nas importações norte-americanas de ferro-gusa, 2000-2014 (%).....19

Gráfico 8: Número de altos-fornos paralisados e em operação no parque guseiro brasileiro, 2006-2014 26

Gráfico 9: Produção de ferro-gusa dos guseiros, 2000-2013 (milhões de toneladas) 27

Gráfico 10: Distribuição geográfica da produção de ferro-gusa dos guseiros, 2000-2013 (percentual).....28

Gráfico 11: Vendas domésticas e internacionais de ferro-gusa por parte dos guseiros, 2000-2013 (milhões de toneladas).....29

Gráfico 12: Preço médio das exportações brasileiras de ferro-gusa, 2000-2013 (US$/tonelada) 30

Gráfico 13: Consumo específico de carvão vegetal nos altos-fornos, siderurgia brasileira, 2000-2012 (quilograma/tonelada de ferro-gusa) 35

Gráfico 14: Emissões na produção de carvão vegetal empregado na fabricação de ferro-gusa no Brasil, 1970-2020 (milhões de toneladas de CO_2eq) 46

Gráfico 15: Cenários de produção dos guseiros, 2013-2020 (milhões de toneladas) 62

Gráfico 16: Emissões na produção de carvão vegetal empregado na fabricação de ferro-gusa pelos guseiros, conforme cenário super otimista de produção .63

Gráfico 17: Emissões na produção de carvão vegetal empregado na fabricação de ferro-gusa pelos guseiros, conforme cenário otimista de produção 64

Gráfico 18: Emissões na produção de carvão vegetal empregado na fabricação de ferro-gusa pelos guseiros, conforme cenário estagnação de produção 65

Gráfico 19: Emissões na produção de carvão vegetal empregado na fabricação de ferro-gusa pelos guseiros, conforme cenário declínio de produção 65

Figura 1: Emissões de CO_2 no alto-forno.....37

Figura 2: Balanço de CO_2 no ciclo de produção de ferro gusa considerando autossustentabilidade em carvão vegetal.....44

INTRODUÇÃO

Esta é a Nota Técnica final referente à análise do segmento guseiro no âmbito do projeto “Economia de Baixo Carbono: Avaliação de Impactos de Restrições e Perspectivas Tecnológicas”, conduzido pela Fundação para Pesquisa e Desenvolvimento da Administração, Contabilidade e Economia (Fundace), com a colaboração financeira não reembolsável do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

Do ponto de vista metodológico, fez-se uso de duas fontes principais de informações: a) fontes bibliográficas; b) entrevistas, com as seguintes empresas/organizações e profissionais:

- ArcelorMittal Tubarão (Dr. Guilherme Correa Abreu);
- Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração/ABM (Horacídio Leal Barbosa Filho);
- DPC Processos Termoquímicos (Sidney Pessoa Vieira);
- Ferroeste (Gustavo Rozenbaum Bcheche);
- Queiroz Galvão (Paulo Afonso de Faria Gomes);
- Minitec (Sérgio Wilibaldo Garcia Scherer);
- RS Consultants (Dr. Ronaldo Santos Sampaio);
- Sindicato da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais/Sindifer (Fausto Varela);
- Sinobras (Clayton Labes);
- Sustenthabil Soluções Ambientais (Rubens Oliveira);
- Viena Siderúrgica (Rodrigo Kaukal Valladares).

As entrevistas foram essenciais para compreender as perspectivas das empresas e instituições acerca do tema, mas em função do termo de confidencialidade, nenhuma resposta de qualquer respondente será identificada ao longo desta Nota Técnica. Ademais, os conceitos formulados, opiniões e críticas encontradas no presente texto, salvo as manifestadas pelos autores citados nominalmente, são de inteira responsabilidade do autor. Este também agradece o competente trabalho de assistência de pesquisa de Lucas de Castro Campos.

Esta Nota Técnica é dividida em sete capítulos. O primeiro aborda a atividade guseira em escala global, ao passo que o segundo focaliza a indústria brasileira. Os impactos ambientais setoriais são examinados no terceiro capítulo, enquanto o seguinte investiga o balanço de carbono e o inventário de emissões de gases do efeito estufa (GEE). O quinto capítulo apresenta um levantamento inédito no país sobre a difusão de tecnologias modernizantes no parque guseiro. O sexto capítulo mostra as projeções das emissões setoriais de GEE no Brasil, até 2020, de acordo com oito cenários. O último capítulo estabelece as diretrizes de uma política setorial para a transição rumo à economia de baixo carbono.

1 CARACTERIZAÇÃO SETORIAL

1.1 Produtos e mercados

Este relatório cobre os produtores independentes de ferro-gusa, usualmente denominados de “guseiros”, classificados na Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) sob o código 2411. Essas empresas têm por finalidade produzir e comercializar ferro-gusa para terceiros (ou ferro-gusa de mercado, *merchant pig iron*), ao invés de fabricá-lo para consumo no seu próprio processo produtivo, como é o caso de usinas siderúrgicas integradas.

O ferro-gusa é um insumo siderúrgico, produzido no alto-forno, a partir da reação entre o minério de ferro e o carvão (mineral ou vegetal). O carvão cumpre duas funções: a) combustível para gerar o calor necessário à operação do alto-forno; b) agente químico para retirar o oxigênio durante o processo, decorrente das reações de redução do Fe_2O_3. A composição química do ferro-gusa consiste de pelo menos 92% de ferro e de 3,5% a 4,5% de carbono. Existem três tipos de ferro-gusa, conforme os teores de silício, manganês, enxofre e fósforo (Quadro 1).

Quadro 1: Tipos de ferro-gusa

Tipo	Aplicação	Composição química
Ferro-gusa básico (ou de aciaria)	Siderurgia	<1,5% silício, 0,5-1% manganês, <0,05% enxofre, <0,12% fósforo
Ferro-gusa de fundição	Fundição	1,5-3,5% silício, 0,5-1% manganês, <0,05% enxofre, <0,12% fósforo
Ferro-gusa nodular	Fundição	<0,05% manganês, <0,02% enxofre, <0,05% fósforo

Fonte: International Iron Metallics Association (IIMA), entrevistas

Como se observa no Quadro 1, o ferro-gusa de mercado é consumido basicamente por duas indústrias: siderurgia e fundição, com destaque para a primeira. No que tange à siderurgia, embora as usinas integradas possam comprar

ferro-gusa no mercado para compensar um desbalanceamento produtivo (quando as necessidades de carga metálica excedem a capacidade interna de produção de ferro-gusa ou ainda por paralisação/acidente de altos-fornos), o uso mais relevante diz respeito às usinas semi-integradas (baseadas em aciarias elétricas). Neste último caso, a sucata é o principal insumo utilizado, mas o aumento da proporção de ferro-gusa na carga metálica usualmente possibilita maior produtividade e a fabricação de aços de melhor qualidade. A sucata de obsolescência é mais barata do que o ferro-gusa, mas possui mais contaminantes.

A segunda indústria consome ferro-gusa de fundição e ferro-gusa nodular, sendo o último obtido por meio de uma pequena adição de magnésio ao banho líquido de carbono, resultando em grafites esferoidais. Ele possui propriedades mecânicas superiores, tais como maior ductilidade (o grau de deformação que um material suporta até o momento de sua fratura) e resistência mecânica. Millbank (2007) estimou que, em 2006, 60% da produção mundial não-cativa de ferro-gusa foram vendidos para siderúrgicas e 40% para fundições. Não foi possível obter informações mais atualizadas acerca da importância relativa dos dois principais tipos de clientes.

De acordo com Hassan (2013), em 2011, o comércio internacional de ferro-gusa atingiu 12,5 milhões de toneladas. Na ocasião, as vendas domésticas foram equivalentes a 64 milhões de toneladas, dos quais 55 milhões de toneladas na China. Portanto, o tamanho do mercado alcançou 76,5 milhões de toneladas, correspondendo a 6,9% da produção global. Conclui-se que a produção de ferro-gusa é predominantemente cativa, como parte de um processo integrado.

Apesar de serem mais importantes em termos de volume de comercialização, os dados sobre as vendas domésticas de ferro-gusa são mais escassos do que os relativos ao comércio internacional. A Tabela 1 mostra a evolução do comércio doméstico de ferro-gusa na Índia, no Brasil e na Rússia, para os anos com informações disponíveis ao longo do período 2000-2013. Na Índia, as vendas domésticas aumentaram de 2,8 milhões de toneladas em 2003 para 5,8 milhões de toneladas em 2012. No Brasil, a comercialização doméstica subiu de 2,3 milhões de toneladas em 2000 para 3,7 milhões de toneladas em 2007. Depois da retração em 2008, o volume se estabilizou no patamar de 2,7 milhões de toneladas no quadriênio 2010-2013. As vendas domésticas na Rússia regrediram de 882 mil toneladas em

2011 para 729 mil toneladas em 2013. Diante da escassez de informações e de distintas trajetórias entre estes países, não é prudente generalizar tais resultados para as demais nações.

Tabela 1:Vendas domésticas de ferro-gusa na Índia, Brasil e Rússia, 2000-2013

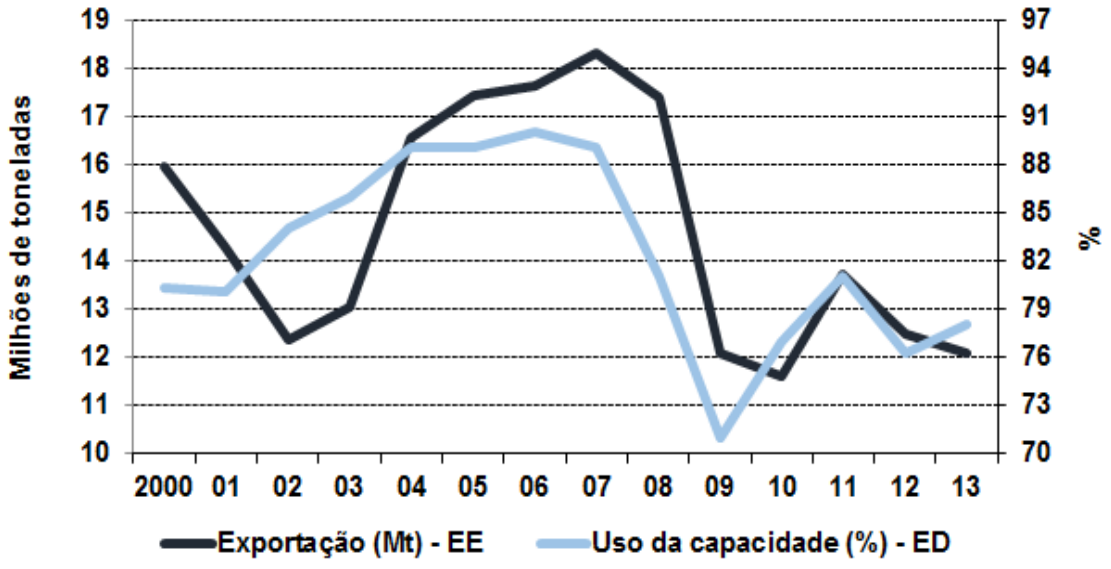
Anos	Índia	Brasil	Rússia
2000		2.349	
2001		2.142	
2002		2.349	
2003	3.263	3.059	
2004	2.761	3.428	
2005	4.136	2.981	
2006	4.336	3.454	
2007	4.621	3.716	
2008	5.870	2.253	
2009	5.531		
2010	5.296	2.719	
2011	5.386	2.594	882
2012	5.849	2.584	810
2013		2.660	729

Fonte: India Ministry of Steel, Sindifer (2014), IIMA

Obs: os dados para a Índia referem-se ao ano fiscal, que se inicia em abril e finaliza em março do ano seguinte; dados projetados para a Índia em 2012, com base nos nove primeiros meses.

As informações estatísticas mais confiáveis sobre o mercado de ferro-gusa relacionam-se ao comércio internacional. As exportações se ampliaram de 16 milhões de toneladas em 2000 para 18 milhões de toneladas em 2007, regredindo para 12 milhões de toneladas em 2013 (eixo esquerdo do Gráfico 1). Verifica-se que esta trajetória é muito relacionada com o grau de utilização da siderurgia mundial (eixo direito do mesmo gráfico). De fato, a correlação entre as duas séries é de 72%.

Gráfico 1: Exportações mundiais de ferro-gusa (milhões de toneladas) e utilização da capacidade instalada da siderurgia mundial (percentual), 2000-2013



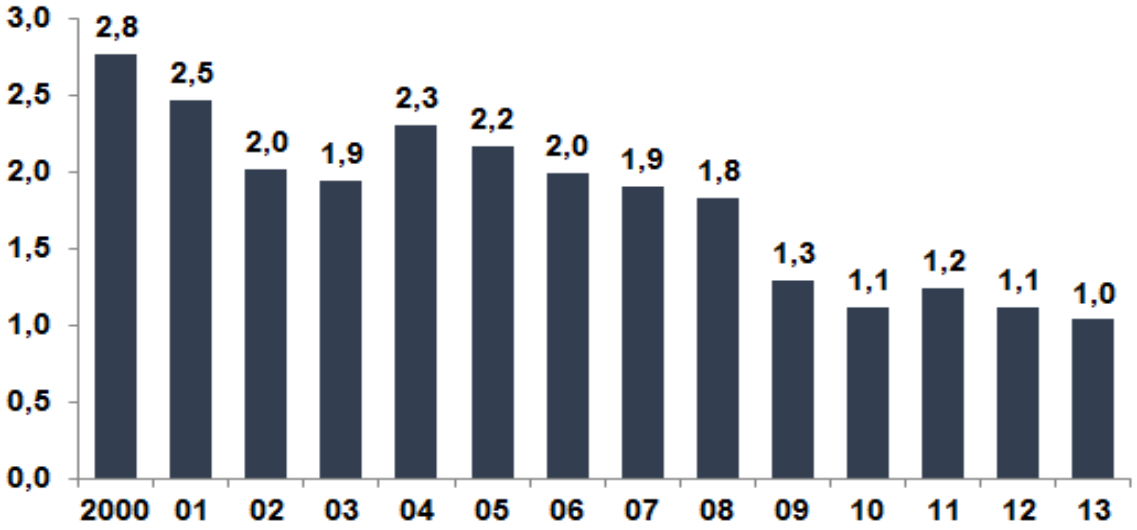
Fonte: World Steel Association (WSA), IIMA

Obs: EE = eixo esquerdo; ED = eixo direito

Ainda no que tange ao Gráfico 1, constata-se que o auge das exportações de ferro-gusa (2005-2007), ocorreu quando o grau de ociosidade da siderurgia global estava no patamar de 11%. Na avaliação da consultoria McKinsey, o grau de utilização da indústria alcançará 81% em 2019 (VAN HOEY, 2014). Portanto, até o final desta década, é pouco provável que se verifique uma retomada vigorosa das exportações mundiais de ferro-gusa. Ao contrário, é mais prudente esperar uma manutenção ou mesmo retração de tais vendas.

No período 2000-2013, a produção mundial de ferro-gusa duplicou de 576 milhões de toneladas para 1,17 bilhão de toneladas, perfazendo uma taxa anual média de crescimento de 5,6%. Simultaneamente, as exportações regrediram a um ritmo anual médio de 2,2%. Como consequência, a relevância das exportações na produção mundial involuiu de 2,8% em 2000 para apenas 1,0% em 2013 (Gráfico 2). As informações estatísticas disponíveis não permitem a desagregação das exportações por tipo (de aciaria, de fundição e nodular) de ferro-gusa.

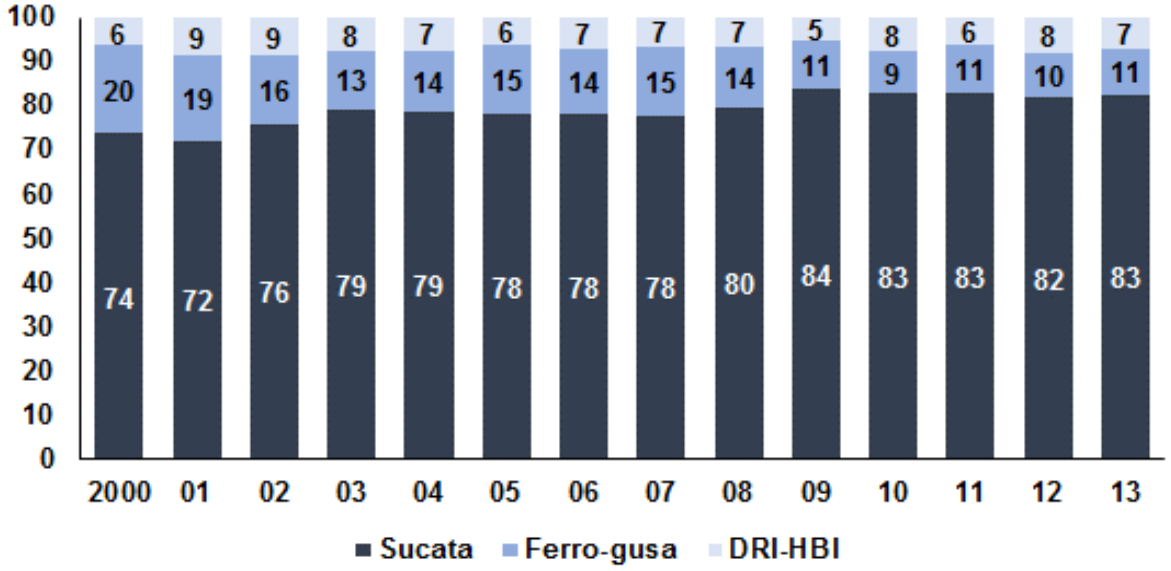
Gráfico 2: Exportações / produção mundial de ferro-gusa, 2000-2013 (%)



Fonte: WSA, IIMA

Quanto às exportações mundiais de metálicos (insumos da carga da aciaria elétrica), o ferro-gusa também vem apresentando um desempenho insatisfatório, pois sua participação decresceu de 19,9% em 2000 para 10,6% em 2013 (Gráfico 3). Assim, mesmo diante das vantagens do ferro-gusa comparativamente aos outros metálicos, por proporcionar maior produtividade à aciaria e possibilitar a fabricação de aços melhor qualidade, a sua fatia nas exportações globais regrediu. No mesmo período, a importância relativa da sucata ferrosa aumentou de 73,7% para 82,5%, enquanto a relevância conjunta de ferro diretamente reduzido e de ferro briquetado a quente (DRI e HBI, nos acrônimos em inglês, sendo ambos fabricados em módulos de redução direta) manteve-se praticamente constante no patamar de 6%-7%.

Gráfico 3: Composição das exportações mundiais de metálicos, 2000-2013 (%)



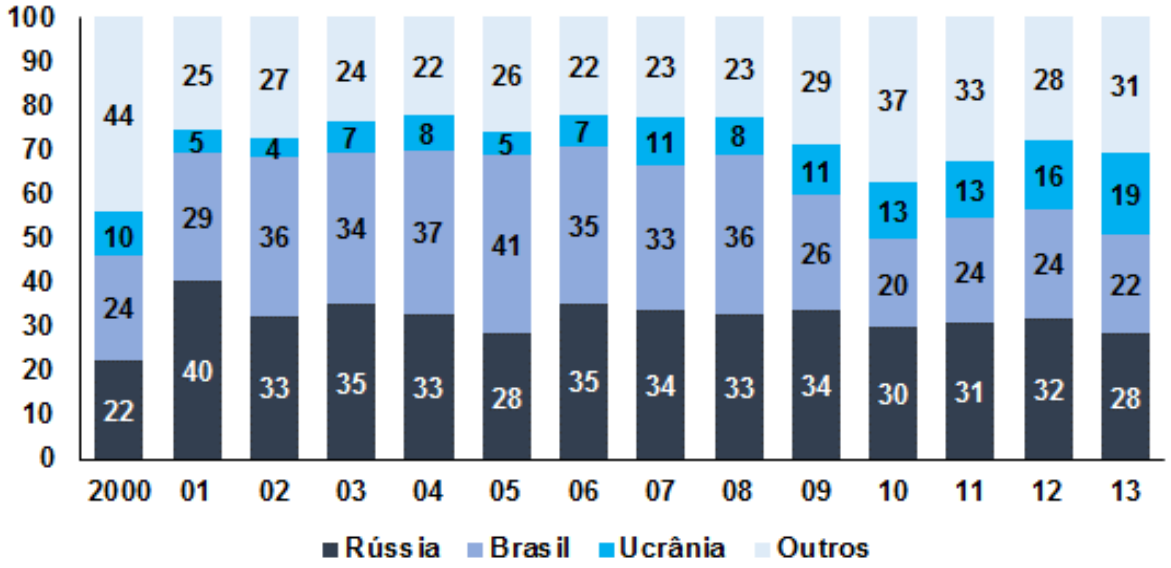
Fonte: WSA, Comtrade

Obs: DRI-HBI foram calculados a partir das estatísticas de importação

1.2 Principais países exportadores e importadores

As exportações mundiais de ferro-gusa têm sido historicamente dominadas por Rússia, Brasil e Ucrânia. Como se observa no Gráfico 4, a participação conjunta destas três nações nas exportações globais aumentou de 56% em 2000 para 72% em 2013. Ao longo desse período, alguns países chegaram a ser relevantes em determinados anos, mas apenas de forma temporária. Por exemplo, a participação chinesa cresceu de 3,2% em 2002 para 12,9% em 2005, regredindo para 1,4% em 2008. No caso da Índia, a fatia subiu de 3,3% em 2009 para 8,7% em 2011, diminuindo para 3,2% em 2012.

