EBC

Núcleo de Estudos de
Economias de Baixo Carbono

Siderurgia

Prof. Dr. Germano Mendes de Paula

Ribeirão Preto

2012

Equipe de Coordenação do Projeto Economia de Baixo Carbono

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

Coordenação do Modelo de Equilíbrio Geral: Angelo Costa Gurgel

Coordenação SASTEC – Banco de Dados de Tecnologias: Geciane Silveira Porto e Sérgio Kannebley

Coordenação de Estudos Setoriais
Uso do Solo, Pecuária e grãos - Geraldo Bueno Martha Junior e Elísio Contini
Biocombustíveis – André Luis Squarize Chagas
Siderurgia - Germano Mendes de Paula
Alumínio – Clésio Lourenço Xavier
Cimento – Marcelo Pinho
Petróleo e Petroquímico – Eduardo Luiz Machado
Automobilístico e Aeronáutica – Cláudio Ribeiro de Lucinda

Consultores Temáticos: Energia, Eficiência Energética e Tecnologias Verdes
Paulo Seleghim Junior
Oswaldo Baffa

Auxiliares de Coordenação
Beatriz Selan
Gabriela Eusébio

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.

ECONOMIA DE BAIXO CARBONO:
Avaliação de Impactos de Restrições e Perspectivas Tecnológicas

SIDERURGIA

Germano Mendes De Paula

Relatório Final
Dezembro de 2012

INTRODUÇÃO

Esta é a Nota Técnica Final referente à análise da indústria siderúrgica 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 três fontes principais de informações: a) fontes bibliográficas; b) questionário respondido por profissionais que são afiliados à divisão de meio ambiente da Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (ABM); c) entrevistas, com as seguintes empresas/organizações e profissionais:

- ArcelorMittal Longos (José Otávio Franco, Luciana Corrêa Magalhães, Henrique Savaget Chaves Silva e Sandro de Oliveira Almada);
- ArcelorMittal Tubarão (Guilherme Correa Abreu);
- Aperam (Glautierre Paiva Gomes);
- Gerdau (Leonardo São Paulo Sambaquy);
- Instituto Aço Brasil (Marco Polo de Mello Lopes e Cristina Yuan);
- Lhoist – Bélgica (José Henrique Noldin Júnior);
- RS Consultants (Dr. Ronaldo Santos Sampaio);
- Sinobras (Clayton Labes e Junimara Chaves);
- Sustenthabil Soluções Ambientais (Rubens Oliveira);
- ThyssenKrupp Companhia Siderúrgica do Atlântico (Luiz Claudio Ferreira Castro);
- Universidade de São Paulo (Prof. Dr. Cyro Takano);
- Usiminas (Pedro Luis Pereira Ribeiro);
- V&M do Brasil (Alexandre Valadares Mello e Felipe Ribeiro Curado Fleury);
- Viena Siderúrgica (Rodrigo Kaukal Valladares);
- Villares Metals (Paula Neri);
- Votorantim Siderurgia (Sérgio Alencar de Souza).

O autor agradece à ABM, nas pessoas do Sr. Horacidio Leal Barbosa Filho e Sra. Raquel Maria Sturlini, por ter cedido o banco de endereços eletrônicos acima mencionado. Também agradece a valiosa contribuição dos profissionais que responderam ao questionário (apresentado no Anexo 1) e das empresas que foram entrevistadas (cujo roteiro encontra-se no Anexo 2). Os questionários e 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.

Esta Nota Técnica é dividida em quatro capítulos. O primeiro aborda a indústria siderúrgica mundial, com o objetivo de fornecer uma caracterização setorial no que se refere à estrutura produtiva, volume de produção, comércio exterior, estrutura de mercado, fatores críticos de competitividade e dinâmica tecnológica. O segundo capítulo examina as mesmas questões para a indústria siderúrgica brasileira. O terceiro capítulo investiga as mudanças climáticas, institucionais e tecnológicas em consonância com o paradigma da economia de baixo carbono. O quarto capítulo analisa os impactos das mudanças institucionais e tecnológicas sobre a siderurgia brasileira, além de sintetizar as principais conclusões.

CAPÍTULO 1:
QUADRO INTERNACIONAL

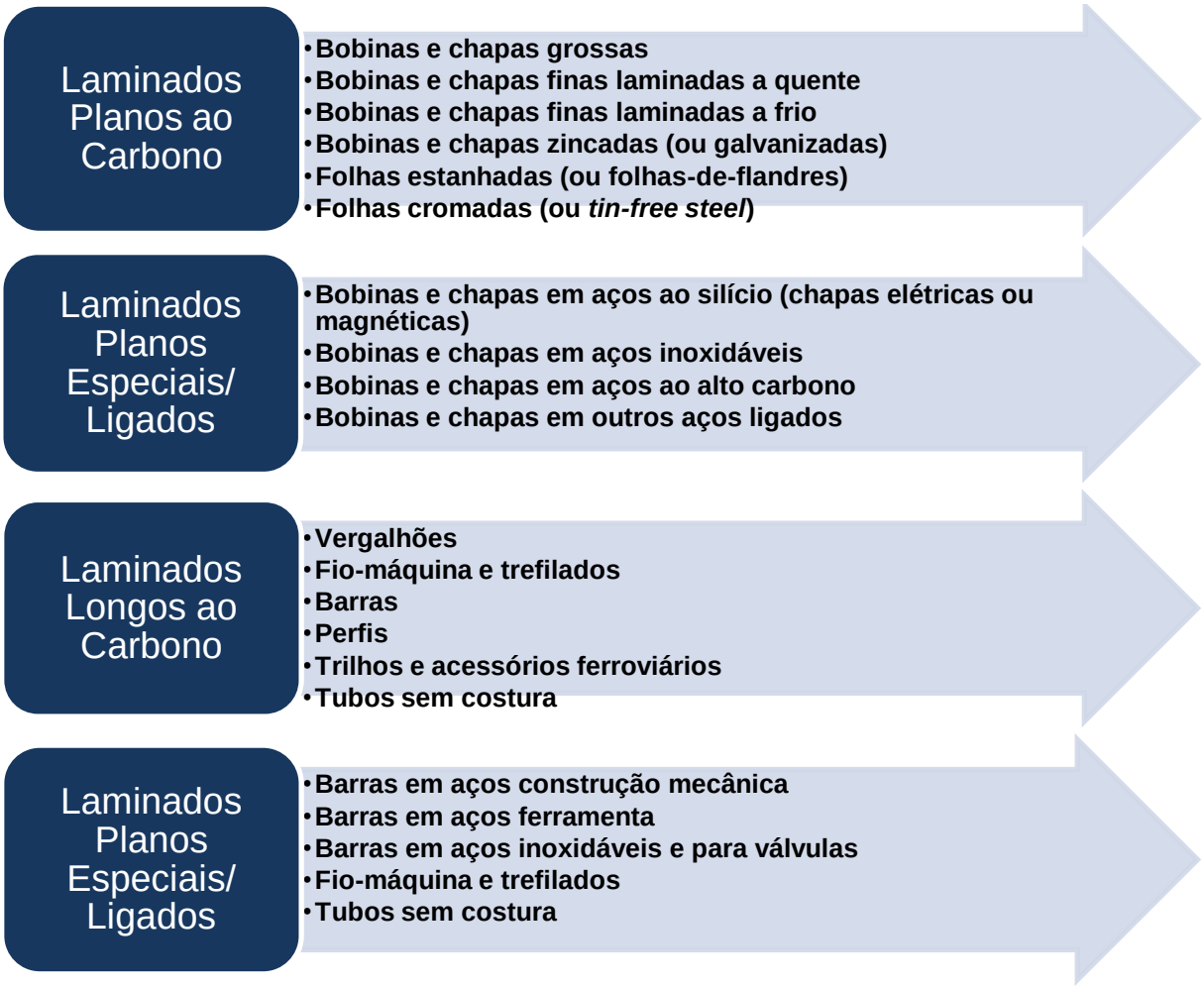
1.1. Caracterização setorial

1.1.1. Principais produtos, segmentação de mercado e consumidores

Os aços são classificados em semiacabados ou acabados (laminados). Os semiacabados (placas, blocos e tarugos) são consumidos diretamente pelas empresas siderúrgicas para produzir os laminados. Além disso, os semiacabados são demandados, em menor intensidade, por fabricantes inseridos na cadeia metal-mecânica.

Os laminados, de modo análogo, podem e são utilizados diretamente por consumidores finais, nos mais diferentes usos. Eles se dividem em quatro segmentos principais: laminados planos ao carbono, laminados planos especiais/ligados, laminados longos ao carbono e laminados especiais/ligados. Os laminados longos, de acordo com sua denominação, se diferenciam por sua conformação física, com um acentuado predomínio da dimensão comprimento sobre as demais, como largura e espessura (PINHO, 1993). A Figura 1.1 apresenta os produtos mais representativos de cada segmento.

Figura 1.1: Segmentos e produtos siderúrgicos



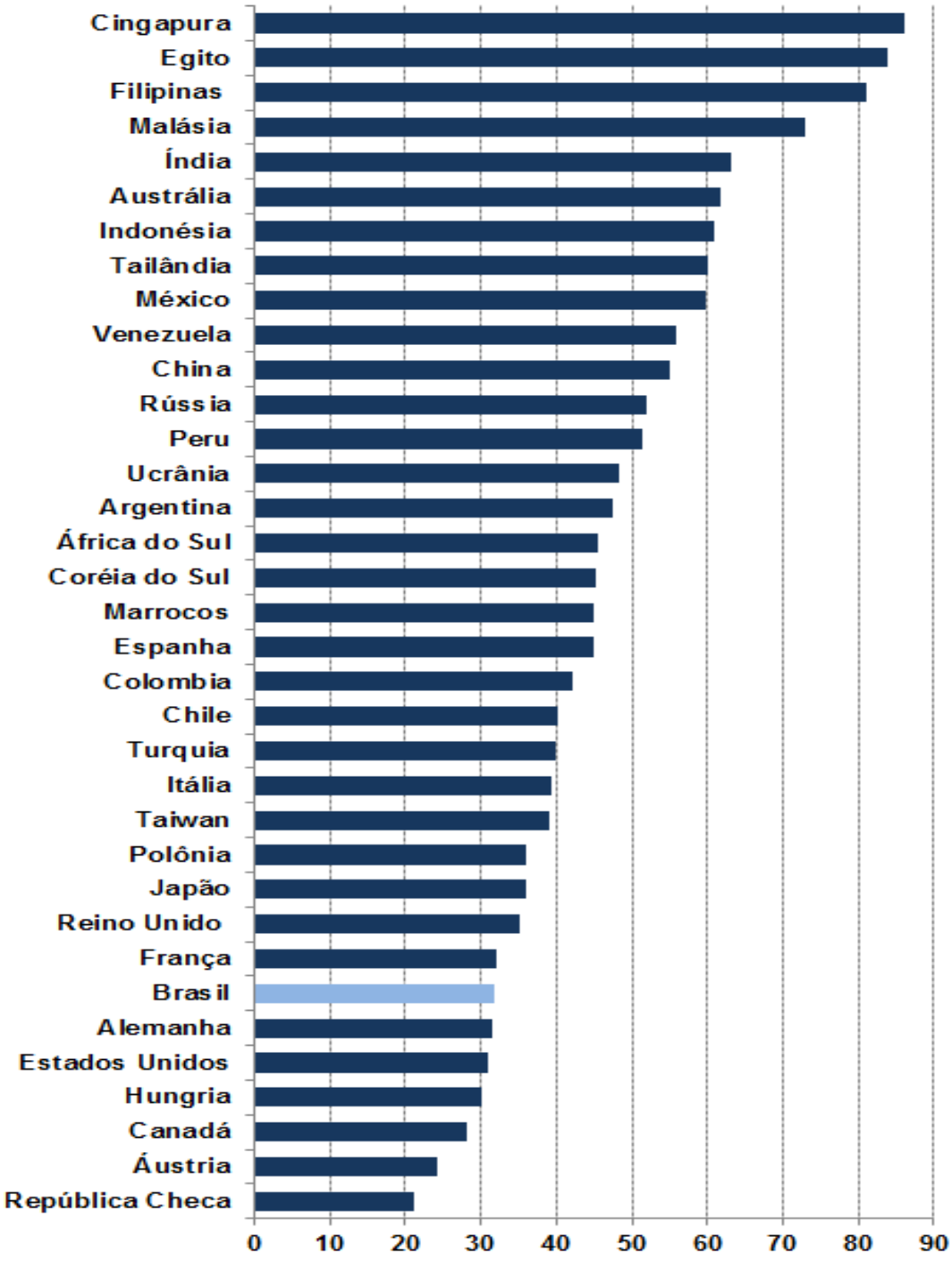
Fonte: elaboração própria

A construção é a atividade mais importante quanto ao consumo de produtos siderúrgicos no mundo. A World Steel Association (WSA) estimou que, em 2011, esse setor foi responsável por 51% da demanda siderúrgica global, sendo seguido por equipamentos mecânicos (14%), produtos de metal (13%), automotivo (12%), outros transportes (5%), equipamentos elétricos (3%) e utilidades domésticas (como linha branca, 2%).

A proporção entre laminados planos e longos varia conforme o grau de industrialização do país. Como os chamados países emergentes possuem um tecido industrial menos complexo do que o dos países desenvolvidos, o consumo e a produção siderúrgica tendem a privilegiar os laminados longos (mais direcionados à construção civil). Já os laminados planos são mais intensamente utilizados por outros ramos industriais, com destaque para a cadeia metal-mecânica (em particular,

a cadeia automotiva). O Gráfico 1.1 mostra, então, a participação da construção no consumo siderúrgico em países selecionados.

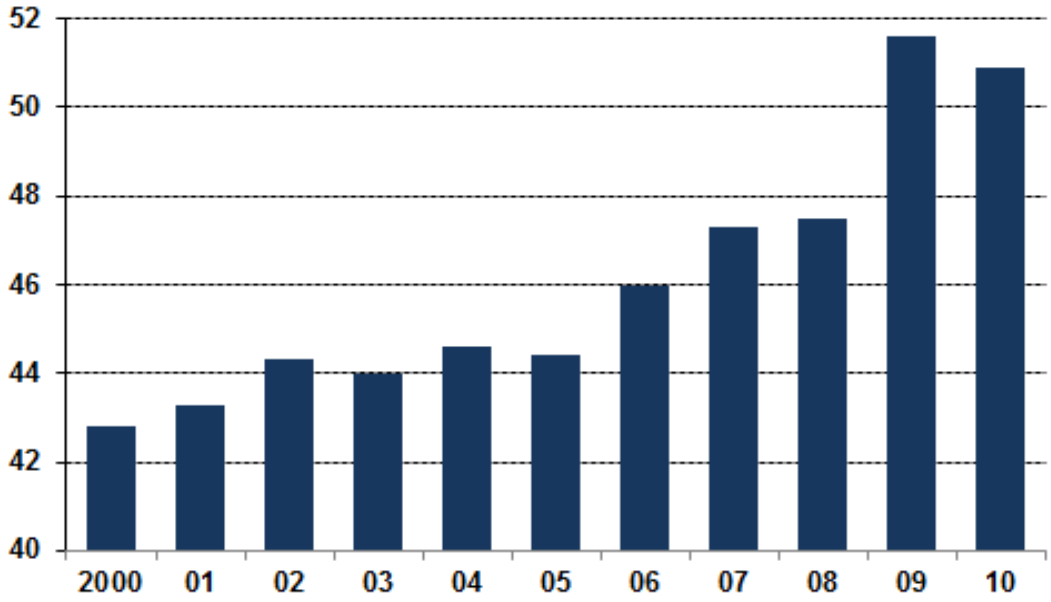
Gráfico 1.1: Importância da construção no consumo de produtos siderúrgicos em países selecionados (percentual)



Fonte: WSA, Guan (2010)

Como resultado da crescente importância da siderurgia chinesa (tema a ser retomado na próxima seção), que destina 55% de suas vendas à construção civil, constata-se no Gráfico 1.2 que a participação relativa dos laminados longos na produção global aumentou de 42,8% em 2000 para 50,9% em 2010. Dados para 2011 ainda não se encontram disponíveis.

Gráfico 1.2: Participação dos laminados longos na produção mundial de produtos siderúrgicos, 2000-2010 (percentual)



Fonte: Martí (2011)

Após esta sucinta discussão sobre produtos siderúrgicos, a próxima subseção volta-se para a análise dos processos produtivos.

1.1.2. Etapas produtivas, rotas tecnológicas e integração vertical

Faz-se necessário apresentar alguns termos relativos ao processo produtivo, visando a facilitar o entendimento dos impactos do paradigma da economia de baixo carbono sobre a indústria siderúrgica mundial. Porém, não se pretende esgotar o assunto, nem tampouco adentrar em questões técnicas, tais como a descrição dos processos propriamente ditos. Optou-se, assim, por uma visão esquemática dos elos principais da cadeia siderúrgica.

A Figura 1.2 mostra uma visão simplificada dos elos da cadeia produtiva siderúrgica. No que tange à mineração, as duas substâncias mais importantes são carvão mineral metalúrgico (ou coqueificável) e ferro. O alto-forno pode ser alimentado com três tipos de minério de ferro: o minério granulado (em estado natural) e sínter e a pelota (obtidos em processos de aglomeração de finos do minério de ferro). O sínter é o mais consumido, sendo produzido nas usinas de sinterização das próprias siderúrgicas, a partir do *sinter feed* (finos de 0,15 a 8 mm). Os granulados e pelotas são produzidos pelas mineradoras, sendo as últimas obtidas pela aglomeração do *pellet feed* (ultrafinos abaixo de 0,15mm) nas plantas de pelotização. Deve-se mencionar que a mineração de ferro não exige necessariamente uma pelotização.

Figura 1.2:
Etapas do Processo Siderúrgico e Tipos de Usinas

Mineração	Redução	Aciaria	Laminação	Processamento
Mina de Carvão	Alto-Forno	Básica a Oxigênio (LD)	Laminados Planos	*Blanks*
Mina de Ferro	Módulo de Redução Direta	Elétrica	Laminados Longos	Trefilados
Pelotização			Tubos sem Costura	Tubos Soldados

Tipos de usinas:
Usinas integradas a coque: alto-forno + aciaria básica a oxigênio + laminação
Usinas integradas a redução direta: módulo de redução direta + aciaria elétrica + laminação
Usinas semi-integradas (*mini-mills*): aciaria elétrica + laminação

Tipos de plantas:
Finishing facilities: equipamento isolado, sem produção própria de aço (ex: galvanização)
Blanks: duas ou mais peças de aços planos são soldadas para formar uma peça
Trefilaria: processo de fabricação de arame e barras finas; portanto, é uma *finishing facility*
Tubos soldados: planta que produz tubos a partir de laminados planos

Fonte: elaboração própria

Quanto à produção de aço propriamente dita, existem duas rotas tecnológicas principais: usina integrada e usina semi-integrada. A primeira é aquela que fabrica aço a partir de minério de ferro. Para isto, ela precisa alternativamente de:

a) Altos-fornos: é o padrão predominante do setor. Ele é baseado na combinação de ferro e coque (produzido a partir carvão mineral metalúrgico), para se produzir ferro-gusa. Em geral, tais equipamentos encontram-se instalados em usinas de grande porte;
b) Módulos de redução direta: é um processo amplamente difundido na Índia e no Oriente Médio, em função da boa disponibilidade de gás natural. Ele utiliza ferro e gás natural (ou carvão mineral não-coqueificável) como insumos principais, fabricando o ferro diretamente reduzido (DRI, no acrônimo em inglês) e o ferro briquetado a quente (HBI, idem). As usinas tendem a ser de porte intermediário.

Em 2011, a produção mundial de ferro-gusa totalizou 1,1 bilhão de toneladas, sendo muito superior ao volume produzido de DRI/HBI (75,1 milhões de toneladas). Por sua vez, uma usina semi-integrada é aquela que fabrica aço a partir de sucata. O processo começa na aciaria, não necessitando, portanto, de equipamentos de redução. Como esta rota tecnológica é mais compacta, tais usinas são frequentemente denominadas de *mini-mills.* Isto não requer necessariamente que as usinas sejam de pequeno porte, embora na prática o tamanho médio de usinas semi-integradas seja consideravelmente inferior ao das usinas integradas a coque. As usinas semi-integradas são mais flexíveis do ponto de vista operacional (no sentido de que a variação da produção é menos onerosa do que para uma usina integrada a coque) e também econômico (pela menor intensidade de capital).

A usina integrada a coque possui uma aciaria do tipo básica a oxigênio, muitas vezes chamada de LD, em homenagem às duas primeiras usinas que adotaram tal tecnologia: Linz e Donavitz. A usina integrada à redução direta e a semi-integrada são baseadas em aciarias elétricas. Em 2011, 69,5% da produção mundial de aço bruto foram provenientes de aciarias básicas a oxigênio, 29,2% de aciarias elétricas e 1,2% do processo Siemens-Martin (que é defasado tecnologicamente).

A etapa de refino consiste da aciaria e do lingotamento. Depois que o aço é produzido, ele é lingotado (ou seja, resfriado) e transformado em placas (se a intenção é produzir laminados planos) ou blocos e tarugos (para laminados longos). Em 2011, a difusão da tecnologia lingotamento contínuo na siderurgia mundial foi

equivalente a 95,0% e, analogamente, o lingotamento convencional (que representa uma tecnologia menos eficiente) foi responsável pelos 5,0% remanescentes.

O formato produtivo predominante é que os laminados planos sejam fabricados em usinas integradas (a coque, principalmente), embora as usinas semi-integradas venham ganhando espaço gradativamente neste segmento. Para laminados longos, o modelo dominante é de usinas semi-integradas. Na laminação, os aços são transformados em produtos finais.

Deve-se também mencionar que *finishing facilities* designa uma planta de processamento. Alguns exemplos servem para ilustrar: a) planta de tubos soldados, que é abastecida por laminados planos; b) trefilaria, que é uma planta que fabrica arames e barras finas, por meio da redução da largura e respectivo aumento no comprimento do material; é um processamento de laminados longos; c) fábrica de *tailored laser welded blanks* (TLWB), que tem por objetivo soldar para formar uma peça a partir de duas ou mais peças de laminados planos. Em geral, o montante de investimentos requeridos para construir ou adquirir plantas de processamentos é muito inferior ao necessário para ser proprietário de usinas siderúrgicas.

Nos últimos anos, a principal mudança em termos de integração vertical diz respeito aos investimentos das siderúrgicas na mineração de ferro e, em menor intensidade, na mineração de carvão, como mecanismo defensivo à trajetória altista dos preços dos insumos. Reforçando o argumento, trata-se de uma decisão motivada pelas maiores margens de lucros obtidas pelas mineradoras comparativamente às siderúrgicas, não sendo diretamente associada às questões tecnológicas. Estima-se atualmente que, em 2011, quase 22% da produção global de minério de ferro tenha sido controlada por companhias siderúrgicas (UNCTAD, 2012).

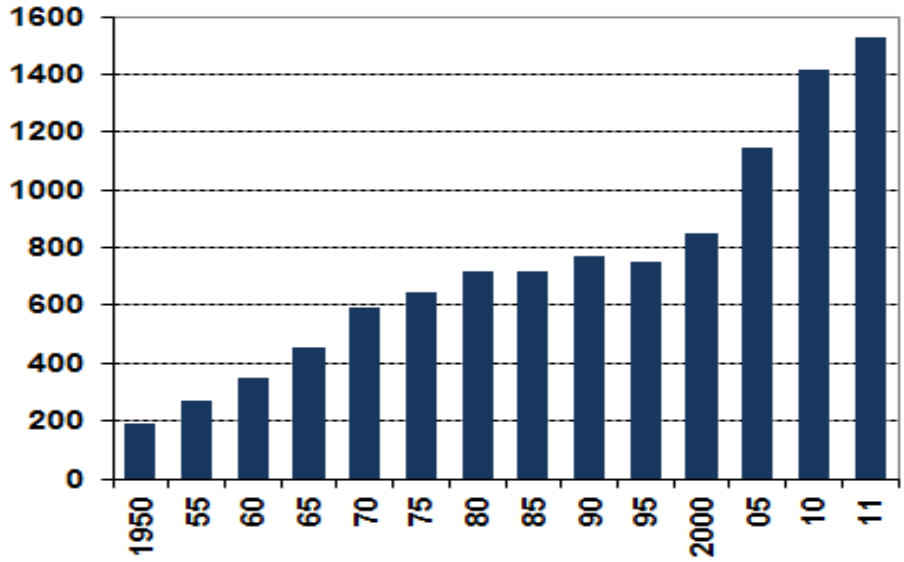
Após a apresentação dos produtos e processos mais relevantes da indústria siderúrgica mundial, a próxima seção é dedicada ao volume de produção e de comércio internacional, além de discutir a trajetória dos preços.

1.2. Produção, consumo e comércio internacional

1.2.1. Produção e consumo

Desde o final da II Guerra Mundial, a siderurgia mundial vivenciou dois períodos de bonança. Um primeiro *boom* ocorreu entre 1950 e 1975, quando a taxa anual média de crescimento alcançou 5% (Gráfico 1.3). Este período é usualmente denominado de “anos dourados”, sendo que o grande dinamismo da indústria foi derivado dos esforços de reconstrução e de ampliação da infraestrutura nos chamados países desenvolvidos.

Gráfico 1.3:
Produção mundial de aço bruto, 1950-2011 (milhões de toneladas)



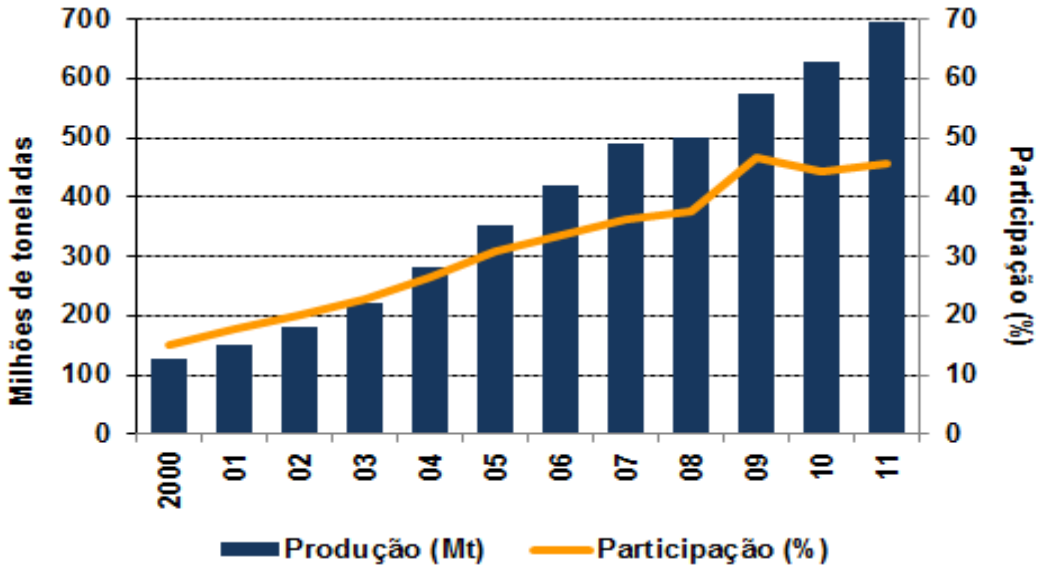
Fonte: WSA

Entretanto, a partir de meados da década de 1970, a siderurgia passou a contabilizar baixas taxas de crescimento. Isto, em parte, foi explicado pelos efeitos negativos dos choques do petróleo, que encareceu produtos intensivos em energia, dentre eles, o aço. Entre 1975 e 2001, a taxa de incremento da siderurgia global foi de tão somente 1,1% a.a.. Como ao longo desse período, a população mundial se expandiu a um ritmo de 1,6% a.a., conclui-se que o consumo *per capita* de aço acabou regredindo.

Um segundo período de bonança foi constatado entre 2001 e 2007, em grande medida influenciado pela demanda chinesa. Nesse sentido, à luz do eixo esquerdo do Gráfico 1.4, constata-se que a fabricação chinesa passou de 129 para

696 milhões de toneladas de aço bruto ao longo do período 2000-2011. Assim, sua participação relativa expandiu-se de 15% para 46%, respectivamente, de acordo com o eixo direito do Gráfico 1.4. Este exponencial incremento da produção siderúrgica chinesa foi estimulado, entre outros fatores, por elevadas taxas de crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) e da Formação Bruta de Capital Fixo (FBKF), bem como por questões demográficas (em particular, o intenso processo de urbanização).

Gráfico 1.4:
Produção chinesa de aço bruto (milhões de toneladas) e participação na indústria mundial (percentual), 2000-2011



Fonte: WSA

Ainda em relação ao deslocamento geográfico da produção, embora o incremento da participação chinesa tenha sido a questão mais relevante, vale a pena também destacar a involução dos países considerados industrializados, tais como Japão (passando de 12,5% em 2000 para 7,0% em 2011), União Europeia-27 (22,8% para 11,6%, respectivamente) e América do Norte (13,9% para 6,6%). Registre-se ainda que a fatia latino-americana também regrediu de 6,7% para 4,4% ao longo do período analisado.

Concomitantemente, também se constatou um intenso processo de deslocamento geográfico do consumo de produtos siderúrgicos desde 2000. De fato,

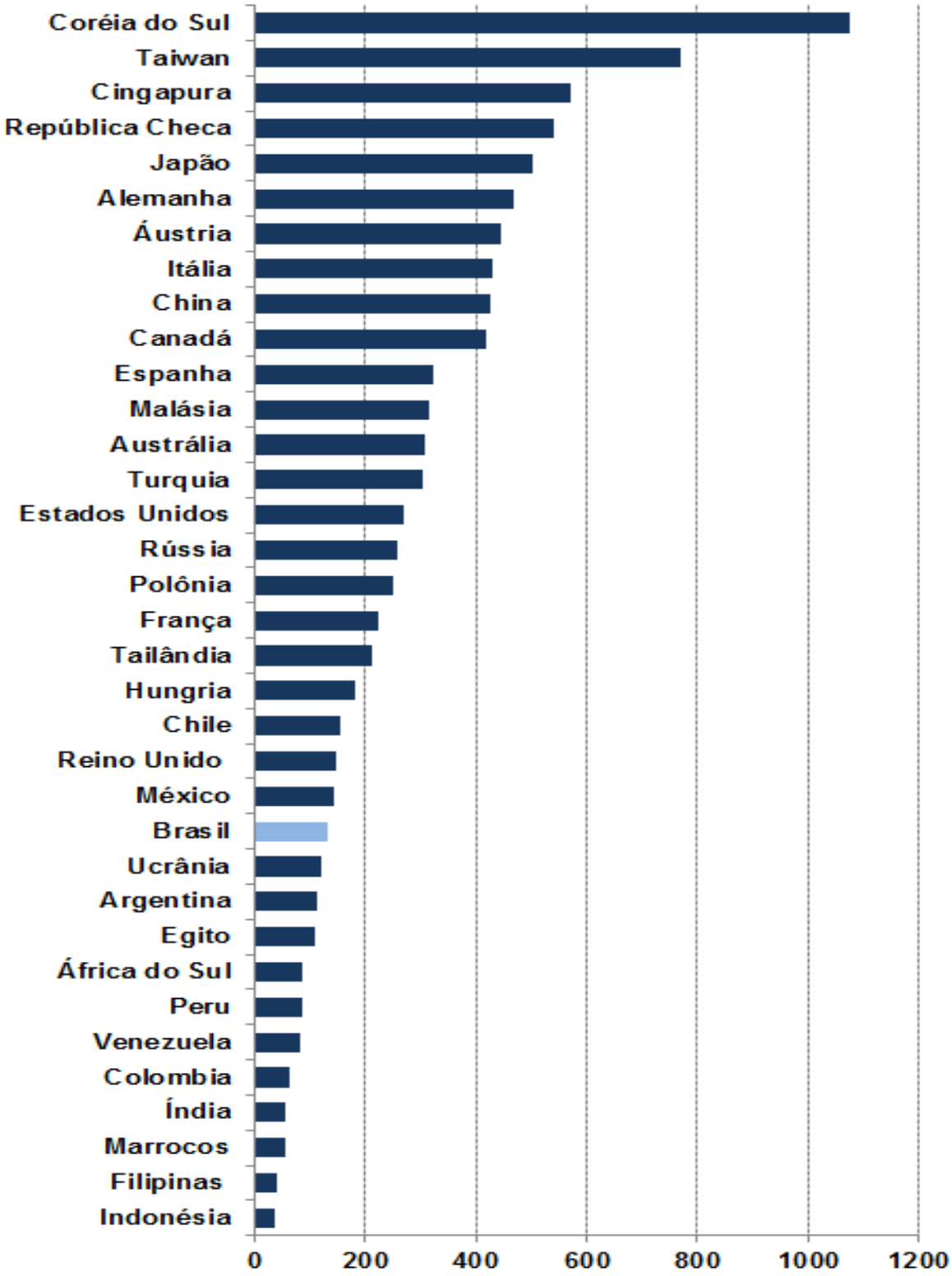
a participação chinesa expandiu de 16,4% em 2000 para 45,4% em 2011, enquanto os países desenvolvidos vivenciaram uma significativa retração na sua importância relativa, em particular América do Norte (de 18,1% para 7,5%, respectivamente) e União Europeia-27 (de 21,5% para 11,1%). A fatia latino-americana também involuiu de 5,6% para 4,7% no período em questão.

Existe uma substancial diferença em termos de consumo *per capita* entre os países. O Gráfico 1.5 apresenta tais valores para países selecionados (que corresponde à mesma amostra do Gráfico 1.1) para o ano 2010. Observa-se que o espectro varia entre 1.077 quilogramas por habitante na Coréia do Sul e 37 quilos por habitante na Indonésia. Na verdade, no anuário da WSA, o valor mais baixo encontrado é o do Zaire (com um quilograma por habitante).

Em linhas gerais, quanto maior o valor do PIB, maior tende a ser o consumo *per capita* de laminados. No entanto, vários países industrializados já mostram uma queda acentuada da demanda *per capita,* como sinal do esgotamento das necessidades de infraestrutura e mesmo do processo de desindustrialização. Na experiência norte-americana, por exemplo, o consumo *per capita* de aço bruto equivalente passou de 125 quilos por habitante (kg/h) em 1900 para 607 kg/h em 1965, mas vem regredindo desde então até atingir 321 kg/h 2011.

Gráfico 1.5:

Consumo de laminados *per capita,* 2010 (quilogramas por habitante)



Fonte: WSA

Ainda em relação ao gráfico 1.5, três países merecem uma atenção especial. O consumo brasileiro foi equivalente a 130 quilos por habitante em 2010, estando ainda abaixo da média mundial (de 206 quilos por habitante). O consumo *per capita* da China, no sentido oposto ao verificado nos Estados Unidos, expandiu de 98 para 427 quilos por habitante no período 2000-2010. No caso da Coréia do Sul, a elevada demanda *per capita* é, em grande parte, explicada por maciças exportações de produtos intensivos em aço (usualmente denominada de exportação indireta de aço), tema que será abordado na próxima subseção.

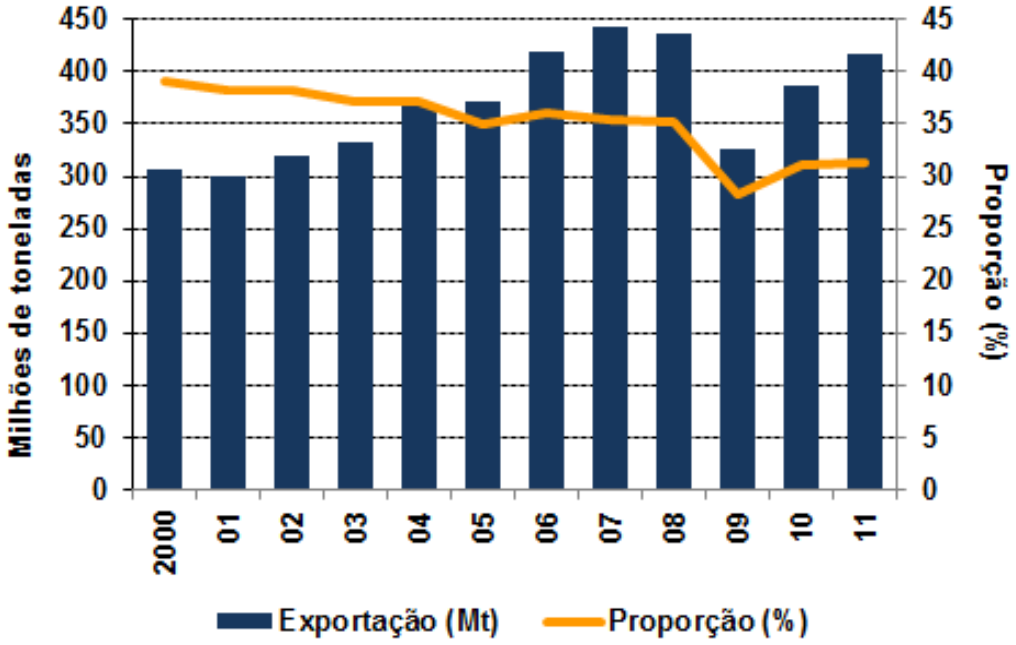
1.2.2. Comércio internacional

A evolução do comércio internacional de produtos siderúrgicos é mostrada no Gráfico 1.6. O volume de exportações aumentou de 307 milhões de toneladas em 2000 para 444 milhões de toneladas em 2007 (eixo esquerdo). Após a retração do biênio 2008-2009, observou-se uma recuperação parcial para 417 milhões de toneladas em 2011.

Embora o crescimento das exportações de produtos siderúrgicos, em termos agregados, tenha sido considerável, em termos relativos, o desempenho pode ser considerado insatisfatório. De fato, a fatia dos produtos siderúrgicos comercializados internacionalmente regrediu de 39% em 2000 para 31% em 2011. A expansão da siderurgia chinesa é novamente o principal fator explicativo desta situação, pois a mesma apresenta coeficiente de abertura ao comércio internacional relativamente baixo.

Gráfico 1.6:

Exportação mundial de produtos siderúrgicos (milhões de toneladas) e proporção frente ao volume produzido (percentual), 2000-2011



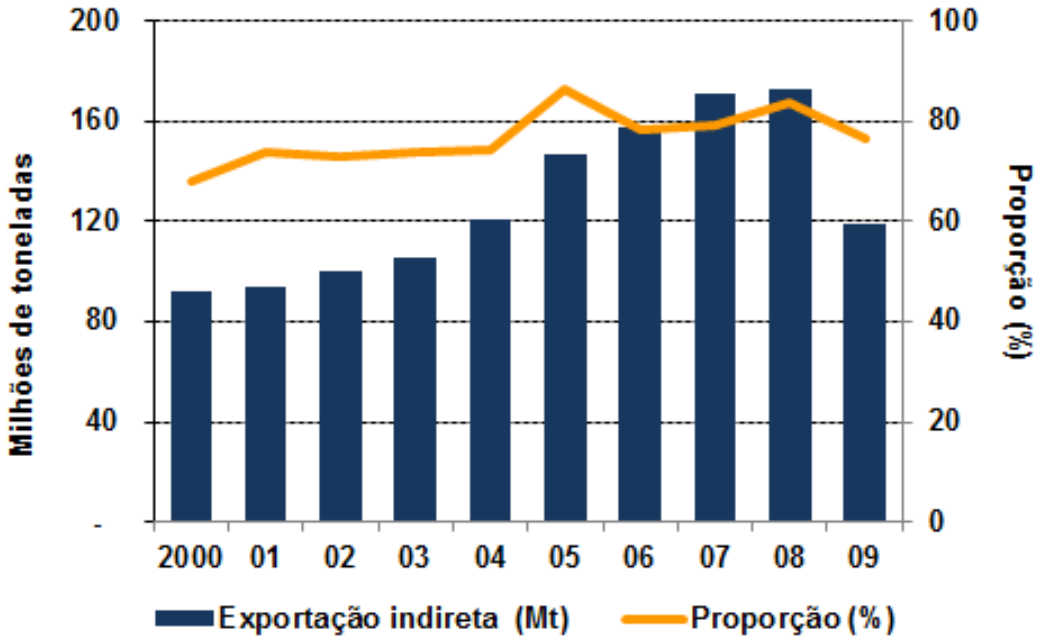
Fonte: WSA

No entanto, a ampliação da importância relativa dos laminados longos na produção siderúrgica global não acarretou mudanças significativas na composição das exportações siderúrgicas. No período 2000-2011, a fatia das exportações de laminados planos ficou praticamente constante no patamar de 50%. A participação dos laminados longos – cujas empresas usualmente possuem um raio de atuação comercial menor do que a dos laminados planos, até em função da rota predominante utilizada (usinas semi-integradas) – também foi muito similar durante o período examinado, ao redor de 24%. Para produtos tubulares e semiacabados (placas, blocos e tarugos), também não se constatam alterações dignas de nota, mantendo-se no nível de 9% e 17%, respectivamente.

Faz-se necessário também abordar o chamado “comércio indireto” de produtos siderúrgicos, que examina as transações internacionais de produtos intensivos em aço, tais como automóveis, autopeças, navios, eletrodomésticos, entre outros. Constata-se uma trajetória de crescimento das exportações indiretas de produtos siderúrgicos, conforme as informações apresentadas no Gráfico 1.7. Para uma amostra de dez países selecionados (Alemanha, Brasil, China, Coréia do

Sul, Estados Unidos, Japão, México, Reino Unido, Rússia e Suíça), tais exportações expandiram de 92 milhões de toneladas em 2000 para 173 milhões de toneladas em 2008 (eixo esquerdo), lembrando que 2009 pode ser considerado um ano atípico. Para as mesmas nações, as exportações indiretas foram equivalentes a 68% e 84% das exportações diretas de produtos siderúrgicos em 2000 e 2008, respectivamente. Conclui-se, assim, que a relevância das exportações indiretas aumentou, o que significa maior pressão competitiva sobre a cadeia metal-mecânica na sua totalidade, incluindo as próprias companhias siderúrgicas.

Gráfico 1.7:
Exportação indireta de produtos siderúrgicos (milhões de toneladas) e proporção em relação à exportação direta de produtos siderúrgicos (percentual), em países selecionados, 2000-2009



Fonte: WSA, Asociación Latinoamericana del Acero (Alacero)

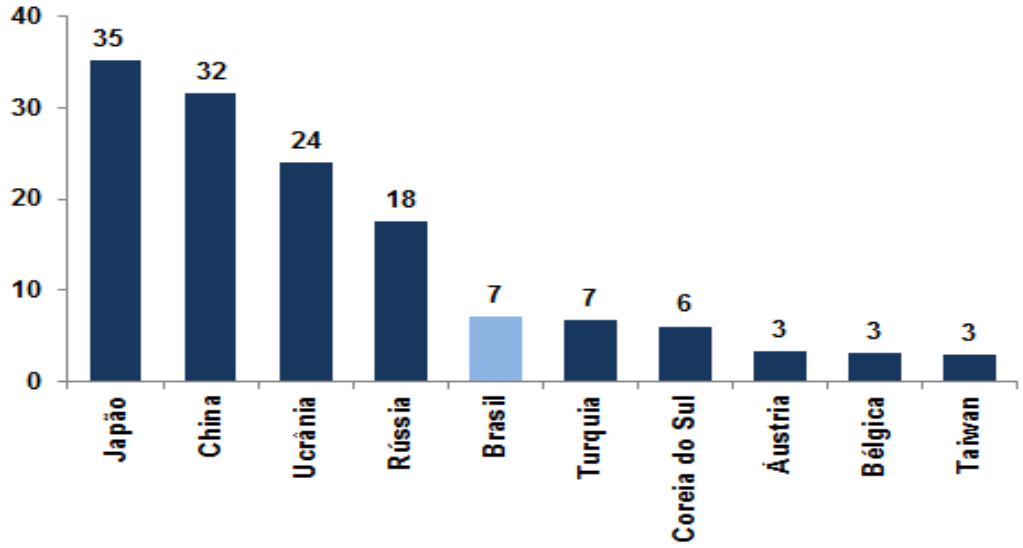
No que tange ao *ranking* dos maiores exportadores e importadores de produtos siderúrgicos, preferiu-se utilizar o conceito de exportador e importador líquido. Vários países contabilizam elevados fluxos comerciais de aço, mas não necessariamente são grandes exportadores (ou importadores) líquidos. Utilizando a Coréia do Sul como exemplo, observa-se que em 2011 esse país produziu 68,9 milhões de toneladas de aço bruto, que corresponderia aproximadamente a 62,0

milhões de toneladas de laminados. No mesmo ano, a Coréia do Sul exportou 28,9 milhões de toneladas de produtos siderúrgicos e importou 22,8 milhões de toneladas, registrando um superávit setorial de 6,1 milhões de toneladas.

O Gráfico 1.8 apresenta os dez maiores exportadores líquidos de produtos siderúrgicos em 2011. Japão, Ucrânia e Rússia são tradicionais exportadores líquidos, sempre constando entre os *top five* pelo menos desde 2000. China, por sua, apresenta uma trajetória mais instável, passando do décimo-terceiro posto em 2009 para o de segundo lugar em 2010-2011. O Brasil chegou a ser o quarto maior exportador líquido de produtos siderúrgicos do mundo, entre 2002 e 2005. Porém, desde então vem piorando seu desempenho, recuando para o quinto e sexto lugar (de 2006 a 2009), sétima posição (em 2010) e revertendo parcialmente para o quinto lugar (em 2011).

Gráfico 1.8:

Maiores exportadores líquidos de produtos siderúrgicos, 2011
(milhões de toneladas)

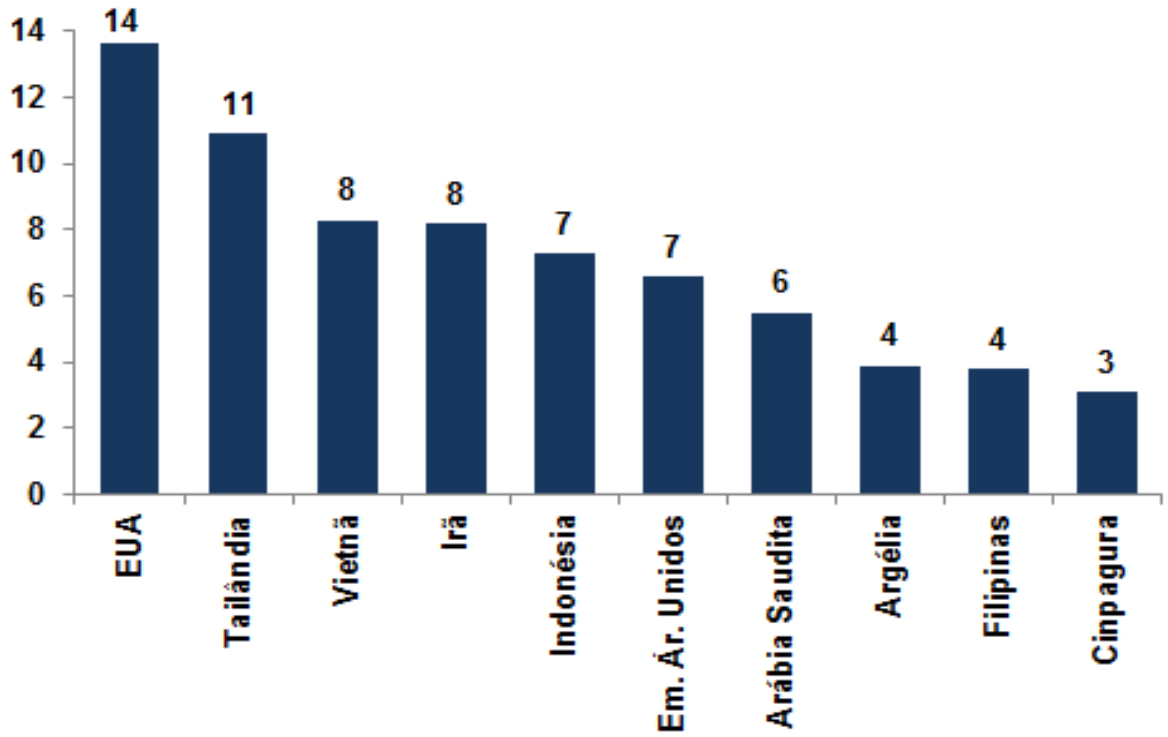


Fonte: WSA

Em 2011, excetuando os Estados Unidos, todos os outros maiores importadores líquidos de produtos siderúrgicos podem ser caracterizados como economias emergentes localizadas na Ásia, no Oriente Médio e Norte da África (Gráfico 1.9). Desta forma, são países cuja demanda está crescendo à frente da

oferta doméstica, o que tende a estimular vários investimentos em tais nações com a finalidade de substituição de importações.

Gráfico 1.9:
Maiores importadores líquidos de produtos siderúrgicos, 2011
(milhões de toneladas)



Fonte: WSA

De forma sucinta, pode-se afirmar que a proteção tarifária de produtos siderúrgicos foi perdendo sua importância ao longo do tempo nas nações industrializadas. Isto ficou mais evidente em 2004 quando 20 países (União Europeia-15, Estados Unidos, Japão, Coréia do Sul, Canadá e Austrália) praticamente zeraram suas alíquotas relativas ao imposto de importação. Em dezembro de 2011, a alíquota média do imposto de importação de produtos siderúrgicos (capítulo 72 da classificação alfandegária) de todos os países-membros da Organização Mundial do Comércio (OMC) era equivalente a 5,6%.

Em compensação, a indústria siderúrgica destaca-se como sendo uma das atividades nas quais mais se aplicam medidas de defesa comercial (antidumping,

direitos compensatórios e salvaguardas) no mundo. Por exemplo, no período 1995-2011, 4.010 novas ações de antidumping foram iniciadas pelos países-membros da OMC. Deste total, nada menos que 1.103 (ou 27,5%) foram relativas à metalurgia básica, da qual a siderurgia é a indústria mais relevante. No período 2000-2010, a participação de ferro e aço no comércio internacional vem oscilando ao redor do patamar de 2,5%-3,0%.