Gráfico 4: Participação nas exportações mundiais de ferro-gusa, 2000-2013 (%)



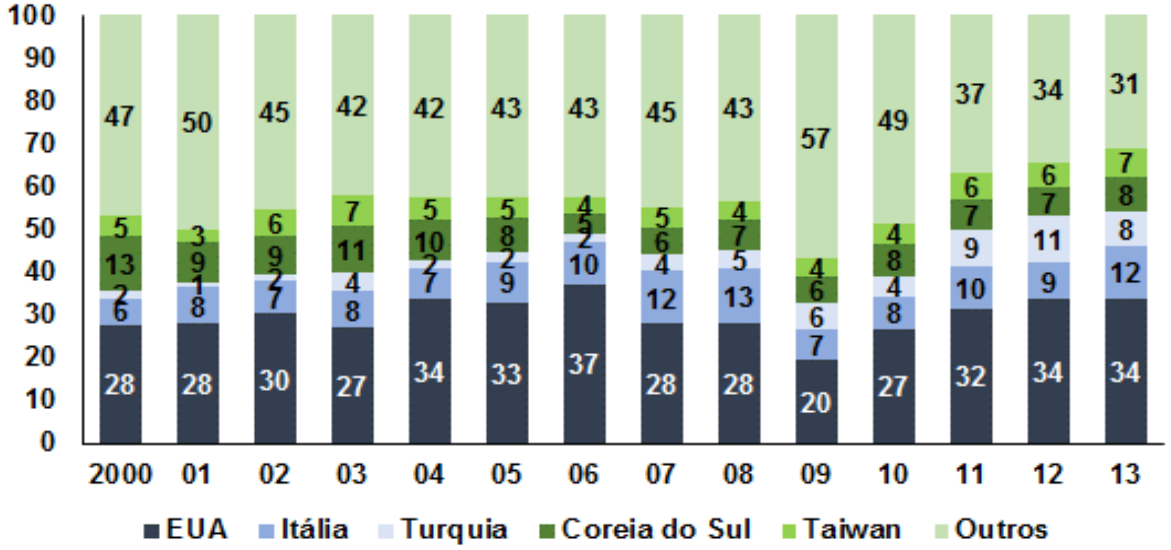
Fonte: WSA, IIMA

É interessante mencionar que a Rússia e Trinidad e Tobago foram os líderes nas exportações de DRI-HBI, com 2,4 milhões de toneladas cada, em 2013. No caso do país caribenho, a siderúrgica norte-americana Nucor é proprietária do projeto NU-Iron, com capacidade instalada anual de 1,8 milhão de toneladas. Esta planta, denominada originalmente de American Iron Reduction e que estava paralisada, localizava-se em Convent (Louisiana). Ela foi adquirida pela Nucor em 2004, desmontada e reinstalada em Trinidad e Tobago, voltando a operar em 2007. Ironicamente, seis anos depois, a Nucor inaugurou uma planta de redução direta em Louisiana, conforme comentado nas próximas páginas. Em 2013, o terceiro maior exportador mundial de DRI-HBI foi Omã, com vendas internacionais de 1,5 milhão de toneladas (MIDREX, 2014). Portanto, os três maiores exportadores são países com grande disponibilidade de gás natural.

Os Estados Unidos são os maiores (e mais regulares) importadores mundiais de ferro-gusa. De fato, com exceção de 2009, que pode ser considerado um ponto fora-da-curva em função da crise mundial, sua participação oscilou de 27% a 34% das importações globais ao longo de 2000-2013 (Gráfico 5). Por sua vez, a Turquia teve sua importância relativa ampliada de 1,7% em 2000 para 8,0% em 2013. Estes países encontram-se em posição oposta em termos do comércio mundial de sucata ferrosa, pois os Estados Unidos são os maiores exportadores, ao passo que a

Turquia é a maior importadora. Destaque-se também que a participação sul-coreana nas importações globais de ferro-gusa regrediu de 12,7% em 2000 para 8,2% em 2013.

Gráfico 5: Participação nas importações mundiais de ferro-gusa, 2000-2013 (%)

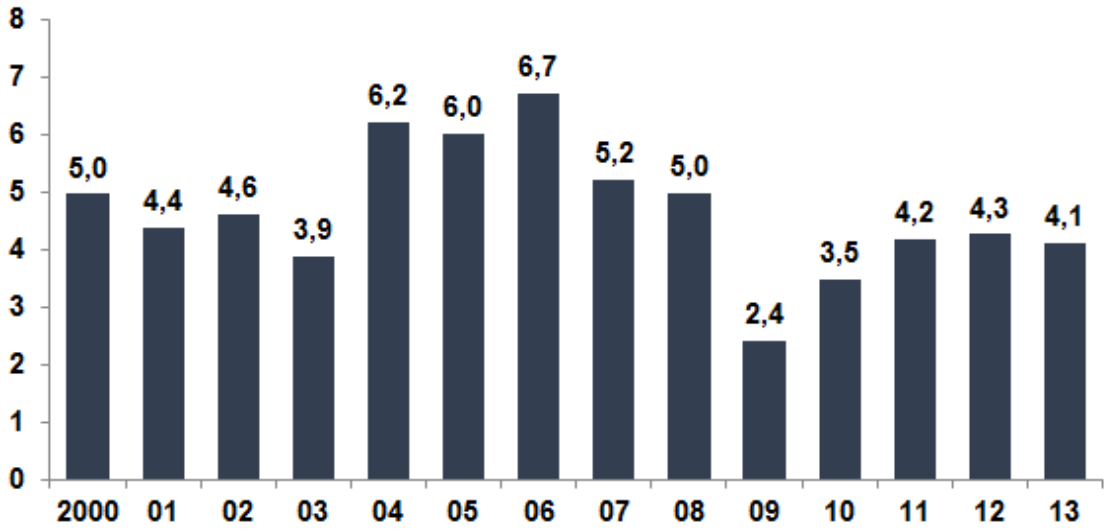


Fonte: WSA, IIMA

As importações norte-americanas de ferro-gusa subiram de 5,0 milhões de toneladas em 2000 para 6,7 milhões de toneladas em 2006, regressando ao nível inicial em 2008 (Gráfico 6). Após a involução para 2,4 milhões de toneladas em 2009, elas se estabilizaram ao redor de 4,2 milhões de toneladas no triênio 2011-2013.

Considerando os sete primeiros meses de 2014, os Estados Unidos estão importando ferro-gusa a um ritmo anualizado equivalente a 4,7 milhões de toneladas. Trata-se de um valor bastante superior ao projetado, em março passado, por Widnell (2014). De acordo com esse autor, as importações norte-americanas de ferro-gusa retrairiam para 3,2 milhões de toneladas em 2014 e 2,5 milhões de toneladas em 2015. O principal fator explicativo desta involução seria que a Nucor, considerada a maior importadora mundial de ferro-gusa, inaugurou em dezembro de 2013 um módulo de redução direta com capacidade de 2,5 milhões de toneladas em Louisiana, a um custo de US$ 750 milhões. Esta planta é de tamanho similar às exportações brasileiras de ferro-gusa em 2013.

Gráfico 6: Importações norte-americanas de ferro-gusa, 2000-2013 (milhões de toneladas)



Fonte: IIMA

Apesar da entrada em operação do referido módulo de redução direta, a expectativa dos exportadores brasileiros de ferro-gusa é que a Nucor venha a importar 2,2 milhões de toneladas desse insumo em 2014, o que representaria um acréscimo de 10% comparativamente ao ano passado. Esse valor não considera as importações anuais de 400 mil toneladas, da Gallatin Steel, que foi adquirida pela Nucor em outubro de 2014.

Plummer (2014) apresenta uma visão mais otimista, ao estimar que as importações norte-americanas anuais de ferro-gusa atinjam 5,5 milhões de toneladas, no período 2014-2016, e mesmo 6,0 milhões de toneladas, nos anos 2017-2020. Trata-se de um nível similar ao verificado em 2005, mas aquém do auge registrado em 2006, quando essas importações alcançaram 6,7 milhões de toneladas. Embora o autor não explicite os motivos para a eventual trajetória de retomada das importações, esta estaria relacionada ao processo de conversão de usinas integradas a coque em usinas semi-integradas e também ao de construção de novas usinas semi-integradas.

Em 2013, as importações norte-americanas de DRI-HBI somaram 2,4 milhões de toneladas, o que representa 29,7% do total mundial, contabilizando uma retração

de 14,4% frente ao ano anterior. Em 2014, considerando o período janeiro-julho, as mencionadas importações anualizadas totalizam 2,5 milhões de toneladas. Desta forma, também ainda não foram afetadas negativamente pelo módulo de redução direta da Nucor. Aliás, este equipamento tem enfrentado muitos problemas em seu *ramp-up*, com paralizações em julho, setembro e novembro de 2014. Nos primeiros três trimestres de 2014, ele fabricou 1,2 milhão de toneladas de DRI, equivalente a 64% da capacidade nominal.

A queda do preço do gás natural, como decorrência da crescente exploração do gás de xisto (*shale gas,* em inglês) nos Estados Unidos, estimula a construção de módulos de redução direta. Esta tecnologia possibilita a redução de minério de ferro, tanto por carvão mineral, quanto por gás, embora a última alternativa seja a mais frequente. Para o banco JP Morgan, os custos de produção de uma tonelada de DRI naquele país, em 2013, representam um ganho de 23% frente aos preços do ferro-gusa e de 12% comparativamente aos da sucata de alta qualidade (GAMBARDELLA, OSSENBECK & LANGTON, 2013).

O investimento da Nucor em módulo de redução direta, apesar de ser pioneiro, não deve ser o único nos Estados Unidos. A própria companhia tende a adicionar um segundo módulo, também de 2,5 milhões de toneladas, no mesmo local. Ela, inclusive, cogita a possibilidade de implantar mais dois outros módulos, totalizando uma capacidade de 10 milhões de toneladas. Em abril de 2014, a siderúrgica austríaca Voestalpine iniciou a construção de uma planta de redução direta com capacidade de 2 milhões de toneladas no Texas, sendo 50% para consumo próprio e 50% para comercialização no mercado.

Considerando os potenciais projetos da Nucor, Voestalpine, Essar Steel Minnesota, Northstar BlueScope, Severstal North America e U.S. Steel, o Bank of America Merrill Lynch aponta que a capacidade de redução direta nos Estados Unidos poderia alcançar 10 milhões de toneladas em 2017 e ainda 20 milhões de toneladas em 2020 (TANNERS, BROWN & CORR, 2013). É bem verdade que nem todos empreendimentos serão levados adiante, sendo a Northstar BlueScope desistiu formalmente do seu projeto em julho de 2014. Nesse contexto, a Midrex, líder mundial na fabricação de plantas de redução direta, projeta uma produção norte-americana de 10 milhões de toneladas em 2020 (GAINES JR. &

RAVENSCROFT, 2014). A estimativa da consultoria Metal Strategies, para a mesma data, é de aproximadamente 7 milhões de toneladas de DRI-HBI (PLUMMER, 2014).

A decisão da Nucor em investir em redução direta já era particularmente desfavorável a médio prazo para os guseiros brasileiros, que sempre tiveram nos Estados Unidos seu principal mercado. Todavia, a crescente probabilidade de que tal estratégia venha a ser adotada por outras companhias tende a comprometer seriamente as exportações brasileiras de ferro-gusa. Por outro lado, é importante destacar que os problemas enfrentados pelo novo módulo de redução direta da Nucor e eventuais preços mais elevados do gás de xisto no futuro são fatores que podem desestimular o ritmo de crescimento da produção norte-americana de DRI.

A Tabela 2 corresponde à matriz de comércio internacional de ferro-gusa em 2013. Ela apresenta as vendas dos três principais exportadores (Rússia, Brasil e Ucrânia) para os dez maiores importadores deste produto. Por exemplo, das 4,12 milhões de toneladas importadas pelos Estados Unidos, 42,7% foram provenientes do Brasil, 38,8% da Rússia, 11,5% da Ucrânia e 6,9% de outras nações. No caso da Itália, a distribuição foi muito diferente, pois o maior fornecedor foi a Ucrânia (50,7%), seguida da Rússia (30,1%), Brasil (5,4%) e outros países (13,8%). Esta tabela também permite verificar a dispersão geográfica das vendas dos três principais exportadores.

Tabela 2: Matriz das importações de ferro-gusa, 2013 (mil toneladas)

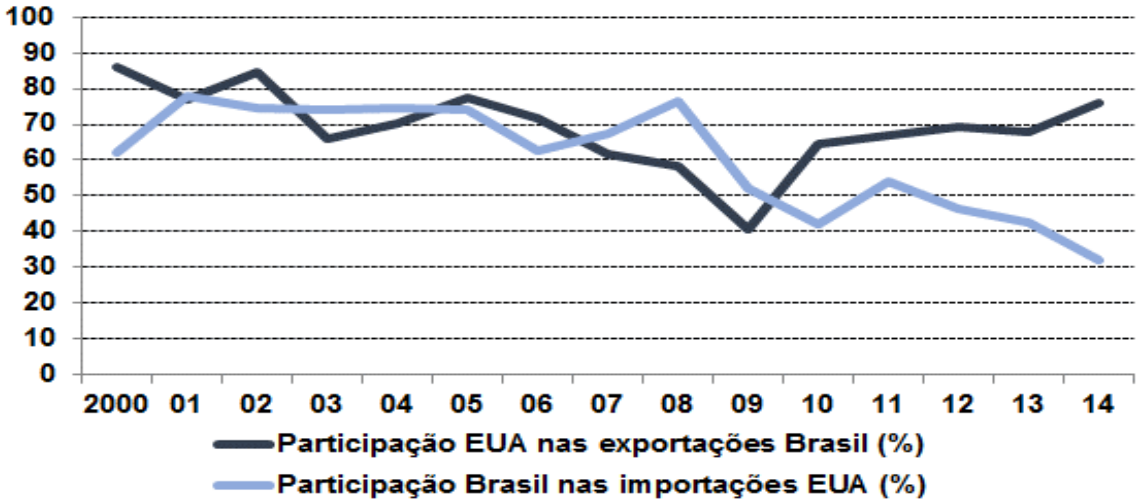
		Exportadores				
		Rússia	Brasil	Ucrânia	Outros	Total
Importadores	EUA	1.598	1.760	474	286	4.118
	Itália	444	80	748	203	1.475
	Coreia do Sul	188	35	8	755	987
	Turquia	300	0	599	68	967
	Taiwan	185	252	0	353	790
	Alemanha	180	76	7	182	445
	China	61	0	0	236	297
	México	54	193	29	3	280
	Bélgica	100	11	34	130	274
	Holanda	69	116	0	53	239
	Outros	745	71	136	886	1.838
	Total	3.924	2.595	2.034	3.156	11.709

Fonte: elaboração própria com base em informações da IIMA.

Tendo em vista a relevância das exportações brasileiras para os Estados Unidos, o Gráfico 7 apresenta informações acerca deste fluxo comercial. A participação brasileira nas importações norte-americanas oscilou ao redor do patamar de 71% no período 2000-2008. Depois, ela regrediu para 52% em 2009 e ainda para o nível de 46% em 2010-2013. Simultaneamente, a importância relativa dos Estados Unidos nas exportações brasileiras reduziu-se de 86% em 2000 para 58% em 2008. Depois de uma queda temporária para 41% em 2009, se estabilizou no nível de 67% no quadriênio 2000-2013.

Nos sete primeiros meses de 2014, os resultados podem ser considerados insatisfatórios para os exportadores brasileiros de ferro-gusa. Apesar da relevância norte-americana ter subido para 76% das exportações brasileiras, denotando maior dependência de um mercado específico, a participação brasileira nas importações dos Estados Unidos regrediu para apenas 32%, diante do avanço das vendas russas.

Gráfico 7: Participação norte-americanas nas exportações brasileiras e participação brasileira nas importações norte-americanas de ferro-gusa, 2000-2014 (%)



Fonte: elaboração própria com base em informações da IIMA e do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC).

Obs: dados de 2014 compreende o período janeiro-julho

A maioria dos países não adota barreiras tarifárias e não-tarifárias relevantes às importações de ferro-gusa. Talvez a exceção mais relevante seja a Índia, que, com o objetivo de proteger a indústria local, impôs um imposto de importação de 20% entre 1993 e 1998, de 15% entre 1999 e 2003 e de 5% a partir de 2004 (MINISTRY OF STEEL, 2006). O imposto de importação (no conceito de nação mais favorecida) atualmente é de 2% na Turquia, 1,7% na União Europeia, 1% na China e nulo nos Estados Unidos, Coreia do Sul, Japão e México. Na prática as alíquotas alfandegárias efetivas são menores, em função de acordos comerciais. Após a discussão sobre as principais tendências do comércio internacional, a próxima seção aborda o padrão de integração vertical, rotas tecnológicas e inovações.

1.3 Rotas tecnológicas, verticalização e inovações

Existem três tipos principais de rotas tecnológicas empregadas pelos vendedores de ferro-gusa no mundo: alto-forno a coque, alto-forno a carvão vegetal e usinas integradas a coque. Os dois primeiros casos são usinas não-integradas, no sentido que o produto final é o próprio ferro-gusa. A diferença entre elas refere-se ao tipo do redutor (carvão mineral/coque *versus* carvão vegetal). As usinas integradas a coque são aquelas que, a jusante do alto-forno, possuem aciarias e laminações. Nesses casos, elas vendem ferro-gusa em função do excedente deste insumo frente às suas necessidades.

A estrutura produtiva é muito diferente entre os três principais exportadores mundiais de ferro-gusa. No caso da Rússia, as companhias são baseadas em altos-fornos a coque (Tulachermet, Sokol e Kosaya Gora) e usinas integradas a coque (que vendem o excedente de ferro-gusa no mercado). No Brasil, o parque nacional dos guseiros consiste de 142 altos-fornos, sendo 140 equipamentos à base de carvão vegetal e apenas dois a coque (ambos de propriedade da Usina Siderúrgica do Pará/Usipar, em Barcarena, Estado do Pará, que estão paralisados). Na Ucrânia, não existe qualquer empresa especializada na comercialização de ferro-gusa, mas as usinas integradas a coque vendem parte de sua produção, em função do desbalanceamento das etapas produtivas.

Quadro 2: Estrutura produtiva nos principais países exportadores de ferro-gusa

	Alto-forno a coque	Alto-forno a carvão vegetal	Usinas integradas a coque
Rússia	Tulachermet Sokol Kosaya Gora		Ural Steel NMLK Lipetsk MKMK
Brasil	Usipar	Guseiros	
Ucrânia			Donetsk Dzerzhinsky Alchevsk

Fonte: Barrington (2009), Hassan (2013), Metal Expert

A participação das empresas especializadas em ferro-gusa (Tulachermet, Sokol e Kosaya Gora) nas exportações russas aumentou de 48% em 2009 para 57% em 2013. A Tulachermet, que possui uma capacidade instalada de 3,2 milhões de toneladas, comercializou 2,1 milhões de toneladas de ferro-gusa em 2013, dos quais 70% destinados à indústria de fundição (FROLOV, 2014). Considerada a maior empresa deste mercado no mundo, é uma subsidiária do grupo Koks, que também atua na mineração de carvão e ferro. Em maio de 2014, a Tulachermet anunciou investimentos visando à verticalização a jusante: aciaria e laminação de aços longos (perfis leves, barras e fio-máquina) com capacidade de 1,5 milhão de toneladas, prevista para entrar em operação em outubro de 2016. Assim, a capacidade efetiva dedicada à comercialização de ferro-gusa da companhia será reduzida à metade.

A Sokol possui uma capacidade instalada de 800 mil toneladas. Em 2008, ela expandiu a planta de tubos de ferro fundido de grande diâmetro de 70 mil para 180 mil toneladas. Portanto, a capacidade efetiva de comercialização de ferro-gusa regrediu para aproximadamente 600 mil toneladas. Ela paralisou seus altos-fornos temporariamente em 2011 e de forma definitiva em 2012. Desde então, ela mantém a fabricação de tubos de ferro fundido, sendo obrigada a comprar ferro-gusa no mercado.

A Kosaya Gora possui três altos-fornos, com capacidade conjunta de 700 mil toneladas. Um deles foi convertido para produzir ferro-manganês. Além disso, em junho de 2010, ela paralisou um dos dois altos-fornos remanescentes. Em 2012,

último ano com informação disponível, ela comercializou 475 mil toneladas de ferro-gusa e 70 mil toneladas de ferro-manganês. Suas exportações são concentradas no mercado europeu.

No caso da experiência brasileira, existem alguns movimentos relativos à verticalização que merecem ser destacados. A Ciafal tinha um alto-forno em Pará de Minas e uma relaminação em Divinópolis (ambas em Minas Gerais). Assim, diante da inexistência de uma aciaria, ela vendia ferro-gusa no mercado e comprava tarugos para a transformação em produtos siderúrgicos. Em 2008, ela adicionou uma aciaria em Pará de Minas, passando para uma configuração integrada. A Ciafal requereu recuperação judicial em agosto de 2014.

Em novembro de 2006, a Aços Cearense comprou o guseiro Simara, que tinha dois altos-fornos, com capacidade conjunta de 312 mil toneladas, em Marabá (Pará). Posteriormente, os novos proprietários inauguraram aciaria e laminação de aços longos em maio de 2008, sendo que a denominação da empresa foi alterada para Siderúrgica Norte Brasil (Sinobras), que paralisou um dos altos-fornos e mantém somente um licenciado em operação.

Atualmente, a Ferroeste está concluindo a aciaria da Aço Verde Siderúrgica, em Açailândia (Maranhão), já tendo desembolsado 75% dos investimentos totais. Ela é proprietária de companhias dedicadas à comercialização de ferro-gusa no Maranhão (Gusa Nordeste) e Espírito Santo (CBF). A aciaria, com capacidade de 600 mil toneladas, já está concluída, sendo prevista para entrar em operação a partir de fevereiro de 2015, a depender dos preços da energia elétrica. Num primeiro momento, ela produzirá tarugos, ao passo que a laminação de longos (600 mil toneladas de vergalhão e fio-máquina) está planejada para ser inaugurada no início de 2016. Considerando os três casos, pode-se concluir que existe certa tendência entre alguns dos maiores guseiros brasileiros na direção da rota integrada (nestes casos, por meio de usinas integradas a carvão vegetal).

Alguns guseiros também estão verticalizando na direção da indústria de fundição. Talvez a inversão mais importante seja a da Metalsider, que possui uma capacidade instalada anual de 420 mil toneladas de ferro-gusa em Betim (Minas Gerais). Ela anunciou, em outubro de 2012, um projeto com um montante de US$ 67 milhões, visando à produção de peças automotivas. A primeira etapa prevista para 2015 contempla uma capacidade anual de 70 mil toneladas de peças, já tendo sido

planejada a duplicação (DIÁRIO DO COMÉRCIO, 19/10/2012). De acordo com entrevistados, esta planta será inaugurada em janeiro de 2015.

Outros guseiros, por sua vez, acabaram sendo adquiridos por fundições. Por exemplo, a companhia de fundição do Grupo Minas Gusa foi fundada em 1972, passando a produzir ferro-gusa em Itaúna (Minas Gerais) em 2003. A capacidade instalada atual desta empresa é de 54 mil toneladas anuais de ferro-gusa. A Sideral Fundição iniciou atividades em 1987, ao passo que a Sideral Siderurgia foi constituída em 2013, a partir dos ativos da Brasil Verde. A escala anual da companhia é de 72 mil toneladas de ferro-gusa e 81,6 mil toneladas de fundidos.

Na Ucrânia, como já mencionado, não existem empresas focalizadas em ferro-gusa, mas apenas usinas integradas a coque que vendem o excedente deste insumo no mercado. A despeito dos conflitos militares, a exportação de ferro-gusa aumentou 28,7% no primeiro semestre de 2014, comparativamente ao mesmo período do ano passado. A situação, contudo, parece ser muito diferente no segundo semestre, pois as siderúrgicas ucranianas enfrentam escassez de insumos e muitas linhas ferroviárias foram danificadas por ações militares. Isto também está atrapalhando as exportações russas de ferro-gusa que transitam através da Ucrânia até o Porto Illichivsk (WORLD STEEL NEWS, 01/08/2014).

Quanto às inovações, cabe destacar que se trata de uma indústria bastante madura. Alguns dos seus *players,* em particular na Rússia e Ucrânia, possuem usinas muito antigas. Por exemplo, a Kosaya Gora entrou em operação em 1897, a Sokol, em 1890 e Tulachermet, em 1935. Ademais, as companhias especialistas na Rússia e no Brasil vêm operando com substancial ociosidade, desestimulando a construção de novos altos-fornos. Na verdade, na experiência brasileira, a ser detalhada no próximo capítulo, a trajetória é de retração (ainda que gradual) da capacidade instalada.

Provavelmente, o investimento mais importante deste mercado seja a reconstrução do alto-forno 1 da Tulachermet, previsto para ser concluído em 2017. Ele será maior (passando de 1 milhão para 1,2 milhão de toneladas), mais eficiente e com menor consumo de coque (redução em até 68 kg de coque por tonelada de ferro-gusa), além de melhorias ambientais (FROLOV, 2014). Em linhas gerais, trata-se de aprimoramentos comuns em reformas de altos-fornos. Aliás, não seria de se esperar que, numa atividade relativamente pequena comparativamente à indústria

siderúrgica e fabricando um insumo com baixa ou nenhuma capacidade de diferenciação, as companhias especializadas em ferro-gusa adotassem estratégias tecnológicas agressivas. Mais importante, o próprio alto-forno é um ótimo exemplo de uma tecnologia que vem sendo aprimorada por várias inovações incrementais ao longo de séculos, cujo domínio encontra-se nas mãos dos fabricantes de equipamentos.

Quanto aos altos-fornos a carvão vegetal, a tecnologia é simples, sendo que a engenharia é de domínio público (CGEE, 2010). Tendo em vista que os guseiros brasileiros, baseados em altos-fornos a carvão vegetal, se constituem em um modelo de negócio único no âmbito da siderurgia mundial, eles serão melhor examinados no próximo capítulo.

2 QUADRO NACIONAL

2.2 Capacidade instalada e produção

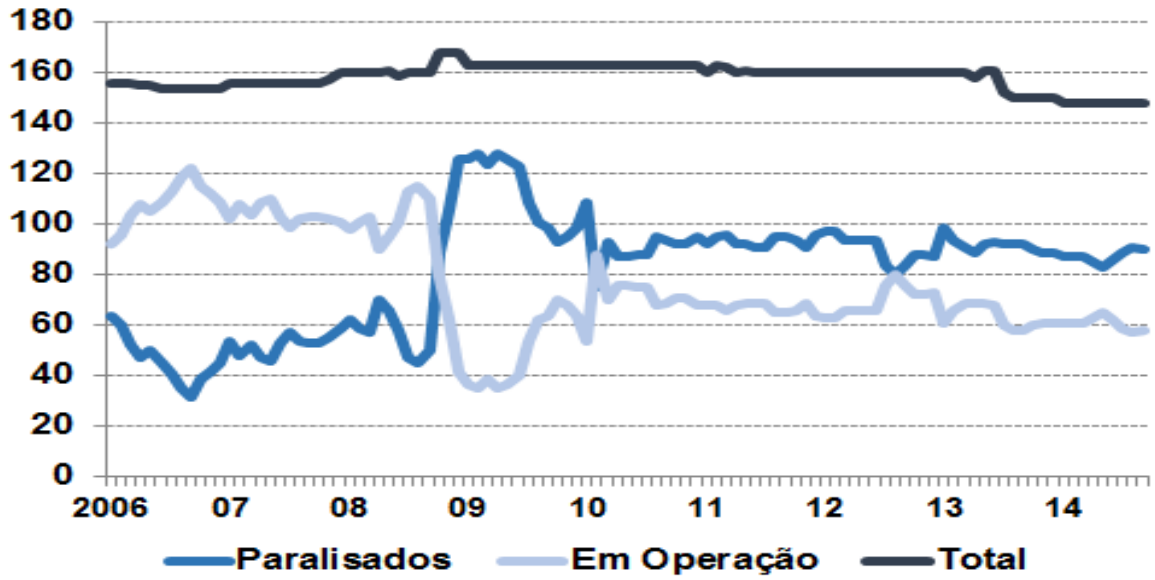
O Brasil é o único país que utiliza altos-fornos a carvão vegetal com produção expressiva, uma tecnologia que gradualmente foi perdendo importância relativa desde 1709 quando Abraham Darby, na Inglaterra, utilizou coque pela primeira vez no processo siderúrgico. Fora do Brasil, apenas duas plantas possuem altos-fornos a carvão vegetal: Aceros Zapla (Argentina) e Acepar (Paraguai). Contudo, a primeira paralisou os altos-fornos em 2001. A Acepar, que interrompera suas atividades em novembro de 2013, foi adquirida pela Vetorial (um dos maiores guseiros brasileiros) em fevereiro de 2014 e voltou a operar em julho de 2014.

De acordo com o IIMA, a capacidade instalada conjunta das unidades não verticalizadas de produção de ferro-gusa no Brasil aumentou de 14,3 milhões de toneladas em 2006 para 15,5 milhões de toneladas em 2009, regredindo marginalmente para 14,8 milhões de toneladas em 2013. Ela é concentrada em Minas Gerais (55%), Pará e Maranhão, conhecido como polo de Carajás (36%). Mato Grosso do Sul (6%) e Espírito Santo (3%) completam a lista dos Estados produtores.

É preciso esclarecer que, nesse total, estão incluídos alguns altos-fornos a carvão vegetal que pertencem a siderúrgicas integradas: Gerdau (dois equipamentos em Sete Lagoas, Minas Gerais), Votorantim (um em Curvelo, Minas Gerais), Cisam (um em Pará de Minas, Minas Gerais), Sinobras (dois em Marabá, Pará, sendo que apenas um encontra-se em funcionamento), que totalizam 672 mil toneladas (ou 4,5% do total). Assim, excluindo estes casos, a capacidade nominal dos guseiros independentes é atualmente de 14,1 milhões de toneladas. Ressalte-se que outros altos-fornos a carvão vegetal que pertencem às siderúrgicas há algumas décadas, como os da Gerdau em Divinópolis e Barão de Cocais e os da ArcelorMittal em Juiz de Fora (todos em Minas Gerais) não estão incluídos nesta estimativa. Embora nem sempre as fontes de informações esclareçam se estão ou não considerando os valores dos seis referidos altos-fornos na estimativa, isto não tende a distorcer de maneira significativa as conclusões.

O número de altos-fornos dos guseiros (incluindo a ressalva acima) expandiu-se de 156 em 2006 para 163 em 2009, diminuindo para 148 de janeiro de 2014 em diante (Gráfico 8). Por sua vez, o número de altos-fornos paralisados aumentou de 45 equipamentos (em agosto de 2008) para 128 (em fevereiro de 2009), revertendo parcialmente para 99 (em dezembro de 2009). Entre janeiro de 2013 e setembro de 2014, em média, 90 altos-fornos (ou 59% do parque) ficaram parados.

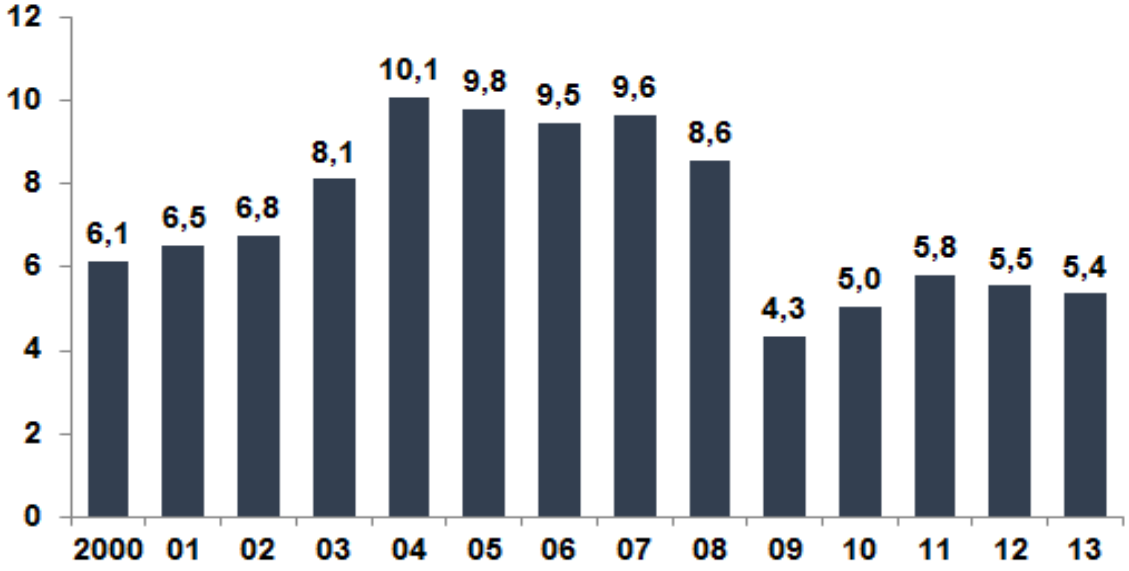
Gráfico 8: Número de altos-fornos paralisados e em operação no parque guseiro brasileiro, 2006-2014



Fonte: IIMA

A produção dos guseiros cresceu de 6,1 milhões de toneladas em 2000 para 10,1 milhões de toneladas em 2004, se estabilizando no patamar de 9,6 milhões de toneladas no triênio 2005-2007 (Gráfico 9). Após a drástica retração para 4,3 milhões de toneladas em 2009, constatou-se a recuperação parcial para 5,8 milhões de toneladas em 2011. Desde então, a trajetória é de ligeiro declínio, atingindo 5,4 milhões de toneladas em 2013.

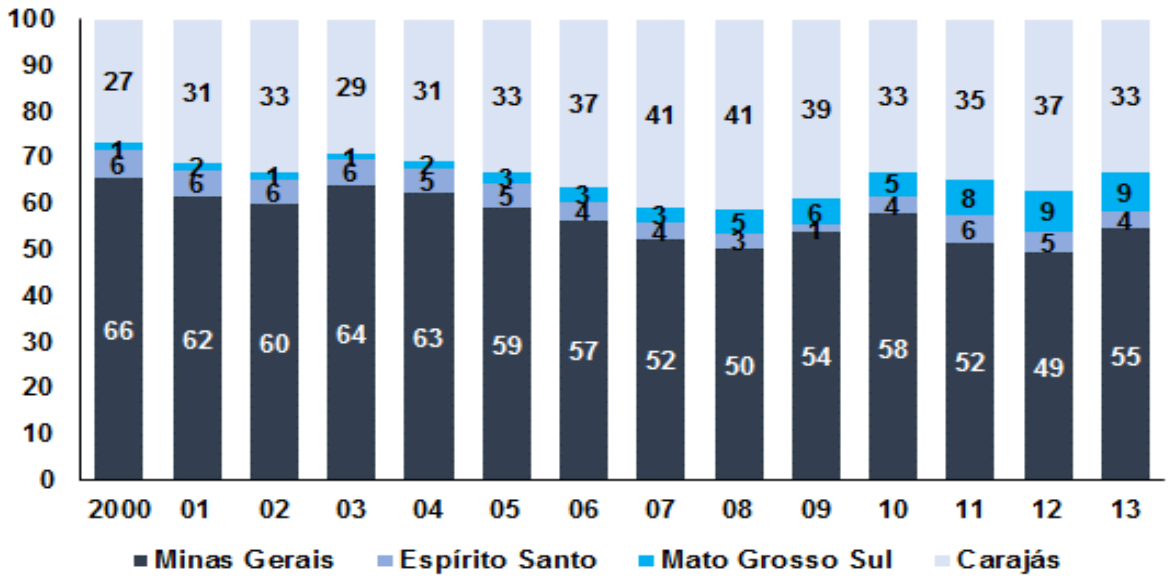
Gráfico 9: Produção de ferro-gusa dos guseiros, 2000-2013 (milhões de toneladas)



Fonte: Sindifer (2014)

O volume de produção em 2013 correspondeu a apenas 53% do nível verificado em 2004. Em paralelo à retração da atividade, ocorreu uma importante transformação da distribuição geográfica da produção, pois a participação de Minas Gerais diminuiu de 65,7% em 2000 para 54,6% em 2013 (Gráfico 10). A importância relativa do Espírito Santo também regrediu de 6,1% para 3,7%, respectivamente. O polo de Carajás, ao contrário, teve sua fatia elevada de 26,9% para 33,0%. Ademais, o Mato Grosso do Sul ampliou a sua de 1,3% para 8,7%. A última tendência parece ser associada ao fato de que a Vetorial, o maior guseiro do Estado, possui mineração de ferro própria, o que se configura uma vantagem competitiva relevante.

Gráfico 10: Distribuição geográfica da produção de ferro-gusa dos guseiros, 2000-2013 (percentual)



Fonte: Sindifer (2014)

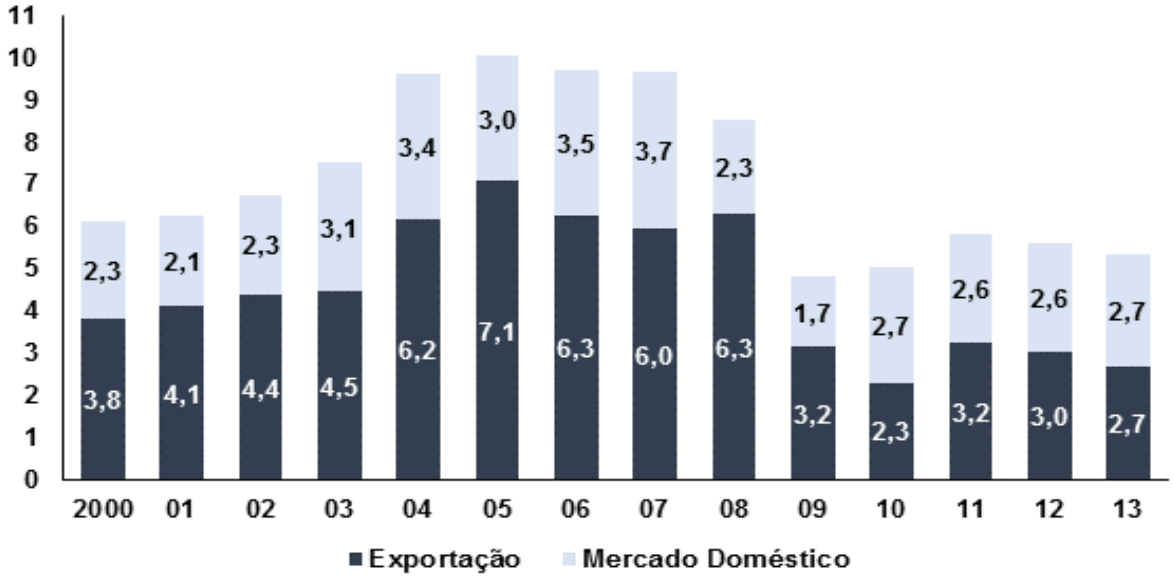
Os quatro polos possuem composições de produção distintas. Em Minas Gerais, em 2013, a proporção foi de: ferro-gusa de aciaria (64%) e nodular e fundição (34%) (SINDIFER, 2014). No Espírito Santo, em meados da década passada, a proporção era de 75% e 25% (SINDIFER, 2007). Infelizmente, não se obteve informação mais atualizada. Os dois outros polos são especializados em ferro-gusa de aciaria. Desta forma, pode-se estimar que a participação do ferro-gusa de aciaria foi de aproximadamente 79% em 2013, contra 73% em 2000 e 85% em 2006.

2.2 Comercialização doméstica e exportação

Apesar de a capacidade instalada se situar no patamar de 15 milhões de toneladas, mesmo no ápice (em 2005), a comercialização dos guseiros não passou de 10 milhões de toneladas (Gráfico 11). Em 2008, este volume regrediu para 8,6 milhões de toneladas. As vendas recuaram para 4,8 milhões de toneladas em 2009, recuperando-se parcialmente para 5,8 milhões de toneladas em 2011. Nos últimos dois anos, predomina uma trajetória de tênue queda. As exportações têm um

comportamento mais volátil do que as vendas domésticas, sendo que o coeficiente de exportação aumentou de 62% em 2000 para 74% em 2008, com tendência de retração até atingir 50% em 2013. O Brasil não importa ferro-gusa.

Gráfico 11: Vendas domésticas e internacionais de ferro-gusa por parte dos guseiros, 2000-2013 (milhões de toneladas)



Fonte: Sindifer (2014)

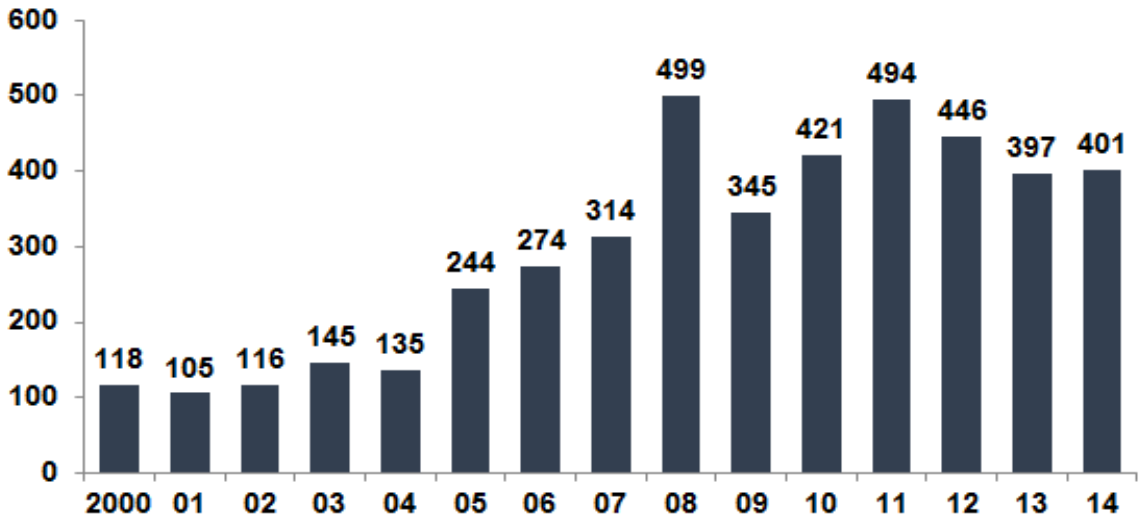
Obs: vendas domésticas em 2006 foram estimadas pelo autor

O coeficiente de exportações é bastante distinto entre os quatro polos de produção. Em 2013, foi de quase 100% para Carajás, 34% no Espírito Santo, 29% em Minas Gerais e 0,4% no Mato Grosso do Sul. A focalização em ferro-gusa de aciaria para exportação do polo de Carajás está associada ao benefício de consumo de minério de ferro de alta qualidade, que lhe permite produzir ferro-gusa com baixo teor de fósforo (menos de 0,1%). Isto corresponde a uma vantagem competitiva frente ao polo do Sudeste, no qual predomina o ferro-gusa de alto teor de fósforo. Praticamente todas as usinas norte-americanas somente podem empregar ferro-gusa de baixo fósforo (TOLOMEO & ANTUNES, 2014). No atendimento ao mercado norte-americano, outra vantagem do polo de Carajás relaciona-se à logística, decorrente do emprego de navios tipo Panamax e da menor distância.

A participação de mercado nas vendas domésticas no mesmo ano de 2013 foram as seguintes: Minas Gerais (77,7%), Mato Grosso do Sul (17,5%) e Espírito Santo (4,8%). A possibilidade de venda ao mercado doméstico (siderúrgicas e fundições) por parte dos guseiros do Centro-Sul proporciona maior estabilidade financeira e maior poder de barganha em relação aos potenciais clientes da Europa e Ásia (TOLOMEO & ANTUNES, 2014). No que concerne às exportações, a participação de mercado é radicalmente distinta: Carajás (65,5%), Minas Gerais (31,9%), Espírito Santo (2,5%) e Mato Grosso do Sul (0,1%) (SINDIFER,2014).