O elevado número de processos de defesa comercial na indústria siderúrgica é associado à elevada intensidade de capital e a prática de *dual prices.* Em função da significativa intensidade de capital, eventuais excessos de capacidade instalada tendem a impactar consideravelmente a rentabilidade das companhias. Isto é ainda mais verdadeiro para as chamadas usinas integradas a coque, uma vez que os altos-fornos são equipamentos projetados para operarem com reduzida ociosidade. Abaixo de determinando limite, as usinas são obrigadas a abafar os altos-fornos, o que se configura como uma decisão drástica, seja em termos operacionais (pois requer cuidados consideráveis), seja por questões financeiras (custo adicional para aquecimento do equipamento e elevado custo fixo envolvido durante a paralisação). Nesse contexto, é comum as empresas siderúrgicas praticarem o chamado *dual pricing*: "*compensando com preços mais elevados no mercado doméstico a colocação de exportações a preços suficientemente baixos a ponto de contornar as restrições protecionistas*" (PINHO, 2001, p. 136).

Na verdade, a prática de *dual pricing* é usual na indústria siderúrgica mundial, mesmo em situações normais de mercado. Contudo, ela se torna mais evidente quando o excesso de ociosidade é considerável – como no momento –, quando os preços de exportação tendem a ser pouco superiores aos dos custos variáveis. Ademais, em trabalho anterior, já se comentava que: "*Na indústria siderúrgica mundial, os preços são cíclicos tradicionalmente (...)"* (DE PAULA, 2002, p. 61). Desde então, constatou-se uma maior volatilidade dos preços dos produtos siderúrgicos (MARCUS & KIRSIS, 2011), mas o comportamento cíclico perdurou. Na próxima seção, o eixo da discussão se desloca para as questões da estrutura de mercado e estratégias empresariais.

1.3. Estrutura de mercado e concorrência

1.3.1. Transações patrimoniais e concentração de mercado

As fusões e aquisições (F&As) vêm movimentando a siderurgia mundial nos últimos anos. O ápice de tal tendência foi a transação que resultou na criação da ArcelorMittal, em 2007, congregando ativos das duas maiores companhias siderúrgicas mundiais à época: Mittal Steel e Arcelor.

É bem verdade que as F&As não se constituem em uma novidade na indústria siderúrgica. Nos Estados Unidos, por exemplo, a U.S. Steel foi incorporada em fevereiro de 1901, a partir dos ativos de diversas empresas. Naquele ano, ela foi responsável por 67% da produção siderúrgica norte-americana e por nada menos do que 29% da produção mundial (DE PAULA, 2006). A lista de F&As relevantes na siderurgia mundial, desde então, poderia ser estendida quase indefinidamente. Mesmo não desconhecendo a importância dessa e de outras transações realizadas até meados da década de 1990, pode-se sublinhar que, a partir do final dos anos 1990, a consolidação na siderurgia mundial ganhou impulso. De fato, este processo aumentou sua relevância em termos de intensidade (seja pelo número de transações, seja pelos valores financeiros envolvidos), dispersão geográfica (F&As de companhias siderúrgicas ocorreram em todas as regiões do globo) e pela íntima relação com a internacionalização produtiva.

Várias podem ser as motivações para que uma determinada empresa promova uma F&A com uma companhia competidora. De uma forma geral, considerando a indústria siderúrgica, pelo menos quatro justificativas vêm sendo apontadas com alguma regularidade: a) diversificação geográfica; b) sinergias; c) reação ao processo de consolidação tanto em setores fornecedores, quanto em setores consumidores; d) economias de escala e efeito dominó (DE PAULA, 2006). Portanto, rupturas tecnológicas e mudanças institucionais relacionadas à economia de baixo carbono ainda não mostraram como fatores catalizadores do intenso processo de F&A no setor.

No mercado de capitais, a siderurgia é usualmente classificada como uma indústria cíclica. Um mecanismo de redução de exposição aos efeitos cíclicos de um determinado mercado é a diversificação geográfica (FORTIS BANK, 2006). Ou seja, empresas com atuação em diversos países tendem a possuir vantagens frente àquelas que operam em um único (ou poucos) países, seja por fatores macroeconômicos (evolução da renda interna e da taxa de câmbio), seja por questões setoriais (no caso de crise de um importante setor consumidor).

Um segundo objetivo das F&As é permitir maior especialização produtiva de plantas (eliminando sobreposições), intercâmbio de melhores práticas produtivas, unificação das especificações de compras e redução de despesas administrativas, entre outros.

Segundo DE PAULA (2002), um dos principais fatores motivadores das F&As na siderurgia mundial refere-se à consolidação de fornecedores, concorrentes e consumidores. Ou seja, pelo fato de a siderurgia estar no meio da cadeia produtiva da metal-mecânica, seu poder de barganha é naturalmente afetado pelos processos de F&As, que ocorrem seja nas indústrias fornecedoras de insumos seja nos consumidores de produtos siderúrgicos. Na verdade, a siderurgia é uma indústria mais fragmentada do que alguns dos seus principais fornecedores (minério de ferro e equipamentos metalúrgicos, por exemplo) e consumidores (automobilística). A este respeito, MACQUARIE (2011, p. 3):

> *"Despite the share of top 20 steelmaker output hitting 43% in 2010 – an all-time high – the sector remains a long distance behind its raw material peers in terms of consolidation. Moreover, consolidation has vastly underperformed output growth. Since 1980, the overall share of global production from the top 20 steelmakers has grown only 9%, while output has risen 99% in the same period. This is part of the reason steelmakers are frequently squeezed in oversupplied markets, and further consolidation remains one of the options steelmakers must consider to strengthen their position. However, in the visible future raw material mine supply remains the bottleneck in the value chain and, thus, miners should continue to have pricing power in the relationship."*

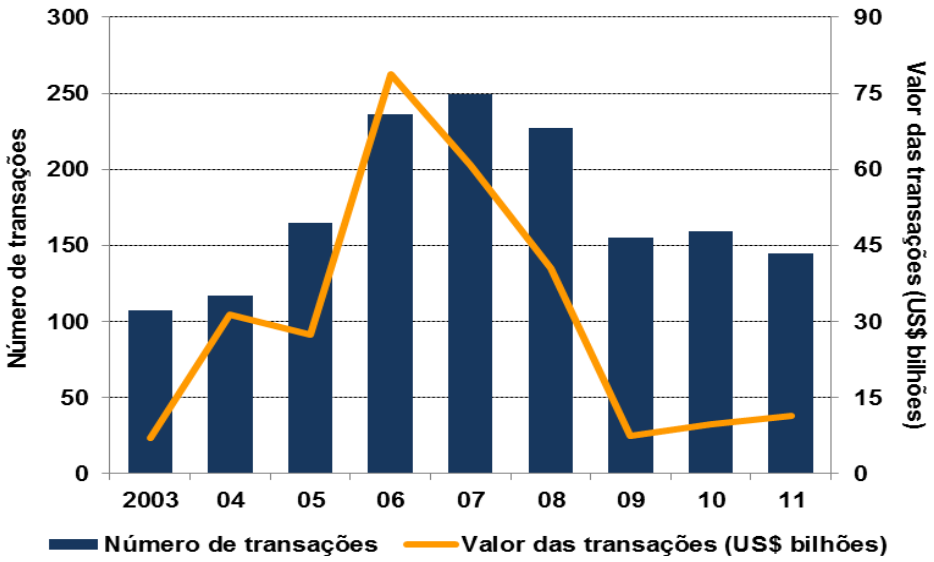
Reforçando o argumento, cabe lembrar que a participação conjunta das dez maiores siderúrgicas mundiais em 2011 foi de 27,9%, de acordo com informações da WSA. Para a mesma data, a referida participação para as mineradoras de ferro foi de 50,3% (em termos de produção) e de 73,7% (em termos de comércio transoceânico), conforme UNCTAD (2012).

Uma das características mais marcantes da indústria siderúrgica, ao longo do tempo, tem sido a contínua apropriação de economias de escala. No caso de usinas integradas a coque, HOWELL *et alii* (1988) destacam que a escala mínima eficiente cresceu continuamente após a Segunda Guerra Mundial. Ora, o processo de consolidação ao alterar as condições de escala mínima das empresas acaba se retroalimentando. Ou seja, F&As desencadeiam novas F&As; um processo que está longe de ser restrito à indústria siderúrgica. Alguns denominam esta trajetória de

“efeito dominó”. É até por isto que o processo de consolidação ganha impulso, pois enquanto algumas empresas tentam sair na frente de outras (a lógica da preempção), outras tentam se igualar aos seus pares (a lógica do mimetismo). Assumindo a importância do “efeito dominó”, é lícito esperar que o processo de consolidação continue sendo relevante ao longo dos próximos anos.

Uma metodologia convencional para se avaliar a intensidade do processo de consolidação é investigar o número de F&A e os valores financeiros envolvidos. De acordo como vários estudos publicados pela PricewaterhouseCoopers (PWC), o número de transações patrimoniais (incluindo aquisições, fusões, cisões e *joint-ventures*) na siderurgia mundial aumentou de 107 (em 2003) para 249 (em 2007) – ver eixo esquerdo do Gráfico 1.10. Destaque-se que 2008 apresentou um número elevado de transações (227), em grande medida porque a crise econômico-financeira teve seu impacto concentrado no último trimestre. Apesar da queda do número de F&A, foram contabilizadas cerca de 150 transações por ano em 2009-2011. Não deixa de ser revelador o fato de que uma transação estaria ocorrendo na indústria a cada dois dias. Em termos financeiros, o incremento também foi significativo, pois os valores registrados cresceram de US$ 6,9 bilhões (em 2003) para US$ 78,7 bilhões (em 2006), regredindo para US$ 60,9 bilhões (em 2007) e ainda para US$ 11,3 bilhões (em 2010), conforme eixo direito do Gráfico 1.10.

Gráfico 1.10:
Número e valor das transações patrimoniais (US$ bilhões) da siderurgia mundial, 2003-2011



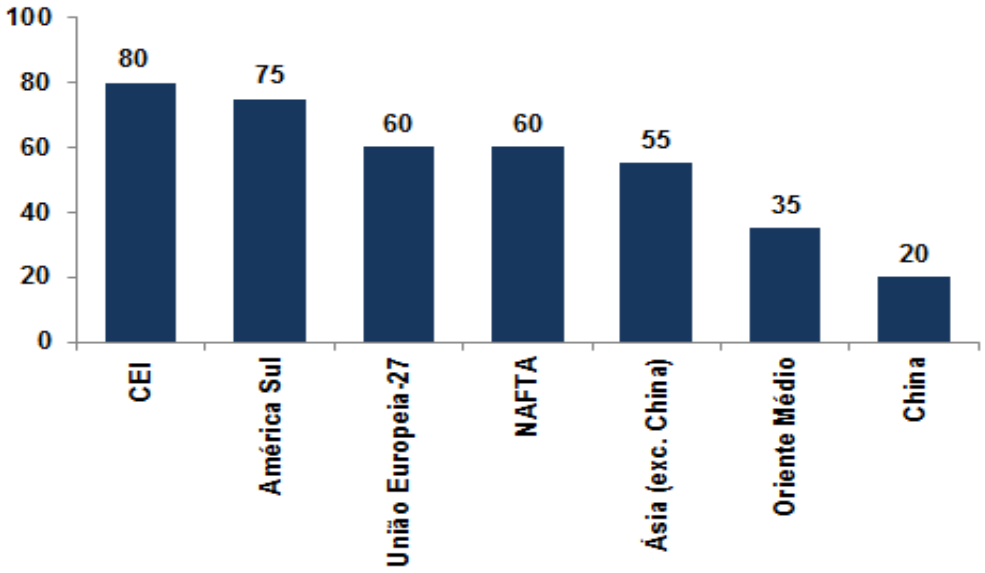
Fonte: várias publicações da PricewaterhouseCoopers

De um lado, o número de transações é um indicador da intensidade do processo de consolidação. De outro lado, o grau de concentração de mercado sintetiza o impacto deste processo. A participação conjunta das dez maiores companhias mundiais passou de 24,8% em 2000 para 27,9% em 2011. Deve-se acentuar que o deslocamento geográfico a favor da China acabou então por mitigar os impactos das F&As no grau de concentração da siderurgia mundial. De fato, a rápida expansão do mercado siderúrgico na China acarretou a redução da barreira à entrada naquele país. Assim, o número de siderúrgicas chinesas com produção igual ou superior a 2 milhões de toneladas, passou de 34 (em 2003) para 51 (em 2008) e 61 (em 2011).

É claro que o grau de concentração é maior no âmbito de cada região e país, comparativamente ao índice global. Como se observa no Gráfico 1.11, as cinco maiores siderúrgicas detinha em 2010, em várias regiões, mais de metade da produção. A América do Sul, que é um mercado relativamente pequeno, apresentava grande concentração (CR5 = 75%), sendo superada apenas pelos países da Comunidade dos Estados Independentes (CEI, com CR5 = 80%). No

outro lado do espectro, a China, um mercado de substancial dimensão e com taxa de crescimento acelerada, registrava um CR5 equivalente a 20%.

Gráfico 1.11:
Participação das cinco maiores siderúrgicas em regiões selecionadas, 2010 (percentual)



Fonte: Lepine (2011)

1.3.2. Barreiras à entrada e à saída

As usinas integradas a coque são um bom exemplo de como a trajetória tecnológica da indústria siderúrgica moveu-se no sentido da apropriação cada vez mais intensa das economias de escala. A trajetória de *scale-up* é presente desde os primórdios da indústria. Como já citado, HOWELL *et alii* (1988) ressaltam que a escala mínima eficiente de tais usinas cresceu continuamente após a II Guerra Mundial, em grande medida em função das novas usinas japonesas. DE PAULA (1998) apresenta outras evidências que ratificam esta tendência.

Faz-se necessário também mencionar que, a partir da década de 1960, a crescente difusão das usinas semi-integradas reduziu a escala mínima ótima de operação no setor. Deve-se enfatizar que passou a existir uma nova rota tecnológica, que opera com usinas de menor porte, embora a trajetória tecnológica das usinas integradas a coque continuou privilegiando as economias de escala. A

rota semi-integrada beneficiou-se de inovações tecnológicas baseadas na compactação dos processos industriais. O caso clássico é a substituição do lingotamento convencional pelo lingotamento contínuo, eliminando lingoteiras, fornos-poço e a laminação de desbaste primária. O lingotamento contínuo, de operação mais simples, consome menos energia e possibilita a redução do pessoal da produção.

De fato, o crescimento das chamadas *mini-mills* foi concentrado a partir dos anos 1960, embora a origem do segmento remonte à década de 1930, quando a empresa norte-americana Northwestern Steel and Wire Company começou a utilizar forno elétrico para produzir aço. Relembre-se que o termo *mini-mill* aplica-se à rota tecnológica (forno elétrico a arco + lingotamento contínuo) e não ao tamanho da usina (e empresa) propriamente dito. Registre-se que atualmente existem *mini-mills* com capacidade instalada de 2,6 milhões de toneladas, com apenas um forno elétrico (Tokyo Steel). O aspecto importante a se destacar é que o crescimento das *mini-mills* está atrelado ao desenvolvimento de equipamentos que permitiram a diminuição da escala mínima ótima e, consequentemente, das barreiras à entrada. A este respeito, é interessante reproduzir algumas conclusões de MADAR (2009, pp. 33-38):

> *Minimills operate on a smaller scale because their source of steel is electric furnaces, which have modest capacities compared to blast furnaces. (…) Moreover, the minimills' flexible production processes enable them to respond quickly to shifting demand.*
> *The integrated steel industry, in the words of one financial analyst, 'eats capital for breakfast'. Each element of the production process, from blast furnace to final rolling mill, represents a large, highly specialized, complex, and durable capital assets. (…)*
> *Minimum efficient scale of a BOF shop is some 5 mmt [million metric ton] annually, and that of a rolling mill is between 4 and 5 mmt, although in some large and new mills the level can be as high as 8 to 10 mmt.*

Em linhas gerais, apesar do crescimento expressivo das *mini-mills,* como apontado na primeira seção, a rota integrada a coque continua sendo a predominante. É importante destacar que a maior difusão da rota semi-integrada possibilita a redução da emissão específica de dióxido de carbono (CO_2) por parte da indústria siderúrgica, tema a ser aprofundado no terceiro capítulo.

A escala mínima ótima de usina integrada a coque atualmente é de 5 milhões de toneladas. De acordo com CHISHOLM (2011), o custo de capital (*capex*) para a

construção de uma usina integrada é de: China (US$ 600/tonelada); Índia (US$ 1.000/tonelada); México (US$ 1.200/tonelada); Estados Unidos, União Europeia e Brasil (US$ 1.800/tonelada). Portanto, no caso dos últimos, uma planta de 5 milhões de toneladas requer uma inversão de US$ 9 bilhões. Continua tratando-se de um investimento muito vultoso e requer também um mercado em rápido crescimento para absorver um aumento tão significativo da produção.

No caso de uma *mini-mill,* a escala inicial pode ser bem inferior e dependerá mais intensamente do tamanho do mercado doméstico, uma vez que o coeficiente de exportação dos laminados longos tende a ser menor. Para o Brasil, é razoável acreditar que a escala mínima ótima de uma *mini-mill* seja da ordem de 500 mil toneladas. A Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) estima que a construção de cada *mini-mill* no Brasil, com capacidade de 500 mil toneladas, exige um investimento de aproximadamente US$ 840 milhões, perfazendo um custo de capacidade de US$ 1.680/tonelada (BLANCO, 2011).

Pode-se afirmar que a indústria siderúrgica – em particular as usinas integradas a coque – está sujeita a elevadas barreiras à saída. Infelizmente, a literatura acerca deste assunto é relativamente escassa, pouco atualizada e muito concentrada na experiência norte-americana. DEILY (1988, p. 10) destaca a relação entre excesso persistente de capacidade excedente e as barreiras à saída, como se depreende do seguinte trecho:

> *The persistent survival of excess capacity is not inexplicable. In theory, a market system reallocates resources from activities yielding lower-than-normal returns to activities with higher returns. In practice, however, firms can be locked into a low-profit activity if large losses are incurred when capital is transferred to new activities. These potential losses form an exit barrier, delaying plant closings, depressing profits, and prolonging adjustment for the entire industry.*

Exceto pelo *boom* em meados da década passada, a siderurgia mundial vem convivendo com excesso estrutural de capacidade instalada por muitos anos. Ainda segundo DEILY (1988), a magnitude das barreiras à saída em uma indústria depende de três fatores: a) por quanto tempo as receitas brutas sejam superiores aos custos variáveis; b) quão específico e durável é o capital; c) qual é a magnitude dos custos de saída. Na visão do autor, os elevados custos de fechamento são as barreiras à saída mais relevante na indústria siderúrgica. Quando uma planta é

fechada, a empresa incorre em vários custos, incluindo os relacionados ao desmantelamento dos equipamentos, os prejuízos operacionais até a completa paralisação das atividades, as perdas envolvendo os términos dos contratos e o *write-down* dos ativos. Quanto aos custos laborais, é necessário também arcar com custos de demissão e dos fundos de pensão.

IKENSON (2004), por sua vez, aponta que o protecionismo é um dos principais determinantes na criação das barreiras à saída na siderurgia (norte-americana). Tais barreiras representariam distorções frente aos sinais de mercados que desencorajariam empresas falidas a cessar suas operações. A existência continuada destas firmas ineficientes enfraqueceria a indústria na sua totalidade, seja por acarretar preços mais baixos, seja por impedir que as empresas mais eficientes possam se apropriar de maiores economias de escala.

Embora os textos que discutem barreiras à saída sejam relativamente antigos, pode-se argumentar que suas conclusões são atuais, principalmente quando se considera que o excesso de capacidade instalada e o elevado número de medidas de defesa comercial continuam a fazer parte do contexto do negócio siderúrgico.

1.3.3. Elasticidades da demanda

Como mencionado na seção 1.1, os aços são consumidos principalmente pelos seguintes setores: a) construção; b) equipamentos mecânicos e elétricos; c) transporte; d) produtos de metal; e) utilidades domésticas. Portanto, a siderurgia encontra-se no meio de várias cadeias produtivas, razão pela qual usualmente é classificada como produtora de bens intermediários. Em suma, com exceção de embalagens (que são utilizadas para bens de consumo não-durável, como alimentos), a grande maioria dos produtos siderúrgicos é empregada na fabricação de bens de capital e de bens de consumo durável. Por conta disto, a siderurgia é uma indústria muito sensível às condições de crédito (volume disponível, taxa de juros e prazos de pagamento) e às expectativas de crescimento da economia (variação estimada do PIB, taxa de desemprego etc).

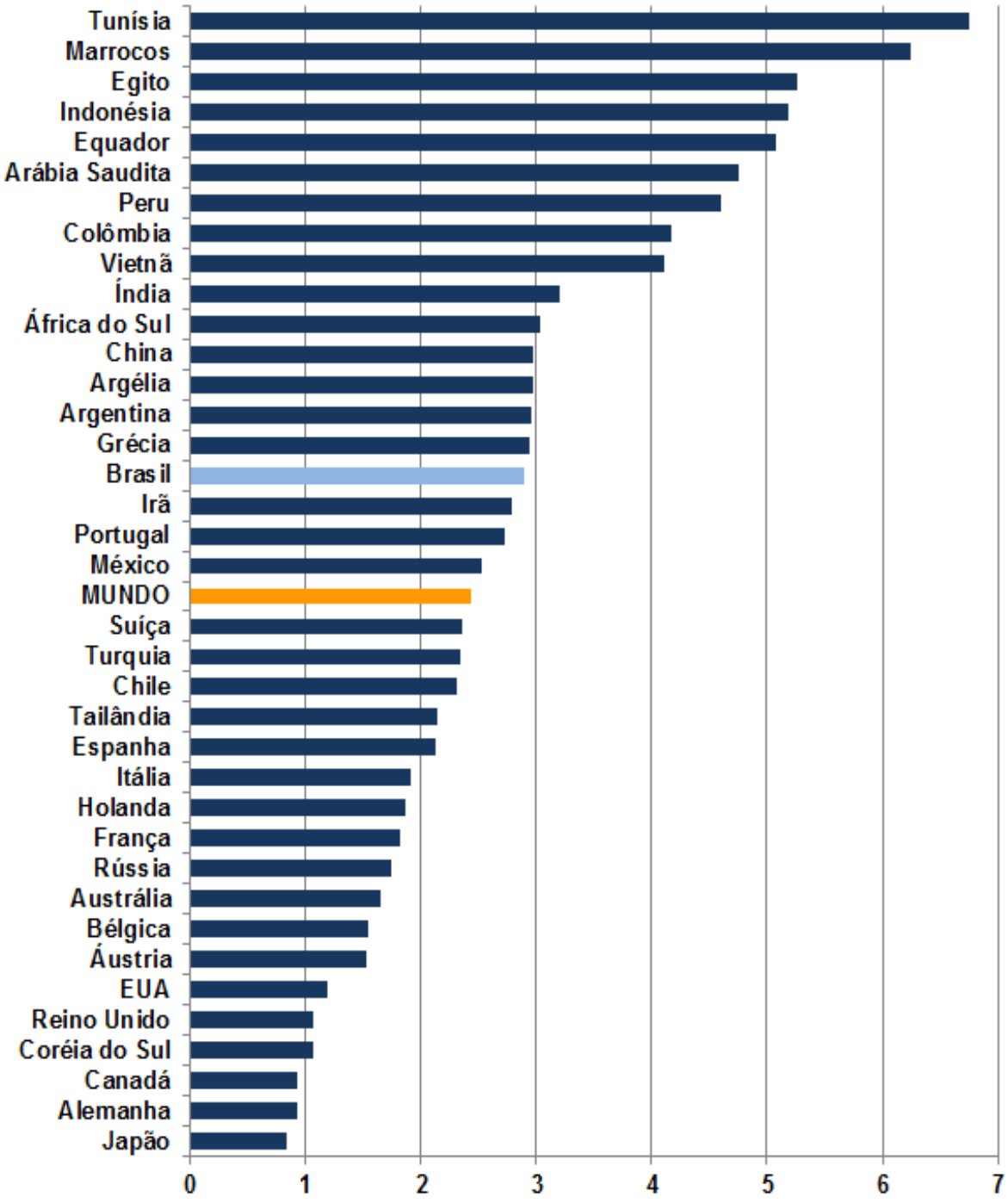
No que tange à elasticidade-preço da demanda, SCHIMIDT & LIMA (2006) citam um estudo de que no Reino Unido, tal elasticidade era equivalente a -0,62. Na verdade, embora importante, este tema não tem recebido muita atenção dos pesquisadores em nível mundial.

CHEN *et alii* (1991) apresentam dados sobre os determinantes da demanda siderúrgica chinesa, no período 1953-1988, a partir de vetores auto-regressivos (VAR). Estes autores encontraram uma elasticidade-renda de demanda de aço de 1,8 e elasticidade-investimento de demanda de aço de 0,6. A renda explicava sozinha (R^2) 77% da variação da demanda de aço, enquanto o investimento o fazia em 88%. Mesmo assim, a maior parte dos estudos setoriais continua a privilegiar a elasticidade-renda da demanda, o que evidentemente vai depender do grau de maturidade econômica de cada país. Nas economias emergentes, é usual que a elasticidade-renda da demanda siderúrgica seja superior a um.

No que concerne à elasticidade-cruzada da demanda, o aço enfrenta vários materiais sucedâneos, tais como cimento (na construção civil), alumínio e plástico (na indústria automobilística) e alumínio, vidro e plástico (na indústria de embalagens). Sem a pretensão de esgotar o debate, faz-se necessário ressaltar três aspectos. Primeiro, o grau de utilização de um determinado material depende do nível de renda da população. Isto talvez seja mais evidente ao se comparar a demanda de cimento e de aço. Em 2009, o consumo *per capita* de cimento foi 144% superior ao dos produtos siderúrgicos (Gráfico 1.12). Esta diferença foi na Tunísia de 575%, na Índia de 220%, na China de 198%, no Brasil de 90%, nos Estados Unidos de 19%. Portanto, estes dados sugerem uma correlação positiva entre o nível salarial e a utilização mais intensiva de produtos siderúrgicos em detrimento do cimento. Poucos países (Japão, Alemanha e Canadá) apresentam um maior consumo *per capita* de aço em relação ao cimento, o que parece correlacionado à maior importância relativa da indústria automotiva na demanda siderúrgica.

Gráfico 1.12:

Relação entre o consumo *per capita* de cimento e de produtos siderúrgicos, 2009



Fonte: elaboração própria a partir de dados da WSA, CEMBUREAU, Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), United States Geological Survey (USGS), World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

Segundo, no âmbito da competição entre os metais, o principal competidor do aço é o alumínio, que vem ganhando mercado em particular na indústria automotiva, nas embalagens (latas para bebidas) e na construção civil (esquadrias). No caso dos veículos leves norte-americanos, a fatia do alumínio aumentou de 2,0% em 1970 para 5,1% em 1990 e ainda para 8,8% em 2010 (SCHEPS, 2010). Apesar de este crescimento ter sido não desprezível, o patamar alcançado é bem aquém do previsto no final da década de 1990, quando se esperava que a participação do alumínio alcançasse 15% em 2010. A perda de mercado foi inferior à estimada por conta da crescente difusão dos aços de alta resistência. Ademais, a própria indústria do alumínio espera que tal participação atinja 10,4% em 2020, mantendo sua trajetória de crescimento incremental.

Ainda em relação à competição entre alumínio e aço, talvez tenha sido no mercado de embalagens que o alumínio tenha ganhado mais participação. Aliás, este segmento é muito provavelmente aquele em que o aço vem apresentando o pior resultado comparativamente aos seus sucedâneos, como se depreende da queda da produção de folhas estanhadas (ou folhas-de-flandres) em vários países industrializados (DE PAULA, 2011).

Terceiro, a despeito da perda de mercado para o alumínio, a diferença do tamanho de mercado a favor do aço continua sendo muito considerável. Em 2000, a produção global do alumínio primário foi equivalente a 2,87% da de aço bruto. Em 2011, esta razão foi igual a 2,91%. Resumidamente, embora no âmbito dos países industrializados, o alumínio esteja ganhando mercado do aço em várias aplicações, em termos agregados tal crescimento é mitigado pelo fato de que o consumo de tais metais é cada vez mais dependente das nações emergentes.

Tanto o alumínio, quanto o aço possuem boas características para reciclagem. No caso da siderurgia, a sucata metálica é o principal componente da carga metálica dos fornos elétricos a arco, que responderam por 29,2% da produção global de aço bruto em 2011, totalizando 442 milhões de toneladas. Assim, o aço é considerado o material mais reciclado do mundo.

1.3.4. Concorrência e estratégias

A estrutura industrial da siderurgia é um bom exemplo de um oligopólio homogêneo. Diante de consideráveis barreiras à entrada, relacionada a uma

elevada intensidade de capital, a estrutura de mercado é usualmente concentrada no âmbito de cada país, embora a indústria seja ainda relativamente fragmentada em nível mundial, em comparação com fornecedores (mineradoras de ferro e carvão) e consumidores (automobilística).

Em termos de estratégias competitivas, destacam-se as F&As, já abordadas na subseção 1.3.1. Em relação às alterações patrimoniais, dois aspectos precisam ser ressaltados. Primeiro, no período 2003-2011, com base nas informações publicadas pela PWC, as transações transfronteiriças na indústria siderúrgica global totalizaram US$ 166,6 bilhões, o que correspondeu a 61,0% do total. Ratifica-se, assim, a estreita relação entre as F&As e a internacionalização produtiva na siderurgia mundial nos últimos nove anos.

Segundo, no penúltimo relatório anual sobre M&A na cadeia mínero-metalúrgica, PWC (2011) enfatizou que a importância relativa da mineração de ferro aumentou substancialmente. De fato, sua fatia passou de apenas 4% em 2006-2007 para 29% em 2008, 49% em 2009 e 57% em 2010. Isto é evidentemente uma consequência das maiores margens de lucros auferidas pelas mineradoras de ferro.

A internacionalização produtiva, por sua vez, tende a favorecer o comércio intra-firma. Contudo, a disponibilidade de estatísticas sobre o tema é muito escassa. De acordo com LANZ & MIROUDOT (2011), estatísticas (coletadas pela alfândega) estão disponíveis apenas para os Estados Unidos; nesse país, em 2009, o comércio intra-firma foi equivalente a 48% das importações e a 30% das exportações. As importações relativas ao Capítulo 72 da classificação alfandegária (que congregam os produtos siderúrgicos) mostram que o índice de comércio intra-firma foi de 39% em 2009, estando aquém da média nacional. Vale a pena também mencionar que as importações siderúrgicas regrediram 61% em valores em 2009 em relação ao ano anterior, enquanto que as operações siderúrgicas intra-firma diminuíram 56% e as transações de partes não-relacionadas de produtos siderúrgicos reduziram 64%.

Ainda segundo LANZ & MIROUDOT (2011), as exportações intra-firma de produtos siderúrgicos dos Estados Unidos foram de tão somente 12% (contra 30% da média nacional) em 2009. As exportações totais norte-americanas de aço reduziram 35% em 2009, com queda de 26% no comércio intra-firma e 36% nas

transações de partes não-relacionadas. Como seria de se esperar, o comércio intra-firma se mostrou mais resiliente aos impactos da crise econômica global.

É interessante observar que, em 2009, as importações norte-americanas de semiacabados corresponderam a 11,9% das importações totais de produtos siderúrgicos. Este valor é bastante inferior aos 39% encontrados por LANZ & MIROUDOT (2011) para as importações intra-firma no mesmo ano. Portanto, pode-se concluir que o comércio intra-firma está longe de se restringir à complementariedade produtiva decorrente do comércio internacional de semiacabados.

No que concerne ao comércio intra-firma envolvendo semiacabados, deve-se sublinhar que alguns grandes exportadores de placas vêm adquirindo laminações em outros países, o que representa uma integração vertical a jusante. No período 2003-2008, adquiriram laminações no exterior com capacidade instalada conjunta de 10 milhões de toneladas. Como consequência, as exportações intra-firma de placas das siderúrgicas da Rússia e Ucrânia aumentaram consideravelmente, passando de 3% em 2004 para expressivos 49% em 2008 (BARKOVA, 2008). Infelizmente não se obteve informações mais recentes, mas é pouco provável que esta proporção tenha regredido a partir de 2009.

Outra forma importante de comércio intra-firma é aquela que decorre de *joint-ventures* dedicadas à relaminação. As principais características destas alianças estratégicas transfronteiriças são: a) construção de novas plantas de laminação, ou seja não envolve, portanto, o aumento de produção de aço bruto; b) o material a ser laminado pode ser fornecido pela empresa siderúrgica doméstica ou pela parceira internacional; c) o sócio doméstico se encarrega da comercialização; d) a companhia siderurgia estrangeira provê a tecnologia; e) as inversões dos sócios estrangeiros são relativamente pequenas por se concentrarem em alguns equipamentos (ao invés de aportar recursos requeridos para construir ou adquirir usinas integradas) e por contarem com algum sócio, geralmente se focalizando no atendimento dos segmentos de maior valor agregado.

No que tange às estratégias corporativas, na lista das vinte maiores siderúrgicas mundiais, a grande maioria é focalizada na cadeia mínero-metalúrgica (compreendendo desde a mineração até a distribuição de produtos siderúrgicos). As

principais exceções são: Tata Steel (que pertence ao grupo diversificado indiano Tata), ThyssenKrupp (que atua em bens de capital, soluções automotivas, elevadores e serviços industriais) e Hyundai Steel (que é controlada pelo Grupo Hyundai-Kia Motor, cujo negócio mais importante é a indústria automobilística).

Segundo DE PAULA (2002), de fato, as inovações radicais na siderurgia mundial têm sido pouco frequentes. Por outro lado, inúmeras inovações incrementais têm contribuído para a elevação gradativa, mas substancial, dos indicadores de qualidade, rendimento energético e das matérias-primas, e produtividade dos equipamentos e da mão-de-obra (PINHO, 2001). Este tema será examinado mais detalhadamente na seção 1.5.

Em linhas gerais, pode-se afirmar que a estratégias predominantes das companhias siderúrgicas líderes contemplam cada vez mais F&As, internacionalização produtiva e integração vertical. Por outro lado, é pouco frequente a participação em conglomerados e a adoção de inovações radicais.

1.4. Fatores críticos de competitividade

1.4.1. Fatores macroeconômicos e setoriais

Um abrangente estudo acerca da competitividade da siderurgia na Europa foi elaborado por ECORYS SCS Group, em 2008, para a Comissão Europeia. De acordo com esse relatório, os fatores fundamentais para a competitividade de uma indústria siderúrgica são:

a) Crescimento econômico;
b) Taxa de câmbio;
c) Altos requerimentos de capital;
d) Economias de escala;
e) Acesso às matérias-primas;
f) Energia;
g) Localização;
h) Logística.

No que tange às questões macroeconômicas, ECORYS SCS Group (2008) aponta que o desempenho da indústria siderúrgica depende obviamente do comportamento dos seus clientes, o que, por sua vez, é influenciado pelo ritmo de

crescimento econômico. As siderúrgicas devem desenvolver um relacionamento próximo com seus consumidores. De fato, embora as exportações representem uma parcela não desprezível da produção siderúrgica, em geral, os empreendimentos do setor visam prioritariamente ao atendimento do mercado doméstico. Quanto à interação com os usuários, isto depende do grau de sofisticação do produto, sendo menos essencial em produtos mais padronizados e mais crucial para alguns segmentos sofisticados, como os aços especiais/ligados.

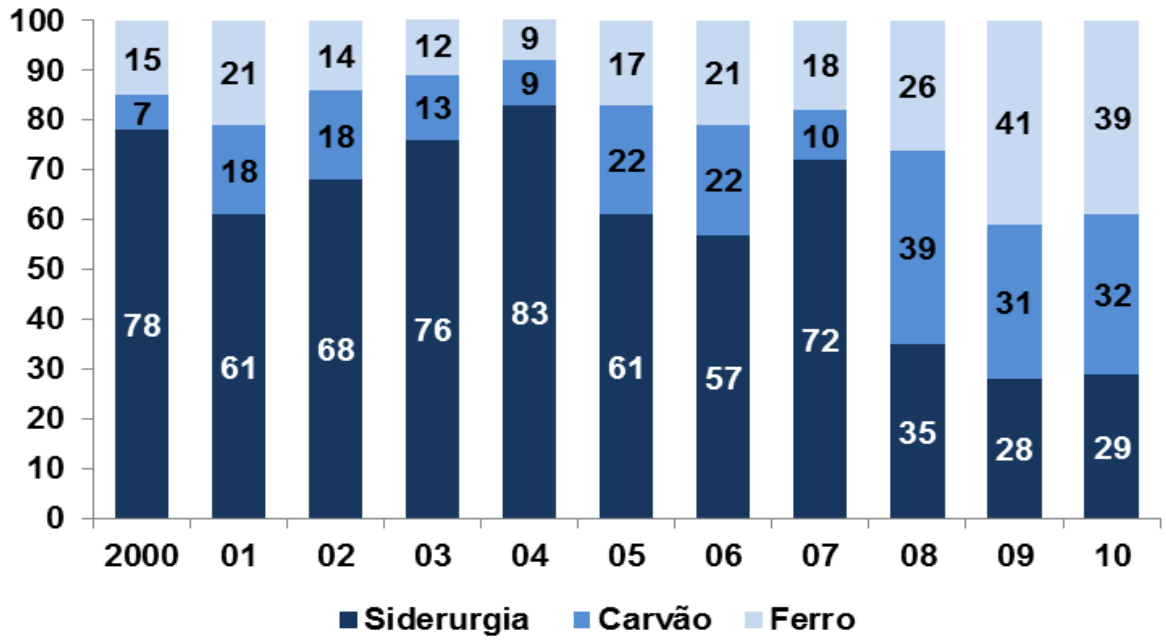
Como seria de se esperar, a competitividade internacional da indústria de cada país é influenciada pela taxa de câmbio. A apreciação cambial erode a competitividade da siderurgia do país em questão, situação que é particularmente relevante para a indústria brasileira (seção 2.4).

No âmbito setorial, ECORYS SCS Group (2008) destaca que as usinas integradas possuem altos custos fixos. Desta forma, apenas plantas com elevado grau de ocupação conseguem ser lucrativas. Ademais, tais usinas apresentam dificuldade em ajustar o ritmo de produção frente às variações cíclicas da demanda. Tal característica se relaciona às barreiras à entrada e à saída, temas previamente examinados neste texto.

Acesso às matérias-primas, energia, localização, logística possuem efeitos consideráveis sobre os custos. O incremento substancial da demanda de matérias-primas siderúrgicas por parte da China fez com que a garantia de insumos no longo prazo se tornasse uma grande preocupação para as companhias siderúrgicas (ECORYS SCS Group, 2008). Assim, uma questão importante refere-se à distribuição dos lucros entre as siderúrgicas e os fornecedores das principais matérias-primas (minério de ferro e carvão). Como se constata no Gráfico 1.13, em 2005, as siderúrgicas se apropriavam de 61% dos lucros da cadeia produtiva, ao passo que as minerações de carvão e ferro obtinham respectivamente 22% e 17%. Desde então, a fatia da siderúrgicas chegou a aumentar para 72% em 2007, contabilizando quedas significativas para 35% em 2008 e 29% em 2010. Em suma, percebe-se uma intensa redistribuição dos ganhos a favor dos fornecedores de insumos, à custa das siderúrgicas. Neste contexto, as usinas mais verticalizadas à montante atualmente possuem uma substancial vantagem competitiva.

Gráfico 1.13:

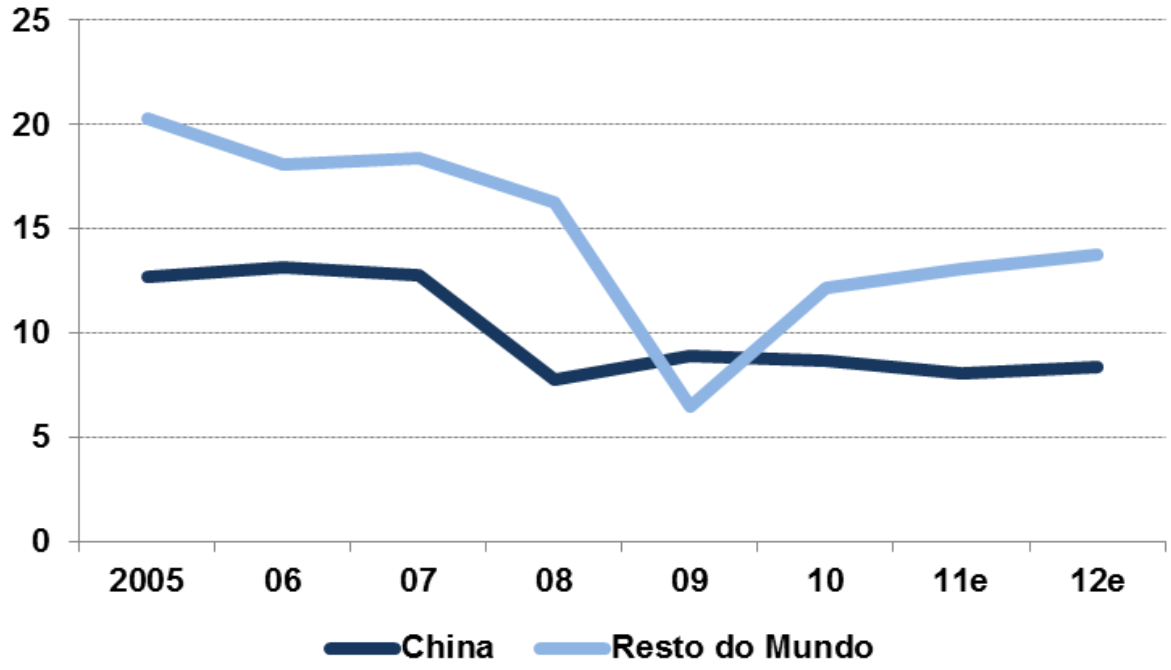
Distribuição dos lucros entre siderúrgicas e fornecedores de matérias-primas, 2000-2010 (percentual)



Fonte: McKinsey citado por FGV (2011)

Como consequência da tendência acima mencionada, as margens de lucro das siderúrgicas se reduziram significativamente num passado recente. O Gráfico 1.14 apresenta a margem de lucro, antes de juros, impostos, depreciação e amortização (margem LAJIDA ou margem EBITDA, pelo acrônimo em inglês) das companhias siderúrgicas chinesas e das sediadas em outros países. A menor lucratividade das empresas chinesas não pode ser dissociada do fato de serem empresas predominantemente estatais, que recebem generosos subsídios e que visam à maximização da produção, mesmo às custas de menores lucros. Assim, é prudente prestar mais atenção ao comportamento econômico das siderúrgicas não-chinesas. Para estas companhias, a margem LAJIDA regrediu num primeiro momento de 20,3% em 2005 para 16,3% em 2008. Como resultado da crise econômico-financeira global, o desempenho foi de 6,5% em 2009, recuperando-se para 12,2% em 2010. Estima-se que esta margem alcançe 13,8% em 2012, mantendo-se abaixo do padrão verificado antes da crise.

Gráfico 1.14:
Margem LAJIDA de companhias siderúrgicas chinesas e do resto do mundo, 2005-2012 (percentual)



Fonte: World Steel Dynamics (2011b)

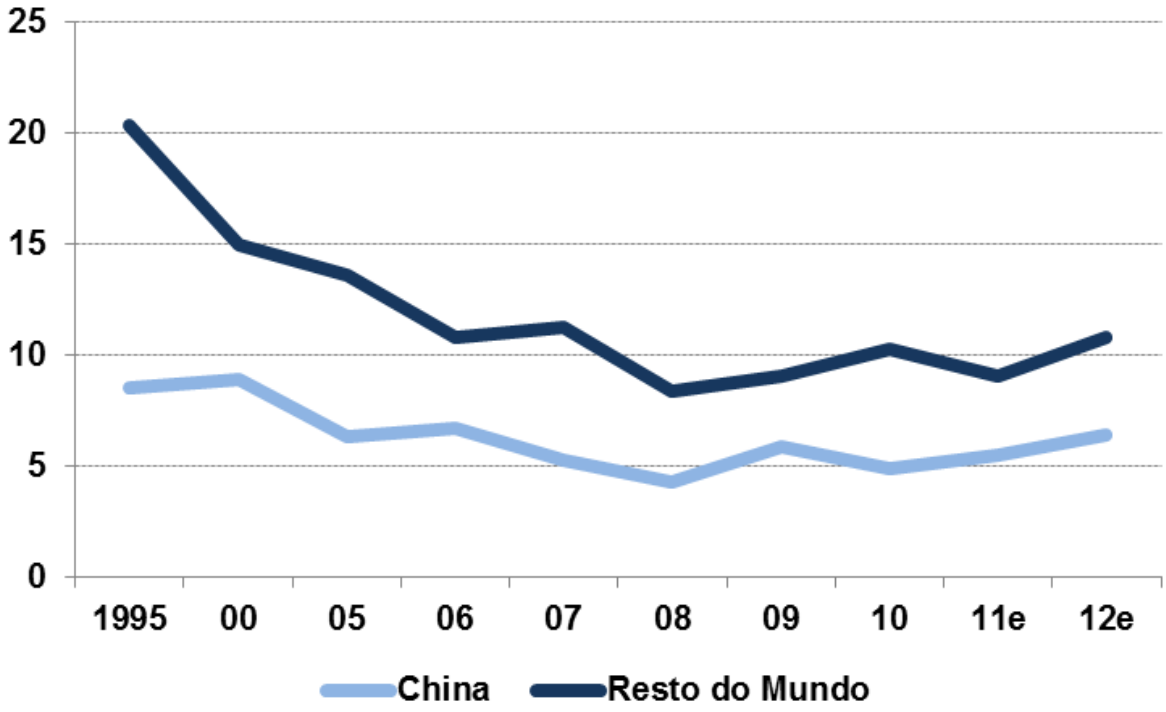
Deve-se sublinhar que a indústria siderúrgica é uma grande consumidora de energia, demandando substanciais quantidades de carvão, gás natural e eletricidade. É bem verdade que os fatores críticos de competividade são distintos conforme as rotas tecnológicas. Carvão mineral coqueificável é essencial para as usinas integradas a coque; carvão vegetal para as usinas integradas a carvão vegetal; gás natural e carvão não-coqueificável para usinas integradas à redução direta; e eletricidade para as usinas semi-integradas.

No que concerne à localização, as novas usinas siderúrgicas integradas têm sido instaladas principalmente no litoral para serem abastecidas de insumos importados. Atualmente, plantas integradas instaladas no interior têm incorrido em custos adicionais de transporte, o que afeta negativamente sua competitividade (ECORYS SCS Group, 2008). Para as usinas semi-integradas, o fator locacional mais importante é a proximidade das fontes de sucata ferrosa.

A logística é fundamental para a competitividade da siderurgia, já que é uma atividade intensiva em transportes. Estima-se que os custos de transporte sejam equivalentes de 5% a 15% do preço final dos produtos siderúrgicos (ECORYS SCS Group, 2008). É interessante registrar que, em 2010, 42% do comércio transoceânico de granel seco foram de insumos siderúrgicos e outros 8%, de produtos siderúrgicos (PAGLIA, 2011). Portanto, metade deste fluxo comercial foi derivada da cadeia siderúrgica. Como o comércio transoceânico de granel seco superou 3 bilhões de toneladas em 2010, a indústria siderúrgica movimentou 1,5 bilhão de toneladas de insumos e produtos siderúrgicos por navios.

A importância dos custos salariais na siderurgia tem sido decrescente ao longo das últimas duas décadas. Como se observa no Gráfico 1.15, a participação nos custos totais em siderúrgicas não-chinesas decresceu de 20,4% (em 1995) para 15,0% (em 2000) e para 10,3% (em 2010), ao passo que para as chinesas, os respectivos números foram 8,5%, 8,9% e 4,9%. Os principais fatores explicativos para tal trajetória são: a) maior difusão de equipamentos mais compactos e de automação industrial, ampliando a produtividade do trabalho no setor; b) o processo de F&A, permitindo maior especialização produtiva das usinas e eliminação de postos de trabalho de cunho administrativo; c) o incremento da importância relativa dos custos das matérias-primas, diminuindo a participação dos demais itens na composição de custos.

Gráfico 1.15:
Importância relativa do custo salarial em companhias siderúrgicas chinesas e do resto do mundo, 1995-2012 (percentual)



Fonte: WSD (2011a)

Após discussão de fatores macroeconômicos e setoriais que influem a competitividade dos parques siderúrgicos nacionais, a próxima subseção é focalizada nas políticas industriais.

1.4.2. Políticas industriais

Uma característica importante acerca da política industrial (PI) é a diversidade de abordagens que vêm sendo empregadas em diferentes nações. As PI variam em termos de importância (alta x baixa), medidas preferenciais (horizontais x verticais), periodicidade (contínua x momentânea) e formalização (explícita x implícita). No que tange à última questão, conforme originalmente formulado por Herrera (1973), as PI podem ser explícitas e implícitas. As primeiras se expressam em leis, regulações, órgãos, planos de desenvolvimento e declarações governamentais. Por sua vez, as PI implícitas são mais difíceis de identificar, pois representam exatamente o que vem sendo feito. Assim, não é muito raro que determinadas ações de PI não sejam

implementadas como anunciadas. Analogamente, um país pode estar adotando uma determinada PI sem que essa ação esteja explicitamente contida em documentos formais.

Os traços marcantes da PI variam consideravelmente entre os países. De um lado do espectro, em nações como China e Índia, as PI são explícitas e baseadas em um abrangente conjunto de instrumentos, incluindo o uso de empresas estatais (EE). No caso da China, em 2011, foi aprovado o 12º Plano Quinquenal de Desenvolvimento, que estabeleceu que o crescimento econômico do país deveria ser baseado no consumo doméstico, no desenvolvimento tecnológico, no apoio a novas indústrias estratégicas e no desenvolvimento balanceado entre as regiões. Trata-se de um documento bastante detalhado, contendo 62 capítulos (SHEN *et alii,* 2011). A Índia também faz uso de planos quinquenais.

No outro lado do espectro, principalmente em países desenvolvidos, a abordagem preferencial é prover benefícios sob o guarda-chuva da proteção ambiental e desenvolvimento tecnológico, o que pode facilitar a transição para uma economia de baixo carbono. Em relação à experiência da União Europeia, por exemplo, Pelkmans (2006) mostra a diminuição da relevância das medidas de cunho vertical, bem como o incremento do financiamento de novas tecnologias, em áreas como novos materiais, hidrogênio, saúde e meio-ambiente.

A siderurgia vem sendo considerada, por várias décadas, um setor industrial estratégico, por causa de seus consideráveis encadeamentos a montante e a jusante. Isto, aliás, foi um das principais motivações para a constituição de EE siderúrgicas em vários países (DE PAULA, 1998). Assim, em função da elevada capacidade de encadeamento, o setor recebeu atenção dos formuladores de PI em várias nações. Na experiência brasileira, por exemplo, de um total de vinte e três setores industriais em 1975, a siderurgia ocupava o posto de segundo a sexto maior (conforme os diferentes critérios) gerador de encadeamentos totais (para trás e para frente), de acordo com Rossi, Sant'Anna e Sidsamer (1985). Mais recentemente, FGV (2011) estimou que a siderurgia apresenta o vigésimo-quarto maior índice de ligação para trás e o décimo maior índice de ligação para frente, dentre 56 setores. Desta forma, a siderurgia persiste sendo uma atividade crítica para grande parte das atividades produtivas na economia brasileira.

Embora continue sendo representativa nos tecidos industriais de vários países, as trajetórias típicas da produção de aço nos atuais países emergentes tendem a ser muito distintas daquelas observadas em nações já industrializadas. Nos primeiros, a necessidade de construção de infraestrutura, muitas vezes como consequência do processo de urbanização, estimula um crescimento acentuado da demanda siderúrgica, o que por sua vez motiva a expansão da produção doméstica de aço. Segundo informações da WSA, na China, a produção de aço bruto expandiu de 129 para 683 milhões de toneladas no período 2000-2011, perfazendo uma taxa anual média de crescimento de 16,4%. Na Índia, os respectivos números foram 27 e 72 milhões de toneladas e 9,3%. O Brasil contabilizou um incremento mais modesto, ao crescer de 28 para 35 milhões de toneladas, resultando num aumento anual médio de 2,1%.

Nos países industrializados, esgotado o ciclo de construção da infraestrutura e do incremento do consumo *per capita* de bens de consumo duráveis (automóveis e eletrodomésticos), alguns países tendem a manter ou a diminuir o ritmo da atividade siderúrgica. No período 2000-2011, a produção japonesa mostrou um pequeno acréscimo, passando de 106 para 108 milhões de toneladas. Na Alemanha, a queda foi relativamente modesta, reduzindo-se de 46 milhões de toneladas em 2000 para 44 milhões de toneladas em 2011. Nos Estados Unidos, a retração foi acentuada, diminuindo de 102 para 86 milhões de toneladas, respectivamente. No Reino Unido, a redução foi ainda mais vigorosa, regredindo de 15 para 9 milhões de toneladas. Nesse contexto, é razoável assumir a hipótese de que a importância e os instrumentos de PI adotados em países industrializados e emergentes, no tocante à siderurgia, sejam distintos.

A bem da verdade, não se constatam diferenças apenas quanto ao grau de importância econômica da siderurgia para os diferentes países – o que obviamente desperta a maior ou menor atenção dos formuladores de PI –, mas o próprio formato de PI não é uniforme entre as nações. China e Índia, além de elaborarem os Planos Quinquenais de Desenvolvimento (que é o extremo de uma PI formalizada), também formulam PI específicas para a siderurgia (revelando a importância das medidas verticais). Nestes dois casos, as PI para a siderurgia foram divulgadas em 2005. As metas mais importantes da *China's Steel Industry Development Policy* se referem ao grau de concentração de mercado (participação das dez maiores empresas), padrão

tecnológico, consumo energético, perfil exportador e propriedade de minas no exterior (SBB, 2005). Na experiência da Índia, o principal objetivo é expandir a produção do patamar de 38 milhões de toneladas no ano fiscal 2004-05, para mais de 100 milhões de toneladas no ano fiscal 2019-20, correspondendo a uma taxa anual média de crescimento de 7,3% (INDIA, 2005). Nos países desenvolvidos, atualmente não é frequente a elaboração de políticas industriais específicas para a siderurgia.

1.5. Dinâmica tecnológica

1.5.1. Intensidade em pesquisa & desenvolvimento

A siderurgia mundial é madura em termos tecnológicos, sendo que a baixa intensidade de seus gastos em pesquisa & desenvolvimento (P&D) constitui-se no indicador mais característico deste fato (PINHO, 2001). Por exemplo, na experiência das empresas norte-americanas (incluindo as subsidiárias no exterior), em 2008, os gastos em P&D na metalurgia básica foram equivalentes a apenas 0,4%, contra 3,4% da indústria de transformação e 3,0% de todas as atividades (WOLFE, 2010).

A partir das informações disponíveis no *website* da Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), elaborou-se a Tabela 1.1, que mostra a participação dos gastos em P&D na indústria de ferro e aço em relação ao dispêndio de P&D na indústria de transformação, ao longo do período 2002-2007, em economias selecionadas. Considerando a média ponderada destas dezenove países, esta razão apresentou pequena tendência de alta, evoluindo de 1,06% para 1,22%, respectivamente. Com exceção da Austrália, cujo índice destoa do resto da amostra talvez em função dos investimentos em P&D em beneficiamento de ferro, a participação do setor foi inferior a 2,4% dos gastos em P&D da indústria de transformação em 2007. Portanto, ratifica-se a conclusão de que a siderurgia não é muito dinâmica em P&D.

Tabela 1.1:
Importância relativa dos gastos em P&D em ferro e aço em relação à indústria de transformação, 2002-2007 (percentual)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Austrália	5,63	5,27	5,44	8,04	7,77	8,67
Áustria	1,86	2,02	2,40	2,89	2,91	2,38
Bélgica	3,70	3,73	2,81	2,88	2,24	2,23
Espanha	2,07	1,38	2,16	1,27	1,68	1,82
Coreia do Sul	0,38	1,87	1,97	1,68	1,34	1,54
Holanda	2,14	1,25	1,15	1,30	1,53	1,38
Rep. Checa	1,87	1,25	1,51	2,24	1,84	1,34
Japão	1,29	1,28	1,30	1,23	1,23	1,31
Turquia	5,87	1,03	1,17	1,27	1,75	1,19
Itália	0,55	0,50	0,29	0,43	0,69	1,16
Noruega	0,49	1,14	0,70	0,59	0,68	1,02
Taiwan	0,86	0,72	0,90	0,91	1,04	0,99
França	1,06	0,97	0,89	0,93	0,99	0,96
Polônia	4,47	5,49	1,44	0,86	0,51	0,90
Finlândia	0,66	0,63	0,72	1,00	0,82	0,74
Alemanha	0,52	0,51	0,51	0,77	0,74	0,74
Rússia	0,63	0,92	0,99	0,77	0,55	0,49
Hungria	0,01	0,57	0,59	0,49	0,48	0,42
Reino Unido	0,30	0,30	0,30	0,33	0,35	0,34
TOTAL	1,06	1,11	1,14	1,19	1,17	1,22

Fonte: elaboração própria a partir de dados da OCDE

Ainda em relação às informações da OCDE, foi possível elaborar um *ranking* dos dispêndios em P&D na siderurgia, em dólares constantes de 2005 e ajustados pelo poder de paridade de compra (PPP) das moedas. Como se verifica na Tabela 1.2, a liderança continua sendo do Japão, cuja indústria se notabilizou pela fabricação de produtos siderúrgicos mais sofisticados. A vice-liderança, historicamente exercida pela Alemanha, passou para a Coreia do Sul em 2007. Apesar de a amostra ser bastante representativa, as informações para os Estados Unidos e Brasil, entre outros, não estavam disponíveis na base de dados.

Tabela 1.2:

Gastos em P&D na siderurgia, 2002-2007 (US$ milhões constantes de 2005 em paridade de poder de compra das moedas)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Japão	962	966	1.030	1.065	1.125	1.247
Coreia do Sul	57	304	376	351	324	408
Alemanha	206	206	207	307	314	319
Austrália	131	140	141	222	214	257
França	225	203	193	195	217	206
Taiwan	56	52	72	82	103	110
Espanha	82	56	98	58	84	92
Áustria	50	55	70	98	102	88
Itália	35	31	18	28	46	85
Bélgica	112	108	83	83	68	71
Holanda	87	54	51	58	69	60
Reino Unido	49	48	49	54	58	58
Finlândia	18	18	22	32	27	26
Turquia	48	6	9	15	23	21
Rep. Checa	16	11	16	28	29	19
Rússia	20	25	21	15	14	14
Noruega	4	11	6	5	6	10
Polônia	19	27	7	5	3	6
Hungria	0	2	3	3	3	3
TOTAL	2.179	2.323	2.471	2.704	2.828	3.099

Fonte: elaboração própria a partir de dados da OCDE

1.5.2. Inovações, apropriabilidade e cumulatividade

De acordo com FURTADO *et alii* (2000), a siderurgia é um setor *demand pull,* em que as necessidades dos consumidores direcionam as ações tecnológicas, diferentemente dos setores *technology push,* que se caracterizam por rápidas e grandes inovações tecnológicas. Assim, a intensidade dos gastos em P&D na siderurgia é menor do que nesses setores mais dinâmicos, do ponto de vista tecnológico.

PINHO (2001), por sua vez, enfatiza que a intensidade desses esforços varia bastante entre os segmentos da siderurgia, respondendo a graus diferenciados de exigência dos consumidores. É maior no caso dos aços especiais e menor na maior parte dos laminados longos comuns. Além disso, numa indústria que se caracteriza

por um aparato produtivo tão vasto e complexo como costuma ser cada usina siderúrgica, há, naturalmente, amplo espaço para o constante desenvolvimento da tecnologia de processo. No entanto, à semelhança do que ocorre com a tecnologia de produto, o deslocamento da fronteira tecnológica não é particularmente rápido.

Em linhas gerais, ao longo do século XX, apenas duas inovações poderiam ser consideradas radicais: o conversor básico a oxigênio e o lingotamento contínuo. A aciaria básica a oxigênio (também conhecido como conversor LD) foi desenvolvida no início da década de 1950, pela siderúrgica austríaca Voest-Alpine. O principal insumo deste processo é o ferro-gusa, produzido em altos-fornos. Em 2011, 69,5% de todo o aço produzido no mundo utilizou-se da tecnologia conversor básico a oxigênio. Merece também destaque a tecnologia aciaria elétrica, que, embora seja um processo bem antigo (inventada por Heroult, na França, em 1899), somente teve uma difusão considerável a partir de meados da década de 1960 (DE PAULA, 1998). A aciaria elétrica, que utiliza a sucata como insumo principal, correspondeu a 29,2% do aço fabricado em 2011.

Depois de produzido, o aço precisa ser solidificado (lingotado). Existem dois métodos alternativos: lingotamento convencional (utilizando-se lingoteiras) e o lingotamento contínuo. Este último também foi desenvolvido em meados da década de 1950, apresentando inúmeras vantagens em comparação com o lingotamento convencional. O lingotamento contínuo permite alto rendimento semi-acabado/aço líquido (cerca de 98%), sendo mais compacto (eliminando lingoteiras, fornos-poço e laminador primário) e conferindo melhor qualidade ao produto final (DE PAULA, 1998). A difusão mundial do lingotamento contínuo passou de 30,1% (em 1980) para 59,1% (em 1990), 84,7% (em 2000) e ainda 95,0% (em 2011).

De um modo geral, as inovações radicais na siderurgia mundial têm sido pouco frequentes. No presente momento, duas são as principais tecnologias emergentes no setor, ambas baseadas numa trajetória de compactação de processos: *thin-slab-casting* e processos alternativos de produção de ferro primário. É interessante observar que os equipamentos de *thin-slab-casting* buscam substituir o laminador de tiras a quente, o mesmo acontecendo com os processos alternativos de produção de ferro primário em relação ao alto-forno. O laminador de tiras a quente e o alto-forno são exatamente os equipamentos nos quais as economias de escala são mais preponderantes em uma usina integrada a coque (o método

tradicional de produção siderúrgica, baseada em alto-forno e aciaria básica a oxigênio) – ver DE PAULA (1998). Por outro lado, inúmeras inovações incrementais têm contribuído para a elevação gradativa, mas substancial, dos indicadores de qualidade, rendimento energético e das matérias-primas, e produtividade dos equipamentos e da mão-de-obra (PINHO, 2001).

Além da dicotomia inovações radicais e incrementais na siderurgia, é também importante examinar outra clássica distinção entre inovações de produto e novos processos produtivos. Na siderurgia, a exemplo de outros setores maduros, a inovação, muitas vezes, ocorre pela incorporação de mudanças oriundas de outras indústrias, como de informática, mecânica, de bens de capital (FURTADO *et alii,* 2000). Historicamente, as empresas siderúrgicas vêm dedicando uma parcela cada vez maior de seu orçamento de P&D para novos produtos, relegando os esforços de desenvolvimento de novos processos para empresas de engenharia e produtoras de equipamentos. Isso não decorre apenas de um processo de concentração no *core business,* que implica maior especialização intra-setorial, mas também é diretamente relacionado à apropriabilidade do progresso tecnológico, ou seja, à capacidade de retenção financeira de uma inovação bem-sucedida.

Na siderurgia, a apropriabilidade é maior quando se trata de inovações de produto. O maior dinamismo da demanda nas faixas de mercado em que é possível desenvolver novas especificações, a possibilidade de estabelecer relacionamentos privilegiados com clientes e a consequente possibilidade de praticar preços mais elevados determinam a atratividade do desenvolvimento de novas variedades de aço, ou ainda, de técnicas que melhorem as condições de uso de aços com especificações já conhecidas. Por outro lado, a apropriabilidade das tecnologias de processo na siderurgia não apenas seria menor comparativamente à de produto, como estaria se reduzindo (PINHO, 2001). Isto não implica em atestar que as inovações de produtos são mais importantes do que as inovações de processo no setor, mas somente que as siderúrgicas priorizam inovações de produtos em seus esforços de P&D e preferem adotar inovações de processos desenvolvidas por terceiros.

Outro aspecto relevante diz respeito ao amplo leque de oportunidades para aprendizado na siderurgia, que se baseiam na acumulação de competências. Ao

analisar a experiência da CSN, CASTRO & FIGUEIREDO (2005, p. 128) concluem que:

> *As evidências sugerem que a melhoria de performance técnica e econômica foi influenciada pela acumulação de competência tecnológica e que esta contribuiu para aumento da competitividade da empresa (...) A acumulação de competências tecnológicas de rotina desempenha papel fundamental para acumulação e sustentação de competências inovadoras, ou seja, a produção de aços especiais por meio do processo de desgaseificação a vácuo não seria possível, sem que uma base de conhecimentos se desenvolvesse no sistema tradicional de metalurgia (...) As características-chaves dos processos de aquisição de conhecimentos externo e interno e de conversão pela socialização ou codificação exerceram forte relação sobre a acumulação de competências tecnológicas e a melhoria de desempenho operacional.*

Concluindo, a dinâmica tecnológica da siderurgia mundial pode ser sintetizada por poucas inovações radicais, muitas inovações incrementais, baixa intensidade de P&D e várias possibilidades de aprendizado.

1.5.3. Inovações relevantes por etapa produtiva

Esta subseção é totalmente baseada no diagnóstico tecnológico realizado por CGEE (2010), no qual este autor atuou como relator do projeto. Assim, são apresentadas as trajetórias tecnológicas para as principais etapas produtivas.

Alto-forno a coque: a tecnologia de redução de minério de ferro em altos-fornos a coque é avançada e otimizada. Os seus desenvolvimentos, atualmente, são incrementais, não passando de 1% ao ano. O estado-da-arte da tecnologia de uso dos redutores é muito satisfatório, havendo pouco espaço para ganhos adicionais de eficiência superiores a 10% frente aos níveis atuais. No âmbito das inovações incrementais em altos-fornos a coque, merecem destaque:

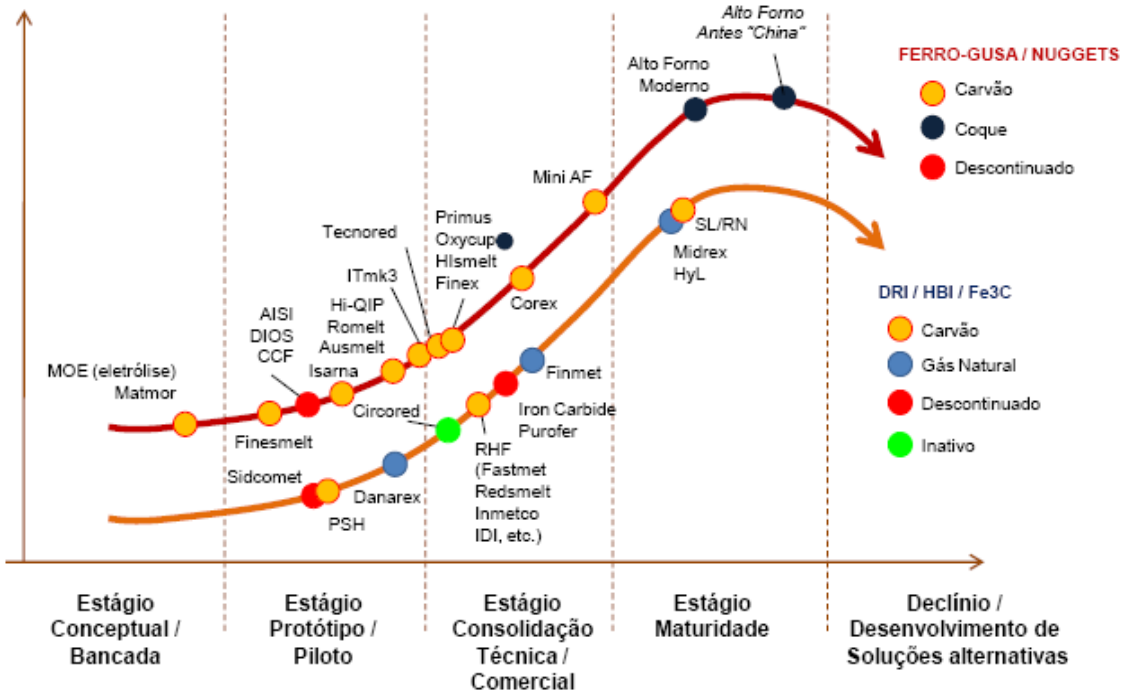
- O aumento das campanhas (acima de 20 anos), em função da melhoria dos revestimentos refratários, do uso de painéis (*staves*) e do controle do desgaste dos cadinhos;
- As injeções de carvão, gás natural, óleo, plásticos, entre outros, pelas ventaneiras dos altos-fornos (co-injeção e injeção de finos de carvão pulverizado/PCI);

- O incremento da produtividade, como decorrência de instrumentação e automação e sistema de distribuição de carga (topo sem cone/*bell-less top*);
- O aproveitamento energético do gás de topo (cogeração);
- A granulação de escória (coproduto);
- Melhoria operacional dos regeneradores;
- Melhoria no controle de qualidade do coque e introdução do conceito de frações menores de coque (*small coke*);
- Melhorias nas reatividades de coque e de minério de ferro.

Redução direta: como já se mencionou na seção 1.1.2, os processos de redução direta respondem por cerca de 6,4% do ferro primário produzido mundialmente em 2011. Uma das vantagens dos pré-reduzidos (DRI e HBI) é o baixo teor de contaminantes, o que estimula o seu uso em aciarias elétricas, com a finalidade de fabricar aços de melhor qualidade. Em termos de quantidade do volume de pré-reduzidos, dois processos sobressaíram em 2011: Midrex (60,5%) e HyL (15,2%), ambos à base de gás natural. Outras tecnologias, com o emprego de carvão, foram responsáveis por 23,6% do DRI/HBI produzidos. Como se observa na Figura 1.4, os processos Midrex e HyL já se encontram num estágio de maturidade tecnológica.

No âmbito da siderurgia mundial, o volume de investimentos direcionados às usinas integradas à redução direta vem aumentando. Além disso, os processos de redução direta com gases de processo mais ricos em hidrogênio têm sido alvo de investigações em importantes programas multi-institucionais no exterior.

Figura 1.4: Maturidade Tecnológica dos Processos de Produção de Ferro Primário



Fonte: Noldin Jr (2011)

Processos emergentes de redução: os estágios de maturidade tecnológica de vários processos emergentes de redução também estão retratados na Figura 1.4. Duas linhas em desenvolvimento se destacam: a auto-redução e a fusão-redutora. Por visarem à produção de ferro-gusa ou produtos metálicos similares (*nuggets* e *pebbles*), os processos emergentes são propostas alternativas ao alto-forno, em particular ao alto-forno a coque. De fato, os processos emergentes têm sido concebidos visando a eliminar as etapas de aglomeração do minério de ferro e de coqueificação, ambas inerentes à rota do alto-forno a coque, permitindo com isso o uso generalizado de minérios finos e de carvões não-coqueificáveis.

Enquanto alguns processos emergentes já deram inicio em suas unidades comerciais (Corex e Finex), outros ainda se encontram em fase de demonstração de suas tecnologias (Tecnored, HIsmelt, Rotary Hearth Furnace/RHF, High-Quality Iron Pebble/Hi-QIP). No que tange aos primeiros, os processos Corex (na África do Sul) e Finex (na Coréia do Sul) têm apresentado resultados preliminares considerados animadores pelos responsáveis por suas tecnologias, nas escalas comerciais já

implementadas. Existem sete plantas Corex em operação no mundo: ArcelorMittal Saldanha (África do Sul), JSW Steel (Índia, com dois módulos), Baosteel (China, com duas plantas) e Essar Steel (Índia, com duas unidades). Apenas uma planta comercial da tecnologia Finex, localizada em uma usina da Posco na Coreia do Sul, encontra-se em funcionamento (AGRAWAL & MATHUR, 2011). Estes processos serão discutidos em maior profundidade na seção 3.3.

Aciaria LD: a aciaria LD foi projetada para utilizar alta proporção de ferro-gusa líquido (80-85%) na composição de sua carga. A partir da década de 1980, começou a difundir-se o chamado “refino secundário”, que se propôs a realizar, em seguida e em reator separado, o acerto final da composição do aço. Várias inovações incrementais também permitiram a melhoria do desempenho dos conversores, tais como a utilização de gás natural nas ventaneiras de fundo, a modelagem matemática e o controle dinâmico do processo.

Os impactos das melhorias incrementais no desempenho da aciaria LD vêm mostrando sinais de esgotamento. De fato, o tempo médio de corrida (*tap-to-tap*) do conversor tem se mantido no patamar entre 38 e 45 minutos por mais uma década. O índice de vazamento direto e de acerto de fósforo e carbono situa-se entre 75% e 90% também há mais de dez anos. Estes dois indicadores são diretamente ligados à produtividade do conversor LD que, desta forma, tem se mantido mais ou menos estável, ao mesmo tempo em que a aciaria elétrica vem obtendo um incremento considerável da produtividade.

Aciaria elétrica: como representantes mais importantes da rota tecnológica das siderúrgicas semi-integradas, os fornos elétricos a arco (FEA) operam com a maior parte da carga no estado sólido (sucata ferrosa, ferro-gusa, DRI e HBI). Tais fornos são extremamente versáteis no que se refere à carga, além de permitir operação intermitente e mudanças rápidas de produção. Os FEA executam as etapas de fusão da carga sólida e subsequente refino primário (descarburização e desfosforação) via a injeção significativa de oxigênio (40 Nm^3 / tonelada de aço). Para tanto, estes equipamentos têm apresentado índice de consumo de energia elétrica em torno dos 400 kWh / tonelada de aço, com tendência a diminuí-lo (360-300 kWh/tonelada de aço), em face da incorporação de mais energia química complementar no processo (injeções de combustíveis e oxigênio: 25 kg C/tonelada de aço e até 70 Nm^3 de oxigênio/tonelada de aço).

Inovações tecnológicas importantes têm resultado em aprimoramento dos parâmetros operacionais dos FEA, não apenas em termos de eficiência energética e tempo de corrida (*tap-to-tap*), mas também em relação à melhoria da qualidade do produto. Por exemplo, os sistemas de pré-aquecimento de sucata têm sido aperfeiçoados, contribuindo para um menor consumo de energia elétrica no processo, em virtude do aproveitamento de parte do calor sensível contido nos gases de exaustão (cerca de 15-30% da energia fornecida ao forno). A adoção da técnica de espumação controlada das escórias – com a consequente operação dos FEA com taxas mais altas de potência elétrica – tem possibilitado significativo aumento de produtividade.

Produção direta de aço: a possibilidade de produção direta de aço (ou ferro de baixo carbono), mediante a utilização de apenas um reator para a realização das operações de redução em fase líquida (*bath smelting*) e de refino posterior (conversor), representaria uma inovação radical para a indústria siderúrgica. Ela revolucionaria toda a cadeia siderúrgica, afetando em particular as etapas de redução e refino.

Grande esforço de pesquisa vem sendo empreendido para o desenvolvimento da produção direta de aço. Já existem três versões tecnológicas testadas em escala-piloto nos projetos: a) *American Iron and Steel Institute-Direct Steelmaking* (AISI-DS, nos Estados Unidos); b) *Institut de Recherches de la Siderurgie Française* (IRSID, na Comunidade Europeia); c) Ifcon (África do Sul). Outro esforço relevante é o *Direct Iron-Ore Smelting*/DIOS (Japão). A redução em fase líquida tem sido pesquisada tentando-se o uso direto de carvão mineral não-coqueificável. O controle da espumação das escórias é considerado operação crítica para a estabilidade desses processos. Por fim, o desgaste dos refratários nos reatores de fusão-redutora (*bath smelting*) é uma preocupação séria, maior que nos processos convencionais.

Lingotamento: a difusão do lingotamento contínuo possibilitou a fabricação de produtos siderúrgicos de melhor qualidade, um considerável ganho de rendimento metálico (5%-10%) e uma significativa redução de custos. Hoje, o emprego do lingotamento convencional se restringiu a poucas aplicações nos quais ele se apresenta como a única solução econômica.

A tecnologia de lingotamento contínuo, principalmente de produtos de seções relativamente grandes (placas de 200-250 mm de espessura e tarugos quadrados a partir de 100mm de dimensão), está praticamente estabilizada. O número de corridas realizadas em sequência (indicador relevante para o rendimento e a eficiência do lingotamento contínuo) hoje é, praticamente, limitado pela quantidade de determinado grau de aço a ser produzido e não pela tecnologia de lingotamento.

Thin-slab-casting: a partir da década de 1980, o desenvolvimento da tecnologia de lingotamento contínuo de placas finas (*thin-slab-casting,* para aços planos) possibilitou a fabricação de produtos com espessuras de 50 a 60 mm e o incremento da velocidade da máquina de lingotamento para 5 a 10 metros/minutos. Consequentemente, incrementos expressivos de produtividade foram alcançados.

Em linhas gerais, observa-se a tendência de que os produtores de aços planos, que concentram o maior volume de aços produzidos em aciaria LD, passem a operar com lingotamento contínuo de espessura cada vez menor, buscando o enfornamento direto ou a produção contínua. Em outras palavras, ao invés de produzir placas que são esfriadas para inspeção ou estoque e, posteriormente, reaquecidas para a laminação (com significativa perda de energia), prefere-se a utilização de processos em que o calor presente na placa, após lingotamento, seja aproveitado para o trabalho a quente, na laminação. Isto configura uma compactação do processo produtivo.

Pode-se afirmar que a produção de bobinas laminadas a quente está caminhando para um patamar de espessuras inferiores a 2 mm e, em função da tecnologia troca de espessura durante o processo (*flying gauge change*) para o nível de 1 mm. Por conta disto, espera-se uma concorrência crescente entre as bobinas laminadas a quente e as bobinas laminadas a frio, em aplicações gerais, na faixa de aproximadamente 1,2 mm de espessura.

Laminação: o processo de laminação pode ser feito a frio ou a quente. Normalmente, a laminação a quente é usada para as operações de desbaste e a laminação a frio, para as operações de acabamento. Estas envolvem operações de tratamentos térmicos (esferoidização, normalização, recozimento etc.) ou tratamentos superficiais (zincagem, estanhagem, cementação, usinagem, têmpera superficial etc.). A melhoria do desempenho da laminação vem requerendo uma

maior instrumentação e um conhecimento fenomenológico mais profundo deste processo (carga, desgaste, formas, temperaturas, microestruturas, propriedades mecânicas etc.).

No caso da laminação de produtos longos, mais recentemente foi introduzido o conceito de linhas de laminação sem fim (*endless rolling*), nas quais os esboços são unidos através de solda durante o processamento no trem de laminação. Desta forma é possível eliminar tempos mortos entre laminações sucessivas de esboços e diminuir problemas de variações de temperatura, agarramento do esboço pelos cilindros e bobinamento dos produtos. Este tipo de configuração foi estendido para o lingotamento e laminação sem fim (*endless casting and rolling*), no qual o aço é lingotado continuamente, o tarugo tem sua temperatura uniformizada, sendo a seguir laminado e tratado termicamente em uma única linha de produção conectada. Também pode ser considerada um importante progresso na configuração das linhas de laminação a utilização de pré-formas (*beam blank*) lingotadas continuamente como matéria-prima dos laminadores de perfis. Assim, à semelhança dos produtos planos, a lógica de tais inovações é compactar e sincronizar as etapas de fabricação.

Este capítulo teve por objetivo discutir as principais características da indústria siderúrgica mundial, ao passo que o próximo examina as mesmas questões para a siderurgia brasileira.

CAPÍTULO 2:
QUADRO NACIONAL

2.1. Caracterização setorial

2.1.1. Principais produtos, segmentação de mercado e consumidores

A siderurgia brasileira não apresenta peculiaridades relevantes em relação à indústria global, em termos de produtos e segmentos de mercado. Aliás, a estrutura produtiva é bastante completa. O único tipo relevante de produto siderúrgico não fabricado no país é trilho. Tal produto deixou de ser fabricado pela CSN em 1996.

À semelhança da experiência internacional, a construção civil foi o maior consumidor de produtos siderúrgicos no Brasil em 2010, com uma participação de 31,6%. Ela foi seguida pelo setor automotivo (25,6%), de bens de capital (22,1%) e por utilidades domésticas e comerciais (6,8%) – conforme IABr (2011).

No que tange ao padrão setorial de consumo, o mercado siderúrgico brasileiro encontra-se mais próximo de países industrializados do que propriamente dos países emergentes, nos quais a importância relativa da construção civil tende a ser ainda mais proeminente (seção 1.1). Isto também se reflete na proporção de produtos planos e longos, tendo a indústria brasileira um perfil mais próximo ao dos países considerados industrializados (América do Norte, Europa Ocidental e Japão), pela predominância dos produtos planos. Destaque-se também que a participação relativa dos produtos planos (laminados e semiacabados) tem mostrado ligeiro incremento, passando de 35,0% em 2000 para 36,9% em 2011. Cabe recordar que esta tendência é mais intensa para a indústria global. Após esta breve abordagem acerca dos produtos siderúrgicos, a próxima subseção volta-se para a análise dos processos produtivos.

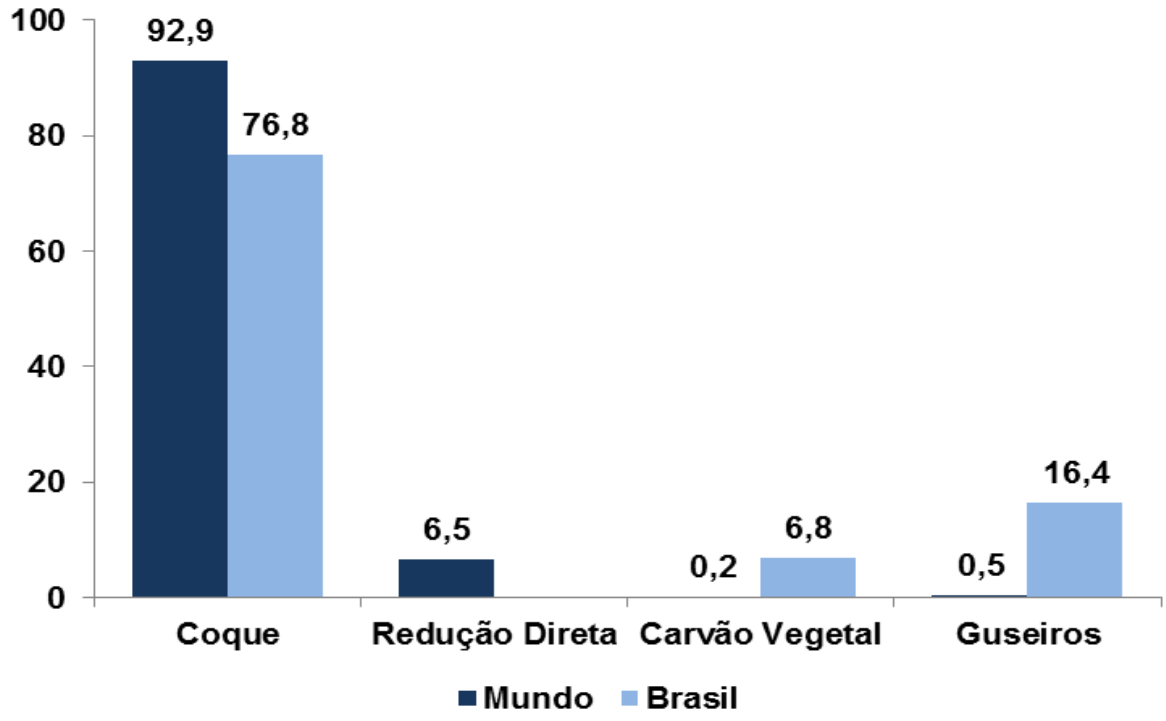
2.1.2. Etapas produtivas, rotas tecnológicas e integração vertical

A siderurgia a carvão vegetal é uma particularidade da indústria siderúrgica brasileira, razão pela qual tal tecnologia foi pouco abordada no Capítulo 1. De fato, em 2010 os altos-fornos a carvão vegetal representou apenas 0,7% da produção mundial de ferro-gusa e 23,2% da produção brasileira. Cabe lembrar que todas as participantes do segmento de laminados longos ao carbono no país (Gerdau,

ArcelorMittal Longos, Votorantim Siderurgia, Sinobras, Ciafal/Cisam) possuem altos-fornos a carvão vegetal.

O Gráfico 2.1 ressalta a diferença entre a estrutura produtiva nacional frente ao total mundial. Em 2010, a rota integrada a coque foi responsável por 92,9% da produção mundial de ferro primário no mundo e por 76,8% no Brasil. A participação relativa das usinas integradas à redução direta no mundo e no Brasil foi, respectivamente, 6,5% e zero (pois o único módulo de redução direta encontra-se paralisado desde 2009). Usinas à base de carvão vegetal praticamente só existem no Brasil, tendo representado 6,8% da produção de ferro primário naquele ano.

Gráfico 2.1:
Importância relativa das rotas na produção mundial e brasileira de ferro primário, 2010 (percentual)



Fonte: Instituto Aço Brasil (IABr)

Embora existam usinas integradas a carvão vegetal no país, a maior parcela do ferro-gusa brasileiro fabricado a partir de carvão vegetal é proveniente dos produtores independentes (“os guseiros”), que possuem mais de 160 altos-fornos. A

existência de produtores independentes de ferro-gusa à base de altos-fornos a carvão vegetal no Brasil – que se constitui em um modelo de negócio único no âmbito da siderurgia mundial – decorre de alguns fatores (CGEE, 2010):

- Custo de capital ao alcance de empreendedores de pequeno e médio porte;
- Tecnologia de redução simples e dominada, com engenharia e detalhes de domínio público;
- Processo capaz de utilizar parte das fontes de ferro e carbono não necessariamente adequadas aos grandes altos-fornos (hematitinha e carvão vegetal);
- Disponibilidade de material lenhoso oriundo de abertura de fronteiras agrícolas, resíduos de florestas de celulose e de plantios.

Em relação à integração vertical, as siderúrgicas brasileiras investem cada vez mais na mineração de ferro. A CSN, por exemplo, pretende expandir a capacidade da mina de Casa de Pedra dos atuais 21 para 50 milhões de toneladas. No caso da Namisa, da qual a CSN detém 60%, o objetivo é incrementar a capacidade de 6,8 para 33 milhões de toneladas. A Usiminas planeja ampliar a capacidade de 8 para 29 milhões de toneladas. Na Gerdau, espera-se que o projeto de ampliação para 7 milhões de toneladas seja concluído em 2012, sendo que novas expansões para 18 milhões de toneladas até 2016 já estão também programadas. ArcelorMittal também está levando adiante investimentos para alcançar uma capacidade de 19 milhões de toneladas de minério de ferro no país. Por volta de 2015, tais siderúrgicas terão um dos mais altos índices de integração vertical do setor em termos mundiais, sendo superadas provavelmente por russas e indianas.

No caso específico da CSN, os impactos positivos para seu melhor desempenho econômico-financeiro são evidentes, conforme se observa na seguinte conclusão dos analistas do Deutsche Bank (BARROS & BARRACALDO, 2011b, p. 1):

> *"CSN reported tonight its 1Q11 results which were in-line with our expectations (…) EBITDA margin of 40.4%, the highest among Brazilian steelmakers, is a direct consequence of CSN's exposure to the iron ore business, which in our calculations corresponded to 69% of the company's total EBITDA in the quarter. (…) Iron ore business: CSN reported that EBITDA of its mining segment was BRL792million and that it*

> *corresponded to 49.1% of the total EBITDA for the company. In case CSN's steel segment paid the market price for its iron ore, rather than cost, we estimate that iron ore segment contribution to the total EBITDA would be 69%".*

Após a discussão de algumas características dos produtos e processos da indústria siderúrgica brasileira, a próxima seção é destinada ao exame do volume de produção e de comércio internacional, além de abordar a trajetória dos preços.

2.2. Produção, consumo e comércio internacional

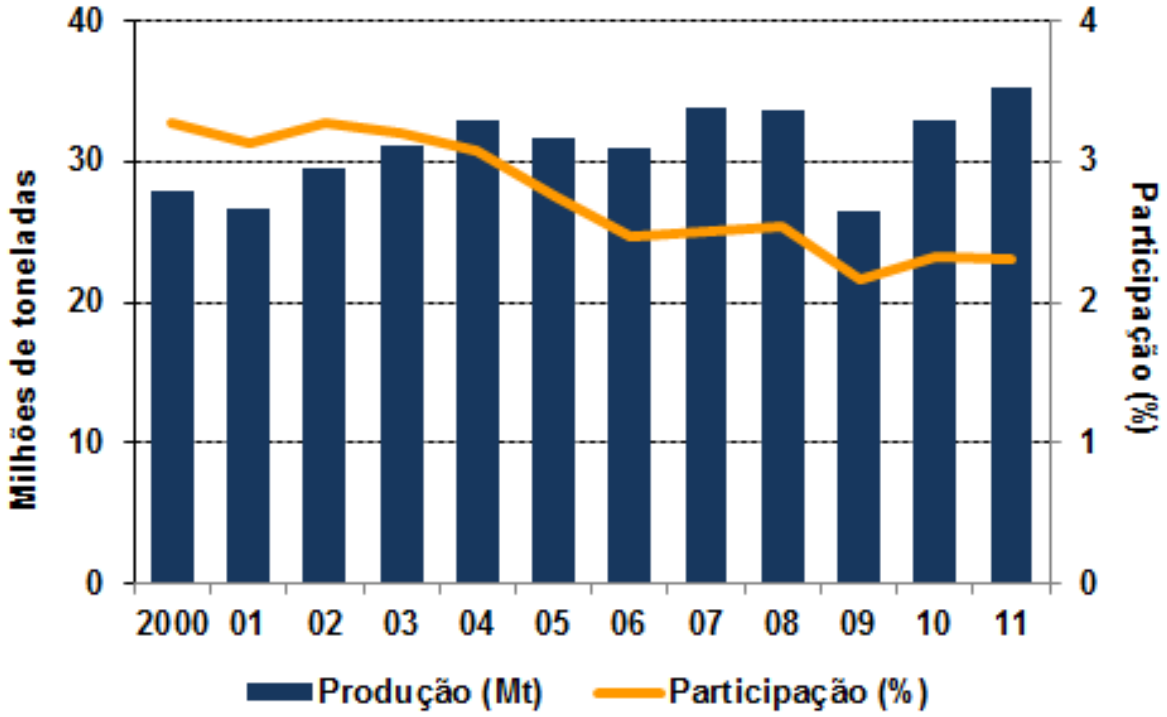
2.2.1. Produção e consumo

Nos anos 1990, a questão mais importante para a siderurgia brasileira foi a privatização das grandes companhias (1991-1993). Logo em seguida, constatou-se um *boom* de investimentos visando à modernização e otimização do parque existente. Na década de 2000, voltou-se a investir na expansão da capacidade instalada, mediante a implantação de novos altos-fornos (um na ArcelorMittal Tubarão, em Vitória-ES, e outro na Gerdau Açominas, em Ouro Branco-MG) e principalmente por meio da construção de uma nova grande usina integrada (ThyssenKrupp Companhia Siderúrgica do Atlântico, TK-CSA, no Rio de Janeiro-RJ). Como esta entrou em operação em meados de 2010 e ainda opera com cerca de 30% de ociosidade, seu impacto potencial sobre a produção nacional ainda não foi totalmente observado. De todo modo, a produção de aço bruto brasileira cresceu de 27,9 milhões de toneladas em 2000 para 35,2 milhões de toneladas em 2011 (eixo esquerdo do Gráfico 2.2), perfazendo uma taxa anual média de crescimento de 2,1%.

Como o ritmo de incremento da siderurgia brasileira foi relativamente modesto, principalmente quando se leva em consideração o fato de ser uma economia emergente, não foi uma surpresa que sua fatia na produção global tenha regredido. Como se constata à luz do eixo direito do Gráfico 2.2, a referida participação brasileira diminuiu de 3,3% em 2000 para 2,3% em 2011.

Gráfico 2.2:

Produção brasileira de aço bruto (milhões de toneladas) e participação na indústria mundial (percentual), 2000-2011

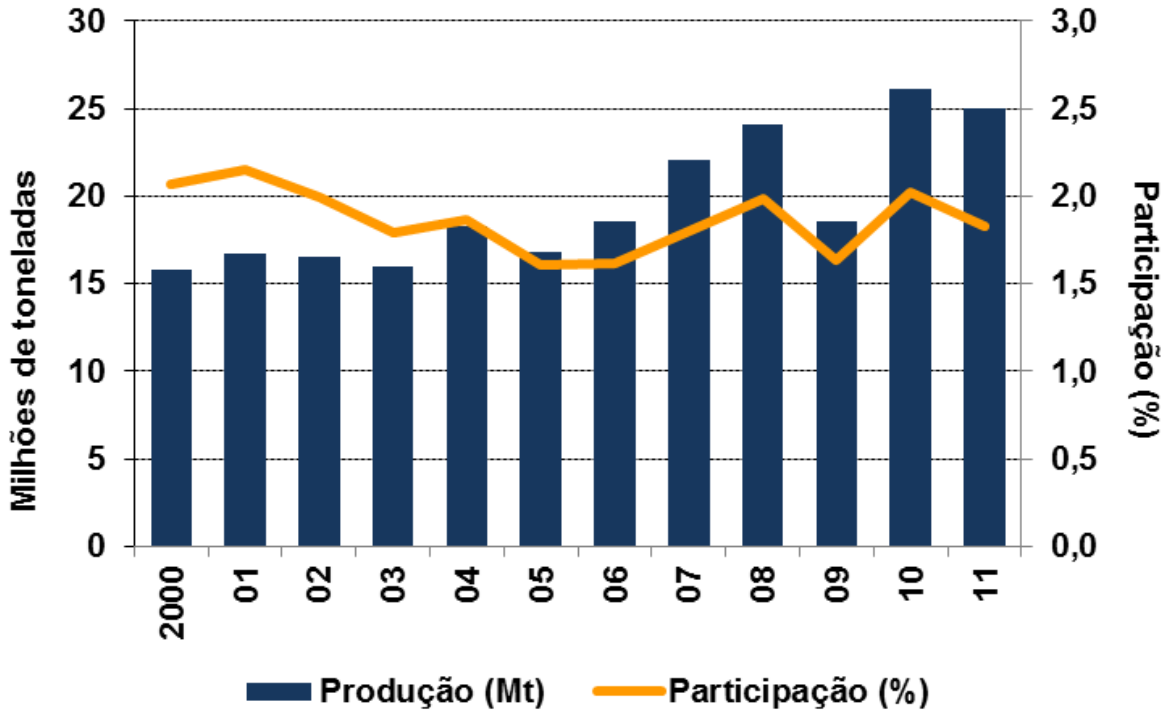


Fonte: WSA

Apesar dos esforços de desconcentração geográfica da produção – algumas usinas foram anunciadas para as regiões Nordeste e Norte, bem como a entrada em operação da Sinobras, na região Norte em 2008 –, ela continua bastante concentrada na região Sudeste. De fato, tal região foi responsável por 94,2% da produção nacional em 2000 e por 94,0% em 2011.

O Gráfico 2.3 mostra a evolução do consumo siderúrgico brasileiro, em termos de produtos siderúrgicos, ao longo do período 2000-2011. Ele cresceu do patamar de 16 milhões toneladas (em 2000-2003) para o de 25 milhões de toneladas (2012), perfazendo uma taxa anual média de crescimento de 4,3%, muito acima do incremento da capacidade de produção, conforme eixo esquerdo. Quanto à participação relativa na demanda global, ela regrediu inicialmente de 2,1% em 2000 para 1,6% em 2005-2006, recuperando-se posteriormente para 1,8% em 2011 (eixo direito).

Gráfico 2.3:
Consumo brasileiro de produtos siderúrgicos (milhões de toneladas) e participação na demanda mundial (percentual), 2000-2011



Fonte: WSA

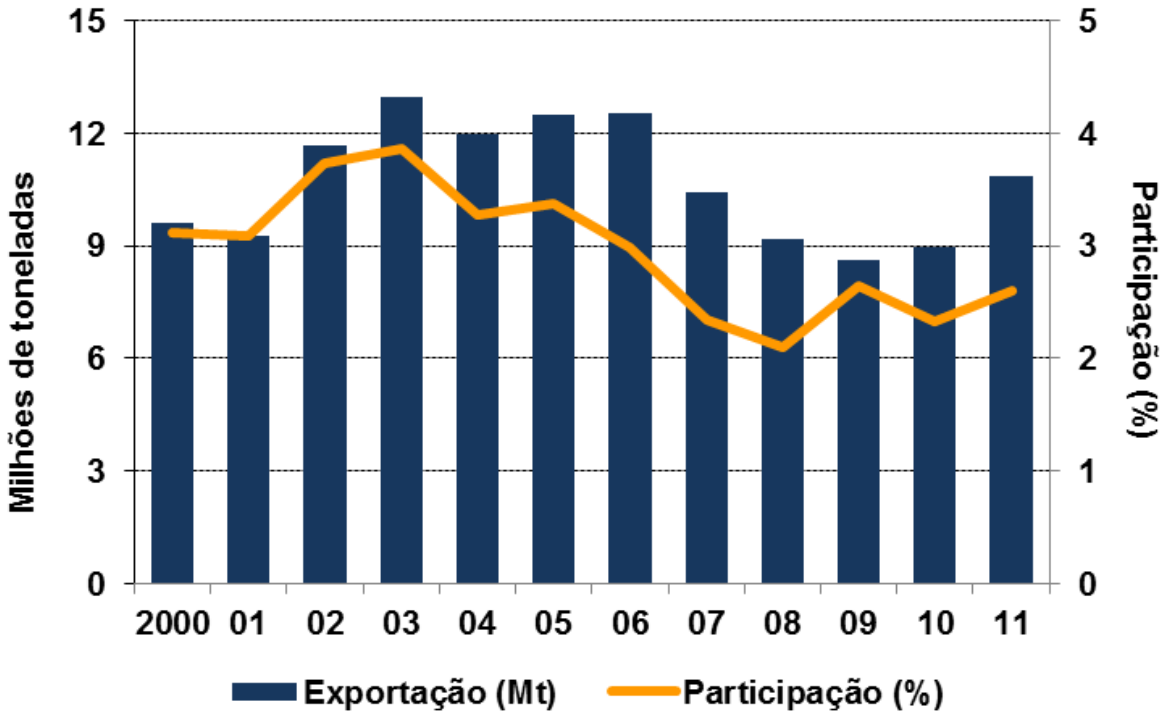
A próxima subseção focaliza a questão do comércio internacional, incluindo também a temática das exportações e importações indiretas de aço.

2.2.2. Comércio internacional

A trajetória das exportações brasileiras de produtos siderúrgicos é apresentada em relação ao eixo esquerdo do Gráfico 2.4. Observa-se que tais exportações, num primeiro momento, aumentaram de 9,6 milhões de toneladas em 2000 para 13,0 milhões de toneladas em 2003, mantendo-se ao redor do nível de 12 milhões de toneladas até 2006. Desde então, verifica-se uma trajetória de declínio, até atingir 9,0 milhões de toneladas em 2010, recuperando-se parcialmente para 10,8 milhões de toneladas em 2011. Mais importante, a participação brasileira nas exportações mundiais cresceu de 3,1% em 2000 para 3,9% em 2003, recuando para 2,6% em 2011 (eixo direito do Gráfico 2.4).