Em valores monetários, as exportações brasileiras de ferro-gusa aumentaram de US$ 432 milhões em 2000 para US$ 3,1 bilhões em 2008, mas diminuíram para US$ 1,1 bilhão em 2013. Por sua vez, os preços médios de exportação se elevaram de US$ 118 por tonelada em 2000 para US$ 499 por tonelada em 2008 (Gráfico 12). Após acentuada queda em 2009 e recuperação no biênio 2010-2011, os preços regrediram para US$ 397 por tonelada em 2013. No período janeiro-setembro de 2014, este valor foi de US$ 401 por tonelada. É razoável assumir que os preços no mercado doméstico tenham seguido a mesma variação, ainda que como alguma defasagem temporal.

Gráfico 12: Preço médio das exportações brasileiras de ferro-gusa, 2000-2013 (US$/tonelada)



Fonte: Sindifer (2014), MDIC

Obs: dados de 2014 compreende o período janeiro-setembro

2.3 Estrutura patrimonial, barreiras à entrada e saída e esforço inovativo

A estrutura patrimonial da indústria guseira é bastante pulverizada. De um total de 148 altos-fornos, seis equipamentos pertencem a siderúrgicas, sobrando 142 equipamentos, que estão instaladas em 80 usinas. Estas são controladas por 73 companhias diferentes. A capacidade média das empresas é de 192 mil toneladas anuais, ao passo que a mediana é de 138 mil toneladas.

As quatro maiores companhias detêm 21,0% da capacidade instalada e 29,2% da produção, sendo que Cosipar/Usipar, uma das quatro maiores em capacidade, encontra-se paralisada. Calculou-se também o índice Herfindahl-Hirschman (HHI), que varia de zero, quanto mais próximo da concorrência perfeita, até 1, que representa um monopólio. Ao final de 2013, este valor foi de 0,026 para a capacidade instalada e de 0,042 para a produção. Conclui-se que as empresas de menor porte têm sido mais afetadas proporcionalmente pela elevada ociosidade do setor.

A maioria das empresas é controlada por companhias nacionais, de médio e pequeno porte. As principais exceções são Queiroz Galvão, Ferro Gusa Carajás (renomeada de Vale Gusa) e Ibérica. A Queiroz Galvão é um conglomerado empresarial com mais de 50 subsidiárias. A Queiroz Galvão Siderurgia possui três usinas (Companhia Vale do Pindaré, Cosima Siderúrgica e Guarany Siderurgia e Mineração, todas localizadas no Maranhão), com capacidade anual conjunta de 860 mil toneladas de ferro-gusa. Apesar de ser o maior guseiro do país em termos de capacidade e dividir com Viena, Vetorial e Sidepar a liderança em volume produzido, a atividade representou apenas 4,5% do faturamento do grupo econômico em 2013 (QUEIROZ GALVÃO, 2014).

A Ferro Gusa Carajás (FGC) foi constituída em 2003 como uma *joint-venture* entre a mineradora brasileira Vale (78%) e a siderúrgica norte-americana Nucor (22%). Sua base industrial consistia de dois altos-fornos a carvão vegetal, com capacidade conjunta de 376 mil toneladas. A produção do ferro-gusa iniciou-se em 2005, mas a aliança estratégica enfrentou vários problemas: a) a distância entre a floresta (Maranhão) e os altos-fornos (Pará); b) o conflito de culturas

organizacionais, em particular porque a Nucor é conhecida por pouca hierarquia gerencial; c) altos custos comparativamente aos guseiros, que operam com uma estrutura gerencial mais enxuta e com maior agilidade na tomada de decisões. Em 2007, a Nucor vendeu sua participação no empreendimento para a Vale por US$ 20 milhões. Por conta disto, a empresa foi rebatizada de Vale Gusa. Dois anos depois, a Vale alienou a floresta de eucaliptos à Suzano Papel e Celulose, porém a companhia manteve um estoque suficiente de madeira para manter os altos-fornos em operação até o primeiro semestre de 2012. Antes disso, porém, em outubro de 2011, diante de condições desfavoráveis de mercado, a produção da Vale Gusa foi paralisada. Os equipamentos foram, então, desmontados.

A Siderúrgica Ibérica, que é uma empresa controlada por capitais espanhóis, entrou em operação em 2002. À primeira vista, o capital estrangeiro não implicou melhores práticas gerenciais, pois: a) em 2010, ela deixou de fazer parte do rol de signatários do Pacto Nacional pela Erradicação do Trabalho Escravo; b) em 2011, recebeu uma volumosa multa do Ibama, por compra de carvão de desmatamento. Paralisada desde 2012, ela voltou a operar em outubro de 2013, mas com utilização de apenas 25% de sua capacidade instalada. Excetuando a Ibérica, o restante do parque guseiro brasileiro aparentemente é controlado por empresas de capital nacional.

A indústria guseira é caracterizada por baixas barreiras à entrada e à saída, o que favorece a volatilidade do nível de produção. No âmbito da cadeia siderúrgica, a atividade guseira encontra-se entre aquelas com menor volume de investimento inicial. Não é fácil estimar o volume de inversões para um novo empreendimento, pois, diante do excedente estrutural de capacidade instalada, a forma preferencial de entrada é o arrendamento ou aquisição de planta já em funcionamento. Considerando essa ressalva, de acordo com os entrevistados, um novo alto-forno com capacidade anual de 120 mil toneladas custaria cerca de US$ 12-15 milhões, desconsiderando os custos de implantação de centrais termelétricas (CTE), injeção de carvão pulverizado (PCI) e sinterização. Mais importante, os investimentos florestais correspondentes atingiriam aproximadamente US$ 50-60 milhões, no caso do polo de Carajás.

Como se depreende do Gráfico 8, os guseiros possuem elevada flexibilidade para desligar e religar os altos-fornos, em grande contraste com o que se observa

com as usinas integradas a coque. Mesmo com baixa probabilidade de retomada das atividades, os altos-fornos em geral não são desmontados, devido aos reduzidos custos relacionados à sua paralisação. Assim, as reduzidas barreiras à entrada (inclusive de natureza tecnológica) e à saída são fatores explicativos para a fragmentação da estrutura de mercado, discutida no início desta seção.

O setor guseiro convive com baixa intensidade de esforço tecnológico e elevada heterogeneidade técnica intrassetorial. Os dados da Pesquisa de Inovação (Pintec) do IBGE não são suficientemente desagregados para capturar o esforço tecnológico da indústria em tela. De todo modo, embora não existam evidências quantitativas disponíveis, acredita-se que a intensidade do esforço tecnológico é reduzida, o que é consistente com uma atividade com grande volatilidade das condições de mercado. Ademais, as trajetórias de declínio da produção e da exportação também se constituem em fator de desestímulo a investimentos com retorno a médio e longo prazos. Cabe também ressaltar que existem poucas oportunidades para inovação numa atividade madura.

Conforme será abordado nos capítulos seguintes, os melhores guseiros do ponto de vista tecnológico são aqueles que difundem tecnologias já dominadas, com destaque para: a) melhores fornos para a produção de carvão vegetal (em particular fornos retangulares, em detrimento de fornos circulares e fornos rabo-quente); b) sistema de cogeração (termoelétrica) de energia nos altos-fornos; c) injeção de finos de carvão; d) sinterização dos finos de ferro e carvão, obtendo maior aproveitamento de resíduos industriais.

3 IMPACTOS AMBIENTAIS SETORIAIS

3.1 Fontes de insumos por rota tecnológica

Conforme discutido na seção I.2, três são as rotas tecnológicas adotadas pelos exportadores de ferro-gusa no mundo: usinas integradas a coque, alto-forno a coque e alto-forno a carvão vegetal. A primeira é a principal rota tecnológica da indústria siderúrgica, sendo composta de três etapas principais: redução (produção do ferro primário), refino (produção do aço propriamente dito e resfriamento) e laminação (transformação em produtos siderúrgicos). Por sua vez, os produtores especializados em ferro-gusa não possuem as etapas a jusante do alto-forno. Neste relatório, não serão examinadas as etapas a jusante do alto-forno, pois extrapolam o escopo da pesquisa. Informações sobre essas etapas da rota integrada siderúrgica podem ser encontradas em outro documento que faz parte deste projeto (DE PAULA, 2013).

Na etapa de redução, as usinas integradas a coque geralmente possuem três tipos de equipamentos: a) sinterização (tecnologia mais difundida no mundo e no Brasil) e/ou pelotização (que é pouco frequente em escala mundial, embora seja representativa na siderurgia norte-americana); b) coqueria, para a transformação do carvão mineral em coque; c) alto-forno, visando à produção do ferro-gusa a partir da reação entre o coque e o minério de ferro (granulado, fino e aglomerado).

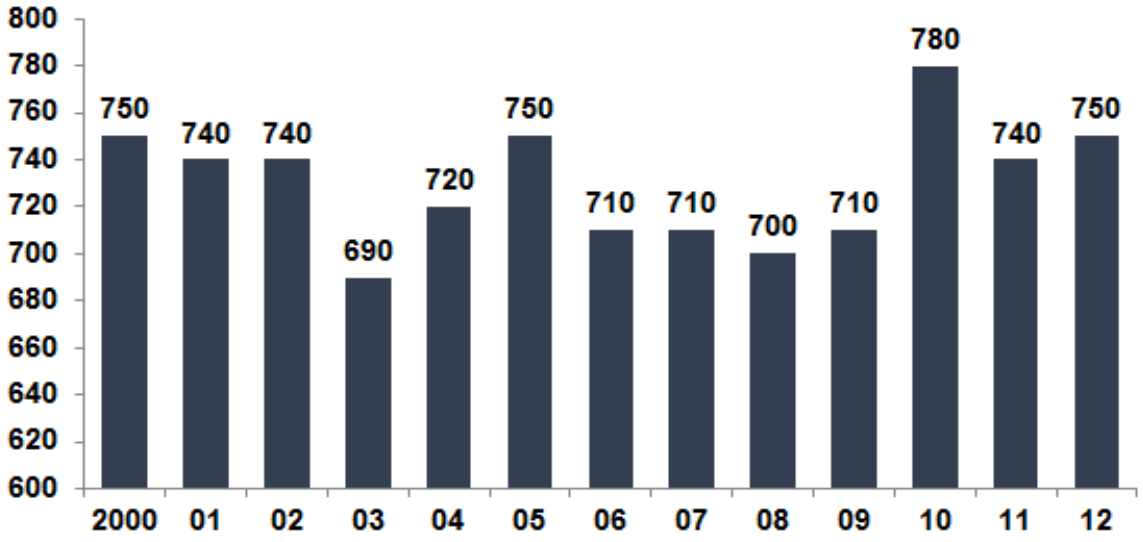
Para se produzir uma tonelada de ferro-gusa em um alto-forno a coque são necessários, em média, 1.500 a 1.600 kg de minério de ferro, 400 a 600 kg de coque (ou outro combustível à base de carbono), 140 kg de cal ou magnésia e 1.600 a 2.000 kg de ar. Obviamente, a qualidade do insumo influencia muito a eficiência do processo. Por exemplo, quanto maior a proporção de ferro granulado e pelota na carga, maior é a produtividade do alto-forno. Ademais, o coque pode ser parcialmente substituído por finos de carvão pulverizados (*pulverized coal injection,* PCI), mas isto requer maior taxa de injeção de oxigênio.

O somatório dos consumos específico de coque (*coke rate*) e finos de carvão (*PCI rate*) é denominado de *fuel rate.* No caso da siderurgia brasileira, este índice regrediu de 518 para 500 kg por tonelada de ferro produzida no período 2000-2013.

De todo modo, com exceção da Usipar (que se encontra paralisada e não está computada nessa estatística), toda a produção de ferro-gusa a partir de coque, no Brasil, destina-se ao consumo interno das usinas.

No que tange à produção de ferro-gusa em altos-fornos a carvão vegetal, no Brasil, no período 2000-2012, o consumo específico variou em torno de 730 kg de carvão vegetal por tonelada de ferro-gusa, segundo CGEE (2014) (Gráfico 13). Vale lembrar que esse valor considera tanto usinas integradas a carvão vegetal, quanto guseiros. Para alguns entrevistados, este consumo específico está superestimado, situando-se abaixo de 700 kg de carvão vegetal por tonelada de ferro-gusa.

Gráfico 13: Consumo específico de carvão vegetal nos altos-fornos, siderurgia brasileira, 2000-2012 (quilograma/tonelada de ferro-gusa)



Fonte: CGEE (2014)

Em 2012, foram demandadas 5,9 milhões de toneladas de carvão vegetal para a produção de 7,9 milhões de toneladas de ferro-gusa, perfazendo um consumo específico de 750 kg/t. No mesmo ano, as siderúrgicas associadas ao Aço Brasil, consumiram 1,5 milhão de toneladas de carvão vegetal, para 2,2 milhão de toneladas de ferro-gusa ou 689 kg por tonelada de ferro-gusa. Por exclusão, pode-se avaliar que os valores para os guseiros foram de 4,4 milhões de toneladas de

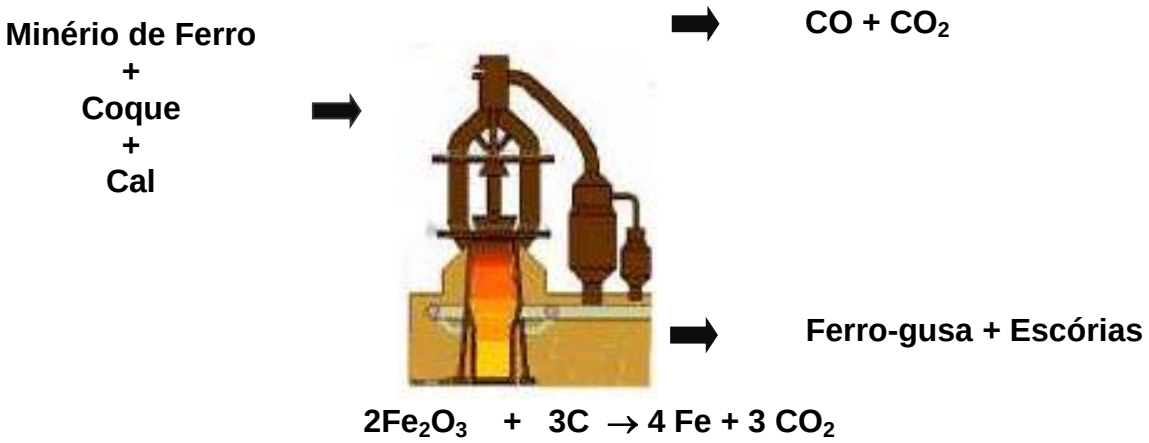
carvão vegetal, 5,6 milhões de toneladas de ferro-gusa e consumo específico de 775 kg/t.

Quanto ao consumo específico do minério de ferro, até o final da década passada, o Aço Brasil divulgava informações que permitiam o cálculo de tal indicador. Em 2007, por exemplo, ele foi de 1.545 kg de minério de ferro por tonelada de ferro-gusa. Na mesma ocasião, a referida instituição utilizava um consumo específico de 1.680 kg para estimar a demanda de minério de ferro por parte dos guseiros. Acredita-se que este consumo específico tenha se elevado, em função da queda da qualidade do minério de ferro, embora não existam evidências quantitativas que comprovem esta provável trajetória.

3.2 Consumo de energia e emissões de CO_2

Na rota de produção integrada, a siderurgia usa o carbono para geração de energia e como agente redutor do minério de ferro. Posteriormente uma fração deste carbono é incorporada aos produtos e a outra parte, após a combustão, é emitida na forma de dióxido de carbono (CO_2) (Figura 1). O processo de produção de ferro-gusa (coqueria, sinterização e alto-forno) é a etapa que mais consome energia em usinas integradas, em grande medida devido ao uso do coque como agente redutor na transformação do minério de ferro em ferro-gusa. No processo siderúrgico as outras fontes de carbono, além do carvão/coque, podem ser óleo diesel, óleo combustível, gás liquefeito de petróleo (GLP) e gás natural.

Figura 1: Emissões de CO_2 no alto-forno



Fonte: Aço Brasil (2010a)

A rota integrada a coque necessita de 17 a 19 gigajoule (GJ) de energia por tonelada de aço produzido. As etapas de matérias-primas e redução das usinas integradas a coque respondem por 80%-85% do total da energia consumida neste tipo de configuração produtiva. Portanto, para a fabricação do ferro-gusa são necessários, aproximadamente, de 13,6 a 16,2 GJ/tonelada (CGEE, 2010). Em trabalho mais recente, Leal Neto (2013) afirma que a média mundial para o alto-forno a coque é de 14,93 GJ/tonelada de ferro-gusa, enquanto o *benchmarking* é de 12,84 GJ/tonelada.

É interessante diferenciar os limites teóricos e práticos (ou seja, aqueles valores atingidos em instalações reais) do consumo de energia. Estima-se que o limite teórico do alto-forno é 9,8 GJ/tonelada de aço bruto (tab), mas o limite prático seja de 10,4 GJ/tab. Os valores para coqueria e sinterização também são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Limites teóricos e práticos dos consumos específicos de energia e de emissão de CO_2 (por tonelada de aço bruto)

		Consumo energia (GJ/tab)	Emissão CO2 (t/tab)
Coqueria	Téorico	0,8	0,052
	Prático	2,2 a 2,6	0,152
Sinterização	Teórico	1,6	0,104
	Prático	2,1 a 2,4	0,267
Alto-Forno	Teórico	9,8	1,036
	Prático	10,4	1,428

Fonte: Abreu (2011)

A emissão de CO_2 representa 93% de todas as emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) da siderurgia mundial. Metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) são pouco relevantes para essa indústria. Por outro lado, são importantes as emissões de óxidos de nitrogênio (NOx), óxidos de enxofre (SOx) e material particulado. A Tabela 3 demonstra que, no alto-forno, o limite teórico é de 1,036 tonelada de CO_2 por tonelada de aço bruto, mas o limite prático é de 1,428 tonelada de CO_2 por tonelada de aço bruto.

A utilização de carvão vegetal é uma alternativa importante para a redução do consumo de energia e para a mitigação das emissões de CO_2 da indústria siderúrgica no Brasil. De acordo com CGEE (2010), o consumo de energia de uma usina integrada a carvão vegetal é da ordem de 14-17 GJ/tonelada, o que representa uma diminuição de cerca de 14% frente a uma usina integrada a coque.

Uma tonelada de ferro-gusa produzido com carvão mineral emite 1,9 tonelada de CO_2. Os guseiros alegam que uma tonelada de ferro-gusa produzido com carvão vegetal renovável além de evitar essas emissões decorrentes do uso de matéria-prima fóssil, também geraria estoques adicionais de carbono nas novas florestas plantadas, absorvendo (sequestrando) em média 1,1 tonelada de CO_2 da atmosfera. Consequentemente, considerando as emissões evitadas e o estoque de carbono propiciado pelos plantios sustentáveis do projeto, o uso de carvão vegetal de

florestas plantadas na produção de ferro-gusa geraria um ganho ambiental de 3 toneladas de CO_2 para cada tonelada de ferro-gusa produzida (PLANTAR, 2014).

Aliás, o Projeto Plantar, realizado por meio de uma parceria entre a empresa homônima e o Fundo Protótipo de Carbono (PCF) e o BioCarbon Fund (BioCF), ambos do Banco Mundial, foi a primeira iniciativa brasileira no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Quioto. Os créditos de carbono relacionados ao Projeto Plantar decorrem do referido ganho ambiental de três toneladas de CO_2 para cada tonelada de ferro-gusa produzida.

Todavia, este racional não é consensual. Uma das críticas é de que, em se tratando de processos cujos impactos na atmosfera podem chegar a 100 anos, não se poderia assegurar que no futuro esse carbono não retornasse à forma de CO_2, seja pela decomposição da matéria orgânica, seja por qualquer outro fator que pudesse acarretar a extração dessa madeira e posterior uso. Ademais, não haveria garantia que a rota integrada a coque não viesse a ser empregada, não havendo por consequência o ganho de 1,9 tonelada de CO_2. Assim, de acordo com esta visão, seria mais lógico concluir que a emissão de CO_2 seria nula. Em outras palavras, o CO_2 emitido a partir dos altos-fornos a carvão vegetal, desde que operado com carvão vegetal de reflorestamento ou de madeira legal e produzido por processo de carbonização atualizados, é reciclável. Assim, o efeito em termos de GEE seria nulo, por sua reciclagem nas árvores em crescimento, via fotossíntese, fixando o carbono e liberando o oxigênio para a atmosfera.

Pode-se também destacar algumas outras vantagens do alto-forno a carvão vegetal comparativamente ao equipamento a coque: menor teor de enxofre, menor temperatura de operação do alto-forno (acarretando menor perda térmica e menor consumo de refratários) e redução de geração de escória em 50% (FELICIANO-BRUZUAL & MATHEWS, 2013). Por outro, o alto-forno a coque proporciona maior estabilidade e rendimentos devido ao maior porte. Sendo assim, a emissão de CO_2 por tonelada de ferro-gusa, sem considerar o resgate das florestas, é menor no equipamento a coque do que no a carvão vegetal.

Todavia, o uso do carvão vegetal não pode ser visto como solução para a siderurgia brasileira na sua totalidade. Além do menor tamanho dos altos-fornos (comparativamente aos equipamentos que utilizam coque como redutor), ela exige maiores investimentos por capacidade instalada em relação à rota semi-integrada (à

base de aciaria elétrica), não apenas na usina, mas também em função das inversões requeridas no desenvolvimento de maciços florestais.

3.3 Desmatamento e carvoejamento

De acordo com Vital & Pinto (2009, p. 239):

> *"(...) a produção de carvão vegetal para fabricação de ferro-gusa afeta diretamente a demanda por madeira, contribuindo para o desmatamento e para a degradação de diferentes biomas brasileiros, em particular da Floresta Amazônica (no caso do extrativismo ao redor do polo de Carajás), além da Mata Atlântica (norte do Espirito Santo e sul da Bahia), do Pampa (Rio Grande do Sul), do Pantanal e do Cerrado em Minas Gerais, já bastante devastado".*

De fato, o maior problema ambiental da atividade guseira é a utilização de parcela expressiva de carvão extraído de matas nativas, contribuindo para uma das maiores fontes emissoras de GEE no Brasil – o desmatamento. Em meados da década passada, estimava-se que metade do carvão vegetal produzido pelos guseiros seria proveniente de matas nativas. Em Carajás, a proporção de carvão obtido por desmatamento ilegal atingiria quase 80% (MELLO *et alii,* 2009).