Gráfico 2.4:

Exportação brasileira de produtos siderúrgicos (milhões de toneladas) e participação na indústria mundial (percentual), 2000-2011

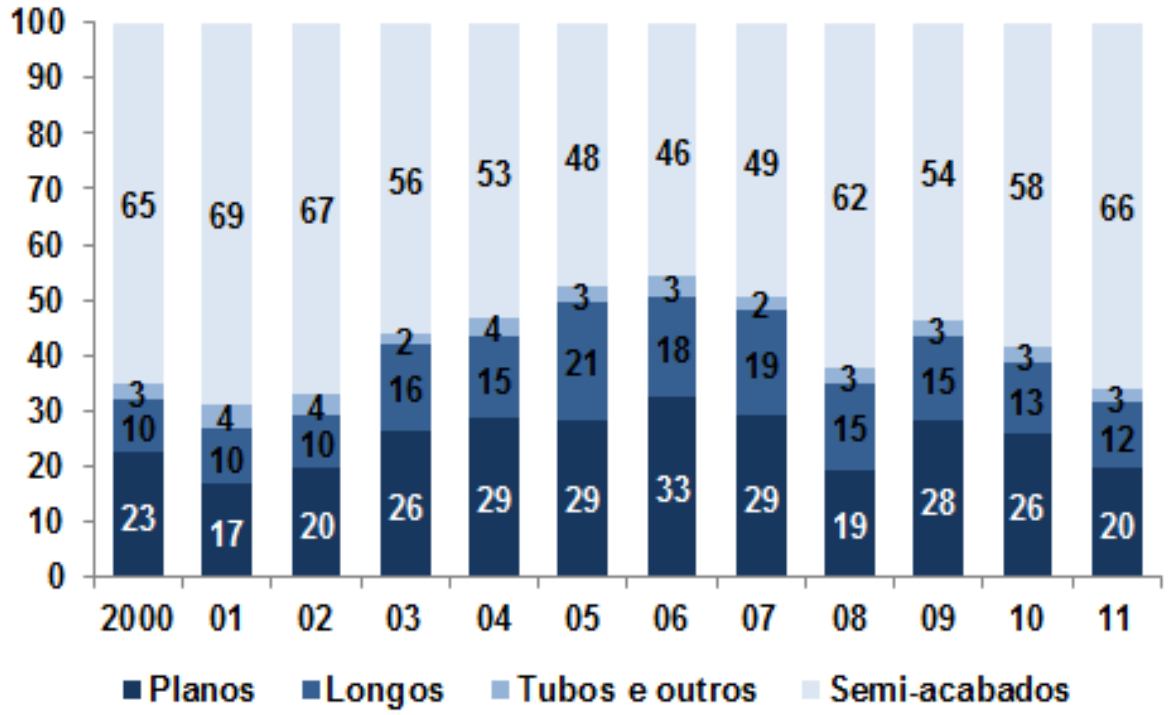


Fonte: WSA, IABr

No que concerne à composição das exportações, o padrão brasileiro é bastante distinto do perfil mundial. De fato, as exportações brasileiras são extremamente dependentes de semiacabados (de 46% a 69%, em termos de tonelagem, nos anos 2000-2011), conforme se constata no Gráfico 2.5. Como já discutido na seção 1.2, os semiacabados – que são produtos de menor valor agregado – foram equivalentes a tão-somente 17% das exportações mundiais no período 2000-2011.

Gráfico 2.5:

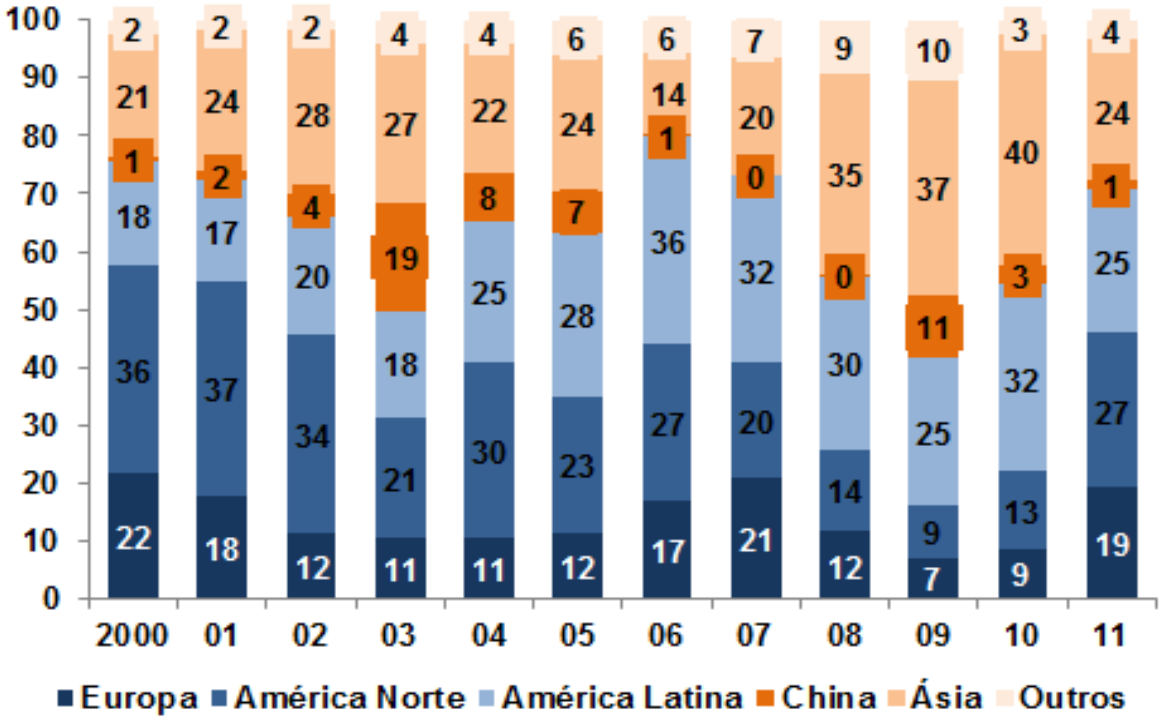
Participação dos tipos de produtos siderúrgicos nas exportações brasileiras, 2000-2011 (percentual)



Fonte: WSA, IABr

A Europa e a América Norte vinham perdendo importância relativa como destino das exportações brasileiras, passando de uma participação conjunta de 58% em 2000 para apenas 22% em 2010 (Gráfico 2.6). Por outro lado, a relevância da América Latina vinha se expandindo de 18% para 32%, respectivamente. A trajetória da Ásia é também de crescimento, embora com forte involução em 2006. No caso da China, o comportamento é muito instável. Oriente Médio, África e Oceania estão englobados nos "outros" países. Em 2011, observa-se uma retomada das exportações para Europa e América do Norte, em função das exportações de placas da TK-CSA para Alemanha e Estados Unidos.

Gráfico 2.6:
Participação das regiões nas exportações brasileiras de produtos siderúrgicos, 2000-2011 (percentual)



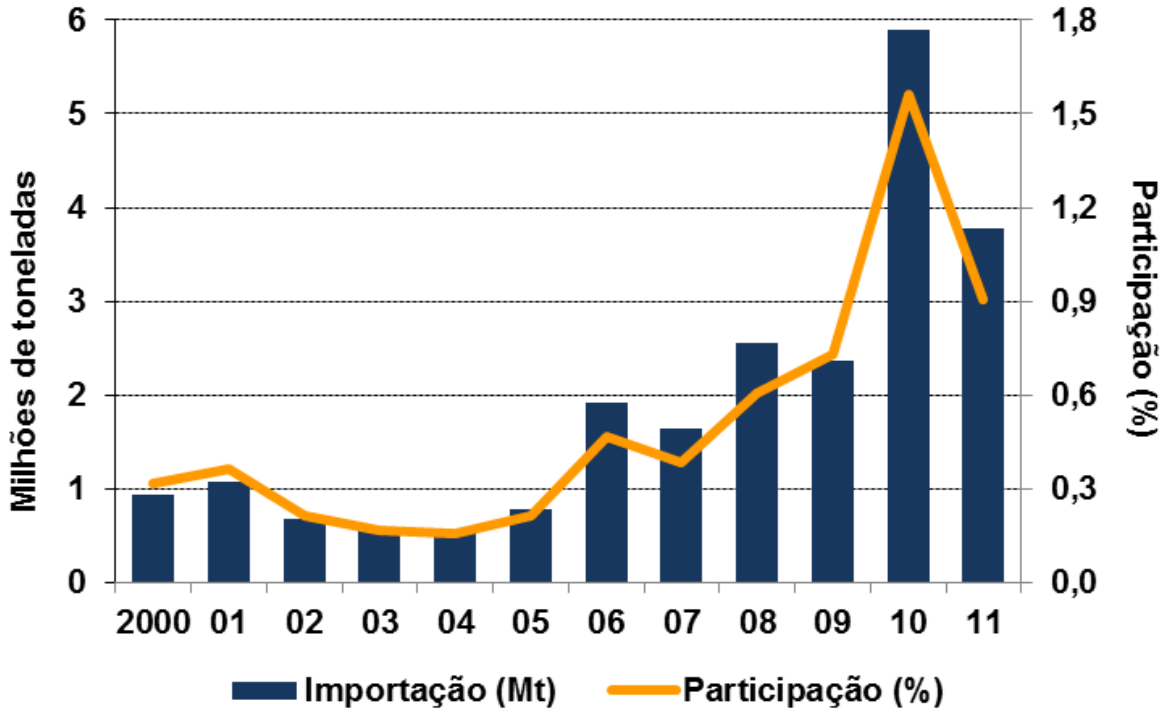
Fonte: IABr

As exportações da siderurgia brasileira historicamente vêm sendo afetadas por processos de defesa comercial, embora o período mais crítico tenha sido na década de 1990. Com base nas informações disponíveis no *website* da OMC, entre janeiro de 1995 e dezembro de 2011, foram iniciados 1.103 processos antidumping em produtos de metalurgia básica, sendo que o Brasil foi alvo de 35 processos. Os países mais afetados por tais medidas foram: China (213 processos), Rússia (74), Coreia do Sul (71), Taiwan (58), Ucrânia (48), Índia (48), Japão (47) e África do Sul (40). No que concerne aos direitos compensatórios, entre janeiro de 1995 e junho de 2011, dos 101 processos iniciados, 6 visaram às exportações brasileiras. China (25), Índia (18) e Coreia do Sul (8) foram os alvos preferidos.

Não apenas as exportações brasileiras de produtos siderúrgicos regrediram, como também as importações aumentaram. O eixo esquerdo do Gráfico 2.7 mostra que as referidas importações passaram de 0,9 milhão de toneladas em 2000 para 2,5 milhões de toneladas em 2008 e ainda para 3,8 milhões de toneladas em 2011.

Com relação ao eixo direito do Gráfico 2.7, a participação brasileira nas importações mundiais de produtos siderúrgicos cresceram de 0,3% em 2000 para 0,6% em 2008 e 0,9% em 2011.

Gráfico 2.7:
Importação brasileira de produtos siderúrgicos (milhões de toneladas) e participação na indústria mundial (percentual), 2000-2011



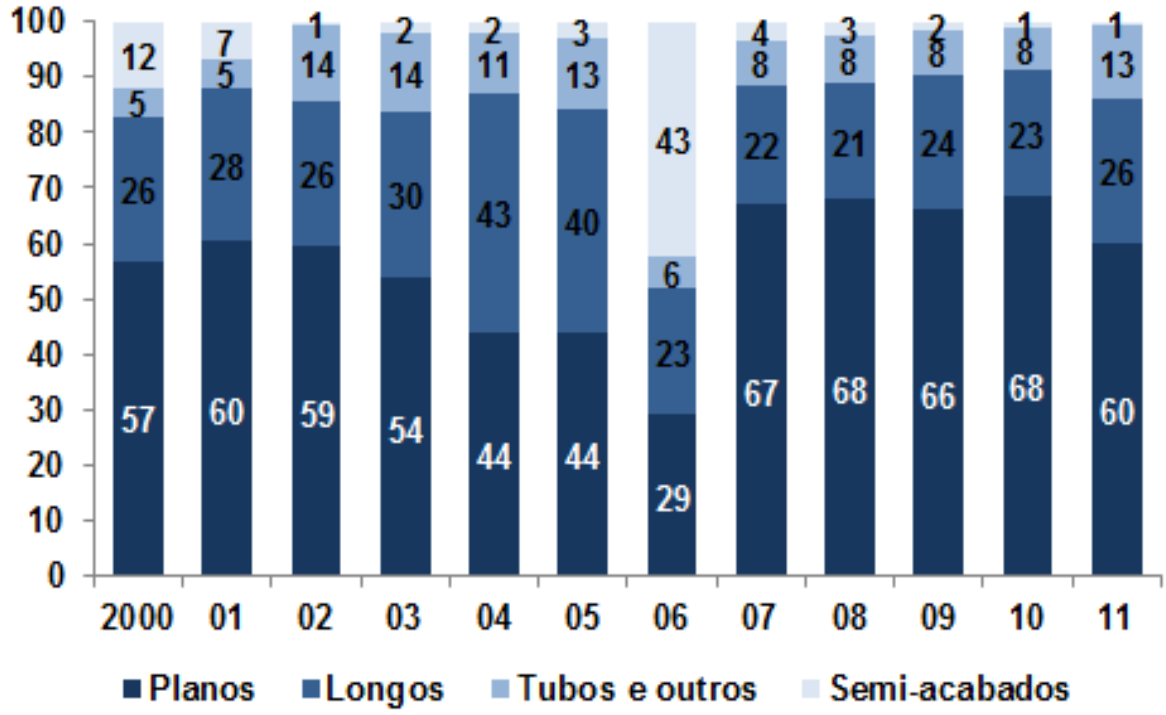
Fonte: WSA, IABr

Mesmo admitindo que 2010 tenha sido um ponto-fora-da-curva, a verdade é que as importações brasileira de produtos siderúrgicos mudaram de patamar. As importações totalizam 3,8 milhões de toneladas em 2011, resultando num acréscimo de 385% frente ao valor contabilizado em 2005. Portanto, tais importações exercem grande influência na determinação dos preços domésticos e nas margens de lucros (FADEL & LOURO, 2011).

Deve-se também sublinhar que os laminados planos são os produtos siderúrgicos com maior volume de importações no Brasil, em linha com a experiência mundial. Excetuando 2006, que foi um ano atípico – em função de um acidente do maior alto-forno da CSN, a empresa foi obrigada a importar grande

volume de placas –, as importações de laminados planos variaram de 44% a 70% do total (Gráfico 2.8). Em 2010, as importações chegaram a representar 24% do consumo aparente de laminados planos e 8% dos laminados longos (excluídos trilhos, que não são produzidos no Brasil), como recordam BARROS & BARACALDO (2011a).

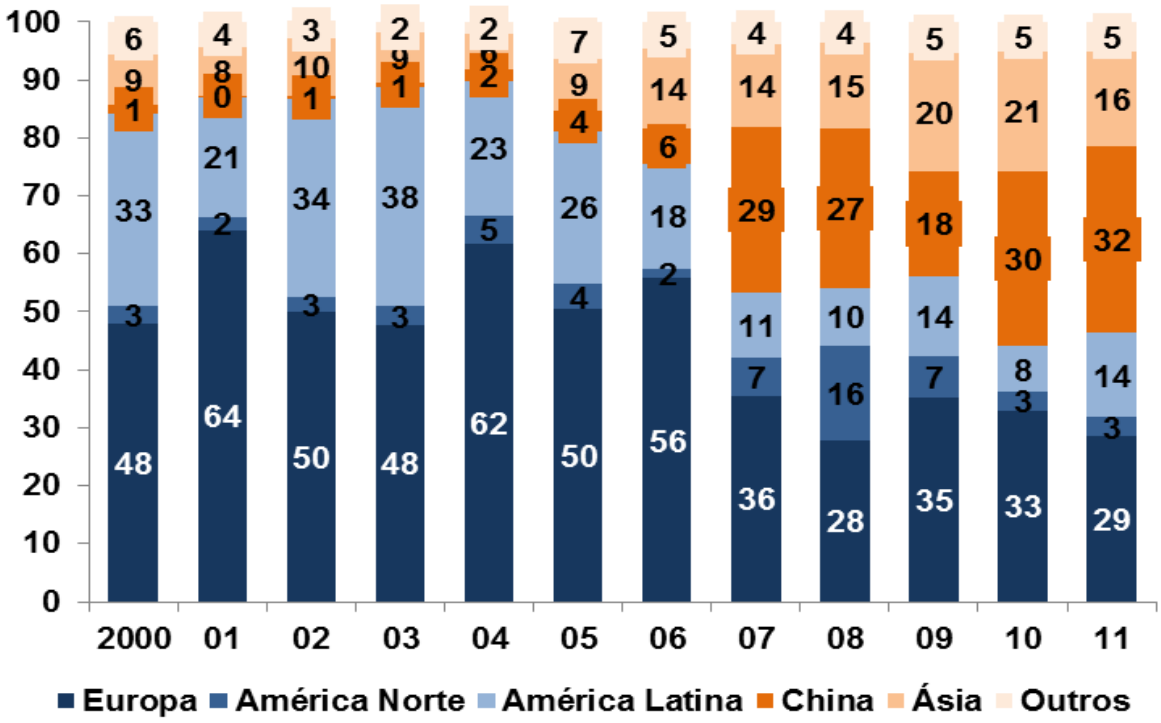
Gráfico 2.8:
Participação dos tipos de produtos siderúrgicos nas importações brasileiras, 2000-2011 (percentual)



Fonte: WSA, IABr

Transformações significativas foram observadas quanto à origem das importações brasileiras de produtos siderúrgicos. A participação chinesa expandiu-se de 1% em 2000 para 32% em 2011, enquanto a dos outros países asiáticos também foi ampliada de 9% para 15%, respectivamente (Gráfico 2.9). Em compensação, a fatia da Europa recuou de 48% para 29% e a da América Latina, de 33% para 14%.

Gráfico 2.9:
Participação das regiões nas importações brasileiras de produtos siderúrgicos, 2000-2011 (percentual)



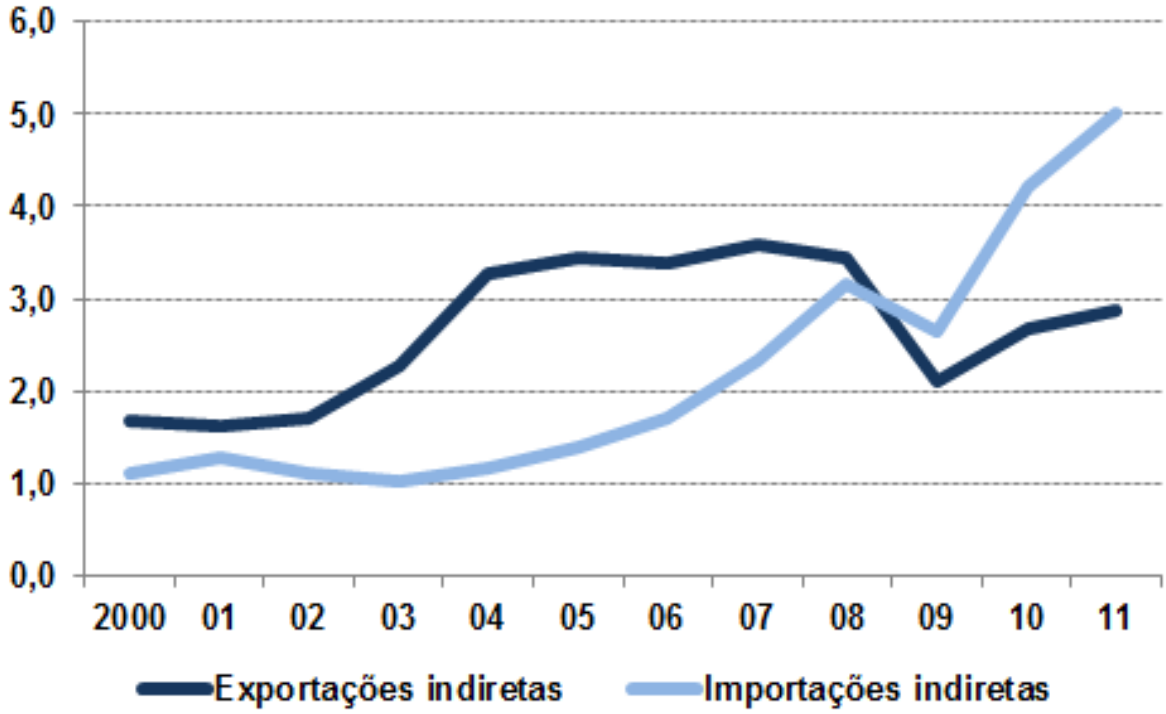
Fonte: IABr

O Brasil, mas recentemente, passou a se valer mais intensamente de medidas de defesa comercial. Dos 1.103 processos antidumping em produtos de metalurgia básica iniciados entre janeiro de 1995 e dezembro de 2011, os países mais ativos foram: Estados Unidos (241), União Europeia (150), Canadá (102), Índia (87), Argentina (81), África do Sul (60) e Brasil (50). Em relação aos 101 processos de direitos compensatórios iniciados no período janeiro de 1995-junho de 2011, eles foram muito concentrados nos Estados Unidos (56), Canadá (18) e União Europeia (17). O Brasil fez pouco uso deste instrumento, com apenas um caso.

No que tange ao comércio indireto de produtos siderúrgicos, as exportações brasileiras aumentaram de 1,7 milhão de toneladas em 2000 para 3,6 milhões de toneladas em 2007 e finalizaram a série em 2,9 milhões de toneladas em 2011. Em termos de importações indiretas, os respectivos números foram de 1,1 milhão de toneladas, 2,3 milhões de toneladas e 5,0 milhões de toneladas (Gráfico 2.10). Portanto, desde 2009, o país contabiliza déficit no comércio indireto de aço, o que

pode ser compreendido como uma pressão competitiva adicional sobre a cadeia metal-mecânica, de uma forma geral, e sobre as siderúrgicas, de uma forma particular. Cabe mencionar também que, ao longo do período 2000-2011, excetuando 2006 e 2010, em todos os anos, as importações indiretas foram superiores às importações diretas de produtos siderúrgicos no Brasil.

Gráfico 2.10:
Exportação e importação indireta brasileira de produtos siderúrgicos, 2000-2011 (milhões de toneladas)



Fonte: IABr

Ao examinar os preços de produtos siderúrgicos no Brasil, FGV (2011) concede atenção ao seu caráter cíclico. Mais importante, a relação entre preços internacionais e domésticos é elevada. Para os produtos bobina a quente e vergalhão, no período 2000-2011, constata-se uma correlação de 83,1% e 83,8%, respectivamente. Mais ainda, na análise econométrica, na qual o efeito de outras variáveis pode ser fatorado, esta relação se torna determinante.

2.3. Estrutura de mercado e concorrência

2.3.1. Transações patrimoniais e concentração de mercado

Ao se comparar a experiência brasileira com o processo de consolidação da siderurgia mundial, pode-se afirmar que os determinantes – com exceção da diversificação geográfica – são os mesmos, quais sejam: a) sinergias; b) reação ao processo de consolidação verificado tanto em setores fornecedores, quanto em setores consumidores; c) economias de escala e efeito dominó.

No caso brasileiro, as principais alterações patrimoniais foram associadas ao processo de privatização, que foi concluído em 1993. Contudo, segundo DE PAULA (2002), para além das transações de privatização, registraram-se cerca de 20 transações patrimoniais na siderurgia brasileira no período 1993-2002 (ver Box 2.1).

Box 2.1:

Transações Patrimoniais na Siderurgia Brasileira, 1993-2002

- Cia. Siderúrgica Belgo-Mineira adquiriu a aciaria 2 da Cofavi (junho de 1993);
- Gerdau comprou o controle acionário da Siderúrgica Pains (fevereiro de 1994);
- Acesita adquiriu o controle majoritário da Eletrometal (maio de 1994);
- Belgo-Mineira comprou 49% da Dedini (agosto de 1994);
- Acesita e a Sul América adquiriram 51% do capital votante da Indústria Villares, sendo que a participação da primeira era de 31% (janeiro de 1995);
- Banco Bamerindus vendeu sua participação na CSN, permitindo um aumento da participação do Vicunha, da Previ e do Bradesco no controle da empresa (dezembro de 1995);
- Incorporação da Eletrometal pela Aços Villares, dando origem a Villares Metals (fevereiro de 1996);
- Banco Bozano Simonsen, que exercia o papel de líder do bloco do controle acionário da Usiminas, alienou sua participação nessa empresa, sendo que a Nippon Usiminas aumentou sua participação acionária ao mesmo tempo em que a Camargo Corrêa ingressou como acionista na empresa (maio de 1996);
- Banco Bozano Simonsen e Unibanco venderam suas participações da Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST) para a Acesita, em simultâneo à saída do grupo italiano Ilva/Finsider. Em contrapartida, a Kawasaki Steel e Vale incrementaram sua participação na CST (maio de 1996);

- Villares vendeu sua participação na Açominas, que originalmente seria comprada pela Belgo-Mineira, mas que no final acabou sendo adquirida pelo Clube de Empregados da Açominas (CEA). Posteriormente, essa transação permitiu ainda que de forma indireta o ingresso da Gerdau e da NatSteel (Cingapura) no capital da empresa (agosto de 1997);
- Bancos controlados pelo Estado de Minas Gerais decidiram vender uma participação de 18% na Açominas. Com essa operação, a Gerdau aumentou sua participação na Açominas para 15,7% (janeiro de 1998);
- Votorantim adquiriu 7,3% do capital votante da Usiminas, sendo que essas ações estavam em poder da Caixa dos Empregados da Usiminas, Cotia Trading e Benafer (fevereiro de 1998);
- Usinor adquiriu participação relevante na Acesita e, indiretamente, na CST por meio de um aporte de capital de US$ 720 milhões, diluindo a participação acionária dos antigos controladores (setembro de 1998);
- Mannesmannröhrem-Werke (MRW) vendeu parte do controle acionário da siderúrgica mineira Mannesmann SA para a Vallourec & Mannesmann Tubes (VMT), através da *joint-venture* entre a Vallourec (55%) e a MRW (45%) alterando a denominação da empresa para V & M do Brasil (julho de 2000);
- Sidenor adquiriu o controle acionário da Aços Villares. A operação foi realizada por meio de um aumento de capital subscrito e integralizado totalmente pela Sidenor, que passou a controlar 58% do capital total e 64% do capital votante. Recorde-se que Aços Villares, por sua vez, controlava 100% da Villares Metals (agosto de 2000);
- V & M do Brasil realizou um leilão de compra de ações, por ordem da controladora, com vistas a adquirir as ações em poder de acionistas minoritários. Após o leilão, a controladora passou a deter 93% do capital (setembro de 2000). Posteriormente, em 2005, o Grupo Vallourec adquiriu 100% do controle acionário da V & M do Brasil, passando a ser o único acionista da siderúrgica mineira;
- Vale vendeu sua participação acionária de 2,3% na Açominas para os demais acionistas (dezembro de 2000);
- “Descruzamento acionário” entre a Vale e CSN, após vários adiamentos, foi finalmente concretizado. Esta complexa transação pode ser resumida em duas partes. De um lado, Bradespar (a companhia de investimento desmembrada do Bradesco em março de 2000) e a Previ venderam todas as suas ações da CSN para a Vicunha por US$ 1,18 bilhão. Uma vez que a Bradespar e a Previ detinham, respectivamente, 17,9% e 13,8% da CSN, a Vicunha aumentou sua participação nesta empresa de 14% para 46%. Ao mesmo tempo, a Vale vendeu para o seu fundo de pensão (Valia), 10,3% do capital da

CSN por cerca de US$ 250 milhões, com o objetivo de eliminar o déficit atuarial do fundo (março de 2001);

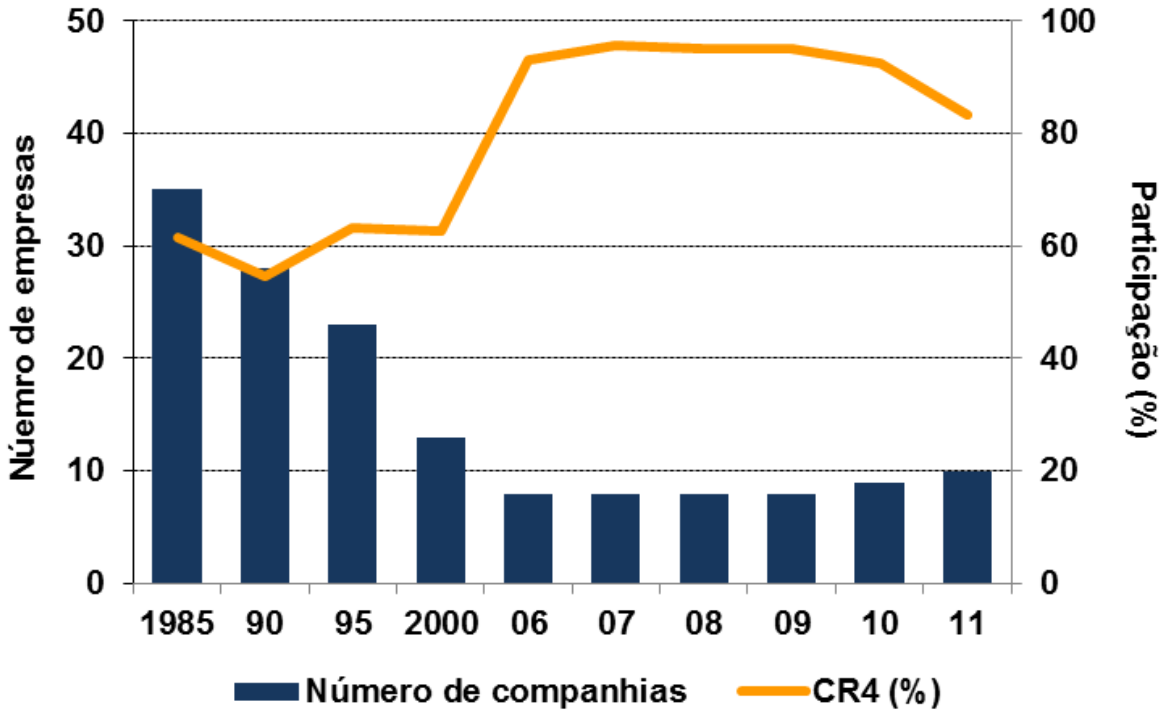
- Usiminas aumentou sua participação acionária na Cosipa de 31,8% para 92,9%, mediante a conversão de debêntures, derivado de complicado rearranjo societário que fora formalizado em janeiro de 1999 (outubro de 2001);
- Gerdau fez uma oferta de US$ 177 milhões para a compra de 17,7% da Açominas, que pertencia ao Banco Econômico, incrementando sua participação na empresa para 54% (dezembro de 2001);
- Gerdau chegou a um acordo com a NatSteel para adquirir a participação de 24,8% da Açominas, por US$ 214 milhões. Com isso, o Gerdau passou a controlar 87% das ações do grupo de controle e cerca de 79% do capital total da Açominas (janeiro de 2002).

Fonte: DE PAULA (2002)

O Gráfico 2.11 apresenta uma síntese do processo de consolidação da siderurgia brasileira. A partir do eixo esquerdo, constata-se que o número de empresas independentes na siderurgia brasileira regrediu de 35 em 1985 para 13 em 2000 e 9 em 2010. Este número aumentou para 10 em 2011, como resultado do *spin-off* da Aperam (que deixou de pertencer à ArcelorMittal).

A participação acumulada das quatro maiores empresas (CR4) no tocante à produção de aço bruto é plotada em relação ao eixo direito do Gráfico 2.11. Num primeiro momento (1985-1990), a diminuição do número de empresas (de 35 para 28) não resultou em aumento do grau de concentração de mercado, pois o efeito de desconcentração derivado da entrada de uma nova grande usina (Açominas em 1986) mais do que compensou o da saída de pequenas produtoras de aços longos ao carbono. O intenso processo de consolidação verificado na década de 1990 – descrito no Box 2.1 –, resultou num retorno do CR4 para o patamar dos 60%. O grande incremento deste índice se verificou no período 2000-2006, quando saltou para o patamar dos 90%, como decorrência de três grandes transações: a) Usiminas assumiu o controle acionário da Cosipa; b) Gerdau se tornou acionista majoritário da Açominas; c) a megafusão ArcelorMittal, aglutinou os ativos da Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), Belgo-Mineira e Acesita. Em 2011, em função do *rump-up* da TK-CSA e do *spin-off* da Aperam, o índice CR4 regrediu para 83,2%.

Gráfico 2.13:
Número de empresas e grau de concentração CR4 na siderurgia brasileira (percentual), 1985-2011



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IABr

2.3.2. Barreiras à entrada e à saída

O objetivo desta seção é examinar as especificidades brasileiras em relação às barreiras à entrada e saída. Pode-se afirmar que a única peculiaridade diz respeito ao segmento guseiro, cujas mencionadas barreiras são bastante inferiores ao do restante da indústria, o que explica a maior volatilidade da produção.

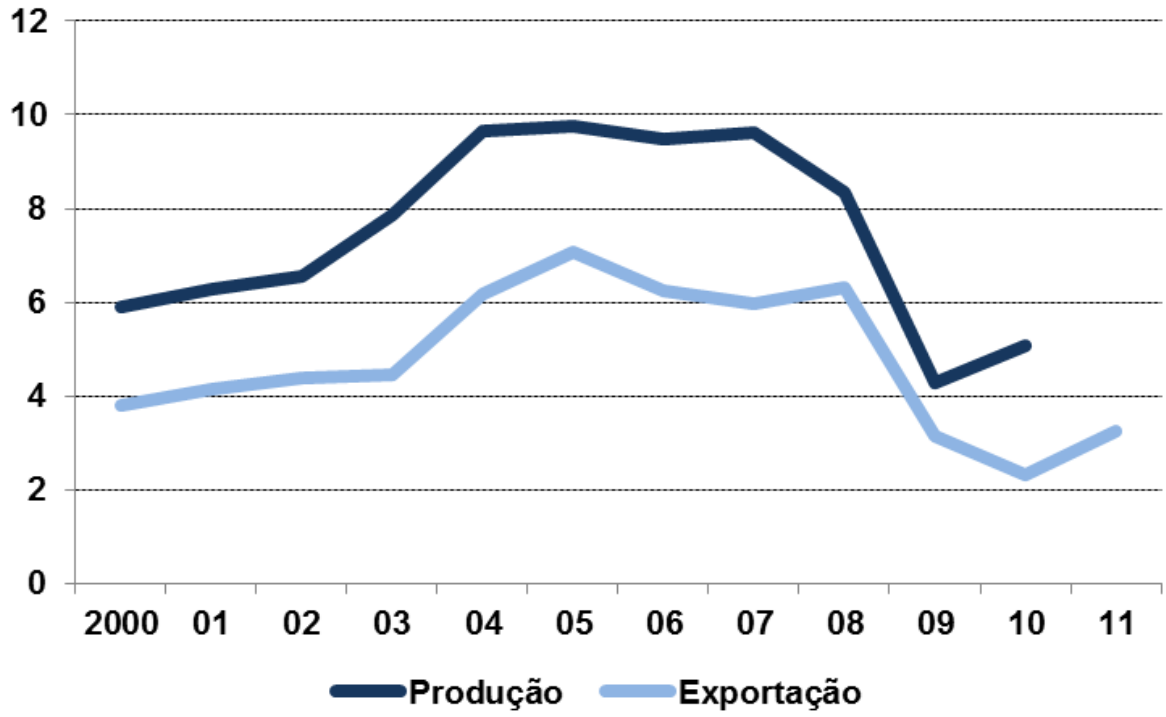
De acordo com o Sindicato da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais (Sindifer), o parque nacional dos guseiros consiste de 163 altos-fornos, com capacidade conjunta de 15,6 milhões de toneladas. Deste total, apenas dois são equipamentos alimentados com coque, ambos de propriedade da Usina Siderúrgica do Pará (Usipar), localizados Barcarena-PA. Portanto, a quase totalidade é baseada em carvão vegetal.

BNDES (2000) observa que o guseiro vende o seu produto para siderúrgicas e para fundições de ferro. O ferro-gusa de fundição apresenta teor de silício superior

(2% a 3%) ao do ferro-gusa de aciaria (0,5%). No que tange às companhias siderúrgicas, embora as usinas integradas possam comprar ferro-gusa no mercado para compensar um desbalanceamento produtivo (quando a capacidade de aciaria for maior do que a dos altos-fornos 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 possibilita maior produtividade e a fabricação de aços de melhor qualidade.

O Gráfico 2.12 mostra a evolução da produção dos guseiros na última década, bem como a da respectiva exportação. Apesar de a capacidade instalada se situar no patamar de 15,6 milhões de toneladas, nos anos de auge (2004-2007), a produção dos guseiros se aproximou de 10 milhões de toneladas. Em 2008, este volume regrediu para 8,3 milhões de toneladas. A produção recuou para 4,3 milhões de toneladas em 2009, recuperando-se parcialmente para 5,1 milhões de toneladas em 2010. Não existem estimativas disponíveis para 2011.

Gráfico 2.12:
Produção e exportação de ferro-gusa por produtores independentes no Brasil, 2000-2011 (milhões de toneladas)



Fonte: IABr

Como também se percebe no Gráfico 2.12, parcela expressiva da produção é destinada ao mercado internacional. A proporção das exportações variou entre 46% e 76% ao longo do período 2000-2010. Historicamente, os Estados Unidos vêm sendo o maior comprador do ferro-gusa brasileiro. Em 2008, por exemplo, este fluxo comercial atingiu 3,7 milhões de toneladas, o equivalente a 58% das exportações brasileiras de ferro-gusa. Como a crise afetou intensamente a siderurgia norte-americana – tanto que a ociosidade do setor subiu de 19% em 2008 para 49% em 2009 (DE PAULA, 2010) –, não foi surpreendente que as exportações brasileiras de ferro-gusa para aquele país tenham diminuído para 1,3 milhão de toneladas em 2009. Nos dois anos seguintes, tais exportações aumentaram para 1,5 milhão de toneladas e 2,2 milhões de toneladas.

Como as exportações brasileiras de ferro-gusa praticamente caíram pela metade em 2009, a consequência foi uma diminuição significativa de altos-fornos em

funcionamento, que passou de 115 equipamentos (em agosto de 2008) para 32 (em fevereiro de 2009), revertendo parcialmente para 51 (em dezembro de 2009) – ver Gráfico 2.13. Entre janeiro de 2010 e junho de 2012, a média de altos-fornos em operação foi 67.

Gráfico 2.13:
Número de altos-fornos em funcionamento no parque guseiro brasileiro, 2008-2012

Fonte: Sindifer

2.3.3. Participação do capital estrangeiro

No que tange à internacionalização *inward*, a siderurgia brasileira foi uma das precursoras na atração de investimentos diretos estrangeiros, em âmbito mundial. Basta lembrar-se dos investimentos da empresa luxemburguesa Arbed na Belgo-Mineira (em 1921), da alemã Mannesmann na empresa brasileira homônima (em 1952), da japonesa Nippon Steel na Usiminas (em 1956) e da também japonesa Kawasaki Steel e da italiana Finsider na CST (em 1976). Além destas experiências

mais notórias, registre-se que a empresa alemã Korf controlou a Fi-El no período 1973-1975 e deteve participação relevante na Pains entre 1976 e 1993. Por sua vez, a siderúrgica alemã Thyssen foi sócia da Gerdau na Cosigua entre 1975 e 1978.

A referida precocidade é enfatizada quando se tem em mente que os investimentos estrangeiros na siderurgia mundial somente começaram a se tornar relevantes nas décadas de 1980 e 1990, em parte induzidos pelas oportunidades abertas pelas privatizações. Entretanto, durante o processo de privatização, a siderurgia brasileira não atraiu investimentos diretos estrangeiros.

No período pós-privatização, os principais investimentos e desinvestimentos estrangeiros podem ser assim apresentados:

- Finsider (Itália) vendeu sua participação na CST em 1996;
- Usinor (França) comprou uma participação na Acesita e na CST em 1998. A Usinor deu origem à Arcelor e esta à ArcelorMittal, sendo que se promoveu o fechamento do capital da ArcelorMittal Tubarão em 2007 e da ArcelorMittal Inox Brasil (ex-Acesita) em 2008;
- ThyssenKrupp (Alemanha) participou da *joint-venture* GalvaSud, em sociedade com a CSN, entre 1998 e 2004. Em 2010, a TK-CSA, em parceria com a Vale, entrou em operação;
- NatSteel (Cingapura) deteve participação da Açominas durante o período 1998-2002;
- Sidenor (Espanha) foi o maior acionista da Aços Villares entre 2000 e 2006, quando foi adquirida por uma *joint-venture* com participação da Gerdau;
- JFE Steel, sucessora da Kawasaki Steel, vendeu participação na CST em 2004;
- Böhler-Uddeholm (Áustria) controla a Villares Metals desde 2004.

Assim, pode-se verificar que os investimentos estrangeiros na siderurgia brasileira apresentam idas e vindas. O capítulo mais recente contempla a compra de 27,7% do capital ordinário da Usiminas por US$ 2,7 bilhões, que pertenciam aos grupos Votorantim e Camargo Correa, por três subsidiárias do grupo ítalo-argentino Techint (Ternium, Siderar e TenarisConfab). A liquidação financeira do negócio ocorreu em janeiro de 2012. Após a concretização da transação, os principais

acionistas da Usiminas (em termos de capital votante) passaram a ser Nippon Steel e outros sócios japoneses (29,4%) e Techint (27,7%).

Além da Usiminas, as seguintes siderúrgicas brasileiras possuem controle majoritário em poder de companhias estrangeiras: Aperam South America, Arcelor Mittal, TK-CSA, V&M do Brasil, VSB e Villares Metals. Conjuntamente, isto representa uma capacidade instalada de aproximadamente 28,9 milhões de toneladas (60% do total). Analogamente, as empresas siderúrgicas de controle majoritário nacional são: CSN, Cisam, Gerdau, Sinobras, Votorantim Siderurgia, com capacidade conjunta de 19,6 milhões de toneladas.

2.3.4. Estratégias de internacionalização de siderúrgicas nacionais

A Gerdau iniciou sua estratégia de internacionalização por meio da aquisição da Laisa (Uruguai) em 1980, que, naquele momento, tinha uma capacidade de 24 mil toneladas de aço bruto. Embora tenha sido pouco representativo do ponto de vista financeiro (implicando baixo risco), o investimento no Uruguai foi importante no sentido de permitir um aprendizado de como se operar uma usina fora do Brasil. Aliás, foi somente a partir de 1989, quando comprou a Courtice Steel (Canadá), que a internacionalização produtiva passou a ter alguma relevância para a Gerdau. Desde então, a empresa vem adquirindo siderúrgicas no exterior, tendo ingressado nos seguintes países: Chile (1992), Argentina (1997), Estados Unidos (1999), Colômbia (2004), Espanha (2006), Peru (2006), México (2007), República Dominicana (2007), Venezuela (2007), Índia (2007) e Guatemala (2008).

Considerando que a Gerdau possui atualmente 60 unidades produtivas, extrapola ao escopo desta subseção tentar apresentar as características de cada uma isoladamente. Por isto, é mais oportuno destacar os padrões predominantes e as respectivas exceções. Quanto ao processo produtivo, a maioria das usinas da Gerdau é do tipo semi-integrada (utilizando sucata como insumo principal), exceto: a) usinas integradas a coque (Açominas, no Brasil, e Kalyani Gerdau, na Índia); b) usinas integradas a carvão vegetal (Divinópolis e Barão de Cocais, no Brasil); c) usinas integradas à redução direta (Usiba, no Brasil); d) usina integrada a coque e à redução direta (Siderperú, no Peru).

No que tange aos produtos, a Gerdau é especializada em laminados longos. De fato, os laminados planos somente podem ser fabricados na Gallatin Steel

(Estados Unidos) e na Siderperú (Peru). No caso da primeira, trata-se de uma *joint-venture* 50:50 com a ArcelorMittal, uma usina semi-integrada com capacidade de 1,4 milhão de toneladas. A Gallatin Steel era originalmente uma aliança estratégica entre as companhias canandenses Dofasco e Co-Steel. A primeira foi comprada pelo Arcelor em 2006, ao passo que a primeira foi adquirida pela Gerdau em 2002. Na verdade, o principal foco da Co-Steel, que era proprietária de três usinas semi-integradas, era laminados longos. Portanto, a compra da Co-Steel pela Gerdau acabou acarretando a entrada na produção de laminados planos. Na experiência peruana, os laminados planos ao carbono respondem por cerca de 20% da capacidade instalada da Siderperú, mas a linha de laminados planos está paralisada há cerca de três anos. A Gerdau passará a fabricar laminados planos no Brasil, na usina Açominas, em 2013. A Gerdau produz laminados longos especiais no Brasil, Espanha (Sidenor) e Estados Unidos (MacSteel). A primeira foi adquirida em 2006 e a segunda, em 2008. Todas as demais usinas e plantas são dedicadas ao segmento de laminados longos ao carbono.

Em 2008, a Gerdau adquiriu 51% da Cleary Holding, que possui reservas de carvão mineral coqueificável e uma planta de produção de coque, com capacidade de 1,0 milhão de toneladas, na Colômbia. Em 2010, a empresa brasileira adquiriu os 49% remanescentes.

Em relação à estrutura patrimonial, a Gerdau prefere adquirir o controle acionário, mesmo que tal objetivo seja alcançado gradativamente. No entanto, ela possui 50% na Gallatin Steel. Em três outras empresas, ela possui participação minoritária: Corporación Centroamericana del Acero (Guatemala), INCA (República Dominicana) e Aceros Corsa (México). Neste último país, a Gerdau também é proprietária da Sidertul. A estratégia de internacionalização é considerada bem-sucedida.

Até o momento, as iniciativas de internacionalização da CSN referem-se à aquisição de duas relaminações de aços planos e uma usina semi-integrada de aços longos em operação. A primeira transação foi a compra dos ativos da Heartland Steel, no Estado de Indiana (Estados Unidos), em 2001. Esta planta entrou em operação em 2000, a um custo de US$ 285 milhões. A empresa foi rebatizada de CSN LLC. Os principais ativos da Heartland Steel eram uma linha de decapagem de

bobinas a quente (1 milhão de toneladas), um laminador de tiras a frio (800 mil toneladas) e uma linha de galvanização (300 mil toneladas).

A CSN adquiriu 50% da Lusosider (Portugal) em 2003. Trata-se de relaminação, composta de laminação de tiras a frio (500 mil toneladas), galvanização por imersão a quente (300 mil toneladas) e estanhagem (80 mil toneladas). Em 2006, a CSN comprou a participação da Corus, passando a controlar integralmente a Lusosider. A planta portuguesa paralisou a estanhagem, em janeiro de 2008, o que pode ser atribuído às condições desfavoráveis de mercado, mas também à pequena escala de operação da Lusosider. Em dezembro do mesmo ano, os demais equipamentos foram praticamente paralisados, sendo que mais da metade dos empregados foram demitidos. A Lusosider começou a retomar suas atividades em 2009.

Tanto nos Estados Unidos, quanto em Portugal, a motivação principal da internacionalização foi o acesso ao mercado local, por meio da articulação com as operações no Brasil. Assim, a usina de Volta Redonda fornece placas para os EUA e bobinas laminadas a quente para Portugal. Comparativamente à exportação, o Investimento Direto Estrangeiro (IDE) possibilita um melhor conhecimento do mercado atendido e a possibilidade de aprimorar a logística (adotando o esquema *just-in-time*), além de permitir contornar eventuais medidas de defesa comercial.

Em janeiro de 2012, a CSN concluiu a aquisição da totalidade das ações detidas pelo Grupo Alfonso Gallardo nas empresas Stahlwerk Thüringen (SWT) e Gallardo Sections. A SWT é uma produtora de aços longos, especializada na produção de perfis e com capacidade instalada de produção de 1,1 milhão de toneladas de aço. Este movimento reforça a estratégia da CSN em investir cada vez mais em laminados longos.

Ainda em relação à CSN, vale a pena mencionar que a empresa revendeu a participação (19,9%) na mineradora de carvão Riversdale no segundo trimestre de 2011 por US$ 870 milhões, lembrando que ela havia comprado uma fatia de 15% por US$ 161 milhões no quarto trimestre de 2009. Desta forma, aquela que pode ser considerada a segunda etapa de internacionalização da CSN foi muito rápida e rentável.

No que tange à internacionalização produtiva da Usiminas, destacam-se duas transações. Em 1992, a Usiminas participou como acionista minoritário do consórcio (com uma participação de 6,25%), que adquiriu a companhia argentina Somisa, em processo de privatização. Tal consórcio foi capitaneado pelo grupo Techint (por intermédio de suas empresas Propulsora e Siderca). Fizeram parte ainda do consórcio, a Vale, a companhia siderúrgica chilena CAP e o banco West Chartered. Como decorrência da fusão que resultou na criação da Siderar, os investidores estrangeiros tiveram sua participação conjunta reduzida de 34% para 29%. Para a Usiminas, isto implicou a diluição de sua fatia para 5,3%.

O segundo investimento da Usiminas no exterior ocorreu em 1997, quando ela participou do consórcio que adquiriu a Sidor na Venezuela. Na etapa final da licitação, apenas três consórcios formalizaram sua proposta de compra. O consórcio ganhador foi a Siderurgia Amazônia, que era composto originalmente por três empresas do grupo Techint (40%), a companhia mexicana Hylsamex (30%), a empresa venezuelana Sivensa (20%) e Usiminas (10%). Posteriormente, esta última participação foi ampliada para 16,6%, mediante aporte adicional de capital.

A lógica do investimento da Usiminas na Sidor foi similar àquela adotada no caso da Siderar, consubstanciada no trinômio: a) compra de participação minoritária em um consórcio; b) liderança do grupo Techint no âmbito do consórcio; c) objetivo de vender contratos de assistência técnica. Além disso, pode-se argumentar que outra motivação da internacionalização foi obter informações estratégicas acerca desses mercados.