Quatro motivos permitem supor que, desde então, tenha diminuído a proporção de utilização de carvão vegetal proveniente de desmatamento ilegal por parte dos guseiros: a) a redução do volume de produção devido ao mercado internacional em retração, como comentado no primeiro capítulo; b) a promulgação de leis estaduais mais rigorosas; c) as atuações do Ibama, em particular no polo de Carajás, diante da constatação de irregularidades relacionadas à compra de carvão; d) o incremento do índice de autossuficiência da capacidade de produção à base de carvão vegetal proveniente de fontes legais e autorizadas pela legislação vigente, seja supressão vegetal, seja aproveitamento de material lenhoso, por parte das melhores companhias do setor.

A despeito das melhorias, continua grave o problema do carvão ilegal que chega aos guseiros com aspecto de regularidade, acobertado por guias falsas, obtidas por meio de manipulações fraudulentas dos sistemas Documento de Origem Florestal (DOF) e Comercialização e Transporte de Produtos Florestais (Sisflora). Ademais, o sistema de produção de carvão é pouco eficiente, como discutido a seguir.

Vidal e Pinto (2009) estimam que mais de 60% da produção de carvão no país utilizam a tecnologia mais rudimentar existente (denominada de “rabo quente”), com rendimento gravimétrico (RG, mensurado pela proporção tonelada de carvão vegetal/tonelada de madeira seca) de apenas 20%-25% e com muita baixa recuperação de resíduos. Os fornos circulares, responsáveis por cerca de 20% da produção de carvão, possibilitam maior RG (de 25% a 39%), mas a recuperação de resíduos também é pequena. Os fornos retangulares, que são empregados em menos de 10% da produção, permitem um RG de 30% a 37% e boa recuperação de biocarboquímicos (70 a 120 kg/tonelada de carvão vegetal) e eficientes controles de emissões de gases (que necessitam ser condensados para a fabricação dos carboquímicos). Contudo, na avaliação de alguns dos entrevistados, o RG máximo teórico dos fornos circulares é, na verdade, de 32%. As estimativas deste autor em relação à difusão dos fornos retangulares são apresentadas no capítulo 5.

Resumidamente, os maiores problemas ambientais decorrentes da atividade guseira são relativos ao consumo de madeira ilegal e à compra de carvão vegetal produzido em fornos de baixa eficiência tecnológica e energética. O próximo capítulo é dedicado ao balanço de carbono e inventário de emissões de GEE.

4 BALANÇO DE CARBONO E INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE

4.1 Balanço de carbono

No caso da produção de ferro-gusa, de um lado, são gerados gás metano (CH_4) e CO_2 (ou CO, que se deve aos equipamentos deficientes de queima nas usinas, em especial as tochas que, na maioria das vezes, estão apagadas), durante a carbonização da madeira e a reação química (redução) no alto-forno. Por outro lado, a opção pela energia renovável da biomassa para a fabricação de ferro-gusa contribui para o balanço de CO_2 na atmosfera, por intermédio da fotossíntese (MALLARD, 2009). Assim, é necessário avaliar o efeito líquido quanto à geração de GEE desta atividade.

Ao analisar a experiência da indústria guseira em Minas Gerais, Mallard (2009) discute inicialmente as emissões de CO_2 na carbonização da madeira. O autor considera os seguintes valores referenciais:

- Rendimento médio do carvão = 25%;
- Distribuição dos principais gases gerados no processo:
  - ✓ CO_2 = 62%;
  - ✓ CO = 34%;
  - ✓ CH_4 = 2,34%;
  - ✓ Hidrogênio = 0,63%;
  - ✓ Etano = 0,13%.
- Consumo específico para produzir uma tonelada de ferro-gusa:
  - ✓ 2,74 metros cúbicos de carvão (mdc);
  - ✓ 1,45 tonelada de eucalipto;
  - ✓ 0,497 tonelada de CO_2 emitido na carbonização da madeira.

Quanto à produção propriamente do ferro-gusa em altos-fornos a carvão vegetal, Mallard (2009) afirma que o gás de alto-forno é composto de aproximadamente 20% de CO_2, 20% de CO, 1% de CH_4, 3% de H_2 e o restante de nitrogênio. Para cada tonelada de ferro-gusa produzida são emitidos cerca de 2.000Nm^3 de gases de alto-forno. Entretanto, esses gases são queimados nos trocadores de calor e nas tochas. Ele conclui que, nos casos dos guseiros mineiros,

na produção de uma tonelada de ferro-gusa são emitidas 1.872 kg de CO_2 na atmosfera. O autor alerta que esse valor é substancialmente superior ao empregado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), que adota um fator de emissão de 1,35 tonelada de CO_2 para cada tonelada de ferro-gusa produzida. Interessante registrar que a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) de Minas Gerais adotou a geração específica de 1,35 tonelada de CO_2/tonelada de ferro-gusa de mercado (ou seja, pelos guseiros) ao estimar as emissões de GEE para o ano-base 2010 (FEAM, 2013).

Mallard (2009) também aborda a fixação de CO_2 nas florestas de eucalipto, por meio da seguinte equação, que, conforme metodologia utilizada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), estima a quantidade do gás fixada por árvore:

$$CO_2 = (V \times D \times FEB) \times (1+R) \times FC \times MC$$

onde:

V = volume comercial médio, em m^3;

D = densidade específica da madeira, em toneladas de matéria seca por m^3 de volume comercial;

FEB = fator de expansão da biomassa, para conversão de volume comercial para biomassa acima do solo;

R = razão parte aérea da árvore (peso seco da parte aérea) / parte radical (peso seco das raízes);

FC = fração de carbono;

MC = conversão de massa do carbono em massa de CO_2.

Os valores aplicados são:

V = 0,318 m^3;

D = 0,44 t/m^3 do *eucalyptus grandis*;

FEB = 1,45;

R = 0,2;

FC = 0,43;

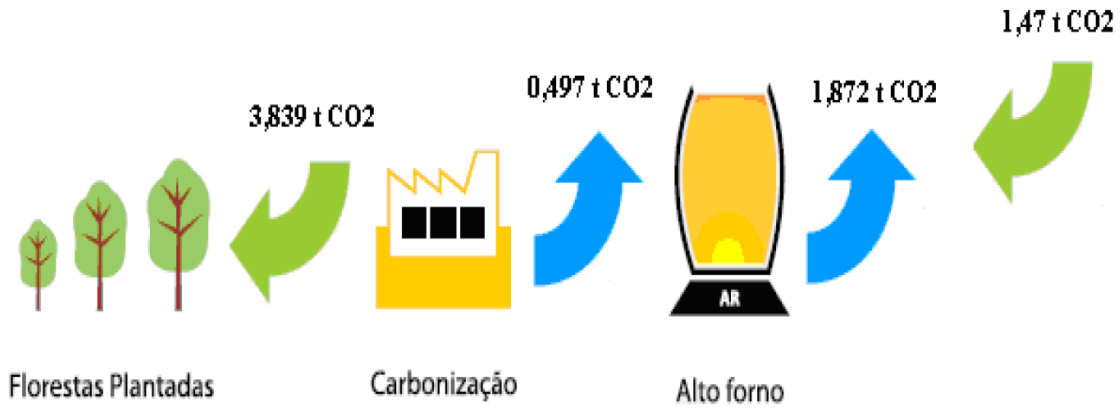
MC = (44/12).

Assim, CO2 = (0,318 x 0,44 x 1,45) x (1+0,2) x 0,43 x (44/12) = 0,3839 t por árvore. Como são necessárias dez árvores, para se fabricar uma tonelada de ferro-

gusa, com o emprego de carvão vegetal oriundo de floresta plantada com *eucalyptus grandis* são fixadas 3,84 toneladas de CO_2 (MALLARD, 2009).

Considerando os resultados obtidos para a emissão de CO_2, no ciclo de fabricação do ferro-gusa (emissões na carbonização da madeira e no alto-forno e fixação nas florestas de eucalipto), tem-se o balanço geral das emissões de gases de efeito estufa na cadeia produtiva relativa ao setor. Como se observa na figura 2, para cada tonelada de ferro-gusa produzida seriam fixadas 1,47 tonelada de CO_2. Cabem as ressalvas de que não são consideradas as emissões em outras etapas da cadeia, como o transporte, bem como de outros GEE, como o metano.

Figura 2: Balanço de CO_2 no ciclo de produção de ferro gusa considerando autossustentabilidade em carvão vegetal



Fonte: Mallard (2009)

Mallard (2009, p. 129) conclui então que:

> *Já as siderúrgicas que utilizam coque de carvão mineral ao invés de carvão vegetal, emitem, aproximadamente, a mesma quantidade de CO_2, com a diferença de não haver fixação de CO_2 nas florestas plantadas. Dessa forma, pode-se dizer que a opção de produzir ferro gusa a partir do carvão vegetal, quando feito de maneira sustentável, por meio de florestas artificiais, proporciona um ganho ambiental de mais de três toneladas de CO_2 para cada tonelada de ferro produzida.*

Como já mencionado, este raciocínio não é consensual. Alguns dos entrevistados destacaram que o fato de se fixar o carbono não constituiria uma garantia de sua permanência eterna, pois a massa de carbono a ser fixada tem um limite. Em termos práticos, como não se pode plantar eternamente árvore em cima de árvore que foi cortada, haveria limitação de espaço.

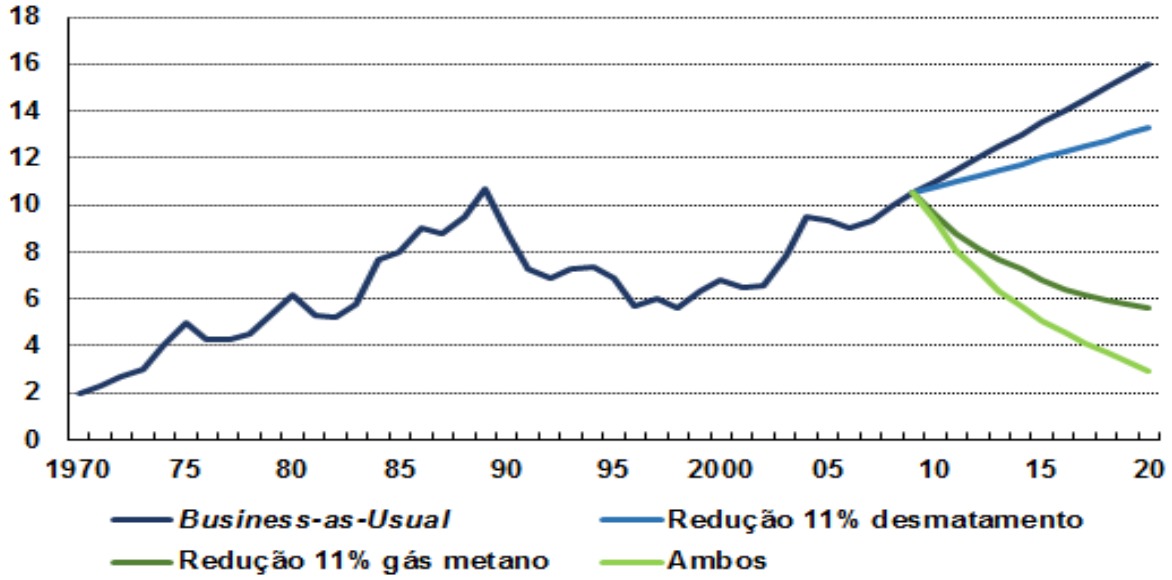
A contenda sobre o balanço efetivo de CO_2 da siderurgia a carvão vegetal parece estar muito longe de um resultado convergente. O fato de esta controvérsia se basear apenas na realidade brasileira certamente não contribui para o aprofundamento da discussão. Resumindo o debate, de um lado, para alguns, haveria um ganho ambiental superior a três toneladas de CO_2 por tonelada de ferro-gusa produzida em altos-fornos a carvão vegetal em florestas plantadas de forma sustentável. Alguns dos entrevistados chegaram a afirmar que esta estimativa é inclusive subestimada, superando as três toneladas. Outros entrevistados indicaram o que CO_2 emitido na cadeia produtiva do ferro-gusa a carvão vegetal, desde que este seja produzida com madeira de reflorestamento ou legal, não é GEE, mas sim CO_2 reciclável, diferentemente dos gases gerados dos combustíveis fosseis. De outro lado, para outros entrevistados, o balanço de CO_2 seria nulo, mesmo quando a madeira utilizada na carbonização seja de origem renovável, ou seja, florestas plantadas e manuseadas para este fim. Extrapola ao escopo deste relatório chegar a um resultado conclusivo sobre o assunto. Assim, adotou-se a visão mais favorável ao setor guseiro, desde que respaldada por projetos aprovados no âmbito do MDL.

4.2 Inventário de emissões de GEE

Algumas estimativas de emissões de GEE, inclusive aquelas divulgadas no “Plano Setorial de Redução de Emissões da Siderurgia” (MMA, 2010), apresentam valores agregados para a produção de ferro-gusa a carvão vegetal. Desta forma, abordam conjuntamente as emissões geradas em usinas semi-integradas a carvão vegetal e nos guseiros. Inicialmente, são resgatadas aqui algumas destas informações agregadas, para num segundo momento focalizar apenas os dados relacionados aos guseiros.

O Gráfico 14 mostra as emissões de CO_2 equivalente (CO_2eq) na produção de carvão vegetal empregado na fabricação de ferro-gusa no Brasil. Esta pode ser considerada a estimativa oficial do país, uma vez que faz parte do "Plano Setorial de Redução de Emissões da Siderurgia". Em 2009, o total de emissões teria alcançado 10,5 milhões de toneladas de CO_2eq.

Gráfico 14: Emissões na produção de carvão vegetal empregado na fabricação de ferro-gusa no Brasil, 1970-2020 (milhões de toneladas de CO_2eq)



Fonte: MMA (2010)

Em relação à estimativa de 2010, em diante, o Gráfico 14 apresenta quatro cenários: a) cenário de base (*business-as-usual*), sem intervenção política, baseado na extrapolação linear das tendências históricas de crescimento de emissões, atingindo 15,97 milhões de toneladas de CO_2eq em 2020; b) cenário supondo a substituição parcial de madeira nativa por floresta plantada, alcançando 13,32 milhões de toneladas de CO_2eq; c) cenário baseado no controle das emissões de gás metano, gerando 5,60 milhões de toneladas de CO_2eq; d) cenário que combinaria a expansão das florestas plantadas e a melhoria do processo de carbonização, acarretando 2,94 milhões de toneladas de CO_2eq. Os cenários propostos por este autor são apresentados no Capítulo 6 deste relatório de pesquisa.

CGEE (2014) indica, que no período 2003-2012, a produção brasileira média de ferro-gusa a partir de carvão vegetal foi 9,5 milhões de toneladas, requerendo o consumo de 6,9 milhões de toneladas de carvão vegetal. No mesmo período, estimou-se que as florestas plantadas tenham alcançado uma participação de 57% e, analogamente, que as matas nativas foram responsáveis por 43%.

CGEE (2014) também estimou que o rendimento médio do carvão foi de 26%. Este indicador é também denominado de eficiência da transformação (processo de carbonização) da madeira anidra (massa de madeira na base seca) em carvão vegetal. Isto significa que para a produção de uma tonelada de carvão vegetal, foram necessárias 3,85 toneladas de madeira. Nessa conversão, foram utilizados em média 26,5 milhões de toneladas de madeira por ano para suprir o setor de ferro-gusa a carvão vegetal no Brasil, incluindo usinas integradas a carvão vegetal e guseiros.

De acordo com o mesmo estudo, baseado em metodologia aprovada pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), para um RG de 26% (que é o padrão típico dos guseiros) e com o emprego da tecnologia atual de produção (fornos de alvenaria), são lançados na atmosfera 78 kg de gás metano por tonelada de carvão vegetal. Deve-se lembrar que um kg de metano corresponde a 21 kg de CO_2 em termos de GEE. Assim, estima-se que para a produção de 5,6 milhões de toneladas de ferro-gusa, no último triênio (2011-2013), por parte dos guseiros, foram emitidas 9,2 milhões de toneladas anuais de CO_2eq.

Ainda segundo CGEE (2014), o RG típico de usinas integradas a carvão vegetal é de 32%. Como consequência, observa-se uma mudança no patamar de emissão específica de 78 kg de CH_4 para 46 kg de CH_4. Desta forma, no mesmo triênio, para a produção de 2,3 milhões de toneladas de ferro-gusa, por parte das usinas integradas a carvão vegetal, foram emitidas 2,2 milhões de toneladas anuais de CO_2eq. Assim, as emissões conjuntas dos dois tipos de produtores totalizam 11,4 milhões de toneladas de CO_2eq. Este valor, conforme se observa no Gráfico 15, é próximo daquele estimados pelo MMA (2010)

4.3 Mudanças climáticas e regulação setorial

Esta seção tem como finalidade abordar eventuais legislações nacionais restritivas nos principais mercados, bem como negociações e acordos internacionais relativos ao paradigma do baixo carbono. Entretanto, à primeira vista, não existe nenhuma discussão específica que envolva exportações de ferro-gusa, o que é compreensível por se tratar de um mercado de pequena dimensão. É bem verdade que quando se considera a indústria siderúrgica na sua totalidade, a discussão é mais complexa, mas isto é abordado em outro relatório desta pesquisa (DE PAULA, 2013).

Todavia, vale a pena mencionar que no âmbito do Acordo de Copenhague, o Brasil se comprometeu a reduzir as emissões na produção de carvão vegetal empregado na fabricação de ferro-gusa no Brasil para 8 a 10 milhões de toneladas de CO_2 equivalente (MMA, 2010). Este valor engloba usinas integradas a carvão vegetal e guseiros.

5 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E MUDANÇA TECNOLÓGICA

A análise das melhores práticas (*best available technologies*) no caso da produção de ferro-gusa à base de carvão vegetal se resume, como já mencionado algumas vezes, à indústria brasileira.

Deve-se destacar que inexiste no país qualquer censo tecnológico (mesmo que parcial) acerca dos guseiros. Este capítulo, então, tenta suprir esta lacuna. Como se trata de um primeiro esforço nessa direção, ele pode e deve ser aprimorado, em particular quanto ao detalhamento das tecnologias. De todo modo, acredita-se que a principal contribuição desse relatório seja exatamente apresentar este panorama, que somente foi possível graças aos entrevistados.

5.1 Fornos retangulares de produção de carvão

O Quadro 3 mostra a difusão de quatro tecnologias relevantes no segmento guseiro: a) fornos retangulares para a produção de carvão; b) centrais termoelétricas (CTE), visando ao aproveitamento de gases de alto-forno para a cogeração de eletricidade; c) sistemas de injeção de finos de carvão (PCI); d) sinterizações. Apesar de serem tecnologias maduras, com baixa sofisticação tecnológica, são relativamente pouco difundidas nos guseiros, em função de fatores econômicos. A alta instabilidade do mercado estimula esses produtores a ter uma orientação para o curto prazo, evitando investimentos que resultem em maiores custos fixos. Assim, não existem barreiras tecnológicas relevantes, o que é compatível com uma indústria caracterizada por baixas barreiras à entrada e à saída.

De acordo com o levantamento realizado, conforme o Quadro 3, novas usinas possuem seus próprios fornos retangulares de produção de carvão vegetal: Alterosa, AVG, Metalsider, Pitangui, Plantar, Queiroz Galvão (em Açailândia), Vetorial (em Corumbá e Ribas do Rio Pardo) e Viena. Destas, apenas a Pitangui encontra-se paralisada. A capacidade conjunta destas nove usinas totaliza 3,3 milhões de toneladas de ferro-gusa, o que representa 24% da capacidade instalada do setor. Tais companhias produzem cerca de 41% do ferro-gusa do segmento.

Quadro 3: Difusão de tecnologias instaladas nos guseiros, 2014

Empresa	Localização	Capacidade instalada (mta)	Em Operação	Forno Retangulares de Carvão	Central Termoelétrica	Injeção de Finos de Carvão	Sinterização
Alterosa	Pará de Minas, MG	252	Sim	X	X	X	
AVG	Sete Lagoas, MG	360	Sim	X	X	X	
CBF Indústria de Gusa	João Neiva, ES	240	Sim		X	X	
Cosimat	Matozinhos, MG	240	Sim				X
Cosipar	Marabá, PA	504	Não		X	X	X
Gusa Nordeste	Açailândia, MA	360	Sim		X	X	
Ibérica	Marabá, PA	420	Sim				X
Metalsider	Betim, MG	420	Sim	X	X		
Pitangui	Pintagui, MG	312	Não	X	X		
Plantar	Sete Lagoas, MG	240	Sim	X	X	X	
Queiroz Galvão	Açailândia, MA	600	Sim	X	X	X	
Queiroz Galvão	Santa Inês, MA	264	Não		X	X	
Santo Antônio (Sidersa)	Itaúna, MG	156	Não			X	
Sidepar	Marabá, PA	540	Sim				X
Sideral (ex-Brasil Verde)	Conceição do Pará, MG	72	Sim		X		
Siderpam (ex Siderpa)	Sete Lagoas, MG	192	Sim		X		
Usimar	Marabá, PA	360	Não				X
Usipar	Barcarena, PA	288	Não			X	X
Valinho	Divinópolis, MG	120	Sim		X		
Vetorial	Corumbá, MS	360	Sim	X	X	X	
Vetorial	Ribas do Rio Pardo, MS	300	Sim	X	X	X	
Viena	Açailândia, MA	480	Sim	X	X	X	X

Fonte: elaboração própria a partir de entrevistas e pesquisa bibliográfica diversa.

É importante ressaltar que nem sempre as nove usinas citadas são abastecidas com 100% de carvão produzido em fornos retangulares. Por exemplo, em um dos guseiros de Carajás, que segue investindo em novos fornos

mecanizados, a produção já atinge aproximadamente 25% do consumo total. Para outra, não localizada no polo de Carajás, tal valor chega a 30%. Por outro lado, a Queiroz Galvão informou publicamente que, em 2012, começou a substituir os fornos circulares por retangulares. Em 2013, cerca de 50% do carvão produzido pela empresa foi oriundo de fornos retangulares, que operam de forma totalmente mecanizada. Em 2014, esta participação deverá alcançar 100% (QUEIROZ GALVÃO, 2014). Esta, no entanto, parece mais a exceção do que a regra no setor.

A baixa difusão dos tipos de fornos mais sofisticados na produção de carvão já foi abordada na seção III.3. Há consenso de que a difusão de fornos retangulares no Brasil é reduzida, embora haja certa divergência quanto ao valor exato: inferior a 10% (VIDAL & PINTO, 2009) ou no patamar de 20% (OLIVEIRA, 2012). Destaque-se que CGEE (2014) também estimou que apenas 20% da produção nacional faz uso desta tecnologia, considerando 100% do volume das usinas integradas. Com base nas entrevistas, este autor elaborou uma avaliação um pouco mais otimista, estimando que a difusão já alcance 16% da produção dos guseiros propriamente dita. Assumindo que esta proporção seja de 100% para as usinas integradas a carvão vegetal, o valor nacional atingiria 38%.

As principais vantagens dos fornos retangulares são: a) maior produtividade; b) melhor aproveitamento da matéria-prima decorrente de captura dos gases emitidos durante a produção do carvão e de um sistema de queima mais eficaz. Além disso, quando participam de projeto MDL, os fornos retangulares podem gerar créditos de carbono (QUEIROZ GALVÃO, 2014).

De acordo com os entrevistados, no caso de uma empresa migrar de zero para 100% de uso de fornos retangulares, isto pode proporcionar a redução da mão-de-obra total da ordem de 53%. Com isto, a companhia pode eliminar postos de trabalho de baixa qualidade, seja em termos de remuneração, seja em termos de condições insatisfatórias de trabalho. Como consequência, constata-se também a diminuição do número de ações trabalhistas diretas e indiretas (por responsabilidade solidária). A visão predominante no setor é que o principal motivador da adoção de fornos retangulares é substituir atividades intensivas em mão-de-obra.

A tecnologia de fornos retangulares de carvão (também denominados de “Missouri”) é de domínio público, sendo que as usinas integradas a carvão vegetal (Acesita, atual Aperam, inicialmente) desenvolveram seu próprio modelo e algumas,

inclusive, venderam projetos para guseiros. Por serem equipamentos relativamente simples, alguns guseiros chegaram a elaborar seus próprios projetos. Segundo os entrevistados, esses fornos retangulares precisam ser melhorados, principalmente quanto à dinâmica dos gases dentro do forno e à uniformização da carbonização. Ademais, o carvão vegetal produzido é mais quebradiço comparativamente aos fornos circulares ou mesmo fornos rabo-quente.

O custo de investimento por tonelada de capacidade instalada de um forno retangular é dez vezes maior do que o de um forno circular. O custo de construção é de R$ 200 mil por forno e para viabilizar economicamente sua construção esses fornos devem ser instalados em uma mesma unidade de produção de carvão vegetal, com escala mensal de pelo menos 500 m^3 de carvão (VIDAL & PINTO, 2009; OLIVEIRA, 2012). Assim, para plantações de pequenas dimensões, tal tecnologia não é apropriada.

De acordo como alguns entrevistados, o custo atual de construção do forno retangular para uma escala de 50 toneladas mensais já chegaria a R$ 250-350 mil, dependendo da utilização ou não de queimador de gás. Além disso, seria necessário adicionar os investimentos em instalações e máquinas auxiliares. No caso de fornos com capacidade de 200 toneladas mensais, incluindo todos os equipamentos auxiliares, o custo é orçado em R$ 1 milhão. As estimativas dos investimentos necessários para aumentar a difusão de fornos retangulares nos guseiros são apresentadas no capítulo 7.

Segundo os entrevistados, seria inviável instalar menos que 32 fornos retangulares de 50 toneladas mensais. Isto possibilitaria abastecer usinas de apenas 27 mil toneladas anuais de ferro-gusa. Como se observa no Quadro 3, a menor usina que é abastecida com fornos retangulares possui uma capacidade instalada de 240 mil toneladas. Utilizando hipoteticamente esta escala como exemplo, no caso de abastecimento de 100% de carvão vegetal por fornos retangulares, seria necessário investir em pelo menos 280 fornos da escala mencionada. Isto totalizaria cerca de R$ 84 milhões, ou US$ 35 milhões (a uma taxa de conversão de R$ 2,4 por US$ 1, que foi utilizada ao longo de todo o relatório), o que superaria o valor de construção de dois altos-fornos (US$ 30 milhões).

O valor de investimento em fornos retangulares não é desprezível para os guseiros, ainda mais num contexto de mercado pouco favorável. Além disso, vários

entrevistados enfatizaram que “não é tradição dos guseiros investir em carvão vegetal”. No curto prazo, os preços deprimidos do produto desestimulam adicionalmente essas inversões. Em compensação, o *payback* desses investimentos pode ser considerado atraente, no intervalo de 2,5 a 4 anos.

Das quatro tecnologias discutidas neste capítulo, a adoção de fornos retangulares (e outros equipamentos de carbonização mais eficientes do que os empregados atualmente) é aquela com maior impacto em geração de GEE. De acordo com CGEE (2014), o RG dos fornos retangulares varia de 30% e 35%. O emprego de um RG de 35% (ao invés de 26%), contando com monitoramento mais rígido de parâmetros do processo de carbonização, como a temperatura, possibilitaria uma diminuição nas emissões de metano por tonelada de carvão vegetal de cerca de 61,5%. A maior difusão desta tecnologia é crucial no contexto de um paradigma de baixo carbono, embora possa ter como efeito colateral uma tendência de concentração na estrutura industrial, já que sua difusão tende a ocorrer mais nas médias e grandes empresas.

5.2 Centrais termoelétricas

O gás de alto-forno pode ser utilizado para a geração de energia em central termoelétrica (CTE), sendo importante fator de reaproveitamento energético. Desde 1950, esta tecnologia de processo não sofreu mudanças significativas (AÇO BRASIL, 2010b). Segundo os entrevistados, mesmo não possuindo um poder calorífico elevado, a combustão do gás de topo do alto-forno serve para aquecer o ar que será injetado pelas ventaneiras e o saldo, da ordem de 55% do total em alguns casos, é utilizado para gerar vapor e produzir energia elétrica, tornando a usina de ferro-gusa autossuficiente.

Com base em entrevistas, em levantamento no sítio eletrônico da Agência Nacional de Energia Elétrica e em extensa pesquisa bibliográfica, foram identificadas 16 CTEs no parque guseiro, com uma capacidade conjunta de 96,4 MW (Quadro 4). A título de comparação, a CTE-2 da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), inaugurada em 1999, tem uma capacidade de 235 MW.

Quadro 4: Centrais termoelétricas de propriedade dos guseiros

Empresa	Localização	Capacidade instalada (mta)	Central Termoelétrica (MW)
Alterosa	Pará de Minas, MG	252	6,0
AVG	Sete Lagoas, MG	360	4,8
CBF Indústria de Gusa	João Neiva, ES	240	3,5
Cosipar	Marabá, PA	504	14,0
Gusa Nordeste	Açailândia, MA	360	10,0
Metalsider	Betim, MG	420	8,8
Pitangui	Pintagui, MG	312	5,0
Plantar	Sete Lagoas, MG	240	5,0
Queiroz Galvão	Açailândia, MA	600	8,0
Queiroz Galvão	Santa Inês, MA	264	5,0
Sideral (ex-Brasil Verde)	Conceição do Pará, MG	72	1,2
Siderpam (ex Siderpa)	Sete Lagoas, MG	192	2,4
Valinho	Divinópolis, MG	120	2,0
Vetorial	Corumbá, MS	360	10,0
Vetorial	Ribas do Rio Pardo, MS	300	3,5
Viena	Açailândia, MA	480	7,2

Fonte: elaboração própria a partir de entrevistas, Aneel e pesquisa bibliográfica.

No âmbito das 16 usinas com CTEs, treze encontram-se em operação e, três estão paralisadas. Analisando apenas as treze plantas em funcionamento, oito delas também fazem uso de fornos retangulares. As outras cinco são: Cosimat, Sideral (ex-Brasil Verde), Siderpam (ex-Siderpa), Valinho, CBF e Gusa Nordeste, sendo as últimas duas pertencentes ao Grupo Ferroeste.

Deve-se mencionar que todos os guseiros que empregam fornos retangulares possuem também CTEs, mas a recíproca não é verdadeira. Desta forma, a difusão da cogeração de eletricidade é maior. Estima-se que a capacidade conjunta das 16 empresas alcance 5,1 milhões de toneladas de ferro-gusa, equivalendo a 36% do setor. Mais ainda, estas companhias fabricam atualmente 52% do ferro-gusa do segmento. Isto ratifica que a difusão de CTEs pode ser entendida como um bom indicador dos produtores mais eficientes. Mesmo assim, de acordo com os

entrevistados, ainda existiriam muitas oportunidades para aumentar o rendimento da CTEs em operação, mas não se conseguiu quantificar o potencial dessa melhoria.

Dentre as usinas listadas no Quadro 4, apenas a Cosipar, a Pitangui e a unidade de Queiroz Galvão em Santa Inês (Maranhão) encontram-se totalmente paralisadas. A CTE da última, inaugurada em janeiro de 2012, foi projetada para utilizar gás de alto-forno, biomassa renovável e a combinação dos dois insumos. Embora a produção de ferro-gusa tenha sido interrompida há mais de dois anos, a CTE continua em operação, funcionando a partir de biomassa renovável.

Em geral, as CTEs são empreendimentos relativamente novos. De acordo com os entrevistados, a primeira central, com capacidade de 1,5 MW, foi instalada na usina de Ribas do Rio Pardo, da Vetorial, em 1997. Contudo, a maior difusão se concentrou no início da década passada. O investimento em oito CTEs, para os quais os valores financeiros estão disponíveis, somaram US$ 68,4 milhões. A respectiva capacidade instalada alcançou 48,2 MW, de tal forma que o custo médio por MW instalado foi de US$ 1,42 milhão. Este valor está alinhado com o custo projetado para um novo investimento que, segundo os entrevistados, está orçado em US$ 1,5-2 milhões/MW.

O *payback* do investimento em uma CTE por parte dos guseiros é estimado em três anos, mesmo sem considerar os elevados preços hoje praticados no mercado livre de energia no Brasil. De acordo com os entrevistados, tão ou mais importante do que o retorno financeiro é o fato de que a qualidade da energia é bem melhor, facilitando as condições operacionais da usina.

Uma usina com capacidade anual de 240 mil toneladas de ferro-gusa tenderia a instalar uma CTE de 5 MW, incorrendo num investimento de US$ 7,5 milhões. São valores bastante inferiores aos requeridos para implantar dois altos-fornos (US$ 30 milhões) ou a correspondente quantidade de fornos retangulares de produção de carvão (US$ 35 milhões). Isto ajuda a explicar a maior difusão relativa da CTE comparativamente aos fornos retangulares. Na mesma direção, o menor guseiro com CTE possui uma capacidade anual de 72 mil toneladas, enquanto o menor guseiro com fornos retangulares tem uma escala de 240 mil toneladas.

5.3 Injeção de finos de carvão pulverizado

A terceira tecnologia relevante é a injeção de carvão pulverizado (PCI). O carvão vegetal, desde a sua fabricação nas carvoarias até o alto-forno, gera finos que podem alcançar 25% em peso. Este resíduo (moinha) é de comercialização incerta e seu preço é muito baixo comparado com o do carvão vegetal. A alternativa encontra-se na injeção desses finos pelas ventaneiras do alto-forno em substituição parcial ao carvão vegetal granulado carregado pelo topo do forno. Essa substituição não pode chegar a 100%, porque o processo necessita de permeabilidade do leito de carvão na parte superior (ALTEROSA, 2004).

Em geral, é possível substituir até 20% do carvão carregado pelo topo do alto-forno. Estima-se que o PCI permita a redução de 15% no consumo de carvão vegetal. Além desse ganho e da melhor utilização de rejeitos (moinha), a tecnologia reduz a variação da temperatura da chama e melhora a taxa de acerto do silício do ferro-gusa. De fato, a quantidade de carvão vegetal é mantida constante e a variação de carbono no forno, se necessária, é realizada por meio dos finos injetados, que entram diretamente na zona de combustão. Assim, a temperatura da chama e o teor de silício se mantêm mais constantes (ALTEROSA, 2004). Por outro lado, o PCI tende a reduzir a produtividade do alto-forno.

De acordo com os entrevistados e pesquisa bibliográfica, constatou-se que treze plantas pertencentes aos guseiros instalaram sistema de PCI: Alterosa, AVG, CBF, Cosipar, Gusa Nordeste, Plantar, Queiroz Galvão (Açailândia e Santa Inês), Siderúrgica Santo Antônio/Sidersa, Usipar, Vetorial (Corumbá e Ribas do Rio Pardo) e Viena. Destas, Cosipar, Sidersa, Usipar e a planta de Santa Inês da Queiroz Galvão encontram-se paralisadas.

De acordo com Assis (2008), a adoção da tecnologia PCI entre os guseiros iniciou-se em 1996 na Viena. O mesmo autor menciona que posteriormente ela foi adotada por Cisam (em 2002 e 2004, que pertence à Ciafal, produtora de aço), Simara (em 2003, hoje controlada pela Sinobras), Sidersa (em 2004, atualmente paralisada), CBF (em 2004), Cosipar (em 2005, paralisada), Calsete (em 2005, hoje controlada pela Gerdau), Gusa Nordeste (em 2006), Plantar (em 2007) e Queiroz Galvão (Açailândia e Santa Inês, ambas em 2007). Portanto, ao se excluir os altos-

fornos que passaram a pertencer às siderúrgicas, sete usinas dos guseiros adotaram PCI no período 2002-2007. Considerando que tal tecnologia foi instalada em treze plantas de guseiros, pode-se afirmar que se verificou um *boom* de investimentos em PCI imediatamente antes da crise econômica mundial. Assis (2008) também afirma que, em 2008, esta técnica encontrava-se difundida em cerca de 15% dos altos-fornos dos guseiros.

Ainda segundo Assis (2008), todas as unidades de PCI que foram implantadas no período 2002-2007 nos guseiros podiam operar com uma taxa máxima de 120 kg de carvão por tonelada de ferro-gusa. Entretanto, o valor mais frequente de injeção tem se situado na faixa de 60 a 80 kg por tonelada de ferro-gusa nos guseiros, contra uma taxa de 140 kg praticado nas usinas integrada a carvão vegetal. Para taxas acima de 60 kg de finos por tonelada de ferro-gusa, usualmente é necessário também injetar oxigênio.

A estimativa, realizada por este autor, é que a capacidade conjunta das treze empresas que instalaram PCI alcança 4,4 milhões de toneladas de ferro-gusa, ou seja, 31% do setor. Estas companhias fabricam 44% do ferro-gusa do segmento. Assim, em termos de difusão, esta tecnologia encontra-se numa posição intermediária entre os fornos retangulares e a CTE.

De acordo com os entrevistados, o preço de implantação de um sistema de PCI com capacidade para abastecer dois altos-fornos com capacidade conjunta de 240 mil toneladas anuais é de US$ 3,3 milhões. Este valor não leva em conta os investimentos em ativos florestais. Considerando os preços atuais de carvão vegetal granulado e da moinha e uma taxa de injeção de finos de 40 a 55 kg por tonelada de ferro-gusa (sem injeção de oxigênio), o *payback* foi estimado entre 1,5 e 2,5 anos. Trata-se de um retorno considerável, para um volume de capital relativamente pequeno.

A usina com a menor capacidade instalada que adotou PCI foi a Sidersa, atualmente paralisada, que operava uma planta de 156 mil toneladas anuais. Logo em seguida, aparecem CBF e Plantar, ambas com escala anual de 240 mil toneladas, o que parece se constituir no tamanho mínimo eficiente para adoção de fornos retangulares e de PCI.

5.4 Sinterização

Outra tecnologia importante e madura, porém pouco difundida no parque guseiro brasileiro, é a sinterização. Esta planta destina-se à produção de sínter, que corresponde a um aglomerado de finos de minério de ferro, fundentes (calcário e areia), combustível (finos de carvão e/ou coque) e aditivos (corretivos para aproveitamento de resíduos de recirculação). Resumidamente, trata-se de uma tecnologia desenvolvida com o objetivo de aproveitar finos de minérios e resíduos industriais. A sinterização, além de aumentar a produtividade do empreendimento, reduz o consumo de carvão vegetal em 10% (VALLADARES, 2011).

De acordo com Madias (2014), existem três variantes de miniplantas de sinterização instaladas pelos guseiros brasileiros: plantas continuas lineares, plantas semicontínuas com sinterização em panelas e plantas do tipo carrossel. Foram identificadas apenas sete usinas com sinterizações: Cosimat, Cosipar, Ibérica, Sidepar, Usimar, Usipar (que possui altos-fornos a coque) e Viena. Destaque-se que Cosipar, Usipar e Usimar encontram-se paralisadas.

As plantas da Cosimat e da Usimar empregam tecnologia SKP (processo semi-contínuo, com panelas dispostas em arranjo do tipo carrossel), fornecida pela Minitec. Juarez Linhares desenvolveu a sinterização em panela aplicada na Viena, que é abastecida com minério de ferro próprio de uma mina localizada em Tocantins e com minério da Vale. A planta (processo em esteira e contínuo) da Sidepar entrou em operação em 2012, com uma capacidade de 350 mil toneladas. Ela utiliza mineral proveniente de uma mina própria, localizada no Mato Grosso (MADIAS, 2014). Esta é a sinterização mais recente do segmento guseiro. A sinterização da Ibérica, baseada em grandes panelas, possui uma capacidade de 216 mil toneladas.

A estimativa, realizada por este autor, é que a capacidade conjunta das sete empresas alcança 2,9 milhões de toneladas de ferro-gusa, isto é, 21% do setor. Estas companhias produzem 20% do ferro-gusa do setor, ratificando que é a sinterização é menos difundida que CTE e PCI. De acordo com os entrevistados, a primeira sinterização inaugurada foi a da Cosimat, sendo sucedida pela da Ibérica (em 2004).

A baixa difusão da sinterização é explicada por dois motivos principais: a) a diferença de preços entre os minérios finos e granulados não era suficientemente atrativa para compensar o investimento em uma sinterização; b) havia grande disponibilidade de minério de alta qualidade, com alto teor de ferro contido. Em particular, esta última situação se alterou, não apenas pela diminuição do teor, mas também pelo incremento da proporção disponível de finos. Isto tende a estimular os guseiros a implantar alguma tecnologia de aglomeração do minério de ferro no futuro.

É importante também mencionar que a racionalidade de implantação de uma sinterização depende muito do tipo de minério disponível e da forma de comercialização do minério. Os guseiros localizados em Minas Gerais e Espírito Santo dispõem de alternativas mais numerosas de fornecedores e compram cada vez mais minérios com menor granulometria, o que tende a favorecer um aumento do número de sinterizações. A própria Viena pretende construir uma sinterização na sua usina de Sete Lagoas (MG), a antiga Itatiaia, que foi adquirida em 2009, mas que ainda não retomou suas atividades. No polo de Carajás, a oferta de minério de ferro é muito concentrada na Vale, que também fornece a logística. Como o fino de minério é devolvido à Vale, que o comercializa no mercado internacional, há menor estímulo à construção de uma sinterização nessa região. No Mato Grosso do Sul, com maior disponibilidade de minério de ferro granulado de boa qualidade, os incentivos à adoção desta tecnologia se fazem ainda menos presentes.

De um modo geral, os entrevistados foram muito convergentes acerca da premência da difusão das outras três tecnologias já analisadas (fornos retangulares, CTE e PCI). Foi praticamente unânime que os guseiros precisam adotá-las. Por outro lado, a opinião sobre pequenas sinterizações foi mais divergente. Alguns apontaram os benefícios típicos do equipamento, como um grande reciclador. Já outros afirmaram que sinterizações de menor porte dificilmente fazem uso dos melhores controles, acabando por acarretar efeitos colaterais indesejáveis (principalmente do ponto de vista ambiental, pois é uma das atividades mais poluentes no caso de usinas integradas a coque). Na mesma direção, alguns entrevistados indicaram que a escala ótima mínima de uma sinterização seria superior ao tamanho típico dos guseiros. Eles alegaram também que a eficiência operacional de algumas sinterizações em operação era insatisfatória.

Guardada a controvérsia acima apontada, de acordo com os entrevistados, seria possível construir uma sinterização com capacidade de 30 mil toneladas anuais, mas em geral somente valeria a pena a partir de uma escala de 60 mil toneladas. De acordo com os entrevistados, o custo de instalação varia entre US$ 30 e US$ 70 por tonelada de sínter produzido. Na verdade, este foi a tecnologia que apresentou a maior variação quanto à estimativa de investimento, o que pode ser explicada por diferentes opções quanto à complexidade do equipamento, em particular no que tange ao sistema de controle de emissões de particulados. Nesse contexto, adotou-se a referência de US$ 50 por tonelada de sínter produzido. No caso de uma usina com capacidade de 240 mil toneladas de ferro-gusa e com 50% de sínter na carga do alto-forno, a escala seria equivalente a 192 mil toneladas, perfazendo algo em torno de US$ 9,6 milhões. O *payback* estimado é de 3 a 4,5 anos. De todo modo, a sinterização parece ser um investimento que não se aplica à realidade (necessidade) de todos os guseiros.