Em função da constituição da Ternium, a Usiminas incorporou as ações que possuía da Siderar e da Sidor na nova empresa, além de investir mais US$ 100 milhões, de tal sorte a deter 14,25% da Ternium. A partir deste momento, os investimentos internacionais da Usiminas se resumiam à participação minoritária na Ternium. Esta acabou adquirindo ativos no México, Estados Unidos e Guatemala; depois, decidiu revender parte das operações adquiridas nos Estados Unidos; e ainda se viu obrigada a dispor das operações venezuelanas, em função da decisão do governo local de estatizar a Sidor.

Em maio de 2010, a Usiminas manifestou a intenção de vender as ações na Ternium sob a justificativa de que eles não faziam parte de seu negócio principal. A

venda da participação de 14,2% foi concluída em fevereiro de 2011. Menos de um ano mais tarde, a Ternium adquiriu uma participação acionária relevante na própria Usiminas.

A Votorantim Siderurgia adquiriu 52% da siderúrgica colombina Aceros Paz del Rio (APR) em 2007. A APR é uma usina integrada a coque com capacidade de 350 mil toneladas. Trata-se de uma operação com integração vertical total, pois possui minas próprias de minério de ferro, carvão e calcário. O foco comercial é o segmento de laminados longos ao carbono, embora 20% da capacidade sejam relativos aos laminados planos ao carbono (que também foi paralisada posteriormente). Em 2008, a Votorantim Siderurgia aumentou sua participação para 72,6% do capital total da APR.

No final de 2007, a Votorantim Siderurgia acertou a compra de 27% do capital da Aceros de Bragado (AcerBrag). Esta possui uma usina semi-integrada, com capacidade de 250 mil toneladas. É a segunda maior empresa focalizada na produção de laminados longos ao carbono da Argentina, sendo superada apenas pela Acindar (uma subsidiária da ArcelorMittal). Em 2008, a Votorantim Siderurgia elevou sua participação acionária na AcerBrag para 53% e, em 2010, para 100%. A internacionalização da Votorantim Siderurgia representou a interrupção de uma longa trajetória de perda de importância relativa da divisão siderúrgica no âmbito do grupo Votorantim.

2.3.5. Concorrência e estratégias

Não se observam peculiaridades relevantes em termos de concorrência e estratégias praticadas na siderurgia brasileira frente à internacional. Embora não possam ser consideradas especificidades, dois aspectos merecem ser abordados: a) a diversificação produtiva entre os segmentos; b) as exportações mundiais de placas e o comércio intra-firma.

O Quadro 2.1 mostra a especialização produtiva das companhias siderúrgicas no Brasil. Em geral, as empresas atuam em um segmento de mercado, como exemplificam as experiências de: Aperam (laminados planos especiais), CSN e Usiminas (laminados planos ao carbono), Votorantim e Sinobras (laminados longos ao carbono), Villares Metals (laminados longos especiais) e V&M do Brasil (tubos sem costura). As exceções a este paradigma são: ArcelorMittal (laminados planos ao

carbono e laminados longos ao carbono), Gerdau e Cisam (laminados longos ao carbono e laminados longos especiais).

No contexto atual, apenas a ArcelorMittal produz laminados planos e longos no Brasil. Contudo, esta realidade tende a se alterar ao longos dos três anos, pois a CSN entrará no segmento de laminados longos ao carbono (vergalhão e fio-máquina) em 2013. Por sua vez, a Gerdau ingressará no segmento de laminados planos ao carbono (bobina laminada a quente e chapa grossa) também em 2013. Assim, três dos quatro fabricantes de laminados planos ao carbono também estarão envolvidos com o segmento de laminados longos ao carbono. É uma mudança muito significativa de estratégia, com importantes implicações em termos de dinâmica competitiva para o setor.

Quadro 2.1:

Atuação das siderúrgicas brasileiras por segmento de mercado

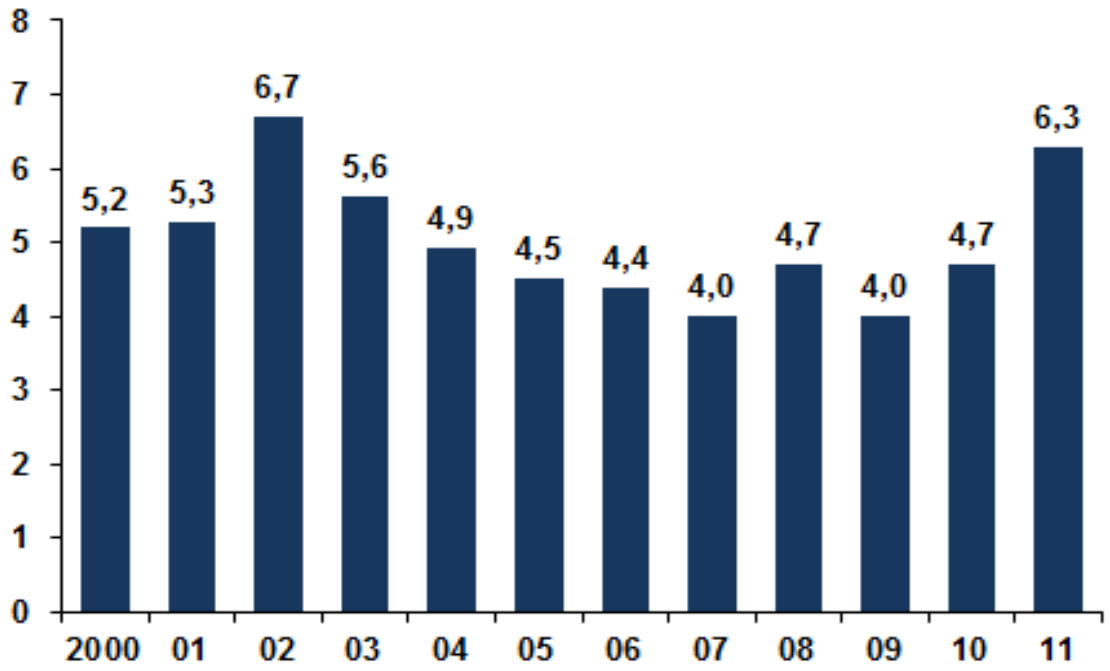
	Planos Especiais	Planos Carbono	Longos Carbono	Longos Especiais	Tubos sem Costura
Aperam	Atual				
CSN		Atual	Futuro		
Usiminas		Atual			
ArcelorMittal		Atual	Atual		
Votorantim			Atual		
Sinobras			Atual		
Gerdau		Futuro	Atual	Atual	
Cisam			Atual	Atual	
Villares Metals				Atual	
V&M do Brasil					Atual

Fonte: elaboração própria

Como já mencionado, as exportações brasileiras são muito baseadas em semiacabados. Na verdade, tais exportações dependem do desempenho das placas, que responderam por 88% das vendas internacionais de semiacabados em 2011. Conforme se verifica no Gráfico 2.14, de 2000 até 2010, a trajetória predominante foi de redução do volume exportado, em grande medida em função da

verticalização da ArcelorMittal Tubarão, que ingressou no segmento de laminados planos ao carbono em 2002.

Gráfico 2.14:
Exportações brasileiras de placas, 2000-2011 (milhões de toneladas)



Fonte: IABr

Faz-se necessário ressaltar que a partir de 2011, duas tendências opostas serão observadas. De um lado, nos próximos anos, as exportações brasileiras de placas tendem a aumentar em função da recém-inaugurada TK-CSA. As placas desta usina, com capacidade nominal de 5 milhões de toneladas, serão todas laminadas em plantas da ThyssenKrupp nos Estados Unidos e Alemanha, configurando como comércio internacional intra-firma. Esta configuração pode ser alterada no futuro, pois a ThyssenKrupp está analisando a possibilidade de venda da TK-CSA e da laminação nos Estados Unidos. De outro lado, a entrada em operação de novos laminadores (para a fabricação de bobinas laminadas a quente e chapas grossas), em 2012-2013, nas usinas Usiminas Cubatão e Gerdau Açominas, tende a reduzir as exportações brasileiras em cerca de 1,5 milhão de toneladas de placas. Ademais, a ArcelorMittal Tubarão considera a instalação de um novo laminador de

tiras a quente. Caso este investimento seja aprovado, a TK-CSA se tornaria praticamente a única exportadora relevante de placas do país.

2.4. Competitividade

2.4.1. Fatores macroeconômicos

Pelo menos ao longo das últimas décadas, vários estudos setoriais – inclusive os da lavra deste autor, tais como DE PAULA (1993, 2002, 2008) – mostraram que a siderurgia brasileira era competitiva em termos internacionais. Tal avaliação era assentada no fato de que as vantagens competitivas da indústria suplantavam as desvantagens. Dentre as principais vantagens, destacavam-se:

- Minério de ferro de ótima qualidade, localizado próximo das principais usinas siderúrgicas;
- Parque relativamente novo, que recebeu muitos investimentos para a modernização e o enobrecimento do *mix* de produtos no período pós-privatização;
- Qualidade da gestão.

Analogamente, as desvantagens primordiais eram:

- Inexistência de carvão mineral metalúrgico, agravado pelo fato de que os principais países fornecedores são distantes;
- Custo de capital elevado, como decorrência de altos juros reais;
- Cobrança de impostos sobre investimentos.

Ao se cotejar os pontos fortes e pontos fracos, compreendia-se que a siderurgia brasileira era bastante competitiva, tanto pelos baixos custos relativos, quanto pelo desempenho exportador favorável (superávit setorial). Contudo, recentemente, alguns fatores macroeconômicos e setoriais têm diminuído a intensidade das vantagens competitivas da siderurgia brasileira, conforme destacado a seguir.

No âmbito macroeconômico, é notório o impacto da apreciação cambial do real frente a outras moedas. O Gráfico 2.15 mostra, entre janeiro de 2005 e junho de 2012, o real se apreciou 28% comparativamente a uma cesta representativa de moedas (conceito de câmbio real efetivo).

Gráfico 2.15:

Taxa de câmbio real efetiva, 1995-2012, Brasil (dezembro de 2003 = 100)

Fonte: Fundação Centro de Estudos do Comércio Exterior (Funcex)

A apreciação cambial está afetando severamente a competitividade da indústria de transformação brasileira e, obviamente, a siderurgia não passaria incólume a esta situação. Segundo a WORLD STEEL DYNAMICS (2011a, p. 3):

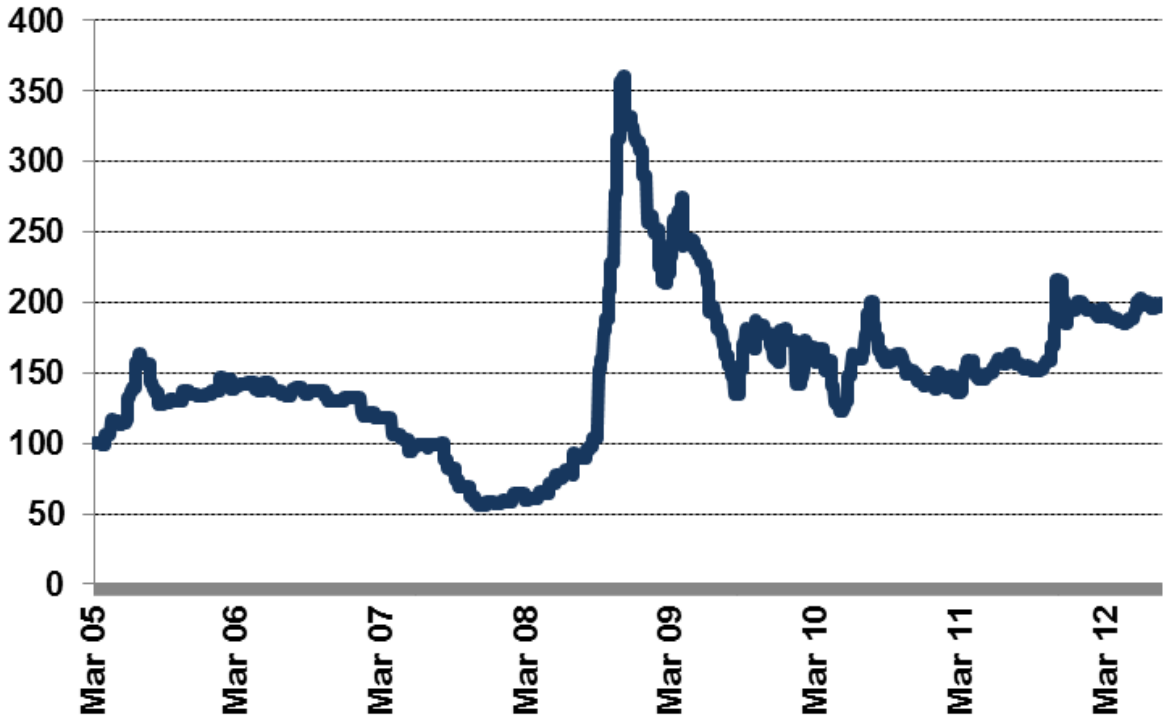
> *Brazilian steel mills are losing cost competitiveness due to an ever-strengthening currency - the Brazilian Real. This problem is not about to go away as the country is expected to demonstrate solid economic growth and benefit from the discovery of huge offshore oil reserves. Hence, the country's burgeoning slab-exporting plants will have far higher costs than their owners had planned.*

2.4.2. Fatores setoriais

Quanto às questões setoriais, ASSUMPÇÃO *et alii* (2011) sublinham que os preços do carvão mineral metalúrgico aumentaram mais do que os de minério de ferro, reforçando uma desvantagem competitiva da siderurgia brasileira. Como se verifica no Gráfico 2.16, a razão entre o preço do carvão mineral metalúrgico e o

preço do minério, passou de uma base 100 em março de 2005 para um índice equivalente a 200 em julho de 2012.

Gráfico 2.16:
Preço de carvão mineral metalúrgico / preço de minério de ferro, 2005-2012
(CIF China, março de 2005 = 100)



Fonte: Assumpção *et alii* (2011), Bloomberg

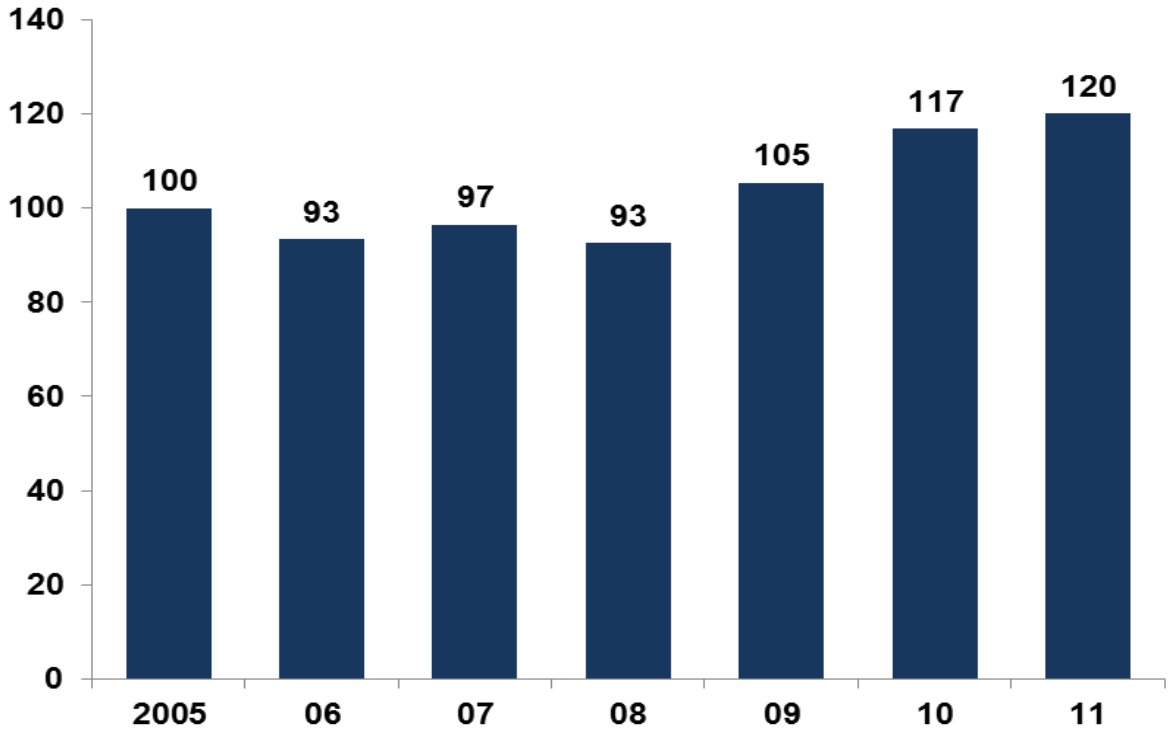
Ainda de acordo com ASSUMPÇÃO *et alii* (2011), a importância do frete em relação ao preço do minério de ferro diminuiu num passado recente, mitigando uma vantagem competitiva da siderurgia brasileira. Em março de 2005, o frete representava 38% do preço do minério de ferro colocado na China; esta proporção chegou a atingir 69% em junho de 2009, mas regrediu para somente 13% em julho de 2012. Desta forma, a vantagem de a siderurgia brasileira se localizar próxima de jazidas de ferro de alta qualidade, embora não tenha sido eliminada, se tornou menos relevante. Ademais, algumas siderúrgicas entrevistadas mencionaram o fato de que as maiores mineradoras de ferro país passaram a adotar o preço de

equivalência de exportação China, acrescidos de PIS e COFINS, o que teria eliminado uma vantagem competitiva.

Para o caso das usinas semi-integradas, a energia elétrica representa um importante custo de produção. BONINI (2011) mostra que, numa amostra de 24 países, o Brasil ocupava o posto de quarta maior tarifa média industrial, sendo superado apenas por Itália, Eslováquia e Irlanda. A tarifa brasileira era exatamente o dobro da mexicana e 187% superior à sul-coreana. Neste sentido, compreende-se a racionalidade dos investimentos que a Gerdau tem realizado em participações acionárias de usinas hidrelétricas no Brasil (Dona Francisca, Caçu, Barra dos Coqueiros, São João, Cachoeirinha). Deve-se destacar que, em escala mundial, este tipo de verticalização é pouco frequente em usinas semi-integradas, denotando que se trata de uma reação a uma situação brasileira.

Ao se considerar conjuntamente os impactos macroeconômicos e setoriais, não chega a ser uma surpresa o fato de que o custo da produção de produtos siderúrgicos tenha se elevado mais no Brasil do que em outros países desde meados da década passada. De acordo com o Gráfico 2.17, os custos de produção de placas no Brasil cresceram menos do que a média mundial até 2008, mas esta tendência se reverteu a partir de 2009. Assim, no período 2005-2011, os custos brasileiros subiram 20% acima dos custos médios mundiais.

Gráfico 2.17:
Evolução da proporção do custo da produção de placas no Brasil / mundo, 2005-2011 (2005 = 100)

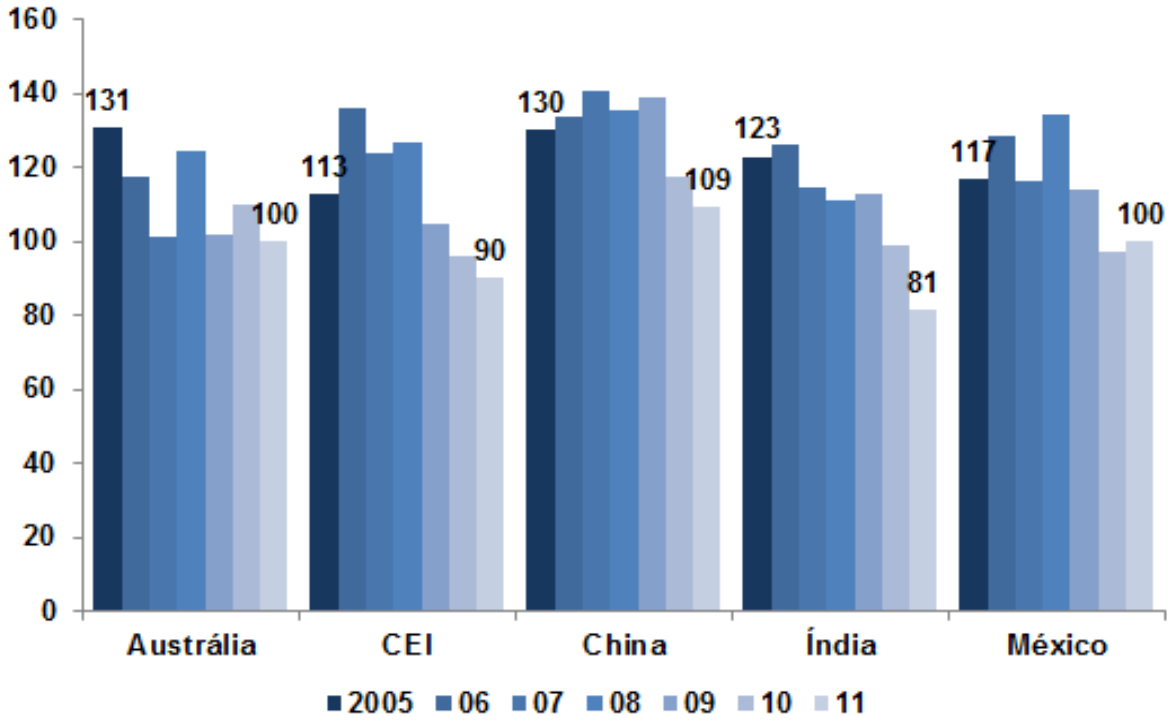


Fonte: elaboração própria a partir de World Steel Dynamics (2011c)

Ainda com base nos dados da WORLD STEEL DYNAMICS (2011c), é possível afirmar que a siderurgia brasileira perdeu competitividade de custos para Austrália, Rússia, China, Índia e México, ao longo do período 2005-2011 (Gráfico 2.18). Tais países foram selecionados pelo fato de serem emergentes e/ou serem exportadores de insumos siderúrgicos e semiacabados. Tomando México como exemplo, em 2005, o custo de produção de placas nesse país era 17% maior do que no Brasil; em 2011, os custos dos dois países já eram iguais.

Gráfico 2.18:

Custo da produção de placas em países selecionados / custo da produção de placas no Brasil, 2005-2011 (percentual)



Fonte: elaboração própria a partir de World Steel Dynamics (2011c)
Obs: CEI = Comunidade dos Estados Independentes.

Faz-se necessário também sublinhar que o custo de construção (*capex*) de novas usinas dedicadas à exportação de placas no Brasil também se elevou consideravelmente. Em 2006, estimava-se que o custo de implantação de uma usina integrada a coque de 4 milhões de toneladas no Brasil, destinada à exportação de placas, exigiria investimentos de US$ 2,79 bilhões (ou ~ US$ 700 / tonelada), segundo BAPTISTA Fo. (2006). Um recente relatório do Barclays Capital concluiu que:

> *In spite of the old beliefs (myths) that Brazil is a cheap place to deliver flat steel projects, capex inflation for greenfield flat steel capacity has escalated to uneconomic levels. We calculate capex intensity levels in Brazil may be as high as US$1,800/ton for slabs, coming from US$1000-1200/ton some years ago. This compares to Chinese capex intensity at c.US$600/ton and India at c.US$1,000/ton (CORREA & ANTUNES, 2011, p. 2).*

2.4.3. Política industrial

Na fase pré-privatização, o auge da regulação estatal sobre a siderurgia brasileira pode ser considerado o período 1968-78. De fato, em 1968, foi formulado o I Plano Nacional Siderúrgico (PNS), que propôs, fundamentalmente, quatro ações para incrementar a produção brasileira do aço: a) uma comissão para o desenvolvimento do aço, como um corpo permanente interministerial, para estabelecer as políticas setoriais; b) uma *holding* das companhias estatais, que se denominaria Brassider; c) uma comissão para o desenvolvimento do setor privado, para coordenar a expansão desse segmento; d) o Fundo Nacional de Siderurgia (Funasi), visando a financiar a expansão do setor. Em março de 1968, três meses após a conclusão do PNS, o governo criou o Conselho de Não-Ferrosos e de Siderurgia (Consider), ou seja, o conselho interministerial de planejamento. A *holding* que passou a controlar os investimentos estatais no setor foi constituída somente em 1974, com o nome de Siderbrás. Um fundo nacional do aço nunca chegou a ser instituído, tampouco o órgão para o setor privado (DE PAULA, 2002).

Ao longo da década de 1970 e, principalmente, durante o II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND), a siderurgia foi escolhida como um dos setores prioritários. No período 1974-80, foram investidos cerca de US$ 13,5 bilhões no setor, dos quais 77% pela *holding* estatal Siderbrás. Os investimentos nesse período foram concentrados na ampliação das três grandes usinas integradas a coque (estatais), que monopolizavam a produção de aços planos ao carbono: CSN, Cosipa e Usiminas. Muito em função disto, já no início dos anos 1980, a produção brasileira tinha duplicado, em termos de volume de produção (DE PAULA, 2002).

Os instrumentos de política industrial adotados para fomentar a indústria siderúrgica no Brasil, durante essas décadas, foram fundamentalmente barreiras comerciais de cunho não-tarifário e maciços investimentos estatais. Quatro outros mecanismos também merecem ser mencionados: a) controle de preços no mercado doméstico; b) concessão de benefícios fiscais; c) restrição ao fluxo de tecnologia; d) endogeneização da indústria de bens de capital (DE PAULA, 2002).

No que tange à proeminência das estatais na siderurgia brasileira, registre-se, por exemplo, que, em 1991, as empresas estatais brasileiras fabricavam pouco mais de 3/4 do aço brasileiro. Um segundo pilar da política industrial para a siderurgia

brasileira foi a intensa adoção de barreiras não-tarifárias (BNT). A amplitude da proteção foi crescente, ou seja, foi-se aumentando o número de produtos com restrição às importações em paralelo à diversificação da pauta produtiva. Utilizaram-se basicamente as restrições quantitativas de importação, como a anuência-prévia do Consider (DE PAULA, 2002).

Temendo que o fechamento do mercado às importações conferisse um poder de mercado substancial às empresas, que poderiam elevar preços e impactar negativamente os índices inflacionários, o governo brasileiro desde o final da década de 1960 controlou, por meio do Conselho Interministerial de Preços (CIP), os preços dos produtos siderúrgicos. A rigidez deste controle se acentuou vigorosamente a partir de 1978, tendo como objetivo secundário o subsídio às exportações de manufaturados. Na ocasião, o Brasil contrariava a experiência internacional quanto à fixação de preços, pois esses no mercado internacional são historicamente inferiores aos praticados nos mercados internos (BNDES, 1987).

É bem verdade que as empresas siderúrgicas brasileiras, por outro lado, foram bastante beneficiadas pela concessão de incentivos fiscais (HOWELL *et alii,* 1988). Dentre eles, destacavam-se o crédito-prêmio do IPI (95% do imposto sobre produtos industrializados retornavam às usinas como reserva de capital para investimentos), a não-incidência de imposto de renda sobre os produtos exportados, o instituto de depreciação acelerada para equipamentos destinados à exportação e a isenção de taxas de importação e imposto sobre valor adicionado para componentes destinados à exportação.

Quanto à importação de tecnologia, o Brasil adotou, ao longo da década de 1970, políticas de restrição ao fluxo de tecnologia (desincorporada). Estabeleceram-se, por exemplo, limites ao pagamento de *royalties* em 5% da receita total derivada da utilização da tecnologia e ao prazo total do contrato em cinco anos, embora houvesse a possibilidade remota de prorrogação do contrato por mais cinco anos. E no que se refere à endogeneização da indústria de bens de capital, as empresas do sistema Siderbrás tiveram a seguinte evolução em termos do grau de nacionalização dos equipamentos: a) período 1969-74: menos de 10%; b) período 1970-78: 25%; c) período após 1975: aproximadamente 65%. Assim, a política industrial para a siderurgia brasileira, até o final dos anos 1980, pode ser resumida no binômio: *investimentos estatais e protecionismo/regulação* (DE PAULA, 2002).

O início da década de 1990 marcou uma forte ruptura no formato da política industrial, que de modo simplificado passou a se orientar por *privatização e liberalização/desregulação.* Inegavelmente, a privatização foi o principal instrumento. Em particular, seis grandes siderúrgicas (Usiminas, CST, Acesita, CSN, Cosipa e Açominas) foram privatizadas ao longo do período 1991-93.

No que tange à liberalização dos mercados, a alteração primordial disse respeito ao regime de preços praticados no setor. No processo de venda da Usiminas, o Governo Federal assumiu publicamente que os preços do aço seriam liberados. De um modo geral, as medidas de liberalização foram implantadas a nível macroeconômico, afetando praticamente todos os setores, ainda que de modo diferenciado. No caso da siderurgia, as medidas de maior impacto foram: a) liberalização do comércio internacional de bens; b) liberalização da importação de tecnologia; c) extinção do regime CIF uniforme; d) ampliação do foco da política antitruste; e) alteração da legislação portuária (DE PAULA, 2002).

Nos últimos dez anos, o governo federal formulou três planos de política industrial: Política industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior − PITCE (2003-2007), Política de Desenvolvimento Produtivo − PDP (2008-2010) e Plano Brasil Maior – PBM (2011-2014). Portanto, são instrumentos explícitos de política industrial. Contudo, a siderurgia não merece nenhum tratamento específico, sendo beneficiada pela atenção concedida aos setores consumidores de produtos siderúrgicos, em particular a cadeia automotiva.

2.5. Dinâmica tecnológica

2.5.1. Intensidade em pesquisa & desenvolvimento

Algumas análises baseadas nos indicadores tradicionais de esforço em P&D, realizadas no início da década passada, chegaram à conclusão de que a intensidade da pesquisa tecnológica na siderurgia brasileira era relativamente baixa em comparação com os países líderes da indústria mundial. Verificou-se que os gastos de P&D em relação ao faturamento mantiveram-se, mesmo após a privatização, no patamar de 0,4% (e com elevada heterogeneidade intra-setorial). Observou-se a redução do número de funcionários alocados à P&D comparativamente ao número

total de funcionários, ao mesmo tempo em que a qualificação formal daqueles profissionais registrou uma melhoria significativa (DE PAULA, 2001a).

Outra informação ratifica a conclusão de que os gastos em P&D na siderurgia brasileira continuam relativamente modestos. A Tabela 2.1 mostra que a intensidade de gastos de P&D na siderurgia brasileira, na verdade, se reduziu de 0,30% (no período 2001-2003) para 0,22% nos períodos seguintes (2003-05 e 2006-08). O setor não apenas se encontra abaixo da intensidade média da indústria de transformação e do total da indústria, bem como as trajetórias destas últimas são de crescimento.

Ainda no que concerne à Tabela 2.1, os investimentos totais em atividades inovativas da siderurgia aumentou de 1,89% (2001-03) para 2,40% (2006-08). Apesar deste incremento, o setor ainda continua abaixo dos valores contabilizados pela indústria de transformação e para o total da indústria. As empresas siderúrgicas entrevistadas também reconhecem que, comparativamente às congêneres internacionais, apresentam desempenho inferior em esforço inovativo e P&D e, principalmente, em registos de patentes. Elas não anteveem uma tendência de incremento do esforço de pesquisa, mesmo num cenário de maiores pressões para melhoria do desempenho ambiental e energético. Elas não acreditam que teriam dificuldades para adquirir as tecnologias necessárias para se adequar aos novos padrões.

Uma terceira informação apresentada na Tabela 2.1 refere-se à importância dos gastos de P&D em relação aos dispêndios realizados em atividades inovativas. Para a siderurgia, a tendência é decrescente, regredindo de 15,9% em 2001-03 para 9,2% em 2006-08, ao passo que para a indústria de transformação é de manutenção ao redor de 22% e para o total da indústria brasileira, de incremento, passando de 21,8% em 2001-03 para 28,2% em 2006-08.

Tabela 2.1:

Indicadores de esforço tecnológico da siderurgia, indústria de transformação e total da indústria brasileira, 2003-2008 (percentual)

	Atividades internas de P&D/Receita líquida de vendas (%)		
	Produtos siderúrgicos	Indústrias de transformação	Total da indústria
2001-2003	0,30	0,55	0,53
2003-2005	0,22	0,58	0,77
2006-2008	0,22	0,64	0,80
	Dispêndios realizados pelas empresas inovadoras nas atividades inovativas/Receita líquida de vendas (%)		
	Produtos siderúrgicos	Indústrias de transformação	Total da indústria
2001-2003	1,89	2,48	2,46
2003-2005	1,80	2,80	3,04
2006-2008	2,40	2,60	2,85
	Participação das atividades internas de P&D/Dispêndios realizados nas atividades inovativas (%)		
	Produtos siderúrgicos	Indústrias de transformação	Total da indústria
2001-2003	15,92	22,01	21,77
2003-2005	12,05	20,86	25,16
2006-2008	9,24	24,60	28,15

Fonte: elaboração própria com base na Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC)

Também com base na Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC), é possível constatar que a participação relativa da siderurgia nos gastos em P&D da indústria de transformação regrediu de 2,88% (2001-03), para 2,26% (2003-2005) e ainda para 2,19% (2006-08). Apesar da trajetória de queda, estes índices ainda

estão acima da média mundial, que alcançou 1,22% em 2007. Contudo, faz-se necessário destacar que a siderurgia brasileira não é mais intensiva em P&D do que similares de outros países, mas porque o restante da indústria brasileira é, em termos relativos, menos intensiva do que o resto da indústria no mundo.

2.5.2. Inovações

Ao analisar o padrão setorial da mudança tecnológica na indústria brasileira, CAMPOS & RUIZ (2009) concluem que a siderurgia brasileira é compreendida com um "setor intensivo em economias de escala e de produção em massa", de acordo com a clássica taxonomia de PAVITT (1984). Ainda de acordo com aqueles autores, as principais características da inovação na siderurgia brasileira são:

- Origem da inovação: interna e externa;
- Intensidade da inovação: alta;
- Principal fonte da inovação: desenho & engenharia e máquinas & equipamentos;
- Conhecimento e aprendizagem predominante: conhecimento tácito e interação com universidade;
- Foco da trajetória tecnológica: enquadramento em exigências regulatórias;
- Resultados inovativos: inovações de processo e inovações incrementais.

A Tabela 2.2 apresenta uma visão comparativa das atividades inovativas da siderurgia, da indústria de transformação e do total da indústria, de acordo com quatro edições da PINTEC. A proporção de empresas com inovações na siderurgia cresceu de 20% para 44%, ao passo que o incremento das companhias da indústria de transformação (de 32% para 38%) e do total da indústria (32% para 39%) foi menos acelerado.

Tabela 2.2:

Adoção de inovações na siderurgia, indústria de transformação e total da indústria brasileira, 1998-2008 (percentual)

Atividades selecionadas	Anos	De produto			De processo			De produto e processo	Total
		Novo para a empresa	Novo para o mercado nacional	Total	Novo para a empresa	Novo para o mercado nacional	Total		
Siderurgia	1998-2000	7	4	9	17	5	19	8	20
	2001-2003	9	7	15	25	5	29	11	33
	2003-2005	12	8	18	24	6	30	13	34
	2006-2008	26	6	30	25	4	27	13	44
Indústria de transformação	1998-2000	15	4	18	23	3	25	11	32
	2001-2003	18	3	21	26	1	27	14	34
	2003-2005	17	3	20	26	2	27	13	34
	2006-2008	20	4	23	31	2	32	17	38
Total da indústria	1998-2000	14	4	18	23	3	25	11	32
	2001-2003	18	3	20	26	1	27	14	33
	2003-2005	18	4	21	26	2	28	14	34
	2006-2008	21	4	24	31	2	32	17	39

Fonte: elaboração própria com base na PINTEC

A proporção de empresas siderúrgicas que adotam inovações de produto, de processo e as duas conjuntamente também subiu. Outro aspecto positivo é que a proporção de inovações de produto e de processos novos para o mercado nacional é maior nas siderúrgicas, comparativamente à indústria de transformação e ao total da indústria, também conforme Tabela 2.2. Esse tipo de comparação é afetado por um viés de porte, pois grandes empresas tendem a inovar mais, sendo que as siderúrgicas são companhias maiores do que a média.

2.5.3. Inovações relevantes por etapa produtiva

Esta subseção é fundamentalmente baseada no diagnóstico tecnológico realizado por CGEE (2010). Novamente, são apresentadas as trajetórias tecnológicas para as principais etapas produtivas.

Alto-forno a coque: a siderurgia brasileira ocupa um lugar de destaque no que concerne à operação de altos-fornos a coque. Um dos altos-fornos da ArcelorMittal Tubarão é o recordista mundial em campanha produtiva, sem paralisação para reforma. Como ele entrou em operação em 1983 e sua reforma somente foi

realizada em 2012, o tempo de campanha atingiu 28 anos. As usinas integradas a coque no país representam cerca de 70%-75% da produção siderúrgica brasileira. Seus altos-fornos foram projetados para uma mistura de carga constituída principalmente por sínter. Como aspecto positivo, esses reatores são operados com elevados índices de tratamento e reciclagem de resíduos e emissões, mitigando os impactos ambientais. Nos últimos anos, verifica-se a construção de novos altos-fornos a coque no país, sempre baseados em tecnologia e projetos importados. Ademais, não se observa qualquer programa estratégico para o domínio das tecnologias transferidas (por absorção e adaptação) e, consequentemente, de autonomia tecnológica (geração).

Alto-forno a carvão vegetal: esta é uma configuração produtiva tipicamente brasileira, sendo que os seus desenvolvimentos têm sido lentos em relação àqueles alcançados pelo alto-forno a coque. O estado-da-arte das tecnologias de conversão de biomassa em carvão é primitivo e, por isso, possui um grande potencial de ganhos técnicos, ambientais e econômicos a serem ainda auferidos. Existe amplo espaço para o desenvolvimento e o aperfeiçoamento da tecnologia dos mini altos-fornos, permitindo ampliar os patamares de competitividade e sustentabilidade.

Diferentemente da situação vivenciada em relação aos reatores a coque, os altos-fornos a carvão vegetal constituem inovação genuinamente nacional, com engenharia plenamente dominada. Deve-se também mencionar que embora o formato dos guseiros seja o mais relevante em termos da produção de ferro-gusa à base de carvão vegetal no país, existem usinas integradas a carvão vegetal em pleno funcionamento, tanto com aciarias básicas a oxigênio, quanto com aciarias elétricas.

Redução direta: a produção de pré-reduzidos no Brasil é pouca representativa, correspondendo a 1% do volume total de ferro primário fabricado no país em 2008. Recorde-se que a planta de redução direta à base de carvão mineral não-coqueificável da então Aços Finos Piratini (AFP) foi desativada no início dos anos 1990. Atualmente, a Gerdau Usiba é a única usina integrada à redução direta do país. Todavia, tal planta paralisou o módulo de redução direta HyL em meados de 2009, em função dos impactos da crise econômico-financeira mundial. Assim, ele está operando na condição de usina semi-integrada.

Em termos prospectivos, a produção de pré-reduzidos no Brasil poderá aumentar, em função da possibilidade real do incremento da oferta doméstica de gás natural associado ao aumento da produção de petróleo. Deve-se também lembrar que o país é importante fornecedor de pelotas redução direta para o mercado internacional.

Processos emergentes de redução: deve-se ressaltar que o Brasil vem se mantendo na vanguarda da tecnologia de auto-redução, por meio do desenvolvimento do processo Tecnored, atualmente em estado de demonstração tecnológica. O Tecnored encontra-se no início do estágio de consolidação técnica/comercial, estando ligeiramente atrás de suas concorrentes internacionais mais expressivas (processos HIsmelt, RHF e Finex), que já estão neste estágio há pelo menos três anos. A planta-piloto do Tecnored, localizada em Pindamonhagaba-SP, com capacidade de 75 mil toneladas, iniciou a operação em setembro de 2011.

Aciaria LD: no Brasil, cerca de 75%-80% da produção de aço bruto provém de conversores LD. A maior taxa de difusão, frente à média mundial, é explicada pela disponibilidade de minério de ferro de alta qualidade. Aliás, uma das vantagens competitivas da siderurgia brasileira decorre da disponibilidade doméstica de minério de ferro de baixo fósforo. A possibilidade de utilizar ferro-gusa líquido em uma proporção acima de 85% da carga tem desencorajado os esforços no sentido de uma maior utilização de cargas sólidas nos conversores brasileiros, o que contribuiria para a obtenção de crédito de carbono. Outra particularidade da siderurgia brasileira decorre do fato de que a variante tecnológica *Energy Optimized Furnace* (EOF), que mostra potencial de difusão crescente, foi inicialmente desenvolvida no país.

No restante, os desafios das siderúrgicas brasileiras em relação à aciaria LD são similares aos verificados pelas congêneres internacionais. Em termos do desempenho ambiental, como já referido, o gás de aciaria LD é muito rico em CO, existindo um amplo espaço para melhor utilização, tanto na geração de energia elétrica, quanto na geração de energia para o próprio processo. Ambos representam formas de abatimento nas emissões de gases do efeito estufa (GEE), lembrando que os últimos absorvem parte da radiação infravermelha refletida pela superfície terrestre, impedindo que a radiação escape para o espaço e aquecendo a superfície da Terra. Ademais, faz-se necessário desenvolver utilizações mais nobres para as

escórias de aciaria, bem como melhorar o tratamento da lama de aciaria e dos efluentes em pó.

Aciaria elétrica: a principal diferença da situação brasileira frente à indústria mundial refere-se à utilização de uma elevada proporção de ferro-gusa sólido na carga das aciarias elétricas. Isto decorre da carência estrutural da oferta de sucata, por sua vez ocasionada pelo baixo consumo *per capita* de produtos siderúrgicos em anos anteriores. Diante desta limitação, as siderúrgicas brasileiras desenvolveram e aperfeiçoaram o uso de ferro-gusa sólido na carga metálica (em torno de 30%) dos FEA. Isto proporciona algumas vantagens: a) insumo padronizado, com características físicas e químicas adequadas; b) insumo que funciona como elemento diluidor de contaminantes do aço, permitindo ao FEA fabricar aços de alta qualidade; c) insumo que proporciona a redução do tempo de corrida e diminuição do consumo específico de energia elétrica.

Lingotamento: alinhado à experiência mundial, mais de 90% do aço brasileiro é lingotado continuamente (em lingotamento contínuo “clássico”). Por outro lado, não foi instalado nenhum equipamento de *thin-slab-casting* (aços planos), nem de *near-net-shape casting* (NNSC, para aços longos).

Laminação: As usinas brasileiras, em termos operacionais de suas laminações, são consideradas atualizadas. No parque industrial brasileiro, de forma similar ao padrão internacional, são encontrados vários tipos de arranjos físicos para fabricação de produtos siderúrgicos. Tal diversidade é consequência dos seguintes fatores: a) estágio do desenvolvimento tecnológico do fornecedor do equipamento de laminação; b) montante de investimento disponível no momento da implantação e ao longo dos anos de funcionamento da usina; c) capacidade de produção especificada e das futuras ampliações almejadas; d) *mix* de produção previsto (tipo de aço, tipo de produto e requisitos de qualidade).

Este capítulo apresentou um panorama da indústria siderúrgica brasileira, enquanto o próximo aborda os impactos ambientais setoriais.

CAPÍTULO 3:

MUDANÇAS CLIMÁTICAS, INSTITUCIONAIS E TECNOLÓGICAS

3.1. Impactos ambientais setoriais

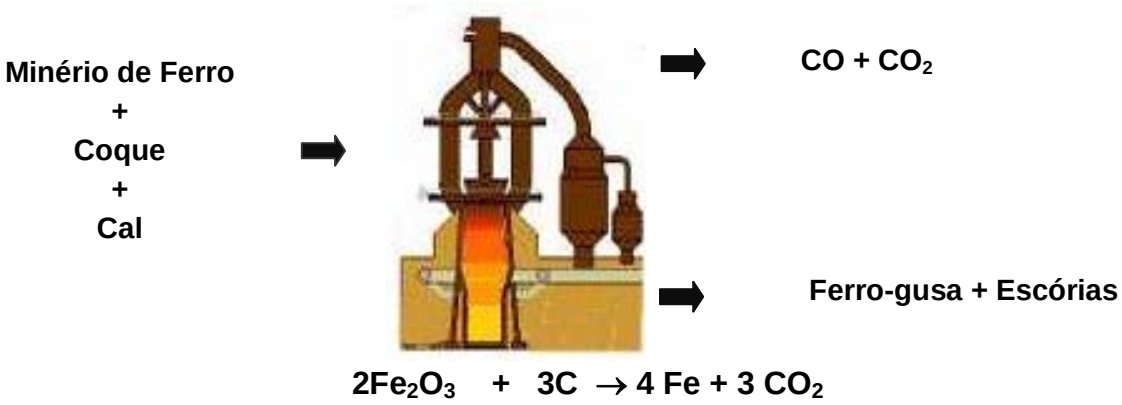
No que tange às principais questões ambientais enfrentadas pela indústria siderúrgica mundial, as respostas mais frequentes apontadas pelas dez siderúrgicas brasileiras entrevistadas foram: a) poluição atmosférica, incluindo emissão de GEE: 90%; b) resíduos: 50%; c) recursos hídricos: 40%. Esta seção, exceto quando explicitamente apontado, é em grande medida baseada no diagnóstico tecnológico elaborado por CGEE (2010).

3.1.1. Emissão atmosférica

As emissões atmosféricas continuam sendo a questão ambiental de maior impacto no processo siderúrgico. Elas estão correlacionadas diretamente com a energia e a conservação de recursos, pois as emissões significam perda de materiais e energia que poderiam estar sendo aproveitados de outra forma. Como no processo siderúrgico ainda não é possível evitar a geração de emissões atmosféricas, essas devem ser mitigadas, de forma a minimizar seus impactos ao ambiente.

A siderurgia usa o carbono para geração de energia e, no caso de usinas integradas, 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 CO_2 (Figura 3.1). 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. As usinas semi-integradas – ver Figura 1.2 – não têm a etapa de redução e, consequentemente, consomem carbono basicamente para fins de ajustes metalúrgicos e energéticos (IABr, 2010b).

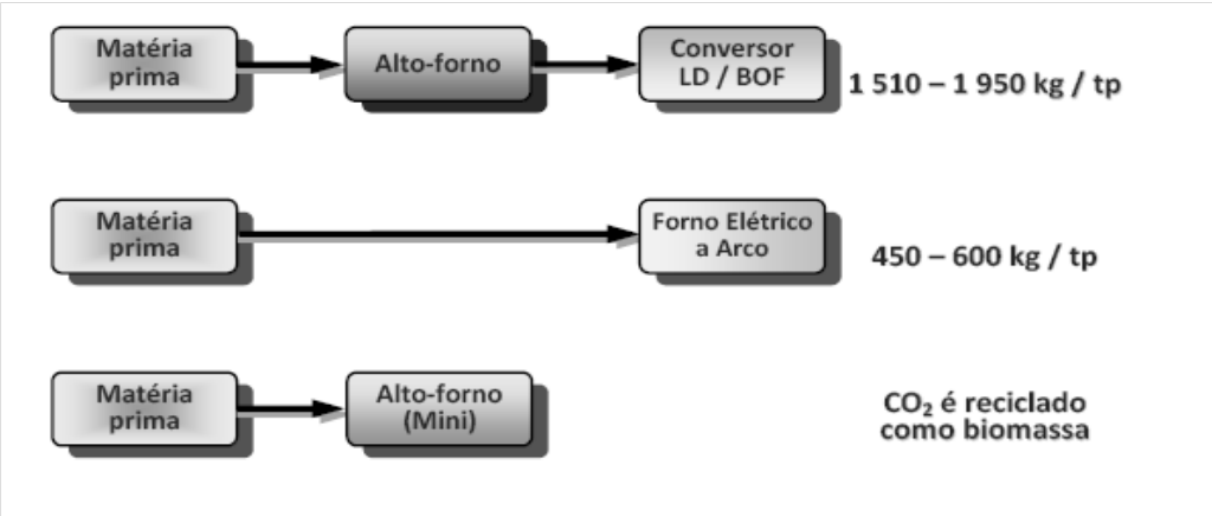
Figura 3.1: Emissões de CO_2 no Alto-Forno



Fonte: IABr (2010b)

A taxa de geração de CO_2 situa-se, atualmente, numa faixa de 1.510 a 1.950 kg/tonelada de aço bruto nas usinas integradas a coque e de 450 a 600 kg/tonelada de aço bruto nas usinas semi-integradas (Figura 3.2). A etapa de redução (composta de sinterização, coqueria e alto-forno) responde por aproximadamente 80%-85% das emissões de CO_2 nas usinas integradas a coque, o que explica a substancial diferença entre a emissão específica de CO_2 entre estas e as usinas semi-integradas.

Figura 3.2: Emissões de CO_2 em rotas tecnológicas siderúrgicas selecionadas (kg/tonelada de aço)



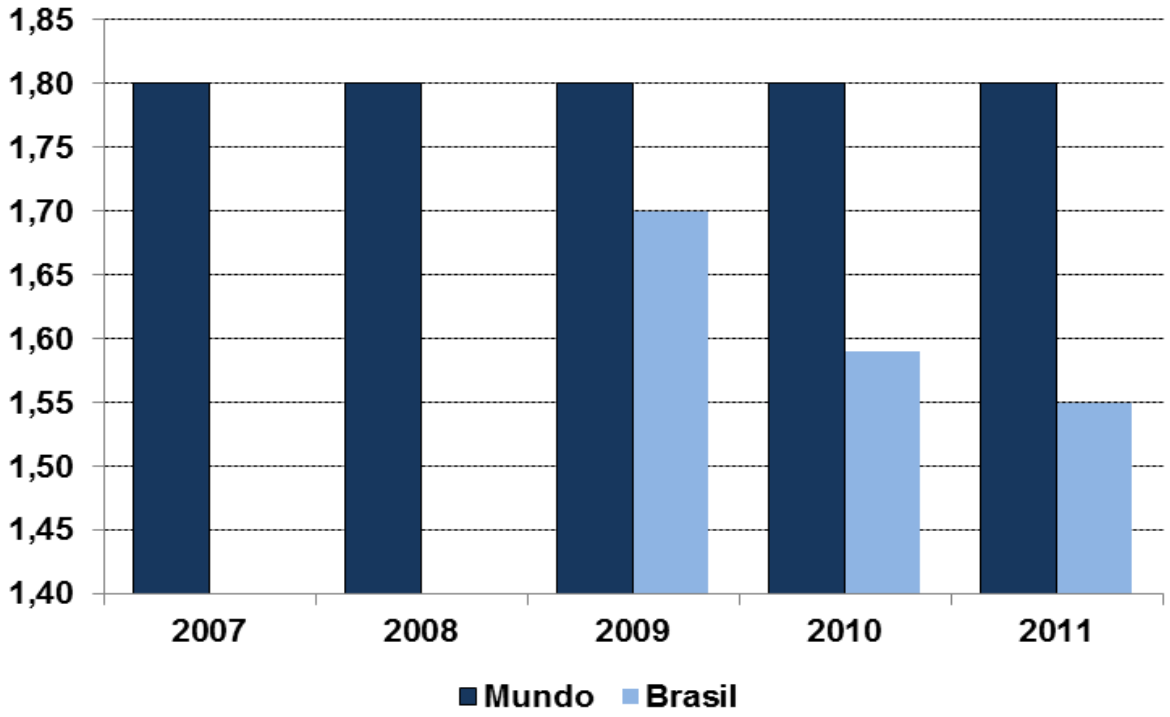
Fonte: CGEE (2010).