Ainda no que se refere ao aproveitamento de coprodutos, vários guseiros possuem plantas de moagem de escória granulada. Em Sete Lagoas (Minas Gerais), uma lista talvez incompleta consiste de: AVG, City Gusa, Cosimat, Da Terra, Santa Marta (Sama), Siderpam e Sidermin. Este também é o caso da usina de Corumbá, da Vetorial. A Votorantim chegou a implantar uma usina de moagem de escória na área de Usipar, em Barcarena (Pará). Entretanto, em função da paralização completa das atividades da Usipar, a Votorantim está comprando escória de outras fontes.

Uma situação peculiar é a da Gusa Nordeste, que constituiu uma *joint-venture* 50%-50% com a companhia espanhola Cementos Tudela Veguín. A empresa, denominada de Cimento Verde do Brasil, corresponde a uma verticalização, pois ao invés de vender a escória, ela a transforma em cimento, operação que requer a importação de clínquer. As atividades se iniciaram em maio de 2011, com capacidade anual de apenas 60 mil toneladas anuais. Atualmente, tal escala foi quintuplicada Aparentemente, estes são foi a única experiência de um guseiro que se engajou neste tipo de integração vertical.

6 PROJEÇÕES DAS EMISSÕES SETORIAIS DE GEE NO BRASIL ATÉ 2020

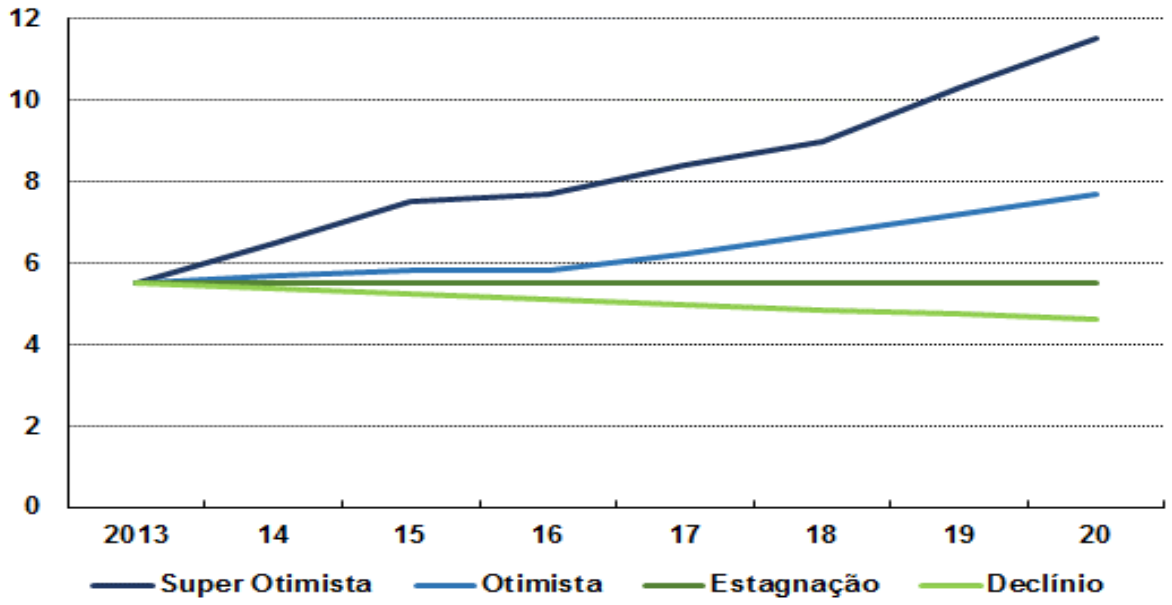
6.1 Cenários de produção

Antes de discutir as projeções de emissões setoriais de GEE do segmento guseiro faz-se necessário abordar os cenários de produção. Nesse sentido, é interessante resgatar os cenários de produção propostos por CGEE (2014). O cenário-base consiste do incremento da produção nacional de ferro-gusa a carvão vegetal de 7,8 milhões de toneladas em 2013 para 14,8 milhões de toneladas em 2020, perfazendo uma taxa anual média de crescimento de 9,6%. Por sua vez, no cenário conservador, a produção alcançaria 11,0 milhões de toneladas, resultando num incremento de 5,0% ao ano.

No cenário-base do CGEE (2014), o volume de produção dos guseiros passaria de 5,5 milhões de toneladas em 2013 para 11,5 milhões de toneladas em 2030, denotando uma taxa anual de crescimento de 11,1%. No cenário conservador, o volume atingiria 7,7 milhões de toneladas em 2020, acarretando uma taxa anual de crescimento de 4,9%. Com base nas informações apresentadas nos capítulos precedentes deste relatório e nas entrevistas, conclui-se que os dois cenários do CGEE são por demais otimistas. Vários entrevistados afirmaram que “a era de ouro do ferro-gusa já passou”, no sentido de que o setor foi muito lucrativo no passado, mas é remota a possibilidade de voltar a apresentar resultados financeiros muito positivos.

Tendo em vista essas considerações, neste relatório preferiu-se adotar quatro cenários de produção: a) “super otimista”, que corresponde ao cenário-base do CGEE; b) “otimista”, relativo ao cenário conservador do CGEE; c) “estagnação”, pressupondo a manutenção do volume de produção dos guseiros; d) “declínio”, com queda anual média de 2,5%, encerrando a série em 2020 com 4,6 milhões de toneladas (Gráfico 16).

Gráfico 15: Cenários de produção dos guseiros, 2013-2020 (milhões de toneladas)



Fonte: CGEE (2014) e elaboração própria

6.2 Cenário de emissão de GEE

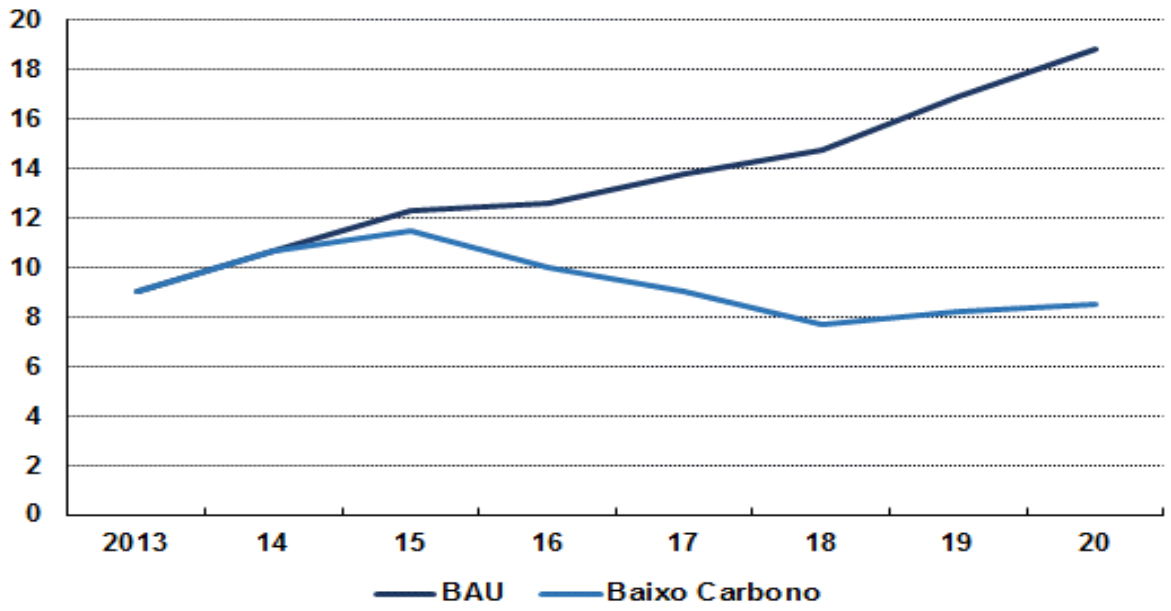
Como já discutido, os guseiros produziram 5,6 milhões de toneladas anuais de ferro-gusa no último triênio (2011-2013). Reproduzindo as premissas adotadas por CGEE (2014), estimou-se que foram emitidos 9,2 milhões de toneladas anuais de CO_2eq para a fabricação de carvão vegetal correspondente. Este resultado é principalmente influenciado pelo RG. No caso de um RG de 26% (que é o padrão típico dos guseiros, segundo CGEE, 2014), são lançados na atmosfera 78 kg de gás metano, o que corresponde a 1,638 tonelada de CO_2eq por tonelada de ferro-gusa. Este será considerado como cenário *Business as Usual* (BAU) em termos de emissão, a ser combinado com os quatro cenários de produção.

Das quatro tecnologias discutidas no capítulo anterior – fornos retangulares de produção de carvão vegetal, centrais termoelétricas, injeção de finos de carvão e sinterização –, a primeira (fornos retangulares e outras técnicas de carbonização mais eficientes) é aquela que possui maior impacto sobre a emissão de GEE, razão pela qual será priorizada no cenário de baixo carbono. Reproduzem-se neste estudo

as premissas do estudo do CGEE (2014), que assume os seguintes RG para os guseiros: 26% (em 2014), 27% (em 2015), 29% (em 2016), 31% (em 2017), 33% (em 2018), 33,5% (em 2019) e 34% (em 2020). Ao se considerar que o RG atual das usinas integradas é de 32% e que o limite teórico é de 42% (em condições normais de trabalho), a referida evolução do RG para os guseiros pode ser compreendida como otimista.

O Gráfico 16 apresenta o primeiro cenário de produção, combinado com os dois cenários de emissão. No caso "super otimista BAU", as emissões dos guseiros passariam de 9,0 milhões de toneladas de CO_2eq em 2013, para 18,9 milhões de toneladas em 2020. Todavia, no "super otimista baixo carbono", o valor final seria de 8,5 milhões de toneladas de CO_2eq, resultando numa retração de 5,5% frente ao volume inicial.

Gráfico 16: Emissões na produção de carvão vegetal empregado na fabricação de ferro-gusa pelos guseiros, conforme cenário super otimista de produção (milhões de toneladas de CO_2eq)

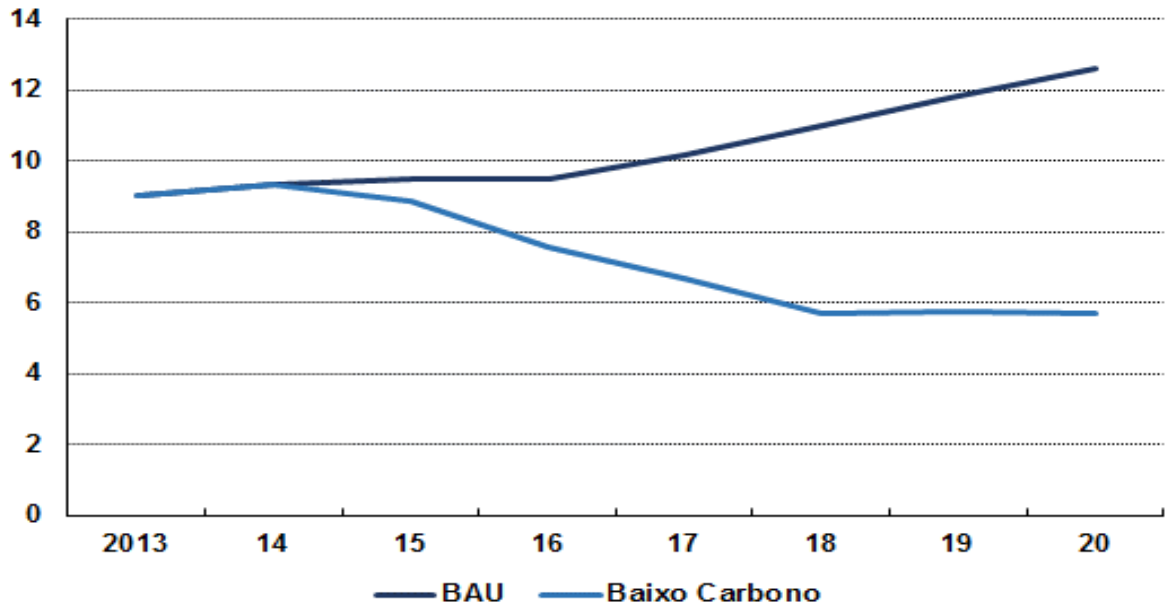


Fonte: elaboração própria

Supondo o cenário “otimista BAU”, as emissões de CO_2eq para a produção de carvão vegetal consumido pelos guseiros alcançariam 12,6 milhões de toneladas em 2020, enquanto o valor para o “otimista baixo carbono” seria de 5,7 milhões de toneladas (Gráfico 17).

Gráfico 17: Emissões na produção de carvão vegetal empregado na fabricação de ferro-gusa pelos guseiros, conforme cenário otimista de produção

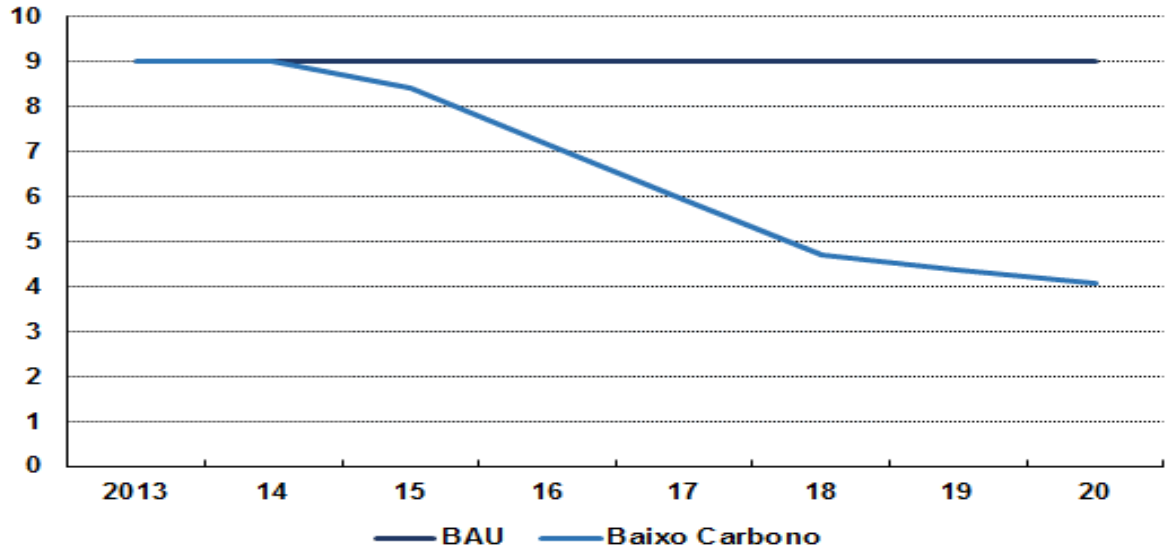
(milhões de toneladas de CO_2eq)



Fonte: elaboração própria

O Gráfico 18 mostra que, no cenário “estagnação BAU”, por definição, o nível de emissões é mantido constante ao nível de 9,0 milhões de toneladas de CO_2eq. Já o cenário “estagnação baixo carbono” indica que tais emissões se reduziriam para 4,1 milhões de toneladas de CO_2eq em 2020, resultando numa queda de 55% comparativamente ao valor inicial.

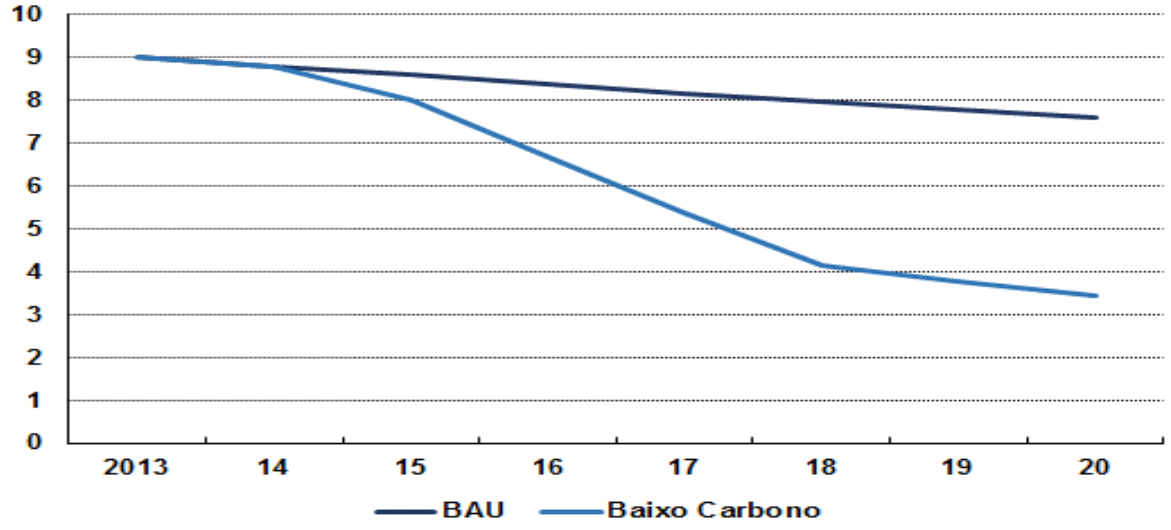
Gráfico 18: Emissões na produção de carvão vegetal empregado na fabricação de ferro-gusa pelos guseiros, conforme cenário estagnação de produção (milhões de toneladas de CO_2eq)



Fonte: elaboração própria

O Gráfico 19 registra que, no cenário “declínio BAU”, o nível de emissões retrocederia para 7,6 milhões de toneladas de CO_2eq em 2020, enquanto no cenário “declínio baixo carbono”, a queda é ainda mais acentuada, finalizando em 3,4 milhões de toneladas de CO_2eq.

Gráfico 19: Emissões na produção de carvão vegetal empregado na fabricação de ferro-gusa pelos guseiros, conforme cenário declínio de produção (milhões de toneladas de CO_2eq)



Fonte: elaboração própria

Analisando os últimos quatro gráficos conjuntamente, observa-se uma substancial diferença no que tange às emissões de anuais de CO_2eq para a fabricação de carvão vegetal consumido pelos guseiros. De fato, os valores variam de 3,4 milhões de toneladas anuais no cenário “declínio baixo carbono” até 18,9 milhões de toneladas anuais no cenário “super otimista BAU”. Portanto, uma conclusão importante é a existência de um amplo espectro entre os mencionados valores, o que aponta para um considerável espaço de manobra para políticas públicas e para as estratégias empresariais.

Apesar de terem sido apresentadas, oito alternativas combinando nível de produção e RG, deve-se reconhecer que eles não esgotam as possibilidades. Por conta disto, resolveu-se elaborar uma análise de sensibilidade, que combina o nível de produção e RG em 2020 (Tabela 4). Por exemplo, se a produção se mantiver em 5,5 milhões de toneladas de ferro-gusa até o final da década e o RG aumentar para 30%, o referido nível de emissões seria de 6,5 milhões de toneladas. Esta tabela também ajuda no planejamento “de trás para frente”: caso se tenha uma estimativa de produção de ferro-gusa e deseje-se alcançar um determinado nível de emissões, é possível verificar qual é o RG que é necessário para atingir a meta.

Tabela 4: Análise de sensibilidade entre a produção de ferro-gusa e o rendimento rendimento gravimétrico (RG) para determinação do nível de emissões na produção de carvão vegetal consumido na fabricação de ferro-gusa pelos guseiros (milhões de toneladas de CO_2eq)

		Produção (Mt)					
		4,0	5,5	7,0	8,5	10,0	11,5
	35	2,5	3,5	4,4	5,3	6,3	7,2
	34	3,0	4,1	5,2	6,3	7,4	8,5
	33	3,4	4,7	6,0	7,3	8,5	9,8
	32	3,9	5,3	6,8	8,2	9,7	11,1
RG (%)	31	4,3	5,9	7,5	9,2	10,8	12,4
	30	4,8	6,5	8,3	10,1	11,9	13,7
	29	5,2	7,2	9,1	11,1	13,0	15,0
	28	5,7	7,8	9,9	12,0	14,2	16,3
	27	6,1	8,4	10,7	13,0	15,3	17,6
	26	6,6	9,0	11,5	13,9	16,4	18,9

Fonte: elaboração própria

No capítulo anterior foram examinadas as tecnologias mais importantes para a modernização dos guseiros. Neste capítulo, concedeu-se especial atenção à questão do RG, que depende dos tipos de fornos de produção de carvão vegetal. Seja no caso desta tecnologia, seja no das três demais, não existem obstáculos técnicos e regulatórios relevantes, apenas econômicos. Assim, no próximo capítulo, são discutidos os custos financeiros relativos à adoção das mencionadas tecnologias.

7 Diretrizes de uma política setorial para a transição rumo à Economia de Baixo Carbono

O setor guseiro não vive um bom momento em termos de volume de vendas e desempenho financeiro. Convivendo com uma elevada ociosidade e sem perspectivas de recuperação acentuada da produção, a capacidade instalada setorial vem regredindo. É raro o investimento em novos altos-fornos, sendo uma notória exceção é o que a Gusa Nordeste está construindo em Açailândia, com previsão de término no final de 2015. O novo equipamento objetiva substituir outro já em funcionamento, mas resultará na ampliação da capacidade da usina de 360 para 480 mil toneladas anuais. No entanto, cabe destacar que este investimento visa ao abastecimento da aciaria que o Grupo Ferroeste está construindo na mesma localidade e não propriamente à venda de ferro-gusa no mercado.

Uma característica importante do setor guseiro é que custo de manutenção de altos-fornos paralisados é relativamente baixo. Com isto, as empresas podem esperar uma retomada das vendas e não realizar definitivamente a perda do capital investido. Num contexto de recuperação, os custos para retomar as atividades não são consideráveis nem tampouco existe um risco de defasagem tecnológica, pois não se trata de uma atividade em que a fronteira tecnológica se mova rapidamente.

Tendo em vista estas considerações, pode-se afirmar que não existem barreiras tecnológicas e regulatórias relevantes à melhoria do padrão técnico setorial. O problema se resume às questões econômicas, em especial o fato de os incentivos ao investimento em modernização são pequenos, devido ao baixo dinamismo de mercado e à conduta dos concorrentes. Em outras palavras, não existe uma premência por inversões, pois isto não é condição *sine qua non* para a permanência no setor.