A emissão de CO2 representa 93% de todas as emissões de GEE da siderurgia mundial. Os demais gases – metano (CH4) 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. No caso da experiência brasileira, em 2011, as emissões específicas foram 1,23 kg de NOx por tonelada de aço bruto, 2,09 kg de SOx e 0,78 kg de material particulado.

Estima-se que o setor industrial e a siderurgia foram responsáveis, respectivamente, por 20% e 6,5% das emissões mundiais de CO_2 em 2010 (BASSON, 2012). Assim, a produção siderúrgica corresponderia a 32,5% das emissões industriais de CO_2. Este valor é próximo ao apontado pela BGC (2009), que indicava que este setor teria uma participação de 30% nas emissões industriais de CO_2 e de 21% no consumo energético da indústria em 2005. Nesse contexto, as siderúrgicas atualmente vêm buscando maior eficiência, sendo que, nos últimos 50 anos, reduziram suas emissões de GEE em 55%. Por isso, torna-se difícil o estabelecimento de metas de redução significativa, no curto prazo, dos atuais índices de emissão, em particular em parques mais maduros, como os da Europa Ocidental.

De acordo com as estimativas mais recentes da WSA, a emissão manteve-se estável no patamar de 1,8 tonelada de CO_2 equivalente por tonelada de aço bruto produzida, entre 2007 e 2011. Aliás, este é um importante indicador que deveria ser monitorado anualmente. Na experiência brasileira, a partir de 2009, todas as usinas do setor passaram a realizar o inventário das emissões de CO_2, com base na metodologia desenvolvida pela WSA. O levantamento realizado indicou que a emissão específica de CO_2 da siderurgia brasileira regrediu de 1,7 (em 2009) para 1,55 (em 2011) tonelada de CO_2 equivalente por tonelada de aço bruto produzida, conforme Gráfico 3.1. Considerando-se que não se verificou mudança significativa da matriz energética na siderurgia brasileira entre 2009 e 2011 e que a produção em 2009 pode ser considerada atípica, a explicação da melhoria parece mais relacionada à retomada das condições normais de operação. Além disso, mesmo considerando o fato de que a utilização de aciaria elétrica é menos intensa no país, o índice brasileiro encontra-se abaixo da média mundial em termos de emissões de carbono.

Gráfico 3.1: Emissões específica de CO_2, Brasil e Mundo, 2007-2011 (tonelada CO_2/tonelada de aço bruto)



Fonte: WSA, IABr (2012)

É importante destacar que as emissões das usinas semi-integradas na faixa de 450-600 kg de CO_2/tonelada de aço incluem os escopos 1, 2 e 3 do Protocolo GEE, ou seja, a energia elétrica e as emissões estimadas de transporte de produtos e outras externalidades menores, positivas e negativas. Na experiência brasileira, em função da matriz energética ser mais limpa, estes valores tendem ao mínimo. Utilizando um fator de emissão para energia no Brasil (0,11 kg CO2/kWh), as emissões das semi-integradas podem chegar à metade do valor acima indicado (abaixo de 300 kg de CO_2/tonelada de aço). Todavia, para efeito de comparação entre empresas no levantamento da WSA, todas as companhias informam suas emissões utilizando os mesmos fatores definidos pela WSA. Estes inventários não representam exatamente as emissões reais, mas a comparação das empresas sob uma mesma base. Em suma, de um lado, a situação brasileira tenderia ser ainda melhor do que a retratada no Gráfico 3.1. De outro, ao não considerar as

especificidades da matriz energética de cada país, a informação é mais diretamente relacionada à tecnologia e à gestão das siderúrgicas propriamente ditas.

Na percepção das empresas entrevistadas, o desempenho energético e ambiental da siderurgia brasileira é bom/muito bom, embora ainda se observe um potencial considerável para melhorias (quando comparados com os níveis obtidos no Japão e na Alemanha, por exemplo). Por outro lado, elas ressaltam que a gestão ambiental é de alta qualidade, o que sugere que a melhoria da performance ambiental e energética pode ser associada ao maiores investimentos e nível de exigência da legislação. É interessante relembrar que a maioria das siderúrgicas brasileiras são controladas por empresas estrangeiras ou por nacionais com ativos em outros países, o que permite melhores condições para uma avaliação com congêneres.

A utilização de carvão vegetal é uma alternativa importante para a mitigação das emissões de CO_2 da indústria siderúrgica no Brasil, pois em usinas integradas a carvão vegetal (considerando a análise do ciclo do produto – LCA, no acrônimo em inglês), a emissão específica de CO_2 é de aproximadamente 200 kg de CO_2 por tonelada de aço bruto. Isto equivale, portanto, a 10% do valor observado para uma usina integrada a coque. O país, além do clima adequado e relativa disponibilidade de terra para plantio do eucalipto, possui uma avançada tecnologia em silvicultura, fabricação do carvão vegetal e uso em altos-fornos. É importante destacar algumas vantagens do carvão vegetal comparativamente ao carvão mineral:

- Menor teor de enxofre;
- Menor desgaste do alto-forno;
- Menor temperatura de operação do alto-forno, acarretando menor perda térmica;
- Menor consumo de energia.

Constatou-se consenso em relação às companhias entrevistadas de que a maior oportunidade para indústria de aço brasileira, no paradigma da economia do baixo carbono, é a produção a partir de carvão vegetal. Por outro lado, elas se mostraram céticas quanto à capacidade do segmento guseiro resolver seus problemas mesmo a médio e longo prazos. Nesse sentido, a percepção geral é que haverá uma diminuição do tamanho do parque guseiro, com a sobrevivência apenas

das empresas que investirem em maciços florestais e no aprimoramento tecnológico (adoção de injeção de finos de carvão, melhoria dos processos de carbonização e das técnicas de plantio, bem como investimentos em cogeração de energia) num curto espaço de tempo (inferior a cinco anos). Algumas siderúrgicas apostam que cerca de metade do parque guseiro será preservado. Para isto, tais produtores precisam ter maior acesso às fontes de financiamento, inclusive as provenientes de bancos governamentais.

No entanto, é preciso mencionar que a produção de aço via carvão vegetal é limitada por restrição da capacidade de carga no alto-forno. Outro aspecto relevante é o alto investimento em terras, que deve ser feito com pelo menos seis anos de antecedência, comparativamente a um alto-forno a coque, que leva, em média, dois anos para ser construído. Ademais, existem barreiras socioambientais, devido ao fato de parte do carvão vegetal utilizado pelos guseiros ser proveniente de vegetação nativa. Deve-se destacar que o Plano Setorial de Redução de Emissões da Siderurgia, de acordo com o Ministério de Meio Ambiente, é fortemente baseado na utilização do carvão vegetal sustentável, oriundo de florestas plantadas. De fato, o plano tem dois pilares fundamentais: expansão do estoque de florestas plantadas e melhoria da eficiência e da qualidade ambiental do processo de carbonização (MMA, 2010).

Outra questão importante para a siderurgia brasileira, a ser abordada no futuro próximo, é a da siderurgia carbono neutro, que é um grande passo para a diminuição das emissões do GEE. Quando se aborda o conceito de carbono neutro, a adoção de projetos de energia renovável e de reflorestamento se torna fundamental para a compensação das emissões de CO_2. Isso significa afirmar que todas as emissões decorrentes das atividades da empresa, em toda a sua cadeia de negócios, da extração da matéria-prima ao descarte das embalagens, serão reduzidas ou compensadas. E o carvão vegetal é de grande importância hoje para este processo de neutralização.

Alguns entrevistados também sugeriram que o uso de finos de carvão vegetal em substituição aos finos de carvão mineral poderia ser um dos temas de pesquisa importantes para a siderurgia a coque brasileira. Nesse caso, a produção de carvão para finos não deveria ser feita a partir de eucalipto, mas de biomassa de ciclo curto, mesmo porque a resistência mecânica do produto não é fator importante neste caso.

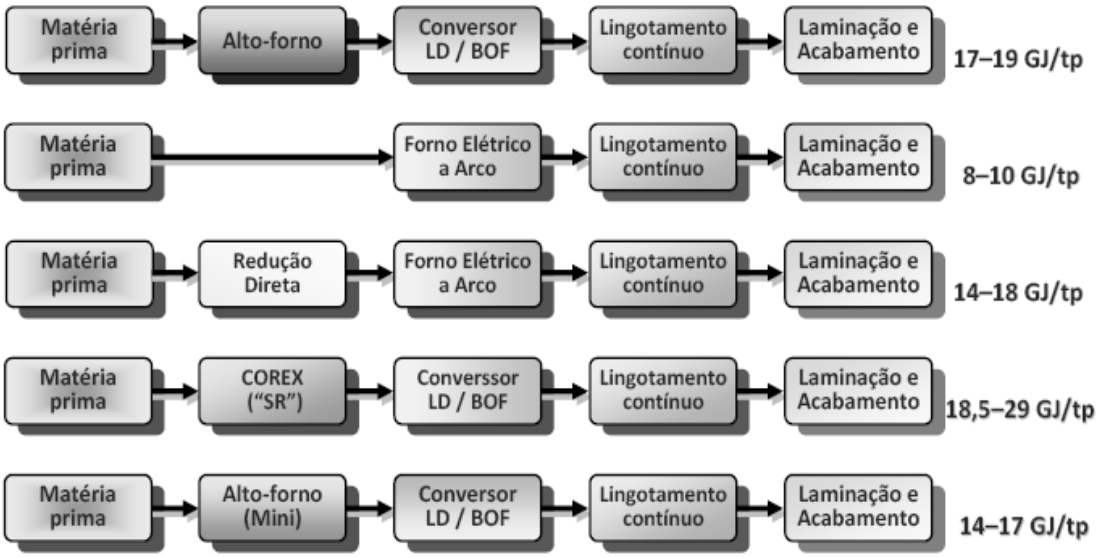
Vale a pena registrar que, em abril de 2012, as associadas do IABr se comprometeram a atingir, em até quatro anos, 100% de florestas plantadas para atender à sua demanda de carvão vegetal, no âmbito do Protocolo de Sustentabilidade do Carvão Vegetal. Em 2011, 80% do carvão vegetal consumido pela indústria do aço foram provenientes de florestas plantadas próprias, 10% de florestas plantadas de terceiros e 10% de resíduos florestais legalizados. Outra ação importante do referido protocolo é a implementação de um Programa de Qualificação de Fornecedores. As empresas do setor harmonizarão os requisitos para avaliação e qualificação de fornecedores, mantendo relação comercial somente com aqueles que cumpram todas as exigências legais. Os guseiros não foram signatários deste protocolo, mas aqueles que vendem mais no mercado brasileiro acabarão sendo obrigados a seguir tais diretrizes.

Outra questão muito relevante é o fato de que, por estarem intimamente interligadas, as principais iniciativas mundiais de geração de inovações tecnológicas para a mitigação do CO_2 tem buscado, de forma simultânea, a diminuição do consumo energético na siderurgia. Hoje, dois programas, de longo prazo, se encontram em estágios mais avançados relativamente a este tema: a) *Ultra Low CO_2 Steelmaking* (ULCOS), de natureza multi-institucional no âmbito da Comunidade Europeia; b) COURSE 50, em desenvolvimento no Japão. Ambos visam a reduzir substancialmente as emissões de CO_2 e voltarão a ser discutidos na próxima seção.

3.1.2. Consumo de energia

Uma das características marcantes da siderurgia é ser extremamente intensiva em matéria-prima, energia, capital e elementos ambientais. Em relação à energia em particular, é importante destacar que o consumo específico varia consideravelmente conforme a rota tecnológica empregada. A Figura 3.3 mostra que a rota usina integrada a coque (alto-forno a coque e aciaria LD) necessita de 17-19 gigajoule (GJ) por tonelada produzida. No caso de usina semi-integrada (cujo processo se inicia no forno elétrico a arco), o padrão típico de consumo é de 8-10 GJ/tonelada.

Figura 3.3: Consumo específico de energia das rotas tecnológicas siderúrgicas (GJ/tonelada)



Fonte: CGEE (2010)

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. Para as usinas semi-integradas, 70%-75% da energia total são despendidas nas fases de matérias-primas e refino (aciaria). Outra estimativa de consumo energético, segundo as melhores práticas mundiais, por rota produtiva, segmentada pelos principais processos é apresentada na Tabela 3.1. Os valores apresentados, exceto os da rota semi-integrada, são convergentes com os da Figura 3.2. Parte desta diferença decorre do fato que os valores da Tabela 3.1 consideram que as rotas semi-integradas e integrada à redução direta são empregadas na fabricação de laminados longos, que prescinde da laminação a frio. As duas estimativas assumem a tecnologia Corex como representativa das tecnologias de fusão redutora.

Tabela 3.1: Intensidade energética das rotas siderúrgicas, por etapa (GJ/tonelada)

Etapa	Processo	Integrada a Coque	Semi-Integrada	Integrada à Redução Direta	Integrada à Fusão Redutora
Preparação de materiais	Sinterização	1,9			
	Pelotização			0,6	0,6
	Coqueificação	0,8			
Redução	Alto-Forno	12,2			
	Redução Direta			11,7	
	Fusão Redutora				17,3
Refino	Forno a Oxigênio	-0,4			-0,4
	Forno Elétrico		2,4	2,5	
	Refino Secundário	0,1			0,1
	Lingotamento Contínuo	0,1	0,1	0,1	0,1
Laminação	Laminação a Quente	1,8	1,8	1,8	1,8
	Laminação a Frio	0,4			0,4
	Acabamento	1,1			1,1
TOTAL		18,0	4,3	16,7	21,0

Fonte: EPE (2009)

BCG (2009) apresenta dados interessantes sobre o consumo específico de energia das principais etapas produtivas de produtores localizados em regiões selecionadas (Europa Ocidental, Estados Unidos, Rússia, Índia e China). O consumo de energia – e a emissão de CO_2 – concentra-se na etapa de redução. Tomando uma siderúrgica avançada da Europa Ocidental como referência, demanda-se cerca de 18 GJ/tonelada de metal líquido na produção de ferro-gusa, sem considerar a fase de aglomeração (sinterização ou pelotização). Na aciaria, consome-se aproximadamente 0,3 GJ/tonelada de aço líquido; no lingotamento, 0,1 GJ/tonelada de placa; na laminação de tiras a quente, cerca de 2 GJ/tonelada de bobina laminada a quente.

Outra informação interessante mencionada por BCG (2009) é a dispersão de desempenho energético entre as siderúrgicas localizadas nas cinco regiões citadas. A diferença entre a melhor e a pior performance é de 27% na redução, 78% na aciaria, 72% no lingotamento e 31% na laminação de tiras a quente. Assim, a disparidade é menor nas etapas que requerem maior consumo específico de

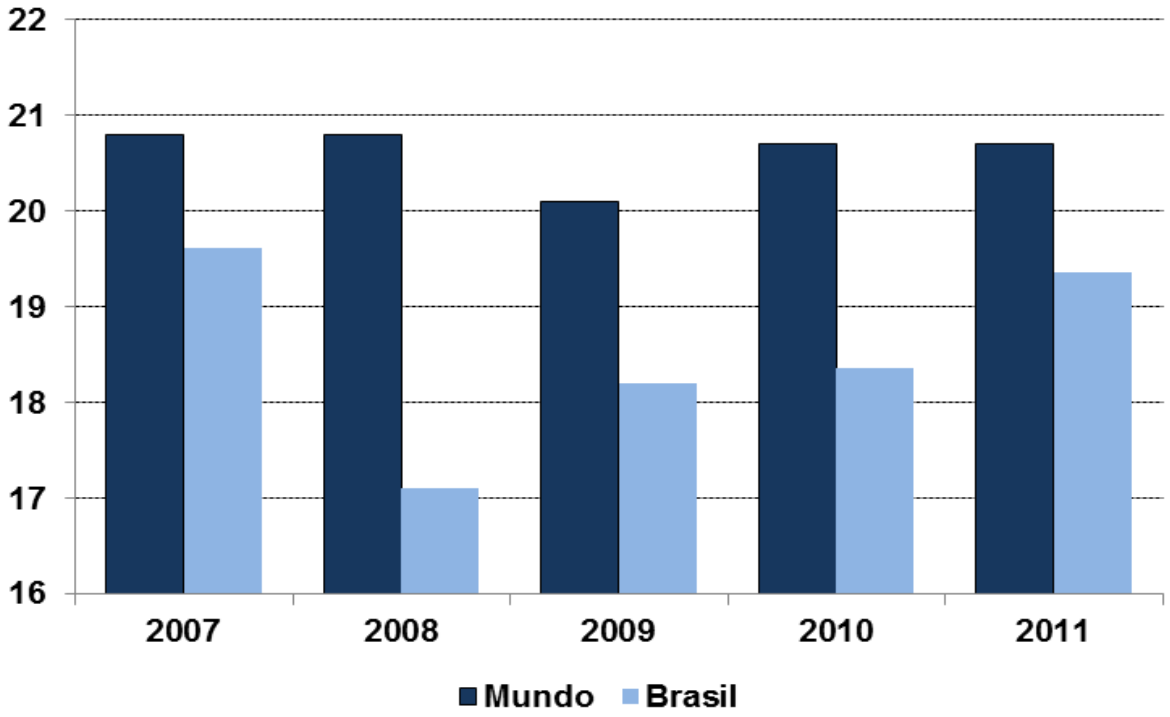
energia. De todo modo, diferenças no patamar de 30% indicam que existem boas possibilidades de convergência tecnológica em relação ao *benchmarking* setorial.

Uma das formas clássicas de redução do consumo de energia na indústria siderúrgica tem sido a difusão de tecnologias mais compactas. A adoção do *near-net-shape casting* (NNSC), processo de lingotamento pelo qual o formato do produto gerado é mais próximo do produto final, no caso de aços longos, tem um potencial de economia de até 20% e 50% sobre o total de energia atualmente consumida por usinas integradas a coque e semi-integradas, respectivamente. Ademais, as empresas siderúrgicas vêm priorizando projetos que aumentem a eficiência energética de todo o processo, tais como: troca de combustíveis (por exemplo, a troca do gás liquefeito de petróleo/GLP por gás natural), aproveitamento de gases para geração de energia e emprego da energia cinética dos gases (turbina de topo nos altos-fornos).

A siderurgia é responsável por 5 a 9% da energia consumida no Brasil. Os energéticos mais empregados na indústria siderúrgica brasileira são o coque, carvão vegetal, outras fontes (incluindo carvão mineral, gás de alto-forno, calcário e alcatrão), eletricidade, gás natural e gás de coqueria, em ordem decrescente de importância. Coque e carvão vegetal tradicionalmente são responsáveis por 60% do total da energia consumida no setor.

Segundo IABr (2010a; 2012), o consumo específico de energia no Brasil oscilou entre 17,1 e 19,6 GJ/tonelada de aço bruto entre 2007 e 2012 (Gráfico 3.2). Por sua vez, o consumo mundial variou entre 20,1 e 20,8 GJ/t no período 2007-2010. Portanto, mesmo considerando que o país tem uma siderúrgica mais intensiva em usinas integradas do que a média mundial, o consumo específico de energia é inferior ao do valor da siderurgia global. Por outro lado, com uma proporção relevante de exportação de semiacabados, o grau de elaboração dos produtos é menor. Como já apontado algumas vezes, a siderurgia a carvão vegetal é um traço peculiar do parque brasileiro. No caso específico do mini alto-forno a carvão vegetal, é viável a operação de redução em nível térmico mais baixo que o do alto-forno a coque (~ 125°C) e com menor geração de escoria (~ 50%).

Gráfico 3.2: Consumo específico de energia, Brasil e Mundo, 2007-2011 (GJ/tonelada de aço bruto)

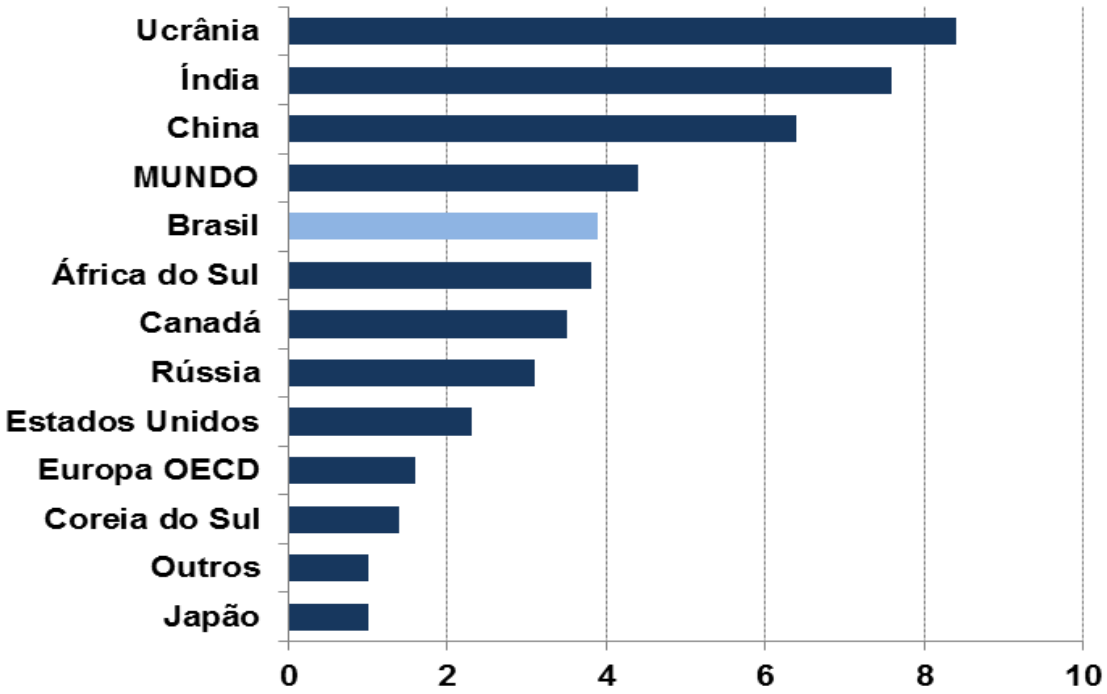


Fonte: WSA, IABr (2010a; 2012)

O consumo específico de energia na siderurgia é outro indicador que deveria ser monitorado anualmente. Em 2011, a indústria do aço do país contabilizou um consumo específico de energia 6,5% inferior à média industrial. Por este motivo, detalham-se a seguir informações sobre o consumo energético das siderúrgicas brasileiras.

Nas entrevistas realizadas, constatou-se um consenso generalizado de que o desempenho ambiental e energético da siderurgia brasileira é melhor do que a média mundial. Os dados da IEA (2012), reproduzidos no Gráfico 3.3, ratificam esta percepção. Segundo esta fonte, se fossem utilizadas as melhores tecnologias disponíveis, o Brasil tinha menor potencial de melhoria da performance energética (3,9 GJ/tonelada) do que a média global (4,4 GJ/tonelada), sendo que esta última é obviamente afetada pela China e, em menor proporção, pela Índia. De fato, o desempenho brasileiro ainda está aquém do verificado no Japão, Coreia do Sul e Europa Ocidental, o que também foi apontado nas entrevistas.

Gráfico 3.3: Potencial de melhoria de desempenho energético com base nas melhores tecnologias disponíveis, 2009 (GJ/tonelada de aço bruto)



Fonte: IEA (2012)

A Tabela 3.2 mostra três informações relevantes sobre desempenho energético de oito usinas integradas a coque e a carvão vegetal brasileiras em 2010. A primeira coluna apresenta o consumo específico de energia, em GJ/tonelada de aço bruto. Constata-se uma variação entre 21,7 e 27,3 GJ/tonelada de aço bruto, sendo que os principais fatores explicativos da diferença dizem respeito ao grau de enobrecimento do produto e à idade média dos equipamentos. A segunda coluna indica a importância do carvão (mineral, vegetal, antracito, coque e similares) na energia primária consumida. Com exceção da Aperam, que possui um *mix* de produtos mais sofisticado, em todas as outras experiências, a participação do carvão foi igual a 65%. No caso específico da ArcelorMittal Tubarão, a elevada representatividade do carvão (99%), decorre do maior aproveitamento de gases no processo com vistas à cogeração de energia e aquecimento. As últimas colunas

mostram a distribuição dos gastos de energia primária por etapa do processo produtivo, ratificando que a redução é o estágio mais demandante de energia.

Tabela 3.2: Desempenho energético de usinas integradas no Brasil, 2010

	Consumo Específico (GJ/ton aço bruto)	Participação do carvão no consumo de energia primária (%)	Distribuição do consumo de energia primária (%)		
			Redução	Refino	Lamin.*
Aperam	26.247	44	52	15	33
ArcelorMittal Monlevade	23.396	70	71	8	21
ArcelorMittal Tubarão	21.681	99	76	3	21
CSN	26.047	73	69	3	28
Gerdau Açominas	23.458	87	80	5	15
Usiminas Cutabão	27.270	79	71	6	23
Usiminas Ipatinga	27.060	74	71	5	24
V&M do Brasil	25.732	65	70	5	25

Fonte: elaboração própria com base em ABM (2011)

Obs: * laminação inclui também sistema de energia, perda e outros

Na avaliação das empresas entrevistadas, as usinas semi-integradas brasileiras mostram menor heterogeneidade em termos de desempenho energético comparativamente às usinas integradas. Em relação a estas últimas, a heterogeneidade é maior na etapa de redução, sendo cada vez menor quanto mais se aproxima das etapas finais do processo. A situação seria, portanto, diferente da encontrada no resto do mundo.

Ainda no âmbito da etapa de redução, D'ABREU (2009) aponta que havia 11 sinterizações em operação na siderurgia brasileira, em 2006, sendo que todas haviam sido reformadas nos dez anos anteriores e apresentavam boa produtividade. Dos quinze altos-fornos considerados (doze a coque e três a carvão vegetal), treze haviam sido reformados há menos de dez anos. Por outro lado, a situação das coquerias não era tão satisfatória, pois dentre as 18 baterias em funcionamento em 2006, apenas duas possuíam menos de 20 anos de operação, nove tinham entre 20 e 30 anos e sete, mais de 30 anos. Como foram construídas nas épocas das

implantações, elas têm idade avançada, embora isto também seja frequente em outros países.

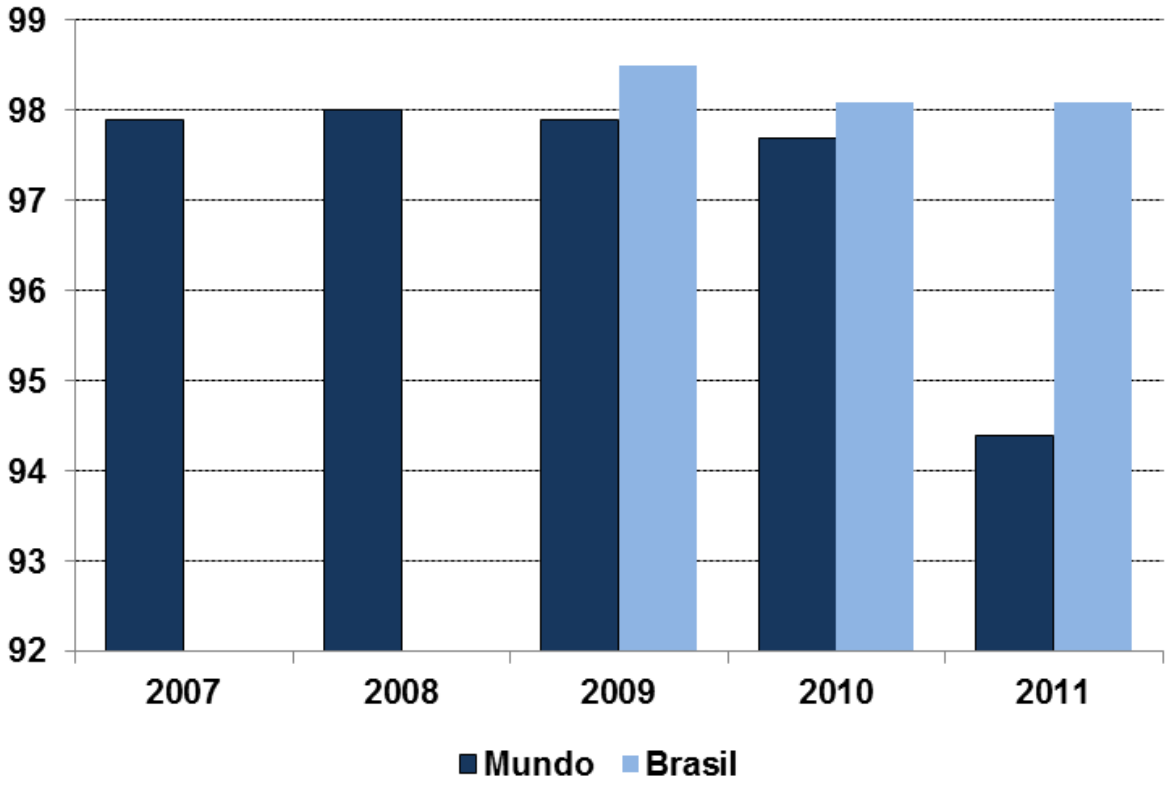
De um lado, pode-se afirmar que as coquerias, comparativamente às sinterizações e altos-fornos, apresentavam uma idade média mais elevada, gerando pior desempenho relativo em termos energéticos e ambientais. De outro, cabe lembrar que as coquerias foram responsáveis por apenas de 9% a 16% da energia primária consumida pelas usinas integradas a coque brasileiras em 2010. Assim, mesmo a implantação de novas baterias e a desativação das antigas provavelmente seria insuficiente para alterar drasticamente a performance energética das companhias brasileiras.

3.1.3. Resíduos e reciclagem

Os tipos de resíduos gerados na indústria siderúrgica são os mais variados e provenientes principalmente do processamento de matérias-primas, do desgaste e usinagem de peças, da preparação de superfícies metálicas, entre outros. Reciclagem, incineração, tratamentos físico-químicos e disposição final em aterros são, entre outros, os métodos mais utilizados para o gerenciamento dos resíduos sólidos. A seleção do método mais apropriado normalmente se baseia em considerações econômicas e nas tecnologias disponíveis, de acordo com as leis ambientais em vigor.

A gestão de coprodutos tem se tornando uma atividade cada vez mais importante para as siderúrgicas. Nas usinas integradas a coque, cerca de 80% do total de resíduos sólidos gerados são oriundos apenas de duas etapas: redução e refino (aciaria). Nas usinas semi-integradas, as fases de matérias-primas e refino respondem pela quase totalidade da geração. As últimas estimativas da WSA apontam que o indicador de eficiência mundial, que mensura o percentual de materiais convertidos em produtos e coprodutos, manteve-se no patamar de 98% entre 2007 e 2010. Contudo, em 2011, ele regrediu para 94%, mas a WSA não explicou os motivos de tal alteração. O desempenho brasileiro foi superior ao padrão global nos anos em que a comparação é possível (Gráfico 3.4). A eficiência no uso de materiais é um terceiro indicador relevante a ser acompanhado anualmente.

Gráfico 3.4: Eficiência no uso de materiais, Brasil e Mundo, 2007-2011 (%)



Fonte: WSA, IABr (2012)

Em média, de acordo com a WSA, um tonelada de aço gera 200 kg de coprodutos pela rota semi-integrada e 450 kg pela rota integrada. A escória de alto-forno é o coproduto com maior volume de geração, na faixa de 210 a 310 kg por tonelada de ferro-gusa produzido, dependendo da qualidade das matérias-primas utilizadas. No caso da escória de aciaria, a geração encontra-se na faixa de 100 a 150 kg por tonelada de aço produzido, variando em função da rota tecnológica e das matérias-primas empregadas. A geração da escória de forno-panela (um tipo de equipamento que visa ao ajuste fino da composição do aço) é da ordem de 10 a 40 kg por tonelada de aço.

Na etapa de processamento, as siderúrgicas procuram dar a melhor destinação possível aos coprodutos: escórias de alto-forno são granuladas e vendidas para a indústria cimenteira; escórias de aciaria podem ser utilizadas na agricultura; pós e carepas podem ser reaproveitadas no processo de produção, sendo utilizados na composição de sínter e aglomerados que serão cargas do alto-

forno e da aciaria. De todo modo, o tratamento de resíduos ainda pode avançar na direção de aumentar o grau de padronização dos coprodutos.

Em 2011, para cada tonelada de aço bruto produzido no Brasil, foram gerados 630 kg de resíduos e coprodutos. Tal valor é bastante superior ao padrão mundial mencionado acima, mas tal divergência pode ser decorrente do emprego de metodologias diferentes. Cerca de 59% dos coprodutos gerados na siderurgia brasileira são escórias, atualmente denominadas agregados siderúrgicos. No mesmo ano, 94,6% dos agregados siderúrgicos gerados pelas empresas siderúrgicas foram utilizados, sendo que 78% foram vendidos para ser aplicados em diferentes processos. A maior parte (60%) dos agregados siderúrgicos foi empregada na produção de cimento.

O uso dos agregados nessa indústria traz benefícios ambientais significativos, como a redução das emissões de CO_2 na indústria do cimento por meio da substituição do clínquer (IABr, 2012). Considerando todos os resíduos e coprodutos gerados pela siderurgia brasileira em 2011, 80% foram aproveitados no processo ou por terceiros, 15% foram estocados e 5% foram destinados aos aterros. Vale destacar que estes valores não são comparáveis com o indicador de eficiência no uso de materiais (retratado no Gráfico 3.4), que apresenta o percentual de materiais convertidos em produtos e coprodutos.

Na visão de alguns entrevistados, o uso de escória de aciaria como fertilizante deveria merecer mais atenção por parte das usinas siderúrgicas brasileiras. Também haveria condições para aprimorar a reciclagem de lamas de alto-forno e aciaria. Contudo, em linhas gerais, as empresas brasileiras são bem avaliadas em termos da gestão de coprodutos no contexto mundial.

A reciclagem de aço representa atualmente uma importante atividade econômica, que envolve uma grande estrutura composta por aproximadamente 3.000 empresas. Em 2011, a siderurgia brasileira reciclou 6,8 milhões de toneladas de sucata, adquiridas no mercado interno, além daquela gerada no próprio processo (outras 2,3 milhões de toneladas). Como já mencionado, a rota semi-integrada possui menor emissão específica de CO_2 do que a integrada, sendo central para possibilitar uma melhor adequação da siderurgia ao paradigma da economia de baixo carbono.

3.1.4. Recursos hídricos

WSA estima que o consumo médio e a descarga de água de usinas integradas são respectivamente 28,6 m^3 e 25,3 m^3 por tonelada de aço bruto produzido, enquanto os mesmos valores para usinas semi-integradas são de 28,1 m^3 e 26,5 m^3. Este volume é suprido, principalmente, pela captação direta em cursos de água próximos às unidades industriais. As águas são utilizadas principalmente para o resfriamento dos equipamentos e do aço, limpeza dos gases e outras atividades secundárias, como a atividade de granulação de escória.

Os índices de recirculação nas empresas siderúrgicas, após um processo de aumento, já mostram sinais de estabilização. Na experiência brasileira, este índice para água doce se mostrou estável no patamar de 96% no período 2009-2011. A maior parte da água utilizada no processo produtivo das siderúrgicas decorre da necessidade de refrigeração de equipamentos e materiais. As iniciativas de recirculação envolvem a aplicação de tecnologias de ponta para a implantação de sistemas de reuso de efluentes, fechamento de circuitos e ações de conscientização dos operadores da unidade produtiva.

Cabe mencionar que algumas unidades industriais que têm sua posição geográfica próxima à costa procuram evitar o consumo de água doce e potável para o resfriamento de produto e de maquinário, já que não há nenhum empecilho técnico significativo para este uso com águas salobras e/ou salgadas. O índice de recirculação de água salobra/salgada na siderurgia brasileira, em 2011, foi de 20%.

No Brasil, vale lembrar que a cobrança pelo uso da água em uma bacia hidrográfica foi instituída na Lei Nº 9433, de 1997. A cobrança pelo uso da água já está implantada em duas bacias: Paraíba do Sul e Piracicaba, Capivari e Jundiaí, ambas localizadas na Região Sudeste, abrangendo os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. A cobrança pelo uso da água está agindo como um instrumento eficaz de incentivo ao uso racional de recursos hídricos sem causar impactos econômicos significativos aos usuários industriais.

3.2. Mudanças do clima e regulação setorial

3.2.1. Agentes críticos nas discussões setoriais

No que tange à siderurgia, os agentes mais críticos nas discussões setoriais acerca de alterações do clima têm sido os governos, as associações empresariais e entidades técnico-científicas. No caso dos governos, as regulações sobre mudança climática são bastante distintas entre os países, conforme aponta GUTIERREZ (2010). Dentre os esquemas mais restritivos impostos até agora se destacam os adotados na União Europeia e Austrália. A questão da legislação, contudo, será examinada na próxima subseção.

De acordo com IEA (2009), duas importantes iniciativas estão sendo desenvolvidas com a intenção de melhorar a qualidade dos dados disponíveis sobre eficiência e intensidade de emissão de CO_2 por parte das siderúrgicas. A primeira delas está sendo coordenada pela WSA, que congrega mais de 85% da produção mundial de aço. A WSA iniciou um projeto em 2008 com o objetivo ambicioso de coletar dados relativos à emissão de CO_2 de todas as usinas siderúrgicas do mundo.

De acordo com WSA (2012), o programa “WSA Climate Action” estabeleceu um quadro-referência que abrange todos os aspectos principais que influenciam a emissão de CO_2 e o uso de energia. Com base nos dados coletados, WSA prepara um relatório para as companhias participantes, de tal forma que elas possam comparar seu desempenho com as demais. Todavia, somente informações agregadas são disponibilizadas ao público. No presente momento, o banco de dados contém informações de companhias que respondem por 30% da capacidade global do setor. Com base nas entrevistas realizadas, constatou-se que este baixo índice decorre do grau de adesão de empresas chinesas e indianas, muitas das quais apresentam uma performance desfavorável em termos energéticos e ambientais.

Uma segunda iniciativa apontada por IEA (2009) é denominada Asia-Pacific Parternship on Clean Development and Climate (APP). Este é um programa cooperativo, com participação de governo e empresas da Austrália, Canadá, Índia, Japão, Coreia do Sul e Estados Unidos. A APP contém oito forças-tarefa que abordam os seguintes assuntos: a) alumínio; b) construção; c) cimento; d) energia fóssil limpa; e) mineração de carvão; f) geração e transmissão de energia; g) energia renovável e geração distribuída; h) aço. Dados sobre o desempenho energético de

várias plantas siderúrgicas foram coletados, validados e analisados, mas tais resultados não se encontram disponíveis no *website* da APP.

No âmbito de cada região ou país, observam-se o envolvimento de instituições empresariais ou mesmo de companhias siderúrgicas. Segundo BASSON (2012), as principais iniciativas visando ao desenvolvimento de inovações radicais para a diminuição das emissões de CO_2 na siderurgia estão sendo levados a cabo por:

- União Europeia (projeto ULCOS);
- Japão (projeto COURSE 50, coordenado pelo Japan Iron and Steel Federation/JISF);
- Estados Unidos (esforço coordenado pelo American Iron and Steel Institute/AISI);
- Coreia do Sul (iniciativa da Posco);
- Austrália (esforço da BlueScope e OneSteel e coordenação da Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation/ CSIRO).
- Taiwan (iniciativa da China Steel).

BASSON (2012) acredita que o minério de ferro tem grande disponibilidade na maioria dos grandes países produtores, apesar da trajetória de redução do teor de ferro. Por outro lado, o autor destaca que as reservas de carvão coqueificável vêm diminuindo acentuadamente. Esta menor disponibilidade poderia forçar uma mudança na tecnologia utilizada pelas usinas siderúrgicas.

Em relação à lista de iniciativas de inovação radical apresentada por BASSON (2012), cabem três comentários. Primeiro, as experiências mais relevantes são os projetos ULCOS, Couse 50, o do AISI e o da Posco. Segundo, embora os projetos coletivos sejam as mais importantes, constatam-se alguns esforços individuais. Terceiro, na experiência australiana, verifica-se a participação da agência nacional de ciência.

Retomando as quatro principais iniciativas, o Quadro 3.1 apresenta uma síntese dos projetos. O mais relevante é o Ultra–Low Carbon Dioxide Steelmaking (ULCOS), que compreende um consórcio de 48 empresas, que se dividem em dois grupos: a) membros centrais: ArcelorMittal, Saarsthal, Voest-Alpine, ThyssenKrupp,

Tata Steel Corus, Dillinger Hütte, Riva, SSAB, Rataruukki (siderúrgicas, representando cerca de 90% da produção regional) e LKAB (mineradora de ferro); b) membros não-centrais: fornecedoras, universidades e centros de pesquisa. O projeto é coordenado pela ArcelorMittal.

O projeto ULCOS se subdivide em quatro subprojetos, que se encontram em estágios distintos de desenvolvimento: a) alto-forno TGR; b) Hisarna; c) ULCORED; d) ULCOWIN. O objetivo principal é reduzir a emissão de CO_2 em pelo menos 50% frente ao padrão atual. A primeira etapa do projeto custou US$ 95 milhões e a segunda exigirá investimentos superiores a US$ 630 milhões (WSA, 2012). O projeto é financiado em 60% pelos participantes do consórcio e 40% pela Comissão Europeia, por meio do Fundo de Pesquisa para Carvão e Aço.

Em março de 2010, a Comissão Europeia aprovou um auxílio de € 30,2 milhões para o subprojeto alto-forno TGR. Este consiste num processo inovador, que permite a separação do CO_2 de outros tipos de gases à medida que os mesmos saem do alto-forno, bem como a reciclagem das emissões livres de CO_2 para utilização posterior como CO na produção de aço. O uso da tecnologia TGR reduzirá as emissões de CO_2 da usina Eisenhüttenstadt (Alemanha) da ArcelorMittal em cerca de 16% quando comparadas com a tecnologia já existente. Esta é a primeira vez que este processo é aplicado em escala industrial.

Quadro 3.1: Projetos selecionados visando à inovação radical para redução das emissões de CO_2 na siderurgia mundial

Projeto	Investimento (US$ milhões)	Tecnologia	Localização	Situação atual	Ganhos potenciais
ULCOS	725	Alto-forno TGR	LKAB Luleå, ArcelorMittal Florange e Eisenhüttenstadt	Planta-piloto em operação, planta escala industrial em desenvolvimento	75% (com captura e estocagem de carbono)
		Hisarna	Tata Steel Europe Ijmuiden	Planta-piloto	80% (com captura e estocagem de carbono)
		ULCORED	LKAB Luleå	Planta-piloto em desenvolvimento	Desconhecido
		ULCOWN (eletrólise alcalina do minério de ferro)	Laboratório	Estágio de laboratório	Até 100%
COURSE 50	315	Redução a hidrogênio	Nippon Steel Kimitsu	Planta-tese, mini alto-forno piloto em operação em 2012-2013	Desconhecido
		Captura de carbono			Desconhecido
		Uso do calor de escória e resíduos			Desconhecido
Posco	s.d.	Redução a hidrogênio	Desconhecido	Desconhecido	Até 100%
		Captura de carbono	Parceria com Ministério dos Assuntos Marítimos e da Pesca	Captura de carbono a base de amônia, sob água, em desenvolvimento	Desconhecido
AISI	s.d.	Redução a hidrogênio	University of Utah	Testes de laboratório já completados	Até 100%
		Fabricação de ferro primário por eletrólise	MIT	Estágio de laboratório	Até 100%
		Forno de soleira emparelhado	Desconhecido	Planta de 50 mil toneladas anuais em 2015	30%

Fonte: Gutierrez (2010), WSA (2012), ULCOS, COURSE 50

Um dos pilares do projeto ULCOS é a tecnologia de captura e estocagem de carbono (CCS). A ArcelorMittal recebeu em outubro de 2011 uma licença oficinal do governo francês para estudar possíveis localizações para implantação desta tecnologia, que corresponderia à primeira experiência mundial. Uma das possibilidades é instalar um alto-forno experimental na usina de Florange. O objetivo é que o alto-forno recicle gases para reinjetá-los no próprio equipamento, reduzindo as emissões de CO_2 em 25%. As emissões remanescentes seriam tratadas pela tecnologia CCS, o que levaria a um corte total de 75% de tais emissões – ver última coluna do Quadro 3.1. A empresa esperava alcançar os primeiros resultados desta

planta-piloto em 2014, mas o projeto foi interrompido em função da paralização dos altos-fornos da usina de Florange.

Outro subprojeto muito importante do ULCOS é denominado de Hisarna, que é uma tecnologia da redução que está sendo testada na usina de IJmuiden (Holanda), da Tata Steel Corus. O processo, que elimina a necessidade de coque e de aglomeração, foi testado pela primeira vez em abril de 2011. Os resultados iniciais comprovam que o processo funciona como esperado, mas a demonstração em escala industrial deverá ser realizada entre 2014 e 2018, devendo começar a produzir em escala industrial por volta de 2020. A tecnologia Hisarna isoladamente é capaz de diminuir as emissões em 20%, mas este valor pode alcançar 80% quando combinado com CCS. Os outros dois subprojetos do ULCOS – ULCORED e ULCOWIN – se encontram em estágios preliminares de desenvolvimento.

No caso da siderurgia japonesa, atenção especial será concedida ao desenvolvimento da tecnologia que permita o uso do hidrogênio como redutor. Aliás, um plano visando esta inovação está em andamento desde o ano fiscal de 2008, no âmbito do projeto nacional denominado "CO_2 Ultimate Reduction in Steelmaking Process by Innovative Technology for Cool Earth 50" (ou apenas "COURSE 50"), liderado pela Nippon Steel. A intenção é que tal tecnologia seja desenvolvida por volta de 2030 e comercializada em 2050, possibilitando uma diminuição de 30% na emissão de CO_2 por parte das usinas integradas.

O projeto COURSE 50 conta com a participação das seguintes empresas: Nippon Steel, JFE Steel, Sumitomo Metals, Kobe Steel e Nisshin, que são as maiores siderúrgicas do país. O projeto é totalmente custeado pelo governo japonês. A primeira etapa (2008-2012) contou com um orçamento de US$ 126 milhões e a segunda (2013-2017) com US$ 189 milhões.

Em junho de 2012, o AISI, em colaboração com a University of Utah, recebeu US$ 7,1 milhões do US Departament of Energy (DOE) para financiar uma nova tecnologia de produção de ferro primário. A nova tecnologia pretende utilizar a redução direta (utilizando hidrogênio) de finos de minério de ferro, de forma a diminuir as emissões de CO_2 em até 50%. O orçamento do projeto é de US$ 8,9 milhões, ao longo de três anos, sendo 80% com recursos do DOE e 20%

compartilhado pelos membros do AISI. Ressalte-se que o DOE e as siderúrgicas já investiram mais de US$ 70 milhões em projetos colaborativos indústria-governo.

No caso da iniciativa da Posco, conforme Quadro 3.1, constata-se que as linhas de pesquisa (redução a hidrogênio e CCS) são similares às do COURSE 50. Lembre-se que a empresa também vem desenvolvendo uma nova tecnologia de fabricação de ferro primário: o Finex. O esforço da China Steel (Taiwan) refere-se à concentração de CO_2 e à separação de gases de combustão e CCS. O programa australiano privilegia a utilização da biomassa e a recuperação de calor da escória.

O Quadro 3.2 mostra a expectativa de difusão de algumas destas tecnologias emergentes em 2050, na avaliação do IEA (2012), no chamado cenário “2DS”, que assume um sistema de energia e de emissões compatível com 80% de chance para a temperatura média global aumentar 2°C até 2050 (ou seja, é um cenário bastante restritivo às emissões de CO_2). Portanto, esta projeção considera o máximo de difusão de novas tecnologias, contemplando os seus desenvolvimentos vindouros.

De um lado, no caso do alto-forno TGR, espera-se que ele venha a contribuir com 20% na diminuição das necessidades de coque em 2050. O uso do carvão vegetal e do resíduo plástico seria responsável por no máximo 4% da retração de consumo energético setorial. O emprego de material altamente reativo, derivado de inovações no processo de aglomeração, apenas se difundiria a partir de 2020. A produção de ferro por eletrólise – baseada na dissolução de um óxido de metal por uma mistura de óxidos, sendo que os íons são convertidos em metal e oxigênio por meio da aplicação de uma diferença de tensão – começaria a se disseminar a partir de 2030, ganhando uma fatia marginal até 2050. Por outro lado, vislumbra-se que a tecnologia CCS venha a ser incorporada em 75% a 90% dos novos altos-fornos construídos e em 50% a 80% dos altos-fornos reformados entre 2030 e 2050. Assim, a CCS é a inovação radical com maior potencial de impacto em termos de diminuição do consumo específico de CO_2 por parte da siderurgia mundial. Como será discutido na subseção 3.3.1, as inovações denominadas de fusão redutora, a bem da verdade, não devem ser compreendidas como tecnologias de baixo carbono.