Além dos reduzidos estímulos à inovação, cabe também destacar que o setor guseiro compete com a indústria de celulose em relação ao consumo da madeira. Como apontado anteriormente, a proporção dos investimentos florestais para que um guseiro tenha autossuficiência em carvão vegetal chega a ser quatro ou cinco vezes o valor do investimento em um alto-forno. Portanto, corre-se um risco considerável de que guseiros prefiram vender seus ativos florestais para as fabricantes de celulose. Se não bastasse isto, os preços atuais do preço de carvão

vegetal estão em níveis tão baixos que não compensam a produção deste carvão por parte dos guseiros. Alguns desses, mesmo possuindo maciços florestais, estão preferindo comprar no mercado a utilizar seus próprios recursos.

Após esta breve contextualização, a seguir são abordadas as diretrizes de uma política setorial para a transição rumo à economia de baixo carbono.

Carvão vegetal

O recente relatório do CGEE (2014) é exaustivo na análise do uso do carvão vegetal na indústria do ferro-gusa, listando uma série de prioridades, tais como:

a) Melhoria da produtividade das florestas plantadas;
b) Aprimoramento da eficiência da conversão da madeira em carvão vegetal no processo de carbonização;
c) Redução do consumo específico de carvão vegetal na produção de ferro-gusa.

A partir deste diagnóstico, o CGEE (2014) apresenta sete recomendações de políticas:

a) Criação de linhas de financiamento de baixo custo para implantação de balanças nas unidades de produção de carvão vegetal para cálculo do rendimento gravimétrico;
b) Implantação de ferramentas de controle do processo de carbonização da madeira para aumento de eficiência;
c) Implantação de planos para treinamento das equipes de produção de carvão vegetal visando à melhoria de eficiência;
d) Criação de linhas específicas de financiamento de baixo custo para desenvolvimento de queimadores de fumaças da carbonização;
e) Mapeamento de estoque de florestas plantadas com possibilidade de uso para carvão vegetal, bem como o estudo de incentivo para o setor e formação de cooperativas ou associações regionais. Identificação de potenciais de melhoria dos plantios para garantir melhores produtividades na colheita.
f) Criação de linhas especificas de financiamento de baixo custo para desenvolvimento de secadores de madeira;

g) Criação de linhas especificas de financiamento de baixo custo para implantação de unidades industriais de tecnologias modernas do processo de carbonização – validação do custo benefício.

As mencionadas recomendações são muito pertinentes e parece ser desnecessário acrescentar mais sugestões, até porque o estudo do CGEE (2014) reuniu alguns dos mais importantes especialistas do país. Todavia, neste relatório advogou-se que os cenários de produção lá adotados eram bastante otimistas, razão pela qual foram adicionados outros dois. Assim, decidiu-se estimar a necessidade de florestas plantadas pelos guseiros, reproduzindo os mesmos coeficientes técnicos adotados pelo CGEE (2014), para garantir a comparabilidade, conforme se observa na Tabela 5.

Tabela 5: Déficit de florestas plantadas pelos guseiros, 2014-2020 (mil hectares)

	Super Otimista		Otimista		Estagnação		Declínio	
	BAU	BC	BAU	BC	BAU	BC	BAU	BC
2014	557	557	421	417	387	387	364	364
2015	595	554	332	300	285	253	244	214
2016	504	391	239	159	198	119	143	70
2017	480	313	205	81	118	7	53	-47
2018	457	252	195	39	58	-67	-14	-125
2019	513	271	189	15	10	-119	-69	-180
2020	555	291	184	6	-31	-158	-117	-223
Total	3.662	2.629	1.765	1.017	1.025	422	604	71

Fonte: CGEE (2014) e elaboração própria

Na Tabela 5, os déficits de florestas plantadas pelos guseiros, nos cenários “super otimista baixo carbono” e “otimista baixo carbono” foram elaborados por CGEE (2014). As outras seis estimativas foram realizadas por este autor, adotando as mesmas premissas, mas variando o volume de produção de ferro-gusa. No caso dos cenários “BAU”, em todas as situações, o RG foi mantido em 26%. Cabe mencionar, no entanto, a longa maturação dos investimentos florestais, pois as decisões atuais só resultam em capacidade de produção daqui a seis anos.

Pode-se concluir que a necessidade dos guseiros investirem em florestas plantadas varia consideravelmente conforme os cenários. Num extremo, no “super otimista BAU”, o valor é de 3,7 milhões de hectares até 2020. Noutro, no “declínio

baixo carbono”, são requeridos apenas 71 mil hectares para todo o período, embora sejam necessários 648 mil hectares até 2016 e “desinvestimento” a partir de 2017. No caso do “estagnação BAU”, o déficit é 1,0 milhão de hectares até 2020. Nesse sentido, é interessante indicar que, nos últimos sete anos, os guseiros associados ao Sindifer, que se restringe ao Estado de Minas Gerais, plantaram 156 mil hectares de florestas e os projetos de fomento florestal atingiram outros 122 mil hectares. Desta forma, o volume agregado foi de 278 mil hectares, o que mostra o enorme desafio que o setor se defronta nos próximos anos.

A partir da Tabela 5 é possível também estimar o valor do investimento em florestas plantadas. O problema é que o preço da terra varia consideravelmente entre as diversas regiões, dependendo inclusive da distância frente aos polos guseiros. Constatou-se uma considerável diferença de estimativas entre os entrevistados, o que pode ser atribuído ao fato de estarem expostos a situações distintas. Com o objetivo de apresentar uma ordem de grandeza, adotou-se um custo da floresta plantada (para o primeiro ciclo de produção) de R$ 12 mil por hectare. Portanto, para se adequar ao cenário “estagnação BAU” seriam necessários R$ 12,3 bilhões (ou US$ 5,1 bilhões), o que mostra a grande magnitude no esforço que precisa ser empreendido pelo setor. Alternativamente, no cenário “estagnação baixo carbono”, o valor em florestas plantadas seria de US$ 2,1 bilhões.

Para que os cenários “baixo carbono” se concretizem é fundamental melhorar o RG, além de melhoria da produtividade dos clones. Este autor estimou que as nove usinas que já utilizam os fornos retangulares de carvão representam 24% da capacidade instalada do setor. Estas mesmas companhias produzem cerca de 41% do ferro-gusa do segmento. Contudo, é raro que elas façam uso exclusivamente desta tecnologia. Assim, a difusão corresponderia a 16% da produção dos guseiros. Apesar do *payback* ser rápido (2,5 a 4 anos), o investimento em fornos retangulares (e outras técnicas que proporcionem maior RG) precisa ser articulado às inversões em florestas próprias, o que alonga o período de retorno, restringindo a difusão dos mencionados fornos. Uma análise mais rigorosa da questão exigiria conhecimento da situação de ativos florestais por guseiro, que é uma informação não disponível, pelo menos não publicamente.

Levando em conta a limitação acima indicada, procurou-se investigar quanto custaria para que a totalidade do ferro-gusa em 2020 fosse produzida em fornos retangulares, que de antemão é uma possibilidade muito remota de se concretizar.

Em termos de ordem de grandeza, seriam necessários os seguintes investimentos, em ordem decrescente: “super otimista” (US$ 1,55 bilhão), “otimista” (US$ 995 milhões), “estagnação” (US$ 674 milhões) e “declínio” (US$ 546 milhões). Estes valores podem ser menores, pois uma difusão mais acelerada proporcionaria economias de escala, que não são consideradas nesta estimativa.

Resumidamente, a prioridade crucial do setor, no âmbito do paradigma de baixo carbono, é investir em florestas plantadas e em fornos retangulares, conforme detalhado no Quadro 5, que examina o cenário estagnação, considerado o mais provável por este autor.

Quadro 5: Prioridade para investimentos em florestas e fornos retangulares, considerando cenário estagnação

Metas	100% de florestas plantadas em 2020 100% de fornos retangulares em 2020
Potencial de redução de emissão de GEE	55% em 2020
Investimentos necessários	US$ 2,1 bilhões em florestas plantadas US$ 674 milhões em fornos retangulares
Cronograma de implantação	US$ 3,8 bilhões em florestas plantadas até 2017, depois desinvestimento US$ 96 milhões anuais em fornos retangulares
Atores envolvidos	Guseiros, governo federal e BNDES
Proposta de arcabouço institucional	Concessão de linhas de financiamento para investimentos em florestas próprias e fornos retangulares (ou outras tecnologias que proporcionem maior rendimento gravimétrico)
Monitoramento e governança	Levantamento anual de investimento em florestas plantadas, uso de madeira própria, difusão de fornos retangulares e rendimento gravimétrico

Fonte: elaboração própria

Central termoelétrica, injeção de finos de carvão e sinterização

Acredita-se que a maior contribuição deste relatório tenha sido levantar a difusão de tecnologias modernizadoras (fornos retangulares, central termoelétrica,

PCI e sinterização) nos guseiros. Diferentemente da questão do carvão vegetal (que diz respeito a uma etapa anterior), as três últimas tecnologias são aplicadas diretamente na usina. Apesar de serem muito importantes para a melhoria da eficiência produtiva, elas não têm a mesma relevância que a carbonização em termos de emissão de GEE. Mesmo assim, podem ser interpretadas como tecnologias auxiliares para um paradigma de baixo carbono.

Por outro lado, como ressaltado, é considerável o número de usinas que empregam mais que uma das quatro tecnologias modernizadoras. É razoável assumir que existem economias de escopo pelo emprego conjunto dessas técnicas. Por exemplo, como consequência da maior utilização de fornos retangulares, aumenta-se a geração de finos, o que favorece (mas não determina) a adoção de PCI. De todo modo, mesmo que as interações não sejam tão diretas, o que se constatou é que existe uma “elite” de guseiros no Brasil com escala maiores e precursoras na difusão dessas tecnologias. Nesse contexto, a segunda prioridade setorial deveria ser ampliar tal difusão. Além disso, a visão predominante dos entrevistados é que os guseiros que não adotarem nenhuma das quatro tecnologias modernizadoras não conseguirão permanecer no mercado a longo prazo.

Não existe uma ordem necessária de implantação das três tecnologias aqui discutidas. Contudo, com base no Quadro 5 e na opinião dos entrevistados, a CTE tenderia ser a primeira a ser adotada, pois se mostra viável até para usinas de pequeno porte (abaixo de 120 mil toneladas anuais). De fato, a construção de uma CTE de 5 MW em planta de 240 mil toneladas anuais de ferro-gusa está orçada em US$ 7,5 milhões. Ademais, o *payback* é estimado em três anos. A melhoria da qualidade da energia é outra vantagem não desprezível.

Este autor estimou que a capacidade dos 16 guseiros que possuem CTE alcança 5,1 milhões de toneladas de ferro-gusa, perfazendo 36% do setor. Estas companhias fabricam 52% do ferro-gusa do setor. Assim, para que este último valor venha alcançar 100% em 2020, são requeridos os seguintes investimentos: “super otimista” (US$ 270 milhões), “otimista” (US$ 151 milhões), “estagnação” (US$ 83 milhões) e “declínio” (US$ 55 milhões). Portanto, aumentar a difusão de CTE é economicamente interessante (montante baixo e rápido retorno), tecnicamente viável (sem obstáculos tecnológicos) e coletivamente satisfatória (no sentido de gerar energia a partir de gás atualmente não aproveitado).

Em relação às estimativas de investimento, cabem duas ressalvas. Primeiro, no cenário “declínio” pressupõe-se que os guseiros que sairão do mercado (ou que sofrerão queda de produção) são aqueles que atualmente não adotam as tecnologias modernizadoras. Segundo, as inversões não consideram eventuais melhorias nas unidades já em operação.

A tecnologia PCI ajuda a melhoria da eficiência produtiva e ambiental, com um custo de inversão bastante modesto. O preço de implantação de um sistema de PCI capaz de abastecer dois altos-fornos com capacidade conjunta de 240 mil toneladas anuais é de US$ 3,3 milhões, com *payback* de 1,5 a 2,5 anos. Como indicado, trata-se de um retorno considerável, para um volume de capital relativamente modesto. Quanto à escala, a tecnologia parece mais propícia para médias e grandes usinas, sendo que as menores usinas em funcionamento que utilizam PCI têm capacidade de 240 mil toneladas anuais.

Este autor estimou que a capacidade conjunta das treze empresas que instalaram PCI alcança 4,4 milhões de toneladas de ferro-gusa, ou seja, 31% do setor. Estas companhias fabricam 44% do ferro-gusa do setor. Desta forma, para que o último valor venha atingir 100% em 2020, são demandados os seguintes investimentos: “super otimista” (US$ 125 milhões), “otimista” (US$ 73 milhões), “estagnação” (US$ 42 milhões) e “declínio” (US$ 30 milhões).

A última tecnologia é a sinterização, com benefícios produtivos e ambientais. Todavia, corre-se o risco de efeitos ambientais adversos, no caso de falta de bons equipamentos de controle. Ademais, não se mostra uma solução apropriada para todas as usinas. No caso de uma usina com capacidade de 240 mil toneladas de ferro-gusa e com 100% de sínter na carga do alto-forno, o investimento giraria em torno de US$ 9,6 milhões, com *payback* de 3 a 4,5 anos.

Este autor estimou que a capacidade conjunta dos sete guseiros que possuem sinterização alcança 2,9 milhões de toneladas de ferro-gusa, isto é, 21% do setor. Estas companhias produzem 20% do ferro-gusa do setor. Para que este valor alcançasse 100% em 2020, são necessários os seguintes investimentos: “super otimista” (US$ 416 milhões), “otimista” (US$ 264 milhões), “estagnação” (US$ 176 milhões) e “declínio” (US$ 141 milhões).

Os valores apresentados no parágrafo anterior foram apenas apresentados com a finalidade de permitir comparações com as inversões estimadas para CTE e PCI. Eles são hipotéticos, não apenas porque não há incentivo financeiro para que

todas as usinas construam sinterizações, mas tampouco as usinas com este equipamento precisam operar com 100% de sínter.

Talvez, à primeira vista, não fosse prudente estabelecer uma meta para a difusão de sinterização. Todavia, a explicitação de um objetivo (mesmo que pouco arrojado) pode servir como indicativo de que a tecnologia também merece atenção. Nesse sentido, a proposta é que o grau de difusão da sinterização corresponda a 33% do setor em 2020, o que exigiria os seguintes desembolsos: “super otimista” (US$ 108 milhões), “otimista” (US$ 58 milhões), “estagnação” (US$ 29 milhões) e “declínio” (US$ 17 milhões). Ressalte-se que a temporalidade de tais investimento tenderia a ocorrer após CTE e PCI, no âmbito de cada usina.

Pode-se, então, afirmar que a prioridade secundária do setor, no contexto do paradigma do baixo carbono, é investir em CTE, PCI e, em menor intensidade, em sinterização, como examinado no Quadro 6.

Quadro 6: Prioridade para investimentos em central termoelétrica, injeção de finos de carvão e sinterização, considerando cenário estagnação

Metas	100% de central termoelétrica em 2020 100% de injeção de finos de carvão em 2020 33% de sinterização em 2020
Potencial de redução de emissão de GEE	Não quantificado diretamente, mas como apoio aos investimentos em florestas plantadas próprias e fornos retangulares
Investimentos necessários	US$ 83 milhões em central termoelétrica US$ 42 milhões em injeção de finos de carvão US$ 29 milhões em sinterização
Cronograma de implantação	Investimento pode ser diluído ao longo do tempo, embora fosse mais coerente que priorizasse a seguinte ordem: central termoelétrica, injeção de finos de carvão e sinterização
Atores envolvidos	Guseiros, governo federal e BNDES
Proposta de arcabouço institucional	Concessão de linhas de financiamento para investimentos nos três tipos de equipamento, que hoje em grande medida já é atendido por Finame
Monitoramento e governança	Levantamento anual de investimento em central termoelétrica, injeção de finos de carvão e sinterização

Fonte: elaboração própria

Referências

ABREU, G. C. (2011). *Estudo da redução das emissões de gases efeito estufa através da utilização da biomassa renovável em substituição parcial ao coque e antracito utilizados no processo de fabricação do sínter*. Guaratinguetá: Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá (Tese de doutoramento);

AÇO BRASIL (2010a). *Relatório de sustentabilidade 2010*. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil;

AÇO BRASIL (2010b). *Proposição de limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos de fontes fixas existentes para a indústria siderúrgica em nível nacional.* Rio de Janeiro: Aço Brasil;

ALTEROSA (2004). *Informativo Siderúrgica Alterosa,* v. 3, n. 7. Pará de Minas: Siderúrgica Alterosa;

ASSIS, C. F. C. (2008). Caracterização de carvão vegetal para sua injeção em altos-fornos a carvão vegetal de pequeno porte. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto (Dissertação de mestrado);

BARRINGTON, C. (2009). Overview of the merchant pig iron market and some current issues. *SBB steel markets North America 2009.* Chicago: Steel Business Briefing;

CGEE (2010). *Siderurgia no Brasil 2010-2025; subsídios para tomada de decisão.* Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE);

CGEE (2014). *Modernização da produção de carvão vegetal: subsídios 2014 ao Plano Siderurgia do MDIC.* Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) (versão preliminar);

DE PAULA, G. M. (2013). “Economia de baixo carbono: Siderurgia”. *Economia de baixo carbono: Avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas.* Ribeirão Preto: Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FEA-RP/USP);

FEAM (2013). *Estimativas de emissões e remoções de gases de efeito estufa do Estado de Minas Gerais.* Belo Horizonte: *Fundação Estadual de Meio Ambiente* (FEAM);

FELICIANO-BRUZUAL, C. & J. A. MATHEWS (2013). BIO-PCI, charcoal injection in blast furnaces: State of the art and economic perspectives. *Revista de metalurgia,* v. 49, n. 6, pp. 458-468;

FROLOV, S. (2014). KOKS Group's member presentation. *IIMA members meeting.* Barcelona: International Iron Metallics Association (IIMA).

GAMBARDELLA, M.F., B.P. OSSENBECK, T.K. LANGTON (2013). *Direct reduced iron: Steel's next megatrend positive for Nucor & fueled by the U.S. shale gas revolution*. New York: J.P. Morgan;

GAINES JR, H.P. & C.M. RAVENSCROFT (2014). Trends, technologies, practice and success: DRI and HBI are here to stay. *XXIX Steel Success Strategies.* New York: American Metal Market e World Steel Dynamics;

HASSAN, A. (2013). Ore-based metallics: overview. *CRU Ryan's Notes metallics meeting.* Miami: CRU e Ryan's Notes;

LEAL NETO, J. (2013). ArcelorMittal Tubarão: política e ações de eficiência energética. *34º Seminário de balanços energéticos globais & 28º encontro de produtores e consumidores de gases industriais.* Vitória: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (ABM);

MADIAS, J. (2014). Desarrollo de tecnologías de reducción y aceración: contribuciones latinoamericanas. *Acero Latinoamericano,* n. 543, pp. 36-46;

MALLARD, A. A. M. (2009). *Avaliação ambiental do setor de siderurgia não-integrada a carvão vegetal do Estado de Minas Gerais*. Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental / Universidade Federal de Ouro Preto (Universidade Federal de Ouro Preto);

MELLO, A. A. A. *et alii* (2009). Competitividade e sustentabilidade ambiental da siderurgia brasileira. MARCOVITCH, J. (coordenador). *Mitigação de gases de efeito estufa: a experiência setorial e regional no Brasil*. São Paulo: Universidade de São Paulo (USP);

MIDREX (2014). *2013 world direct reduction statistics*. Charlotte: Midrex Technologies;

MILLBANK (2007). *Merchant pig iron sees reasons for growth*. London: Steel Business Briefing (SBB Insight, 45);

MINISTRY OF STEEL (2006). *Report of the working group on steel industry for the eleventh five-year plan (2007-2012)*. New Delhi: Ministry of Steel;

MMA (2010). *Plano Setorial de Redução de Emissões da Siderurgia*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (Sumário executivo);

OLIVEIRA, A. C. (2012). Sistema forno-fornalha para produção de carvão vegetal. Viçosa: Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal (Dissertação de mestrado);

PLANTAR (2014). *Projetos de créditos de carbono do Grupo Plantar.* Belo Horizonte: Plantar;

PLUMMER, C. (2014). State of the North American metallics industry. *IIMA members meeting.* Montreal: International Iron Metallics Association (IIMA).

QUEIROZ GALVÃO (2014). *Relatório anual 2013.* Rio de Janeiro: Queiroz Galvão;

SINDIFER (2002). *Anuário estatístico do setor de ferro gusa 2001*. Belo Horizonte: Sindicato da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais (Sindifer);

SINDIFER (2007). *Anuário estatístico do setor de ferro gusa 2006*. Belo Horizonte: Sindicato da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais (Sindifer);

SINDIFER (2014). *Anuário estatístico do setor de ferro gusa 2013*. Belo Horizonte: Sindicato da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais (Sindifer);

TANNERS, T., C.R. BROWN, D. CORR (2013). *DRI and the approaching U.S. steel industry revolution.* New York: Bank of America Merrill Lynch;

TOLOMEO, N. & P. ANTUNES (2014). Brazil's pig iron struggles. *Insight magazine: 2014 global metals trends.* Denver: Platts, pp. 40-41;

VALLADARES, R. K. (2011). Ferro gusa sustentável a carvão vegetal. *2nd CRU's Latin American iron & steel trends conference.* Rio de Janeiro: CRU;

VAN HOEY, M. (2014). Solving overcapacity in the steel industry. *25o. Congresso Brasileiro do Aço.* São Paulo: Instituto Aço Brasil (IABr);

VITAL, M. H. F. & M. A. C. PINTO (2009). Condições para a sustentabilidade da produção de carvão vegetal para fabricação de ferro-gusa no Brasil. *BNDES Setorial,* n. 30, pp. 237 – 297;

WIDNELL, A. (2014). International metallics markets explored. *IIMA members meeting.* Barcelona: International Iron Metallics Association (IIMA).