Quadro 3.2: Difusão de inovações radicais em 2050 e contribuição para redução das emissões de CO_2 na siderurgia mundial

Tecnologia	Difusão
Fusão redutora	Participação na produção de metálicos de 4,8% a 7,4% em 2050
Alto-forno TGR	Difusão a partir de 2020. Partipação de 20% na redução das necessidades de coque em 2050.
Uso de material altamente reativo	Difusão após 2020.
Uso de carvão vegetal e resíduo plástico	Participação de 1% a 4% na redução do consumo energético do setor em 2050
Produção de ferro por eletrólise (óxido fundido)	Difusão após 2030. Participação marginal em 2050.
CCS para alto-forno, redução direta e fusão-redutora	Participação de 75% a 90% dos novos altos-fornos construídos entre 2030 e 2050. Participação de 50% a 80% dos altos-fornos reformados entre 2030 e 2050.

Fonte: IEA (2012), cenário 2DS

Em linhas gerais, os governos vêm assumindo um duplo papel na discussão da emissão de CO_2 na siderurgia nos países desenvolvidos. De um lado, estimulam o desenvolvimento tecnológico de inovações radicais. De outro, cumprem um papel normativo, relacionado às leis e normas, conforme discutido na próxima subseção. Nos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, o papel do Estado tem sido menos importante nos dois âmbitos.

3.2.2. Legislações nacionais restritivas

A União Europeia tem se destacado em termos de adoção de políticas restritivas à emissão de CO_2. O chamado Esquema de Comércio de Emissões (European Union Emissions Trading Scheme – EU ETS) é a principal ferramenta da União Europeia para cumprir as metas do Protocolo de Quioto. Cada país-membro define um plano nacional de alocações (NAP - National Allocation Plan), que determina certa quantidade de "permissões" de emissão de GEE para suas

indústrias e usinas de geração de energia. O objetivo é cortar as emissões de CO_2 em 20% abaixo dos níveis de 1990 para a próxima década.

O EU ETS é um regime obrigatório, que exige relatórios anuais das emissões de GEE e outros dados para verificar o cumprimento regulamentar. A primeira fase do EU ETS iniciou-se em 2005 e foi finalizada em 2007. A segunda fase abrange o período 2008-2012 e a terceira começará em 2013. O sistema é baseado no conceito de *cap-and-trade,* que corresponde à determinação da quantidade de CO_2 que um setor ou um país pode emitir. Ele permite que as companhias que reduziram suas emissões acima da meta comercializem seus créditos de carbono. Em outras palavras, de acordo com a eficácia das medidas para se manter dentro da cota estabelecida, as indústrias e usinas podem vender ou comprar "permissões" de emissão de GEE, comprando se a cota for ultrapassada e vendendo se o nível de emissões estiver abaixo da cota. Assim, as siderúrgicas europeias são incentivadas a buscar melhores tecnologias para deixar sua produção mais limpa, sob pena de ter de recorrer ao mercado de carbono para compensar suas emissões.

Em julho de 2011, a Eurofer (que representa as companhias siderúrgicas europeias) iniciou uma ação legal na Corte de Justiça Europeia contra a forma como o setor foi incluído na terceira fase do EU ETS. A Eurofer alega que as regras não estabelecem uma referência justa, pois se baseiam em uma *best practice*, definida com base nas emissões das plantas que se situam no decil superior quanto à eficiência nas emissões de carbono.

Até o presente momento, algumas indústrias, incluindo a siderúrgica, têm recebido permissões grátis para evitar que seus custos aumentem mais do que os das rivais estrangeiras. Muitas vezes, isso é traduzido em lucros extraordinários pela venda de cotas não utilizadas. A partir de 2013, a União Europeia deseja tornar o EU ETS mais rigoroso para eliminar tais lucros inesperados, e apenas as usinas que se situam entre as 10% mais eficientes, que corresponde à referência de eficiência, receberão todas as suas permissões gratuitamente.

A Eurofer ressalta que as siderúrgicas reciclam gases residuais como uma fonte adicional de energia e criticou a decisão de não serem dados créditos por isso no processo de referência de eficiência. Isso seria uma violação das diretrizes do EU ETS, já que os melhores desempenhos ficarão sem permissões grátis. Isto

acarretaria um custo para a siderurgia europeia de US$ 7,1 bilhões ao longo do período 2013-2020.

Em junho de 2012, o Tribunal Europeu de Justiça (TEJ) rejeitou o pedido da Eurofer. Esse Tribunal decidiu que a atribuição de licenças tem de ser julgada por um tribunal nacional após a alocação dos certificados ter sido realizada em cada país. Somente depois de um julgamento por um tribunal nacional é o que caso poderia ser encaminhado para o TEJ.

Em julho de 2012, a Comissão Europeia aprovou uma medida segundo a qual os países-membros podem subsidiar os consumidores de energia, que deverão ter seus custos elevados a partir de 2013, quando entra em vigor a terceira etapa do EU ETS. O regulamento permite subsídios de até 85% do custo adicional incorrido pelas empresas mais eficientes em cada setor no período 2013-2015. Este valor vai regredindo gradualmente até atingir 75% em 2019-2020. Novamente, a Eurofer afirmou que a medida é insuficiente para compensar as siderúrgicas, tornando-se uma desvantagem competitiva frente ao aço importado. À primeira vista, os produtores mais afetados serão as usinas semi-integradas e atividades de laminação, que seriam subsidiadas no máximo a 50%-60% do custo indireto da cobrança pela emissão de CO_2. Além disso, em função da precariedade fiscal dos países europeus, é muito provável que os Estados não tenham condições efetivas de oferecer tais subsídios.

Cabe ressaltar que para o EU ETS funcione na prática é preciso que o preço dos créditos seja significativo. Se forem muito baratos, nenhuma indústria vai se sentir pressionada a tornar sua produção mais limpa. Por isso, foi preocupante a queda do preço do carbono que ocorreu em abril de 2012. A desvalorização veio depois do anúncio da Comissão Europeia de que as emissões do bloco caíram 2,6% em 2011, resultado da recessão que diminuiu a produção industrial. A queda das emissões significa que a demanda por créditos também tende a diminuir.

BARCLAYS (2012) aponta que o preço da tonelada de CO_2 das EU Allowances (EUA), no âmbito do EU ETS, regrediu de € 22,60 em 2008 para € 7,50 por tonelada de CO_2 no primeiro semestre de 2012. O referido banco estima um preço de € 6,50 no segundo semestre de 2012 e um preço médio de € 8,20 ao longo do período 2013-2020. Supondo uma eliminação de 700 milhões de toneladas de

permissão por parte da União Europeia, este preço atingiria € 12,00 por tonelada de CO_2.

No que tange à siderurgia, BARCLAYS (2012, pp. 12-13) comenta que:

> *Over the last four years, we have seen a 5% trend reduction in the emissions intensity of EU steel production. In terms of emissions reductions, the steel sector has:*
>
> - *undertaken investment in energy efficiency, with replacing old boilers being an obvious source of efficiency gains along with rationalisation of production to more efficient facilities. On this alone, ArcelorMittal report that it is targeting a reduction in CO_2 emissions of 8% by 2020 from its 2007 levels. Tata is also reporting that it is making capital investments in Europe to modernise old and efficient plant that it wants to strategically retain; (…)*
> - *undertaken R&D into lower emissions methods of steel production including, for instance, the EU ultra-low CO_2 steel making initiative (ULCOS) is developing a demonstration plant that involves the recycling of blast furnace gases and carbon capture and storage at a steel works. ULCOS is a consortium of 48 European companies from 15 member states that has the stated aim of reducing the CO_2 emissions of the best available technology by 50% – although there is no deadline for when that target should be met. (…)*
>
> *We forecast emissions in the sector will reduce by 10% between 2011 to 2020, reflecting both the loss of productive capacity, a switch to being a net importer of steel products and increasing efficiencies at remaining facilities.*

Assim, parte de diminuição da emissão de CO_2 pela siderurgia europeia no médio prazo será decorrência da diminuição da atividade econômica, até porque em termos de eficiência energética e ambiental, estas empresas já se encontram próximo das melhores práticas atualmente disponíveis.

A Austrália também adotou uma política restritiva à emissão de CO_2 com impactos potenciais sobre a siderurgia. O Clean Energy Bill entrou em vigor em julho de 2012. Nos três primeiros anos, estabeleceu-se a cobrança de US$ 24 por tonelada de carbono emitido. A partir de julho de 2015, o preço será determinado pelo mercado. Esta lei afeta os 500 maiores poluidores do país.

Para mitigar os impactos da nova lei, o governo australiano propôs o Steel Transformation Plan (STP), com vigência a partir de maio de 2012, com recursos de US$ 310 milhões ao longo de quatro anos. Estima-se que a BlueScope (ex-BHP Steel), maior siderúrgica australiana e especializada em laminados planos, receberá US$ 106 milhões. Por sua vez, a OneSteel, especializada em laminados longos e

tubos e recentemente rebatizada de Arrium, obterá US$ 68 milhões. Desta forma, as siderúrgicas obterão uma proteção temporária de 94,5% dos custos associados ao novo tributo. Produtores de alumínio e zinco também foram alvo de medida compensatória semelhante.

Deve-se enfatizar que a indústria siderúrgica australiana vive uma crise sem precedentes. A queda da produção de aço na Austrália decorre de alguns motivos bastante conhecidos das siderúrgicas brasileiras: moeda apreciada, custos elevados e competição intensa com importados (DE PAULA, 2012).

Em suma, a experiência australiana mostra a imposição de cobrança pela emissão de CO_2 para os maiores poluidores, mas ao mesmo tempo um plano de incentivo financeiro que praticamente compensa todos os custos adicionais nos três primeiros anos de vigência da lei. Assim, a questão principal da cobrança da emissão para as siderúrgicas terá efeito prático a partir de 2015.

Na África do Sul, em fevereiro de 2012, o governo propôs a cobrança de uma taxa de US$ 16 por tonelada de emissão de CO_2. A intenção é iniciar a cobrança a partir de março de 2013, sendo que o valor cobrado seria aumentado em 10% ao ano. Por outro lado, prevê-se uma redução de 60%-80% para as empresas que operam em setores muito afetados pela medida. No caso da siderurgia, o desconto seria de 80%. Assim, a lógica da cobrança e da mitigação do impacto para a siderurgia na África do Sul é a mesma da verificada na Austrália.

Ainda sobre a experiência sul-africana, COMER & KALKAPERSAD (2012) apontam que a experiência mostra que os anúncios de aumento de tributos geralmente não se concretizam, seja total, seja parcialmente. A ArcelorMittal South Africa, maior siderúrgica do país, manifestou forte reação à intenção governamental, alegando que com sua rentabilidade atual é incapaz de absorver uma despesa adicional significativa. Ademais, por ser uma empresa vital ao país (produz cerca de 70% do aço nacional) e empregar 9.100 pessoas, possui grande poder de barganha com o governo. Os mesmos autores indicam que existem muitas possibilidades, sendo difícil prever qual será o impacto efetivo sobre o setor.

Nos Estados Unidos, de acordo com GUTIERREZ (2010), qualquer tentativa para restringir as emissões industriais de carbono tem enfrentado grande resistência, o que não impediu o estabelecimento de medidas por governos locais. O

esquema de *cap-and-trade* ficou restrito a essa esfera, incidindo sobre energia e petroquímica, mas não sobre a siderurgia. Além disso, a tentativa da Environmental Protection Agency (EPA) de regulamentar a emissão de CO_2 por parte de grandes poluidores, inclusive siderúrgicas, tem sido alvo de forte oposição. Inclusive, o AISI se juntou à Ohio Coal Association, em uma ação judicial contra a EPA nesta matéria, sob a alegação de que a agência não tem autoridade para controlar tais fontes de emissões.

GUTIERREZ (2010) também informa que nos Estados Unidos e no Japão já existem sistemas locais de *cap-and-trade.* No primeiro país, uma proposição para eliminar tal sistema na Califórnia foi derrotada, ao passo que o Novo México o adotará em 2015. De todo modo, esses dois estados não são relevantes em termos de produção siderúrgica. No Japão, o governo se comprometeu a enviar ao Congresso um projeto de lei contemplando *cap-and-trade*.

DE PAULA (2011) observa que o Partido Liberal Democrático (PLD) perdeu as eleições gerais realizadas no Japão em agosto de 2009. As referidas eleições foram vencidas pelo Partido Democrata do Japão (PDJ), que foi fundado há pouco mais de uma década por um grupo de defensores de reformas de mercado, sindicalistas e ativistas dos direitos do consumidor. Dentre as propostas apresentadas, destacam-se cortes mais audaciosos nas emissões de GEE.

O PDJ propõe que as emissões japonesas de GEE sejam reduzidas em 25% em comparação com os níveis verificados em 1990, o que equivale a uma retração de 30% frente ao patamar atual. No longo prazo, a meta, a ser atingida talvez em 2050, é alcançar uma diminuição de 60% comparativamente aos valores de 1990. Isto requer que a geração de energia solar seja aumentada em 120 vezes a partir de agora e que vários setores industriais adotem novas tecnologias com elevada eficiência energética.

No Japão, excluindo as usinas termelétricas, a siderurgia é a indústria que mais emite GEE. No âmbito de dez setores designados, a participação da siderurgia é 33,3%. Da lista das dez empresas que mais emitem GEE nos setores designados, constam: Nippon Steel (1º. lugar), JFE Steel (2º. lugar), Sumitomo Metals (3º. lugar), Kobe Steel (4º. lugar) e Nisshin Steel (10º. lugar).

Em meio ao debate sobre a imposição do *cap-and-trade,* as siderúrgicas japonesas decidiram adotar uma meta voluntária de redução de consumo energético (retração de 10%) e na emissão específica de CO_2 (queda de 9%), nos anos fiscais de 2009-2012 comparativamente ao nível de 1990. Com os programas de diminuição voluntária, as siderúrgicas esperam dissuadir o governo de impor objetivos compulsórios, associados à cobrança de multas e penalidades.

Na verdade, a siderurgia japonesa acabou sendo impactada de forma indireta por incremento dos custos da energia. O congresso japonês promulgou uma lei em agosto de 2011, com vigência a partir de julho de 2012, com vista a ampliar a participação das energias renováveis (como eólica e solar) no fornecimento de energia dos atuais 9% para 20% no início da década de 2020. Como as energias renováveis são mais caras, a conta será repassada para os consumidores. Todavia, para os usuários muito dependentes em energia, cuja intensidade seja oito vezes superior à média do país, esta sobrecarga será reduzida em pelo menos 80%. A JISF argumenta que nas usinas semi-integradas a intensidade é dez vezes superior à média.

Em linhas gerais, é interessante constatar que na União Europeia e Japão, as siderúrgicas à base de aciaria elétrica estão sendo impactadas indiretamente pelo incremento dos custos da eletricidade (ou seja, em função das emissões indiretas de CO_2), quando a hipótese inicial seria de que as usinas integradas a coque seriam as mais afetadas no paradigma da economia de baixo carbono. Ademais, na União Europeia, Austrália e Japão, verifica-se que os governos adotam uma política "morde-e-assopra". Ao mesmo tempo em que estabelecem mecanismos restritivos, criam subsídios e programas de incentivos compensatórios – a princípio, de caráter provisório – para as siderúrgicas. Com isto, cumprem seus programas de governo e simultaneamente tentam mitigar os impactos sobre o setor, que se encontra em uma situação insatisfatória. Não menos importante, os governos da Europa, Estados Unidos e Japão financiam inovações radicais (conforme discutido na subseção anterior) visando ao melhor desempenho energético e ambiental.

No que diz respeito às negociações e acordos restritivos internacionais que afetem as siderúrgicas, a maioria das empresas brasileiras entrevistadas afirmou desconhecer qualquer mecanismo desta natureza. Além disso, elas acreditam que o emprego de tais instrumentos somente surtirá efeito prático a partir de 2020. Esta

questão também fazia parte do questionário respondido por afiliados da divisão de meio ambiente da ABM. Dos 19 respondentes: a) 53% afirmaram que não foi implantada no exterior nenhuma restrição de comércio internacional associada ao efeito estufa; b) 5% sinalizaram que alguma imposição já se encontra em vigor; c) 42% não responderam (Tabela 3.3).

Tabela 3.3: Percepção quanto à adoção de medidas restritivas relacionadas ao efeito estufa e o grau de importância caso tais restrições venham ser implementadas (%)

Mudanças Institucionais e regulatórias	Já implementada no Brasil?		Já implementada no exterior?		Grau de importância			
	Sim	Não	Sim	Não	Nenhuma	Baixa	Média	Alta
Pagamento por restrições ambientais de caráter local	5	63	5	42	0	0	37	58
Pagamento por permissões de emissões de CO_2	11	74	5	26	0	0	32	63
Pagamento por permissões de emissões de outros GEEs	11	79	5	42	0	16	21	58
Restrições ao comércio exterior	5	79	5	53	0	11	37	47
Regulamentação restritiva sobre os processos produtivos	0	47	0	21	0	0	37	63
Regulamentação restritiva sobre os produtos	0	63	0	42	0	16	32	53
Mudanças no comportamento do consumidor	84	16	89	5	0	26	26	47

Fonte: elaboração própria

Obs: A soma não atinge 100% por conta dos respondentes que preferiram não opinar sobre cada item

Ainda em relação à Tabela 3.3, no que tange à indagação acerca da existência de alguma restrição de comércio internacional associada ao efeito estufa no Brasil, os respectivos números foram: a) 79% apontaram a inexistência; b) 5% mencionaram a existência; c) 16% não responderam. No que concerne ao grau de importância de tais restrições, caso venham a ser adotadas, os respondentes

assimilaram como de alta relevância (47%), média relevância (37%), baixa relevância (11%) e sem resposta (5%).

Cabe lembrar, no entanto, que os membros do Partido Verde no Parlamento Europeu vêm tentando impor restrições, por meio de imposto de importação, aos semiacabados e laminados de países (como Ucrânia, Rússia, China e Brasil) que não possuem normas de emissões de CO_2 tão rígidas quanto as da União Europeia. A intenção é colocar isto em prática durante a terceira fase do EU ETS, que entrará em vigor em 2013.

De acordo com a percepção das siderúrgicas brasileiras entrevistadas, os impactos do efeito estufa e das mudanças do clima não foram ainda percebidos na prática, tanto no âmbito mundial, quanto nacional. Embora sejam questões consideradas potencialmente muito relevantes, ainda estão no âmbito da retórica, no que tange à imposição de restrições à produção e ao comércio exterior. Em geral, esperam que tais medidas tenham implicações mais concretas a partir de 2020 (ou mesmo 2030, na visão dos mais céticos). Todavia, elas advogam que o país venha a taxar produtos importados que tenham sido produzidos com emissão de carbono superior à dos fabricados no Brasil, ou seja, que sejam estabelecidas barreiras aos produtos com alta taxa de CO_2, tão logo isto se torne uma prática frequente no contexto mundial.

Ainda em relação à Tabela 3.3, a grande maioria dos fatores investigados – a) pagamento por restrições ambientais de caráter local; b) pagamento por permissões de emissões de CO_2; c) pagamento por permissões de emissões de outros GEE; d) regulamentação restritiva sobre os processos produtivos; e) regulamentação restritiva sobre os produtos – segue o mesmo padrão do indicado para restrições ao comércio internacional. A única importante exceção diz respeito às mudanças no comportamento do consumidor, que já teriam ocorrido, tanto no exterior (89% dos respondentes dos questionários), quanto no Brasil (84%).

Na experiência brasileira, deve-se mencionar o “Plano Indústria”, coordenado pelo Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). Em 2012, estão sendo trabalhadas as indústrias de alumínio, cimento, papel e celulose e química. Em 2013, serão contempladas as indústrias de ferro-gusa e aço, cal e vidro. Em conjunto, eles foram responsáveis, em 2005, por quase 90% das

emissões diretas de GEE da indústria de transformação e por mais da metade das emissões derivadas da queima de combustíveis fósseis na indústria. Posteriormente, se procederá à incorporação progressiva de todos os demais setores da indústria de transformação até 2020.

O Plano Indústria adota como referência a meta de redução de emissões de processos industriais e uso de energia de 5% em relação ao cenário tendencial (*business as usual*) projetado para 2020. Assim, trata-se de um programa baseado na emissão específica de CO_2 e não da emissão absoluta de CO_2, que tenderia a ser mais restritivo para a expansão da produção industrial brasileira. Segundo COMIN (2012), o plano de ação contempla as seguintes medidas:

1. Fomentar a gestão de carbono na indústria:
    a. Garantir a realização de inventários de emissões pelas grandes empresas e apoiar levantamentos simplificados e padronizados para pequenas e médias empresas (MPEs);
    b. Desenvolver política metrológica de mensuração de emissões de processos industriais;
    c. Criar banco de dados de fatores de emissão;
    d. Capacitar técnicos para a coleta de dados de emissão das plantas.
2. Promover o aumento da reciclagem e o aproveitamento de coprodutos:
    a. Avaliar as barreiras regulatórias e propor alterações no marco regulatório;
    b. Estabelecer tratamento tributário diferenciado.
3. Promover a eficiência energética e a cogeração na indústria:
    a. Criar selo de eficiência energética para bens de capital;
    b. Implantar as ações do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) relativas ao setor industrial;
    c. Promover P&D em eficiência energética dos processos industriais.
4. Facilitar o desenvolvimento e a disseminação de tecnologias de baixo carbono:
    a. Criar banco de dados de tecnologias de baixo carbono;
    b. Criar sistema expresso (*fast-track*) para concessão de patentes de tecnologias de baixo carbono;
    c. Facilitar a transferência de tecnologias de baixo carbono.

5. Manter a eficiência em carbono:
    a. Estabelecer requisitos de eficiência energética e de emissões na concessão de financiamento para novos investimentos.
    b. Estabelecer taxas de juros diferenciadas com base na eficiência em emissões.

Estas medidas, se levadas a cabo, já correspondem a um bom cardápio de ações concretas para adequar a indústria, em geral, e a siderurgia, em particular, ao paradigma da economia de baixo carbono. A próxima seção retoma a questão tecnológica.

3.3. Mudanças do clima e inovações

3.3.1. Novos processos de redução: características e difusão

Do ponto de vista ambiental e energético, as inovações radicais mais relevantes em difusão atualmente são os chamados novos processos de redução, ou seja, relativos à fabricação de ferro primário. Considerando a proeminência da etapa de redução em termos de emissão de CO_2 no processo siderúrgico, esta seção focaliza tais inovações.

Uma primeira qualificação importante é que, na verdade, algumas dessas novas tecnologias já estão em operação há mais de uma década. De um modo geral, a taxa de difusão tem sido lenta, o que revela as dificuldades em substituir um equipamento que vem sendo otimitizado a longo tempo (alto-forno) e mesmo tecnologias alternativas já consolidadas (módulo de redução direta).

Os novos processos alternativos ao alto-forno, muitas vezes, são agrupados sob o rótulo genérico de “fusão-redutora”. Apesar das diferenças entre elas, de um modo geral, as principais vantagens dessas novas tecnologias são: a) o aumento de flexibilidade operacional em comparação com o alto-forno, que funciona intermitentemente por período superiores a 15 anos e raramente opera com menos de 80% de sua capacidade nominal; b) a redução da escala mínima ótima de uma usina siderúrgica e a consequente diminuição das barreiras à entrada; c) o decréscimo do custo de capital, em grande medida, relacionado à eliminação de coquerias e sinterização; d) a diminuição dos custos energéticos e do impacto ambiental.

No entanto, existem muitas diferenças entre os vários processos, no que tange ao tipo de equipamento, ao estágio de desenvolvimento comercial, ao tipo de minério de ferro utilizado, ao tipo de redutor primário, ao tamanho das plantas e ao desempenho energético e ambiental. O Quadro 3.3 apresenta informações sobre alguns dos principais processos alternativos de produção de ferro primário. Deve-se atentar ao fato de algumas plantas ainda não operam em escala comercial, o que afeta o referido desempenho de tais processos.

Quadro 3.3: Processos alternativos ao alto-forno

	Corex	OxyCup	Tecnored	Finex	Hlsmelt	ITmk3
Proprietário da tecnologia	Siemens VAI (Áustria)	Küttner (Alemanha)	Tecnored (Brasil)	Posco (Coreia do Sul) / Siemens VAI (Áustria)	Rio Tinto (Austrália)	Midrex (EUA /Japão)
Tipo de equipamento	Forno de cuba em 2 estágios: redução na parte superior e fusão no reator inferior	Forno de cuba tipo cubilô	Forno de cuba	Leito fluidizado no reator superior de redução e fusão no reator inferior	Forno contendo banho com injeção de finos de minério e carvões (fusão redutora)	Fornos de soleira rotativa (RHF)
Produto gerado	Ferro-gusa	Ferro-gusa	Ferro-gusa	Ferro-gusa	Ferro-gusa	*Iron nuggets*
Estágio de desenvol-vimento comercial	Tecnologia provada	Tecnologia provada	Tecnologia semi-comercial	Tecnologia provada	Tecnologia semi-comercial	Tecnologia semi-comercial
Número de unidades já instaladas	7	5	1	2	1	1
Start-up da primeira planta industrial	1989	1999	2011	2003	2005	2010
Tipo de minério de ferro	Pelota e granulado	Sucata + C-Bricks (mistura de resíduos siderúrgicos e carbono)	*Pellet feed* aglomerado na forma de briquete auto-redutor	*Pellet feed*	Finos	Finos aglomerados na forma de pelotas auto-redutoras
Tipo de redutor	Carvão não-coqueificável	Coque fundição	Carvão não-coqueificável	Carvão não-coqueificável	Carvão não-coqueificável	Finos de carvão
Tamanho nominal das plantas (mil ton/ano)	600-1.500	75-400	75	600-2.000	800	500
Geração de energia elétrica para venda	Muita	Não	Não	Muita	Não	Não
Consumo energético (% alto-forno)	115*	140**	120	130	115	100
Emissão CO2 (% alto-forno)	85*	120	90	120	115	85

Fonte: elaboração própria a partir de extensa literatura e entrevistas

Obs: * considerando cogeração de energia elétrica

** assumindo 85% de C-Bricks na carga

De acordo com PASSOS (2009), o processo Corex foi desenvolvido no final dos anos 1970 pela Voest-Alpine Industrieanlagenbau (VAI), empresa austríaca, hoje uma subsidiária da alemã Siemens. A primeira planta entrou em operação na ArcelorMittal Saldanha Steel, na África do Sul, em 1989. Hoje, a capacidade desta planta é de 600 mil toneladas. Esta é a única instalação do mundo que combina Corex e um módulo de redução direta Midrex, com impactos positivos sobre o controle de emissões. A JSW Steel tem duas unidades, com capacidade de 800 mil toneladas cada, na Índia. A Baosteel possui duas plantas, com capacidade de 1,5 milhão de toneladas cada, na China. A Essar Steel colocou em operação duas plantas no quarto trimestre de 2011, com capacidade conjunta de 1,7 milhão de toneladas. Trata-se de uma relocalização de unidades que haviam sido originalmente instaladas na Hanbo Steel, que posteriormente entrou em regime de falência. A capacidade instalada total das sete unidades atinge então 6,9 milhões de toneladas.

O processo Corex utiliza minério de ferro granulado e pelota, tendo como redutor carvão mineral não-coqueificável. Os requerimentos de oxigênio são muito elevados, mas em compensação há grande geração de gás, que pode ser aproveitado em outros processos (AGRAWAL & MATHUR, 2011). Nesse sentido, esta tecnologia tende a ser associada a outros processos, proporcionando sinergia. Os coprodutos da gaseificação do carbono como alcatrão, fenóis, etc. não são emitidos na atmosfera pois são craqueados em CO e H_2 no reator inferior. Assim não há geração de coprodutos altamente poluentes (PASSOS, 2009).

Apesar de ocorrer uma redução no estado sólido formando DRI em uma etapa intermediária no processo Corex, o produto final do processo é um ferro-gusa líquido que é vazado convencionalmente em carros torpedos, como nos altos-fornos. As principais características desse ferro-gusa são alta temperatura (1480 – 1510° C) e baixos teores de enxofre, nitrogênio e de impurezas. Todavia, o processo Corex apresenta um consumo específico de carvão superior ao alto-forno (1000 kg/t de ferro-gusa no Corex e 700 kg/t no alto-forno), conforme PASSOS (2009). Isto explica o motivo pelo qual a intensidade de energia no Corex é 15% superior à do alto-forno, já considerando a cogeração de energia elétrica (ver Tabela 3.1). Por outro lado, estima-se que o processo Corex emita 15% a menos de CO_2/tonelada de ferro

primário produzida. De acordo com RAO (2007), as emissões de material particulado, SO_2 e NO_x são equivalentes respectivamente a 10%, 4% e 10% da rota alto-forno.

O processo OxyCup (também denominado de OxiCup) começou a ser desenvolvido em 1999 pela TK Steel. Atualmente, ele é comercializado pela também alemã Küttner. Segundo PASSOS (2009), o reator OxyCup é um forno de cuba que processa materiais como poeira, sucata e escória, produzindo um metal líquido de alta qualidade que é usado diretamente no processo siderúrgico. A reciclagem do processo tem taxa próxima de 99%. As principais vantagens desta tecnologia são: a) o processo não demanda grandes alterações, em usinas já existentes, para a sua implantação; b) baixos custos de investimento; c) processo similar aos altos-fornos; d) uso de resíduos siderúrgicos como matéria-prima; e) flexibilidade de produção.

O processo OxyCup contempla a produção de metal líquido, a partir da redução de resíduos siderúrgicos e ou finos de minério de ferro. Estes materiais são misturados com um agente carbonoso e cimento, sendo em seguida aglomerados na forma de tijolos hexagonais conhecidos como C-Bricks. A planta-piloto começou a operar em 1999 e a primeira unidade industrial (com capacidade de 150 mil toneladas) em 2004 na usina de Duisburg da TK Steel. Outras plantas foram instaladas na JFE Steel e Nippon Steel (Japão), Sicartsa (atualmente ArcelorMittal Lazaro Cárdenas, no México) e Taiyuan Iron & Steel Company (TISCO, China). Esta última possui capacidade de 400 mil toneladas. Alguns dos entrevistados mencionaram que nem considerariam o OxyCup como uma tecnologia emergente de redução, pois sua principal finalidade é atuar como grande reciclador de resíduos.

O processo Tecnored é uma tecnologia desenvolvida pela empresa brasileira Tecnologos, numa parceria com a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC/RJ) e a Universidade de São Paulo (USP). A primeira fase de desenvolvimento precedeu inclusive a constituição da empresa Tecnored, em 1998. Inicialmente o objetivo era utilizar pelotas autorredutoras nos fornos cubilô da Fundição Tupy e os finos de minérios de ferro da Vale e da Minerações Brasileiras Reunidas (MBR) para a produção dessas pelotas autorredutoras.

A construção da primeira unidade semi-industrial do processo Tecnored foi iniciada em 2006, na usina de Pindamonhagaba, da Aços Villares. A capacidade

inicial da planta é de 75 mil toneladas, com possibilidade de duplicação. Em dezembro de 2009, a Vale adquiriu 37,4% do capital da Tecnored, por R$ 80 milhões. Com isso, a participação do BNDES e da Logos Tecnocom (que representa os pesquisadores que desenvolveram o processo) foram diluídas para 31,8% e 30,8%, respectivamente. Em maio de 2011, a Vale aumentou sua participação para 43,0%, ao passo que a fatia do BNDES foi mantida, e a da Logos Tecnocom diminuiu para 25,2%. A Vale investiu cerca de R$ 130 milhões no projeto, que já recebeu aportes de R$ 250 milhões até agora.

A planta-piloto de Tecnored iniciou sua fata de operação pré-comercial em setembro de 2011. Se for bem-sucedida, a Vale poderá instalar em Carajás, entre 2013 e 2014, uma unidade com essa tecnologia capaz de produzir 300 mil toneladas anuais de ferro-gusa. A tecnologia dispensa o uso dos processos tradicionais de coqueria e sinterização. Segundo a Vale, esse processo pode reduzir em 20% ou 30% o capital necessário na fase de redução das matérias-primas siderúrgicas. Ademais, a nova técnica também ajudaria a reduzir o impacto ambiental, por permitir a produção de ferro-gusa a partir de uma variedade maior de insumos, o que inclui ultrafinos de minério de ferro, hoje estocados em barragens de rejeitos. Segundo a Vale, uma planta industrial com o processo da Tecnored pode emitir 85% particulados a menos do que uma siderúrgica tradicional e a redução de NOx pode chegar a 95%. Não foi possível obter informações mais atualizadas do andamento do processo Tecnored, em função de cláusula de sigilo relativa à propriedade intelectual. As siderúrgicas brasileiras entrevistadas não apresentaram um consenso (nem positivo, nem negativo) quanto à viabilidade técnica do Tecnored.

O processo Finex foi desenvolvido pela siderúrgica sul-coreana Posco e pela Siemens VAI. As matérias-primas empregadas são finos de minério e de carvão não-coqueificável, num reator de leito fluidizado. O ferro-gusa produzido apresenta características e qualidade muito próximas do obtido no alto-forno ou pelo processo Corex. O excesso de gás gerado no processo pode ser comercializado como coproduto, podendo ser utilizado em aquecimento e geração de energia (PASSOS, 2009).

Um dos grandes atrativos do processo Finex é a redução dos impactos ambientais por meio da diminuição de emissões de SO_x (3% do valor gerado pelo alto-forno), NO_x (1%) e material particulado (28%). Vale lembrar que tal processo

prescinde de sinterização e coqueria, que são duas das maiores fontes de poluição de uma usina integrada. A planta-piloto iniciou suas atividades em 1996, ao passo que a planta-demonstração de 600 mil toneladas teve seu *start-up* em 2003. A primeira unidade comercial, com capacidade de 1,5 milhão de toneladas, começou a operar em 2007 (YI *et alii*, 2011).

YI *et alii* (2011, p. 33) alegam que o processo Finex possibilitaria uma diminuição de emissão específica de CO_2 de 6% comparativamente aos em altos-fornos. Ademais, este valor poderá chegar a 56% quando vier a ser combinado com a tecnologia CCS, como se depreende do seguinte trecho:

> *Due to the lower coal consumption rate Finex CO_2 emissions currently are 96% of those of the world's averaged for blast furnace emissions, and this is expected to drop to 94% by process optimization soon. (…) Also because Finex uses pure oxygen for coal gasification and employs an in-situ CO_2 removal system, CO_2 is more concentrated in the off-gas and can be more easily separated for the storage. Thus it is highly feasible to achieve CO_2 sequestration, and then CO_2 emission could be reduced to 56% of the averaged blast furnace emissions.*

A Posco está construindo agora uma planta Finex com capacidade de 2 milhões de toneladas, prevista para entrar em operação em 2013. A empresa alega que o custo de investimento do Finex é 15% inferior ao do alto-forno. Além disso, os custos operacionais do Finex também são 5% menores, devendo chegar a 15% quando o processo for otimizado e mesmo 20% com a planta de 2 milhões de toneladas (YI *et alii*, 2011).

O processo HIsmelt foi desenvolvido por um consórcio capitaneado pela mineradora anglo-australiana Rio Tinto. A exemplo do Finex, a tecnologia foi desenvolvida para processar finos de minério de ferro e carvão não-coqueificável. Em 2003, foi construída a primeira planta piloto HIsmelt em Kwinana (Austrália). A composição acionária da *joint-venture* é: Rio Tinto (60%), a siderúrgica norte-americana Nucor Corporation (25%), a *trading company* japonesa Mitsubishi Corporation (10%) e a siderúrgica chinesa Shougang (5%).

A planta HIsmelt, com capacidade de 800 mil toneladas, entrou em operação em 2005. Contudo, em 2008, ela paralisou suas atividades em função das condições desfavoráveis de mercado. Seu melhor desempenho produtivo foi registrado em 2007, quando produziu 115 mil toneladas. Em 2010, os acionistas decidiram fechar

permanentemente a planta. Em 2011, a unidade foi vendida para a siderúrgica indiana Jindal Steel & Power Ltd (JSPL). Esta será desmontada e reinstalada na Índia ou na China. A Rio Tinto e a JSPL continuarão a desenvolver a tecnologia, inclusive com vistas à comercialização.

O processo ITmk3 é propriedade da Midrex, empresa líder na construção de módulos de redução direta no mundo, que pertence à siderúrgica japonesa Kobe Steel. Trata-se de uma tecnologia baseada em forno de soleira rotativa, usualmente denominados de *Rotary Hearth Furnace* (RHF). Uma peculiaridade do processo é que o produto é denominado *iron nugget,* uma espécie de moeda de ferro completamente separada da escória.

O processo ITmk3 começou a ser desenvolvido em 1996, com a primeira planta-piloto construída em Kakogawa, Japão, em 1998. As principais vantagens do processo são: a) emprego direto de finos de minério de ferro como matéria-prima; b) ampla flexibilidade no uso de agentes redutores; c) completa separação entre o metal e a escória (NOLDIN JÚNIOR, 2002). A siderúrgica norte-americana Steel Dynamics Inc. (SDI) colocou em operação uma planta ITmk3 em 2010, com capacidade instalada de 500 mil toneladas, após três anos de construção. O projeto denominado Mesabi Nugget é uma joint-venture entre a SDI (81%) e a Kobe Steel (19%). O equipamento já está em operação há 2,5 anos e ainda mostra vários problemas operacionais, tanto que sua ociosidade foi de 73% no segundo trimestre de 2012.

Em julho de 2012, foi assinado um memorando de entendimento entre a companhia estatal indiana Steel Authority of India Ltd. (SAIL) e a Kobe Steel, para constituir uma *joint-venture* 50:50. O objetivo da parceria é construir uma planta ITmk3 de 500 mil toneladas na usina da SAIL localizada em Durgapur. Portanto, observa-se uma tendência de adoção destas tecnologias alternativas ao alto-forno na Índia. Nesse sentido, deve-se enfatizar que a participação desse país na produção global de DRI/HBI aumentou de 12,4% em 2000 para 30,0% em 2011. Aliás, a Índia se tornou o maior produtor mundial de DRI/HBI.

Após o detalhamento das principais inovações radicais para a produção de ferro primário, faz-se necessário destacar que conforme se observa nas últimas duas linhas do Quadro 3.3, em geral elas apresentam maior intensidade energética do

que o alto-forno. Além disso, na melhor das hipóteses, elas possuem uma emissão específica de CO2 15% inferior ao alto-forno. Conclui-se, então, que a retração das referidas emissões não se configura como objetivo primordial de nenhuma delas. De fato, o propósito de tais tecnologias é utilizar insumos metálicos e energéticos mais baratos e diminuir a intensidade em capital dos processos de redução. Na mesma direção, as trajetórias tecnológicas que podem ser previstas para a siderurgia – ao menos naquela etapa que é mais intensiva em carbono – não devem contribuir de forma expressiva para a redução das emissões.

Constata-se que a difusão dos novos processos de produção de ferro primário, como seria de se esperar, vem enfrentando dificuldades tecnológicas e mercadológicas. IEA (2012) estima que a participação conjunta de tais processos na siderurgia mundial venha alcançar de 0,5% a 7,4% dos metálicos em 2050, a depender do cenário energético (ver subseção 3.3.3). Assim, não apenas tais inovações não reduzem substancialmente a emissão específica de CO_2, como sua difusão tende a ser relativamente lenta. Consequentemente, os impactos sobre os fatores críticos de competitividade, tanto para a siderurgia mundial, quanto para a brasileira, tendem a ser diminutos.

Os profissionais que responderam ao questionário são relativamente pessimistas quanto ao estágio de desenvolvimento das tecnologias abordadas nesta subseção. Por exemplo, quanto à experiência do Corex, 47% consideram que esta inovação ainda esteja no estágio conceitual, 11% em estágio de bancada, 11% no estágio de protótipo/piloto e 32% no estágio comercial (Tabela 3.4) Os respectivos valores para o Tecnored são de 32%, 16%, 21% e 32%.

A Tabela 3.4 também apresenta informações sobre temporalidade da difusão e se a tecnologia em consideração é percebida como sendo proprietária. Para o Corex, 16% citaram 2015 como referência para o início da difusão, 42% mencionaram 2020, 16% assinalaram 2030 e 5% indicaram 2050. Os respectivos percentuais para o Tecnored são 37%, 21%, 16% e 5%. Para essas duas tecnologias, 58% dos respondentes dos questionários as compreendem como inovações proprietárias.

Tabela 3.4: Percepção quanto ao estágio atual de desenvolvimento e de horizonte de difusão de inovações radicais (%)

Tecnologia	Estágio atual de desenvolvimento				Horizonte de difusão				Tecnologia proprietária?	
	Conceito	Bancada	Protótipo/ Piloto	Comercial	2015	2020	2030	2050	Sim	Não
Captura e estocagem subterrânea de CO2 (CCS)	63	11	26	0	11	37	21	21	32	53
Corex	47	11	11	32	16	42	16	5	58	21
Fusão-redutora (Finex, HIsmelt, Hisarna)	47	0	26	26	21	37	16	5	47	32
Hidrogênio como redutor	37	26	21	16	21	32	16	16	26	21
Produção de ferro por eletrólise do óxido fundido (MOE)	58	16	16	11	26	11	21	21	37	42
Produção direta de aço (ou ferro de baixo carbono)	47	11	21	21	26	26	16	16	42	42
Resíduos de plásticos como matéria prima de alto-forno	47	21	16	16	26	37	5	11	32	53
Rotary Hearth Furnace/RHF, High-Quality Iron Pebble/Hi-QIP	42	5	26	26	26	21	21	11	47	37
Tecnored	32	16	21	32	37	21	16	5	58	21
Top-gas recycling blast furnace no âmbito do Projeto ULCOS	84	0	0	16	37	16	16	11	42	37

Fonte: elaboração própria

Obs: A soma não atinge 100% por conta dos respondentes que preferiram não opinar sobre cada item

Na próxima subseção, retoma-se a discussão destes processos a partir do prisma dos agentes inovadores críticos.

3.3.2. Novos processos de redução: fracassos, agentes inovadores críticos e apropriabilidade

Na subseção anterior foram discutidos seis novos processos de fabricação de ferro primário. Na verdade, optou-se por escolher aqueles que, no presente momento, tem recebido maior atenção por parte das companhias siderúrgicas. Poderiam também ser lembradas as seguintes tecnologias: Redsmelt (Alemanha), Iron Dynamics (Estados Unidos), Finmet (Venezuela e Áustria), Circored (Finlândia), Iron Carbide (Estados Unidos), Direct Iron-Ore Smelting/DIOS (Japão), AusIron (Austrália), Primus (Luxemburgo), Romelt (Rússia) e Fastmet (Japão). O problema é

que algumas dessas tecnologias fracassaram, como ilustram os dois casos discutidos no Box 3.1.

Box 3.1: Tecnologias Iron Carbide e Circored

A primeira planta industrial da tecnologia Iron Carbide, de propriedade da siderúrgica norte-americana Nucor Corp., começou a operar em Trinidad & Tobago, em outubro de 1994, a um custo de US$ 110 milhões. As principais vantagens do processo Iron Carbide eram: a) a utilização de finos de minério, um insumo mais barato do que as pelotas e os minérios granulados geralmente consumidos nas plantas de redução direta Midrex ou HyL; b) o alto conteúdo de carbono (6-7%), o que acrescentava energia ao reator, diminuindo o consumo de energia elétrica no próprio reator. O redutor primário era o gás natural, o que explicava a escolha da localização da primeira planta em Trinidad & Tobago, onde a oferta desse insumo é abundante e barata (DE PAULA, 2001b).

A planta Iron Carbide da Nucor Steel enfrentou vários problemas tecnológicos, obrigando a uma série de adaptações nos sistemas de alimentação de gás natural, no leito fluidizado e nos trocadores de calor, até ser definitivamente fechada em janeiro de 1999. Durante os quatro anos de operação, a Nucor Iron Carbide não conseguiu conciliar, simultaneamente, alta produção e alta qualidade. Embora a capacidade nominal da planta fosse de 300 mil toneladas anuais, ela estava operando com uma ociosidade de 50% a 60% no momento de sua paralisação. De fato, os altos custos operacionais e a retração dos preços de sucata e de HBI foram os principais determinantes do seu fechamento. A planta chegou a empregar 55 pessoas, sendo que a mineradora de ferro brasileira Samitri (àquela época controlada pelo Arbed) detinha 20% do projeto. A segunda planta de Iron Carbide, com capacidade de 660 mil toneladas anuais, foi instalada pela siderúrgica norte-americana Qualitech em Corpus Christi, Texas. Entretanto, essa planta, logo após ter sido inaugurada em dezembro de 1998, também foi paralisada, em função da Qualitech ter pedido concordata em março de 1999 (DE PAULA, 2001b).

O processo Circored, desenvolvido pela empresa de engenharia alemã Lurgi (hoje Outokumpu Technology), utilizava gás natural para produzir hidrogênio, o efetivo gás redutor. À semelhança do Iron Carbide, o Circored possuía a vantagem de utilizar finos de minério de ferro em vez de pelotas. A primeira planta Circored entrou em operação em maio de 1999, também em Trinidad & Tobago, com uma capacidade de 450 mil toneladas anuais, o que requereu investimentos de US$ 160 milhões. Os acionistas originais da *joint-venture*, denominada Cleveland & Associates (CAL), foram: a empresa mineradora de ferro norte-americana Cleveland Cliffs (46,5%), a siderúrgica norte-americana LTV (46,5%) e a própria Lurgi (7%), conforme DE PAULA (2001b).

No seu primeiro ano de operação, a CAL realizou um prejuízo de US$ 20 milhões. Devido aos problemas técnicos enfrentados durante o *ramp-up* da planta, ela foi paralisada no início do ano 2000. Por exemplo, o sistema de descarga foi redesenhado para aumentar o fluxo do material e obter uma melhor alimentação de DRI para a máquina de briquetagem. A planta nunca tinha atingido níveis contínuos de produção comercial até ser paralisada novamente em maio de 2000. A LTV, mesmo antes de entrar em concordata em dezembro de 2000, preferiu promover o *write-off* de US$ 84 milhões e vender sua participação por apenas US$ 2 milhões. A participação acionária foi, assim, alterada para: Cleveland Cliffs (82%) e Lurgi (18%), de acordo com DE PAULA (2001b).

Para efetuar modificações na planta e retomar a produção em março de 2001, foram necessárias inversões adicionais de US$ 45 milhões, além do prejuízo de US$ 13,3 milhões realizado no ano 2000. O objetivo da CAL era produzir 380 mil toneladas de HBI, em 2002, e atingir a plena capacidade em 2003, a depender da demanda. Todavia, no início de dezembro de 2001, aparentemente após ter superado os problemas tecnológicos, a Cleveland Cliffs, face à retração do mercado, anunciou a suspensão das operações da CAL, que estava empregando 85 pessoas. Durante o ano de 2001, a CAL produziu e vendeu cerca de 130 mil toneladas de HBI. Nos primeiros nove meses do ano, realizou um prejuízo de US$ 18,2 milhões. Portanto, até aquele momento, já haviam sido investidos cerca de US$ 255 milhões neste projeto.

A planta da CAL foi comprada pela ISG, para abastecer a usina de Georgetown (Estados Unidos) em dezembro de 2004. Em função da aquisição da ISG pela Mittal Steel, atualmente esta planta pertence à ArcelorMittal. Contudo, a produção, que foi retomada temporariamente em 2005, foi paralisada novamente em 2006.

Deve-se destacar que os dois casos relatados no Box 3.1 mostram as dificuldades tecnológicas e os altos riscos envolvidos em inovações radicais, ainda mais quando se procura substituir um equipamento como o alto-forno, que vem recebendo melhorias incrementais por séculos. Também é verdade que outros processos emergentes substitutos do alto-forno resultaram em prejuízos, tais como o Iron Dynamics e o Finmet.

Nesse contexto de elevados riscos, é razoável que alianças estratégicas sejam criadas para desenvolver novos processos. De acordo com LUITEN (2001, p. 188), é comum que estas alianças estratégicas tecnológicas se alterem ao longo do tempo.

> *Smelting reduction technology is not yet a proven technology. Only one of the nine micro-networks succeeded in bringing a specific smelting reduction process to the market, although this specific process lacks general applicability and has a high specific energy consumption. In five of the eight additional micro-networks R&D activities are still going on. However, the composition of the technology network has changed over time.*

Segundo a mesma autora, as usinas integradas, que eram muito ativas nesses esforços, acabaram perdendo o interesse no desenvolvimento das inovações radicais (LUITEN, 2001, p. 188-189 e 210):

> *Our network analysis has illustrated the various roles played by integrated steel manufacturers and mini-mill steel operators. Whereas several integrated steel manufacturers in industrialised countries were active in developing smelting reduction technology most of them lost interest. The innovative technology was 'locked out' by a continuous improvement of the existing ironmaking facilities. In addition the integrated steel manufacturers did not need to expand the existing ironmaking capacity (...) All in all, the case study illustrates that integrated steel firms tend to constrain technological development so that it prefers certain – more incremental – directions. The existing capital stock was continuously improved which caused a decrease in the cost advantage of the innovative energy-efficient technology. This mechanism considerably limited the effect of government intervention and R&D support.*

Por outro lado, este papel mais conservador das usinas integradas poderia ser compensado por mineradoras e siderúrgicas semi-integradas. Além disso, o papel do governo foi fundamental em termos de recursos adicionais (LUITEN, 2001, pp. 197-198):

> *Various national governments and the European Coal and Steel Community played an active role in stimulating the development of smelting reduction technology. We estimate*

> *that 20 to 25% of the total expenditure needed for smelting reduction technology was supplied by various national governments or by the ECSC. The interesting questions are whether government support resulted in additional activities, whether it accelerated technological development and whether it might result in a lower consumption of energy for future production of iron.*
>
> *We conclude that government R&D support enlarged the technology network. In five of the nine micro-networks, government R&D support definitely underpinned the performance of additional R&D activities. Three of these five micro-networks developed a smelting reduction process that is likely to be energy-efficient. We use the term 'likely' because the micro-networks are not yet ready to commercialise the technology. Two of these micro-networks have even shelved their efforts. Therefore, we must conclude that whereas government R&D support was additional, so far it has not accelerated technological development.*

No caso do Tecnored, DE PAULA (2001b) argumenta que se pode segmentar a trajetória empresarial do projeto Tecnored em cinco fases até 2001: a) os convênios firmados entre a Fundição Tupy e a Setepla-Tecnometal, mas também com a participação da Indústria Carboquímica Catarinense (ICC), da Santinvest, da Vale e da Companhia Auxiliar de Empresas de Mineração (Caemi, controladora da MBR), compreendendo o período 1980-1988; b) a constituição da empresa Tecnored, sob o controle da Fundição Tupy (1988-1992); c) o período sob o comando da Caemi (1992-1996); d) a fase de transição marcada pela aproximação com a North Star Steel, subsidiária do conglomerado norte-americano Cargill, mas ainda sob o controle da Caemi (1996-2000); e) a entrada da North Star Steel no controle acionário da Tecnored em meados de 2000 (ver Quadro 3.4).

DE PAULA (2001b) também destaca que a longa e complexa trajetória da tecnologia Tecnored traz à luz várias questões relevantes. A primeira, e mais importante delas, foi a capacidade de construir várias alianças estratégicas, que se constituíram no principal suporte financeiro do seu desenvolvimento. Aliás, a grande peculiaridade da Tecnored é a recorrente troca de parceiros e a diversidade dos formatos das alianças estratégicas firmadas. Afinal de contas, não é qualquer firma de pequeno porte que consegue desenvolver convênios e acordos de cooperação tecnológica, *joint-ventures* e acordos de subcontratação com várias empresas e instituições não apenas brasileiras, mas também internacionais.

Quadro 3.4: Alianças estratégicas, desenvolvimento tecnológico e apoio governamental ao projeto Tecnored, 1980-2012

Etapa	Período	Tipo de Aliança Estratégica	Empresas Envolvidas	Motivações Principais das Empresas Envolvidas	Desenvolvimento Tecnológico	Apoio Governamental
1ª	1980-1988	Convênios de Cooperação Tecnológica	Fundição Tupy, Setepla-Tecnometal, ICC, Santinvest, Vale e Caemi/MBR	Desenvolvimento de carga metálica para o forno cubilô da Fundição Tupy. Utilização dos finos de minério de ferro de Carajás e Conceição (Vale) e Águas Claras (MBR) para a produção de pelotas auto-redutoras	Fase Piloto.	Financiamento Finep para a Fundição Tupy: construção do centro de pesquisa (CPqD) e desenvolvimento do projeto pelotas auto-redutoras. Aporte de capital de risco FIBASE/BNDES: fusão de Setepla com Tecnometal
2ª	1988-1992	*Joint-Venture*	Fundição Tupy (60%), Caemi (20%), Tecno-Logos (20%)	Desenvolvimento de equipamento alternativo ao alto-forno. Aproveitamento do *pellet feed* da MBR	Desenvolvimento do forno Tecnored em três versões: *smelter, DRI finisher* e *melter*.	Financiamento Finep para Cia. Ferro-Ligas (Caemi): desenvolvimento do Tecnored para produção de ferro-cromo.
3ª	1992-1996	*Joint-Venture*	Caemi (63%), Tecno-Logos (37%)			Financiamento Finep para Logos. Programa RHAE/Puc-Rio/EPUSP
4ª	1996-2000	*Joint-Venture*	Caemi (63%), Tecno-Logos (37%)	Fornecimento da primeira planta industrial para a usina de Beaumont, da North Star Steel.	*Scale-up:* desenvolvimento de um módulo de verdadeira grandeza.	Programa RECOPE/PUC-Rio/Tecnored/CST
5ª	2000-2004	*Joint-Venture*	North Star Steel (50%), Tecno-Logos (50%)	Comercialização de ferro primário líquido.	Primeira planta industrial	
6ª	2004-2009	*Joint-Venture*	Tecno-Logos (90%), Aços Villares (10%)	Fornecimento de ferro primário para usina de Pindamonhagaba.	Primeira planta industrial	
7ª	2009-....	*Joint-Venture*	Vale (43%), BNDES (32%), Logos Tecnocom (25%)	Domínio tecnológico de inovação radical, que pode influenciar mistura de minério de ferro.	Primeira planta industrial	

Fonte: De Paula (2001b) e elaboração própria

Depois de 2001, é possível vislumbrar pelo menos duas fases adicionais na trajetória do Tecnored. Em 2004, a Aços Villares decidiu investir na construção da planta com capacidade de 75 mil toneladas na usina de Pindamonhagaba e na aquisição de 10% da Tecno-Logos. Já em 2009, a Vale adquiriu participação relevante no Tecnored. Deste então o controle acionário tem sido exercido por essa mineradora, pelo BNDES e pelos pesquisadores que desenvolveram o processo. É uma estrutura de propriedade satisfatória à luz da experiência internacional e da análise de LUITEN (2001), no sentido de congregar uma mineradora, uma entidade governamental e uma companhia de desenvolvimento tecnológico.

Na visão dos respondentes dos questionários, as inovações radicais em tela geram boas oportunidades para a siderurgia brasileira, conforme se depreende da Tabela 3.5. Das dez tecnologias avaliadas, as respostas mais pessimistas em

termos de criação de boas oportunidades foram a produção de ferro por eletrólise do óxido fundido (MOE) e Rotary Hearth Furnace/RHF, High-Quality Iron Pebble/Hi-QIP, ambas com 47%. De forma não surpreendentemente, a Tecnored encontra-se entre aquelas com maior proporção de geração de boas oportunidades, com 74%.

Tabela 3.5: Percepção quanto às oportunidades e às instituições críticas para o desenvolvimento de inovações radicais (%)

Tecnologia	Boa oportunidade para o Brasil?		Instituições críticas para o desenvolvimento da tecnologia			
	Sim	Não	Empresas	Fornece-dores	Univer-sidades	Centros Pesquisa
Captura e estocagem subterrânea de CO2 (CCS)	68	16	42	11	53	58
Corex	63	16	53	21	21	26
Fusão-redutora (Finex, HIsmelt, Hisarna)	63	16	47	11	37	42
Hidrogênio como redutor	74	16	37	16	47	58
Produção de ferro por eletrólise do óxido fundido (MOE)	47	32	47	0	42	42
Produção direta de aço (ou ferro de baixo carbono)	74	5	58	0	32	53
Resíduos de plásticos como matéria prima de alto-forno	74	5	42	21	47	26
Rotary Hearth Furnace/RHF, High-Quality Iron Pebble/Hi-QIP	47	32	47	11	42	32
Tecnored	74	5	68	5	26	42
Top-gas recycling blast furnace no âmbito do Projeto ULCOS	68	5	58	21	53	37

Fonte: elaboração própria

Obs: A soma não atinge 100% por conta dos respondentes que preferiram não opinar sobre cada item

No que tange às instituições críticas (Tabela 3.5), guardadas as diferenças entre cada tecnologia, destacam-se as empresas (em média, com 50% das respostas), sendo seguidas de perto por universidade/centro de pesquisa (40%-42%), ao passo que fornecedores (12%) têm um baixo volume de indicações.

Em relação à cooperação entre as universidades/centro de pesquisa e o setor siderúrgico, pode-se afirmar que, comparativamente ao contexto brasileiro, ela é intensa. Isto se aplica tanto ao caso geral, quanto no caso particular do desenvolvimento do Tecnored, conforme já explicitado anteriormente. Aliás, ao analisarem a interação entre as universidades e empresas no Brasil, em uma perspectiva histórica, SUZIGAN & ALBUQUERQUE (2008) discutem que, apesar de todas as dificuldades envolvendo esta relação, existem alguns exemplos históricos de articulação entre o setor produtivo e a formação de instituições de ensino e pesquisa, dentre elas, a área de mineração, engenharia de materiais e metalúrgica. Também a este respeito, SANTOS & DINIZ (2010, pp. 4-5) comentam que:

> *A Escola de Minas de Ouro Preto constitui o primeiro capítulo da história do arranjo institucional voltado à pesquisa e ao ensino, associados, em Minas Gerais. (...) Em 1875, Gorceix apresentou um relatório indicando o local a ser instalada e o formato que adotaria a escola de minas a ser implantada no país. Para o francês esta deveria se localizar numa região na qual os alunos tivessem contato direto com a prática. Por isso, foi escolhida a cidade de Ouro Preto, em meio a um ambiente cercado por atividades relativas à mineração e à siderurgia, mesmo que ainda pouco desenvolvidas. (...) A escola ainda seria caracterizada pela valoração da prática e das viagens de estudos para complementar a formação de seus quadros discentes. (...) Em 1876 foram iniciadas as aulas na instituição batizada como Escola de Minas, inaugurando uma tradição em Minas Gerais para a pesquisa e formação profissional nesta área e em áreas correlatas, como a metalurgia.*

SANTOS & DINIZ (2010) destacam outras iniciativas importantes como a criação do curso de Engenharia Industrial Metalúrgica na então Universidade de Minas Gerais em 1945, que seria substituído pelo curso de Engenharia de Minas e Metalurgia em 1956. Nove anos mais tarde, este curso se desdobraria nas formações de Engenharia de Minas e Engenharia Metalúrgica. Em 1971 foi criado o Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais (CPGEM), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Este protagonizou uma experiência bem-sucedida de criação de programas cooperativos de pós-graduação entre a universidade e as empresas, a partir de 1975. SILVA (2007) explica que a ideia era simples. Primeiro, fazia-se a pré-seleção e preparação prévia dos candidatos na companhia, seguida de seu deslocamento à UFMG para cursar, por um ano, as disciplinas da pós-graduação. Os trabalhos de pesquisa eram realizados, em seguida, na universidade e na empresa, em tema escolhido de comum acordo.

Deve-se ressaltar o papel desempenhado pela Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (ABM) em termos de intercâmbio do conhecimento técnico-científico no âmbito da cadeia mínero-metalúrgica. A ABM foi fundada na década de 1940 e possui uma configuração peculiar no contexto nacional, pois congrega atualmente 130 empresas associadas e 3.500 pessoas associadas (que trabalham nas companhias e em instituições acadêmicas). Esta articulação entre profissionais com diferentes inserções profissionais está retratada na composição da diretoria (o presidente é professor universitário e o vice-presidente fez carreira no setor empresarial) e do conselho. Em 2012, a entidade promoveu o 67º Congresso Anual, sendo que a “Revista ABM” encontra-se no seu 68º ano de publicação ininterrupta. A ABM promove uma série de seminários específicos, tais como o 42º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias e 33º Seminário de Balanços Energéticos Globais, realizados neste ano.

Para tentar aprofundar a questão da cooperação universidade-empresa, pesquisou-se no diretório de grupos de pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O resultado, contudo, foi infrutífero, pois o número de interações declaradas pelos grupos ligados à metalurgia é claramente subestimado. Não se trata de um problema específico, mas é um reflexo da tradição do meio acadêmico brasileiro em não explicitar os laços de cooperação com o setor produtivo. Muitas vezes, em função de questões burocráticas, os convênios são celebrados com as fundações de apoio às universidades e não computados pelos respectivos grupos de pesquisa.

Extrapolando a questão da cooperação, enfrentaram-se dois outros problemas quando da utilização do grupo de pesquisa do CNPq. Primeiro, ao consultar a palavra-chave “metalurgia”, foram selecionados 97 grupos, muitos dos quais têm um foco de atuação muito distante das atividades de redução, que é a etapa do processo produtivo com maior impacto de emissão de CO2. Segundo, ao pesquisar a palavra-chave “alto-forno”, foram classificados apenas seis grupos, dos quais dois mais diretamente mais ligados ao tema deste relatório. Na mesma direção, para a palavra-chave “fusão redutora”, foi identificado apenas um grupo, denominado “auto-redução e fusão-redutora”, na Universidade de São Paulo (USP). Evidentemente, a capacitação nacional para o desenvolvimento tecnológico de tecnologias de redução não se restringe a estes três grupos.

Como mecanismo alternativo, optou-se por investigar a avaliação trienal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) dos cursos de pós-graduação *stricto sensu.* O Quadro 3.5 apresenta as informações do triênio 2007-2009, bem com a nota final de avaliação em 2010. Seis programas foram avaliados com nota seis e sete, que denotam a oferta de doutorado com nível de excelência, com desempenho equivalente ao dos mais importantes centros internacionais de ensino e pesquisa e alto nível de inserção internacional. Um programa foi classificado com nota cinco, representando alto nível de excelência. Nestes sete programas, foram defendidas 238 teses de doutorado e 578 dissertações de mestrado no triênio em questão. Ademais foram publicados coincidentemente 578 artigos em periódicos classificados como A e 936 em periódicos B. Trata-se, portanto, de uma produção acadêmica expressiva da área de engenharia metalúrgica no Brasil, o que sugere o desenvolvimento de competências técnicas que podem ser utilizadas pelas empresas, nos seus esforços de adequação ao paradigma de economia de baixo carbono.

Quadro 3.5: Avaliação dos programas de pós-graduação *stricto sensu* de engenharia metalúrgica e de materiais, por parte da Capes, 2007-2010

Sigla Instituicao	Nome	Moda-lidade	Ano de início [1]		Nota Final da Avaliação Trienal 2010	Do-centes perma-nentes 2007-09 [2]	Teses e Disser-tações 2007-09 [3]		Artigos completos publicados em periódicos		Trabalhos completos publicados em anais de eventos técnico-científicos	Livros e Capítulos de livro	
			M	D			Te	Di	A	B		Texto Inte-gral	Capí-tulos de livro
UFMG	ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MINAS	Acad	1971	1984	**7**	20	39	89	66	126	298	1	18
UFRGS	ENGENHARIA DE MINAS, METALÚRGICA E DE MATERIAIS	Acad	1974	1987	**7**	28	55	145	88	188	516	-	17
UFSCAR	CIÊNCIA E ENGENHARIA DOS MATERIAIS	Acad	1979	1987	**7**	32	42	89	157	240	276	4	17
PUC-RIO	ENGENHARIA MATERIAIS E DE PROCESSOS QUÍMICOS E METALÚRGICOS	Acad	1971	1991	**6**	14	20	40	48	69	151	1	3
UFRJ	ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS	Acad	1967	1974	**6**	24	42	83	78	107	133	-	5
USP	ENGENHARIA METALÚRGICA	Acad	1971	1971	**6**	19	30	52	77	94	209	1	8
UFOP	ENGENHARIA DE MATERIAIS	Acad	1996	2000	**5**	25	10	80	64	112	214	4	9
CDTN	CIÊNCIA E TECNOLOGIA DAS RADIAÇÕES, MINERAIS E MATERIAIS	Acad	2002		**4**	24	-	42	54	77	231	-	8
FUFSE	CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS	Acad	2008	2008	**4**	26	-	1	41	70	53	-	3
IME	CIÊNCIAS DOS MATERIAIS	Acad	1971	1977	**4**	11	15	26	20	64	33	1	2
PUC/RS	ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS	Acad	2001	2007	**4**	15	-	57	25	37	109	3	15
UDESC	CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS	Acad	1995		**4**	16	-	44	18	43	192	-	3
UENF	ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS	Acad	1994	1994	**4**	15	16	26	23	77	270	-	2
UFCG	CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS	Acad	2003	2007	**4**	17	-	46	34	112	363	-	5
UFF	ENGENHARIA METALÚRGICA	Acad	1994	2000	**4**	9	8	15	25	59	129	1	3
UNIFEI	MATERIAIS PARA ENGENHARIA	Acad	2001		**4**	13	-	18	19	37	65	-	-
CEFET/MA	ENGENHARIA DE MATERIAIS	Acad	2005		**3**	16	-	26	10	9	52	-	1
IFES	ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS	Acad	2009		**3**	9	-	-	1	2	34	-	1
UEPG	ENGENHARIA E CIÊNCIA DE MATERIAIS	Acad	2001		**3**	11	-	21	10	23	72	-	-
UERJ	CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS	Acad	2007		**3**	13	-	3	16	29	83	-	6
UFRGS	ENGENHARIA DE MINAS, METALÚRGICA E DE MATERIAIS	Prof	2006		**3**	13	-	57	-	-	52	-	-
UPM	ENGENHARIA DE MATERIAIS	Prof	2007		**3**	9	-	13	-	8	86	-	1

Fonte: Capes

Legenda: [1] Modalidade: M=mestrado; D=doutorado; [2] Média anual (docentes/ano); [3] Total de Teses (Te) e Dissertações (Di) defendidas sob orientação de todas as categorias docentes.

Na percepção das siderúrgicas entrevistadas, elas não teriam dificuldade de adquirir equipamentos que incorporassem os novos processos de fabricação de ferro primário. Não existiria assim um risco tecnológico inerente à maior difusão de processos alternativos ao alto-forno. Consequentemente, como tais tecnologias estariam disponíveis aos interessados, não se geraria um problema de apropriabilidade.

É bem verdade que o desenvolvimento do processo Finex guarda uma particularidade em relação aos demais, pois a Posco não pretende comercializar a

tecnologia. Por enquanto, pelo menos, ela deseja utilizar tal tecnologia de forma exclusiva:

> *Posco has frequently stated that it has no intention of licensing the technology for use by other steelmakers unless they are willing to give Posco management rights. 'Posco's idea in principle is to accept invitations from whomever, and then go forward together with them rather than selling the technology,' a Korean observer suggests. (…) So, in essence, Posco's real aim is to use Finex to expand its overall crude steel capacity – to narrow the gap with rivals Nippon Steel and ArcelorMittal – while reaping the benefits of the lower production costs Finex appears to promise* (McCULLOCH, 2007, p. 3).

Assim, com exceção do processo Finex, acredita-se que os novos processos alternativos ao alto-forno estarão disponíveis às siderúrgicas interessadas. Ademais, conforme avaliação da IEA, tais processos terão pouca importância, pelo menos até 2050, conforme discutido na próxima subseção.

3.3.3. Cenários da Agência Internacional de Energia

A Agência Internacional de Energia (IEA) vem divulgando nos últimos anos relatórios sobre o desempenho energético e ambiental mundial até 2050. A última edição do "Energy Technology Perspectives", publicada em 2012, é baseada em três cenários:

- "2DS": assume um sistema de energia consistente com uma trajetória de emissões que a pesquisa científica recente indica que teria uma probabilidade de 80% para limitar o aumento da temperatura média global a 2°C (portanto, é muito restritivo às emissões de CO_2);
- "4DS": leva em conta os recentes compromissos assumidos pelos países para limitar as emissões e intensificar os esforços para a melhoria da eficiência energética. Ele considera um incremento da temperatura a longo prazo de 4°C;
- "6DS": é em grande parte uma extensão das tendências atuais. Em 2050, o consumo de energia seria quase o dobro (em comparação com 2009) e a emissão do GEE subirá ainda mais. Na ausência de esforços para estabilizar as concentrações atmosféricas de GEE, o incremento da temperatura média global está projetado para ser de pelo menos 6°C a longo prazo (cenário pouco restritivo à emissão de CO_2).

A Tabela 3.6 apresenta as previsões da IEA para 2050, conforme os cenários 2DS, 4DS e 6DS, combinando situações de baixa e alta demanda. Uma primeira informação muito relevante é que, em termos da produção de aço bruto, a participação do forno elétrico passaria dos atuais 28,5% para surpreendentes 50,2%-51,7%. Se confirmada, trata-se de uma mudança tecnológica de grandes proporções, com impactos substanciais sobre o *mix* de insumos e emissão de CO_2.

Tabela 3.6: Importância relativa das tecnologias de aciaria e dos metálicos em 2050 conforme diversos cenários (milhões de toneladas e percentual)

		Demanda Baixa 2050			Demanda Alta 2050		
	2010	6DS	4DS	2DS	6DS	4DS	2DS
Forno elétrico (%)	28,5	50,2	51,6	50,6	50,4	51,7	51,0
Forno oxigênio (%)	71,5	49,8	48,4	49,4	49,6	48,3	49,0
Aço bruto (Mt)	1.232	2.438	2.438	2.438	2.943	2.943	2.943
Ferro-gusa (%)	68,6	45,6	44,3	40,8	45,5	44,2	37,9
DRI a gás (%)	3,5	7,0	7,0	9,5	7,0	7,0	9,7
DRI a carvão (%)	1,3	4,8	4,8	0,0	4,7	4,7	0,0
Fusão redutora (%)	0,0	0,5	0,5	4,8	0,4	0,4	7,4
Sucata (%)	26,6	42,1	43,4	44,8	42,4	43,7	45,0
Metálicos (Mt)	1.331	2.653	2.656	2.662	3.204	3.206	3.207

Fonte: IEA (2012)

A parte de baixo da tabela 3.6 mostra a importância relativa de metálicos. A fatia do ferro-gusa regrediria dos atuais 68,6% para 45,5% no cenário 6DS, para 44,2% no cenário 4DS e ainda para 37,9%-40,8% no cenário 2DS. A maior parte desta queda seria aproveitada pela sucata, passando de 26,6% para 42%-45%. A tecnologia de redução direta a gás natural aumentaria de 3,5% para 7,0%-9,5%. Por sua vez, a redução direta a carvão poderia tanto expandir de 1,3% para 4,7%, quanto ser simplesmente eliminada, no caso do cenário mais restritivo às emissões.

Ainda no que concerne à Tabela 3.6, os processos de fusão redutora aumentariam sua importância relativa de 0% para 0,4%-0,5% nos dois cenários mais permissivos às emissões. Para o cenário mais restritivo, sua fatia alcançaria 4,8%-7,4%. Portanto, sua difusão parece depender crucialmente da substituição da redução direta a carvão e, em menor medida, do aquecimento da demanda. De todo

modo, a grande transformação não se refere aos novos processos de fabricação de ferro primário, mas simplesmente à produção de aço sem o uso desses processos (pela rota semi-integrada). É interessante registrar que na resposta de questionário, de uma lista de oito linhas de desenvolvimento tecnológico mais importantes, a ampliação da reciclagem e do uso de resíduos foi considerada o fator mais crítico, com 95% de respostas indicando alta importância para o setor.

Ainda com base em IEA (2012), a siderurgia mundial reduziria sua intensidade de energia dos atuais 21 GJ/tonelada de aço bruto para o patamar de:

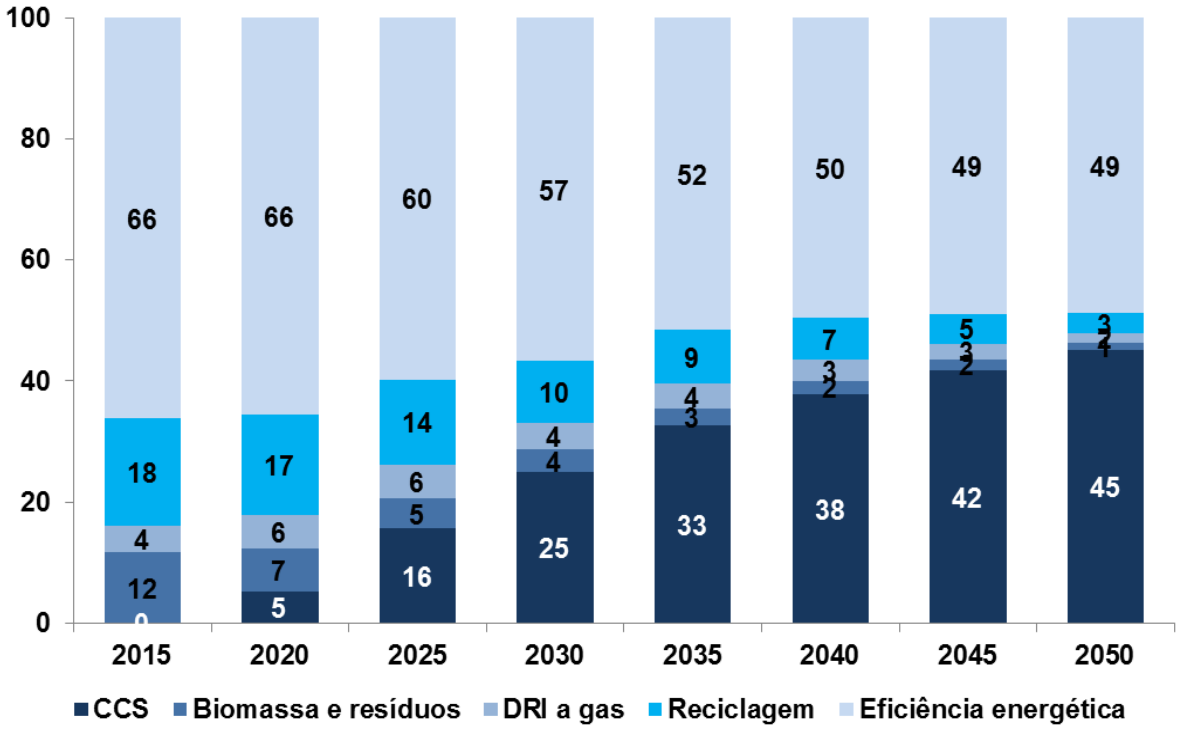
- 16,6 GJ/tonelada no cenário 4DS, baixa demanda (queda de 21,0%);
- 16,5 GJ/tonelada no cenário 4DS, alta demanda (21,4%)
- 14,1 GJ/tonelada no cenário 2DS, baixa demanda (32,9%);
- 13,5 GJ/tonelada no cenário 2DS, alta demanda (35,7%).

Quanto à emissão, IEA (2012) prevê a mudança de 1,8 tonelada de CO_2/tonelada de aço bruto para:

- 1,1 tonelada CO_2 no cenário 4DS, baixa demanda (retração de 38,9%);
- 1,3 tonelada CO_2 no cenário 4DS, alta demanda (27,8%);
- 0,7 tonelada CO_2 no cenário 2DS, baixa demanda (61,1%);
- 0,6 tonelada CO_2 no cenário 2DS, alta demanda (66,7%).

Constata-se assim que a diminuição das emissões de CO_2 será significativamente maior do que a relativa à intensidade energética. No caso da diferença entre os cenários 2DS e 4DS – baixa demanda –, os maiores ganhos em termos de redução de emissão de CO_2 seriam decorrentes da melhor eficiência energética, sendo seguido da tecnologia CCS, principalmente a partir de 2025 (Gráfico 3.5). Ao longo do tempo, as contribuições da reciclagem e da redução direta a gás para a diminuição das emissões tendem a declinar, enquanto a contribuição do uso de biomassa e resíduos é sempre relativamente pequena.

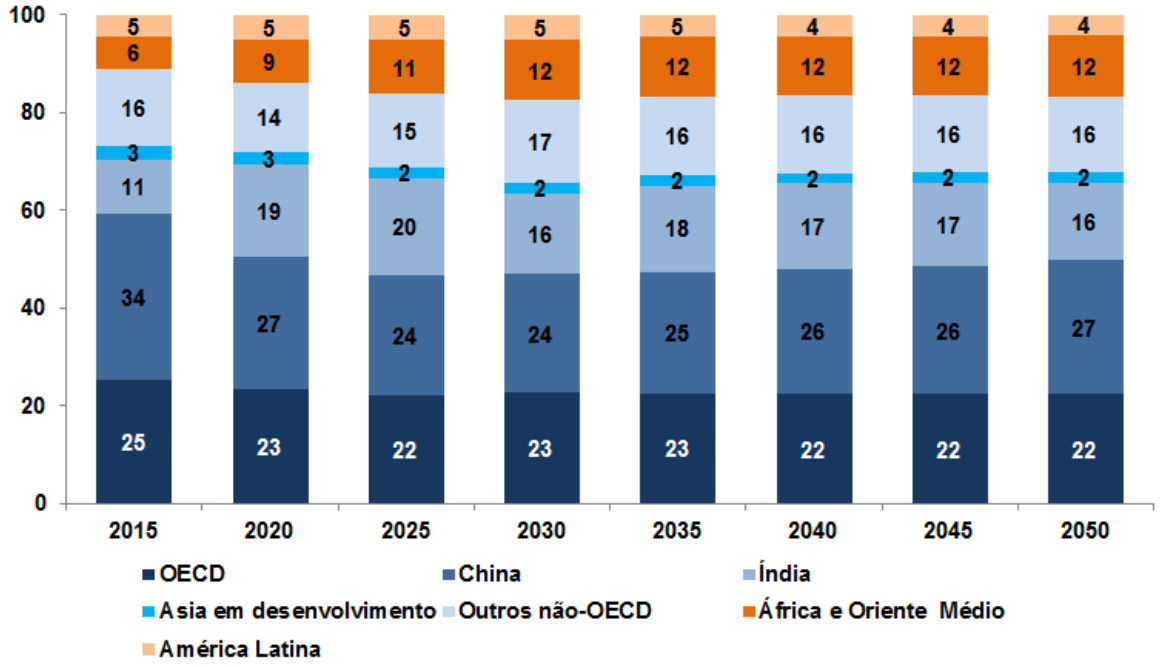
Gráfico 3.5: Fatores explicativos para a diferença de emissão de CO_2, entre os cenários 2SD e 4SD, baixa demanda, 2010-2050 (%)



Fonte: IEA (2012)

O Gráfico 3.6 apresenta a contribuição regional para redução da emissão de CO_2, entre os cenários 2SD e 4SD. Verifica-se uma grande concentração na China e na Índia, que possuem grandes parques siderúrgicos, com desempenhos ambientais insatisfatórios. De todo modo, a contribuição chinesa (em média de 27%) seria muito inferior à participação atual do país no setor (45%). O oposto se verifica na Índia, provavelmente em função da evolução futura da produção e dos ganhos de eficiência daí decorrentes. A contribuição da América Latina, de 4%-5%, estaria alinhada à sua fatia no mercado siderúrgico mundial.

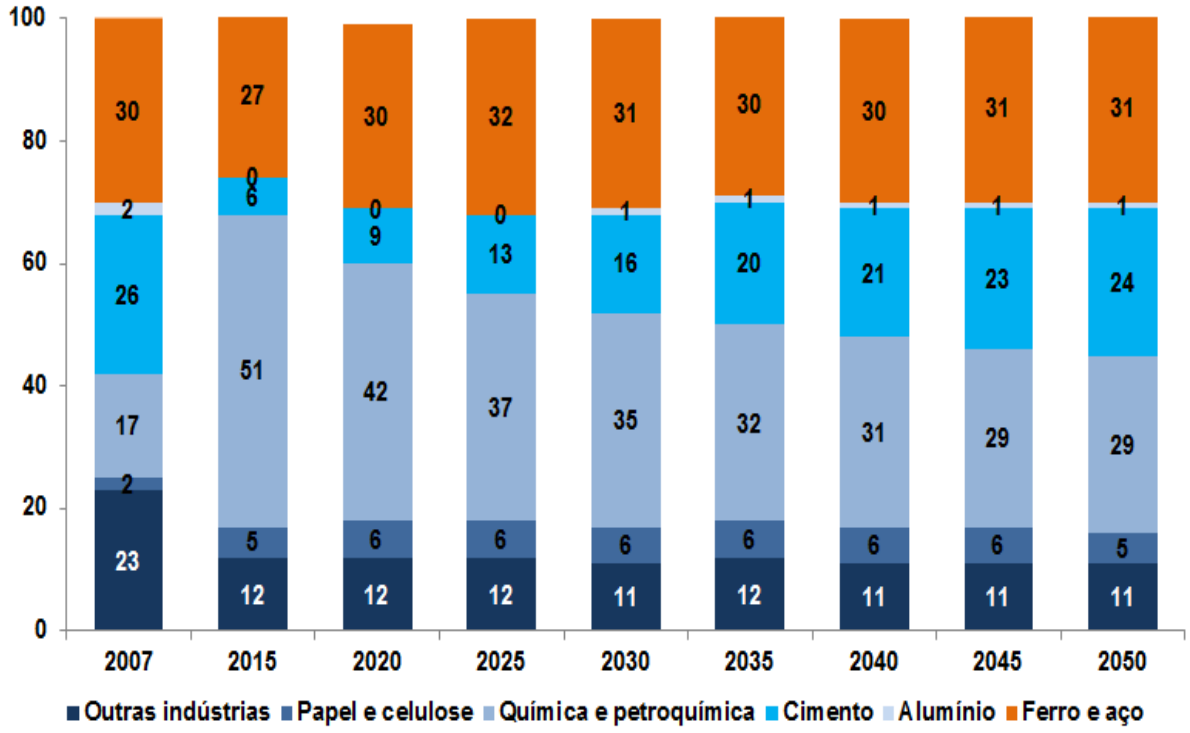
Gráfico 3.6: Contribuição regional para a diferença de emissão de CO_2, entre os cenários 2SD e 4SD, baixa demanda, 2010-2050 (%)



Fonte: IEA (2012)

O Gráfico 3.7 apresenta a contribuição de setores da indústria para diminuição da emissão de CO_2, entre os cenários 2SD e 4SD. Na verdade, a primeira barra representa a situação verificada em 2007, quando a siderurgia foi responsável por 30% das emissões diretas da indústria global. Trata-se de um valor similar ao da contribuição desta indústria, que se mantém praticamente constante ao longo de todo o período analisado (segunda barra em diante). Por outro lado, o cimento é beneficiado, pois sua contribuição nos anos iniciais (9% até 2020) é bastante inferior à fatia de emissão de CO_2 em 2007 (26% em 2007). Os valores para alumínio são claramente subestimados, pois para esta indústria as emissões indiretas de CO_2 representam 75% das emissões totais. De todo modo, a contribuição relativa do alumínio é inferior à sua fatia na emissão direta de CO_2. Portanto, comparativamente ao cimento e ao alumínio, a siderurgia tenderia a contribuir mais para a redução das emissões de CO_2 em um cenário mais restritivo do que seus sucedâneos.

Gráfico 3.7: Contribuição setorial no âmbito da indústria para a diferença de emissão de CO_2, entre os cenários 2SD e 4SD, baixa demanda, 2007-2050 (%)



Fonte: IEA (2010; 2012)

Todavia, é preciso ter cautela com esta conclusão, pois as estimativas da IEA (2012) não mostram um ajustamento por preço. Ou seja, elas não incorporam uma elasticidade-preço da demanda em relação às fontes de energia. É importante também destacar que, nas entrevistas, a questão que apresentou maior dispersão de respostas, foi aquela que discutia se a siderurgia ganharia ou perderia mercado frente aos sucedâneos no caso de adoção de políticas ambientais mais restritivas. Constatou-se uma grande diversidade de opiniões. Por exemplo, algumas indicaram que nem haveria mudanças significativas entre os três materiais, pois apesar de sucedâneos, eles não são competitivos entre si em todas as aplicações. Outras companhias enfatizaram que: a) o cimento possui menor taxa de reciclagem, o que se constitui em desvantagem; b) várias cimenteiras utilizam escória de alto-forno, portanto um coproduto siderúrgico serve para diminuir as emissões de CO_2 de um sucedâneo; c) o alumínio tem sido mais eficiente na divulgação como material sustentável; d) os diferentes sistemas de taxações e restrições de cada país tendem

a impactar de forma heterogênea os materiais; e) a economia de baixo carbono pode abrir novas oportunidades de mercado para produtos siderúrgicos.

A despeito da falta de consenso entre as entrevistadas, a visão mais frequente (porém não consensual) é aquela que diferencia as emissões diretas e indiretas de CO_2. Ao se contabilizar apenas as emissões diretas, algumas companhias acreditam que o aço tende a perder espaço frente ao alumínio e cimento. Porém, quando são considerados todos os aspectos do ciclo de vida (que inclui as emissões diretas e indiretas de CO_2), o aço tenderia a ganhar. No próximo capítulo, são apresentadas as recomendações de políticas.

CAPÍTULO 4:
ANÁLISE DOS IMPACTOS DAS MUDANCAS INSTITUCIONAIS E TECNOLÓGICAS SOBRE A SIDERURGIA BRASILEIRA

A conclusão mais polêmica deste relatório, com base em estudo da Agência Internacional de Energia (IEA), diz respeito ao drástico aumento da importância relativa da aciaria elétrica na produção mundial de aço. A sua difusão passaria dos atuais 28,5% para mais de 50%, em 2050, em qualquer dos três cenários analisados. Não deixa de ser surpreendente que isto venha a ocorrer mesmo no cenário energético menos restritivo, que se aproxima da manutenção da trajetória atual. Embora uma fatia de 50% para a aciaria elétrica possa ser considerada controversa, é razoável concordar com a tendência de incremento da sua relevância, principalmente porque a China passará a gerar mais sucata e, por isto, será menos dependente da rota alto-forno.

A lenta difusão de processos alternativos ao alto-forno, seja as tecnologias já maduras de redução direta (a gás ou carvão não-coqueificável), seja as tecnologias ainda emergentes de fusão redutora (incluindo Corex, Finex, Tecnored, entre outros), parece ser uma tendência menos polêmica. Na verdade, alguns dos projetos de fusão redutora resultaram em grandes perdas financeiras para as companhias envolvidas. Além disso, tendo em vista a elevada vida útil dos altos-fornos, mesmo que tais tecnologias atingissem desempenho superior do ponto de vista tecnológico, seriam necessárias algumas décadas para a completa eliminação dos altos-fornos. Ademais, a siderurgia tem se mostrado como uma indústria com poucas inovações radicais, sendo que as principais estratégias empresariais, como fusões e aquisições e internacionalização produtiva, não são motivadas por aspectos tecnológicos ou ambientais.

Por outro lado, a tecnologia de sequestro e estocagem de carbono (CCS) tende a apresentar uma difusão elevada a partir de 2030, sendo incorporada tanto nos processos emergentes de produção de ferro primário, quanto nos altos-fornos (em construção e em reforma). Nesse sentido, o alto-forno tende a manter sua hegemonia em termos de processo de fabricação de ferro primário, até porque a tecnologia CCS tende a otimizar o seu desempenho energético e ambiental.

Tendo em vista estas conclusões principais, o restante do capítulo examina questões mais específicas, conforme o roteiro de acompanhamento deste projeto por parte do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

Definição de indicadores para o monitoramento e avaliação

Ao longo deste relatório foram mencionados três indicadores principais de acompanhamento:

- Emissão específica de CO_2, em termos de tonelada de CO_2 equivalente por tonelada de aço bruto produzida;
- Consumo específico de energia (GJ/tonelada);
- Indicador de eficiência (percentual de materiais convertidos em produtos e coprodutos).

Estes três indicadores são divulgados anualmente pela WSA e pelo IABr, com base na mesma metodologia. No entanto, é necessário reconhecer que a baixa adesão das siderúrgicas chinesas e indianas para a base de dados da WSA afeta sobremaneira o cálculo da média mundial. Isto acaba subestimando o consumo específico de energia e de emissão específica de CO_2 e, por consequência, distorce a posição relativa da siderurgia brasileira. Outra questão fundamental, que tende a ser aprimorada ao longo do tempo, é que tais indicadores deveriam ser divulgados (e acompanhados) por rota tecnológica e por etapas do processo.

Indicadores de difusão de tecnologias de fusão redutora não são úteis para os objetivos deste projeto, uma vez que não priorizam a diminuição do consumo específico de energia, nem da emissão específica de CO_2. Todavia, é importante acompanhar o desenvolvimento e a difusão da tecnologia CCS. Quando tal inovação estiver disponível, um índice baseado na proporção de ferro primário que faz uso de CCS será útil como indicador de esforço, embora os seus impactos serão observados no consumo específico de energia e na emissão específica de CO_2, como indicadores de resultado.

Impactos das mudanças institucionais e tecnológicas

No que tange às políticas mais restritivas de emissão de CO_2, a experiência internacional vem mostrando o que se pode chamar de política “morde e assopra”. Na União Europeia e na Austrália, onde as políticas de cobrança por emissão de CO_2 já se encontram em vigor, a siderurgia foi contemplada com benefícios (mesmo que temporários), como forma de mitigar os custos das medidas. A África do Sul mostra indícios de que seguirá o mesmo caminho. Nos Estados Unidos, observa-se forte reação à adoção destas medidas. No Japão, as siderúrgicas adotam medidas voluntárias como forma de convencer o governo a não impor medidas obrigatórias.

Nas experiências recentes da União Europeia e do Japão, é até paradoxal que os as citadas políticas públicas atinjam mais intensamente as siderúrgicas semi-integradas (à base de aciaria elétrica). Como estas são intensivas em eletricidade, e as geradoras de energia estão sendo oneradas pela tributação sobre emissão de CO_2, tais siderúrgicas estão pagando a conta por meio da emissão indireta de CO_2. Contudo, mais uma vez a política “morde e assopra” foi observada, ao menos no Japão. Assim, quanto às regulações e impostos, já existem experiências em curso, mas os efeitos práticos para as siderúrgicas foram atenuados. É razoável acreditar que, superada uma fase de transição (até 2015-2020), as siderúrgicas tendam a ser impactadas de forma crescente ao longo do tempo. Como estas regulações e impostos estão sendo adotadas principalmente em mercados siderúrgicos maduros (União Europeia, Japão e Austrália), para evitar os custos adicionais decorrentes de tais políticas, as empresas tendem a adotar melhorias técnicas. Estas, por sua vez são cada vez mais difíceis, pois tais países se encontram na fronteira tecnológica mundial. Desta forma, as companhias seriam mais afetadas em custos (da política e do investimento necessário para evitar as taxas) do que por restrição ao volume de produção.

As empresas entrevistadas e os profissionais que responderam os questionários são céticos quanto à imposição de restrições relacionadas ao comércio exterior, com base em emissões de CO_2, no curto prazo. Constatou-se um forte consenso entre as companhias de que tais medidas, se vierem ser aplicadas, somente seriam observadas a partir de 2020. Provavelmente, isto é uma consequência do fato de que a siderurgia global já apresenta uma elevada participação nos processos de defesa comercial no mundo, não sendo assim

necessário recorrer àqueles mecanismos para desestimular as importações. Além disso, num contexto de maior pressão para a melhoria dos padrões ambientais e energéticos, as siderúrgicas brasileiras acreditam que conseguirão adquirir tais tecnologias sem dificuldades e, por conta disto, não haveria o imperativo para o incremento substancial dos esforços inovativos, que hoje são relativamente tímidos.

No que concerne às mudanças tecnológicas, conforme discutido no início deste capítulo, as principais tendências até 2050 são: a) incremento da importância relativa da aciaria elétrica; b) lenta difusão das tecnologias de fusão redutora, com o que o alto-forno se manterá como principal equipamento para fabricação de ferro primário; c) crescente difusão da tecnologia CCS, a partir de 2030, que será incorporada tanto no alto-forno, quanto nos processos emergentes de produção de ferro primário.

Decisões e caminhos mais promissores para o Brasil

O atual desempenho ambiental e energético da siderurgia brasileira é bom, sendo melhor do que a média mundial, embora ainda aquém das melhores práticas mundiais. O que talvez seja mais preocupante é que os elevados investimentos que estão sendo realizados na China e, em menor intensidade, na Índia tendem a diminuir a desvantagem de performance ambiental e energética de tais parques. Assim, pode-se imaginar que o referido desempenho mundial melhore mais rápido do que no Brasil, acabando por diminuir ou mesmo eliminar a diferença positiva hoje existente a favor das siderúrgicas brasileiras.

Os objetivos de médio e longo prazo para a siderurgia brasileira deveriam ser manter (ou mesmo melhorar) seu desempenho energético e ambiental comparativamente à siderurgia mundial. Não será uma tarefa fácil, tendo em vista os elevados investimentos em ampliação em capacidade instalada nos países asiáticos. O parque siderúrgico brasileiro já é bastante maduro, o que requer investimentos consideráveis em algumas etapas do processo, como as baterias de coque. Tais inversões seriam mais facilmente realizadas se a demanda de aço no Brasil apontasse para uma trajetória sustentável de crescimento, o que não tem se verificado nos últimos anos. Quando se considera também que a siderurgia brasileira vem perdendo suas vantagens competitivas em termos de custo, chega-se

a um cenário bastante desafiador. Assim, é provável que os investimentos e as melhorias na performance ambiental e energético caminhem gradualmente.

Na avaliação dos entrevistados, a gestão ambiental e energética da siderurgia brasileira atende aos melhores padrões mundiais. Desta forma, as diferenças de desempenho podem ser, em grande medida, atribuídas aos equipamentos (e as tecnologias neles incorporadas), ratificando a necessidade de investimentos recorrentes de modernização, e uma legislação menos exigente do que a verificada em países como Japão e União Europeia.

No que tange às políticas, tecnológicas e ambientais para adaptação ao paradigma do baixo carbono, três diretrizes são as principais:

1: a experiência internacional mostra o duplo papel do Estado: normativo (estabelecimento de condições mais restritivas às emissões industriais de CO_2) e fomentador (estímulo aos esforços de pesquisa & desenvolvimento de novas tecnologias). No Brasil, mesmo considerando o papel do BNDES como acionista do processo do Tecnored, a atuação governamental tem sido relativamente tímida nos dois papéis. Corre-se então o risco de o Estado decidir estabelecer padrões muito rígidos, sem fornecer estímulos ao desenvolvimento tecnológico que ajudem a atingir tais referências. Faz-se necessário então uma combinação de políticas públicas, no sentido de contemplar e calibrar o referido duplo papel. Outro risco, oposto ao primeiro, é a adoção de uma política acomodatícia, que não gera estímulos regulatórios nem de incentivo à P&D visando à conversão para um padrão tecnológico de baixo carbono;

2: a siderurgia a carvão vegetal é uma peculiaridade positiva da siderurgia brasileira que contribui para menor emissão específica de CO_2. É evidente que a siderurgia a carvão vegetal é incapaz de substituir completamente a siderurgia a coque no país. De todo modo, é uma vantagem competitiva nacional que não está sendo devidamente aproveitada, porque o segmento guseiro é muitas vezes associado ao desmatamento e outras condutas empresariais inadequadas. É preciso que o governo apoie as iniciativas das usinas integradas a carvão vegetal, mas também que estimule um plano de modernização dos guseiros. A atuação governamental em relação aos guseiros tem se resumido, basicamente, às intervenções do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais

Renováveis (Ibama). É preciso uma agenda positiva (contemplando recursos financeiros para expansão das florestas plantadas e aprimoramento tecnológico) visando à melhoria do desempenho ambiental e energético dos guseiros (tais como cogeração de energia nos altos-fornos e na carbonização, injeção de finos de carvão e aproveitamento de resíduos industriais via sinterização dos finos de minério e carvão), sob pena de que uma vantagem competitiva do setor continue sendo percebida no país e no exterior como exemplo de má utilização dos recursos naturais;

3: a política ambiental e energética da siderurgia brasileira deve levar em consideração o fato de que o consumo de aço no país tende a crescer, o que estimularia o incremento da produção. A adoção de mecanismos de *cap-and-trade* pode até ser coerente com a experiência de países que mostram sinais de estabilidade ou mesmo diminuição da produção siderúrgica. Nesse sentido, o Plano Indústria, coordenado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), que prioriza a diminuição da emissão específica de CO_2 (e não o montante agregado de CO_2) é uma decisão acertada. Aliás, as ações que fazem parte do Plano Indústria são positivas para a siderurgia brasileira. Resta apoiar tais medidas para que eles sejam de fato implementadas.

Apostas do país em termos de desenvolvimento tecnológico e institucionalidade

A siderurgia brasileira não possui escala econômica, nem tampouco capacitação tecnológica, para levar a cabo projetos cooperativos da abrangência do ULCOS (União Europeia) e COURSE 50 (Japão), embora possam vir a participar de projetos cooperativos internacionais, se estes vierem a ser desenvolvidos. Além disso, cerca de 60% de sua capacidade encontra-se em poder de empresas estrangeiras, que tendem a privilegiar o desenvolvimento tecnológico em seus países de origem. Ademais, as empresas de capital local predominam no segmento de aços longos ao carbono, no qual a intensidade tecnológica é menor comparativamente aos demais segmentos.

Nesse contexto, as apostas em termos de desenvolvimento tecnológico deveriam se concentrar na adoção mais rápida possível das inovações desenvolvidas em outros países. Isto tem sido a trajetória histórica da siderurgia

brasileira, tanto que as empresas entrevistadas não acreditam que teriam dificuldade para adquirir novos equipamentos com as novas tecnologias incorporadas. Consequentemente, a institucionalidade mais adequada para estimular a transição para uma economia de baixo carbono acaba privilegiando as regulamentações, sendo que o Plano Indústria é um passo relevante para isto.

Além da necessidade de manter o parque tecnológico atualizado, mesmo baseado em tecnologias desenvolvido no exterior, duas oportunidades tecnológicas importantes referem-se ao aprimoramento tecnológico do parque guseiro e o desenvolvimento do Tecnored. Duas outras oportunidades, menos relevantes e de caráter mais gradualista, dizem respeito à redução da heterogeneidade intra-setorial (principalmente na etapa de redução) e à ampliação do uso de certos resíduos, como a escória de aciaria e as lamas de alto-forno e de aciaria.

Análise da cooperação com comunidade acadêmica

Os dados do diretório de grupos de pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) subestimam a cooperação efetiva entre as universidades e centros de pesquisa com as siderúrgicas brasileiras. De fato, informações de cunho qualitativo indicam que tais relações são relativamente intensas para os padrões brasileiros. Vale destacar que os sete programas de pós-graduação *stricto sensu* que receberam notas iguais ou superiores a cinco por parte Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) não apenas representam a elite acadêmica da cadeia mínero-metalúrgica, como seu melhor desempenho decorre da mencionada interação.

Papel muito importante é desempenhado pela Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (ABM) no que tange ao intercâmbio do conhecimento técnico-científico no âmbito da cadeia mínero-metalúrgica. No caso dos temas mais relevantes para este relatório, cabe recordar que em 2012 a ABM promoveu o 42º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias e o 33º Seminário de Balanços Energéticos Globais. A ABM é um foro privilegiado para levar adiante as discussões do paradigma da economia de baixo carbono para a siderurgia brasileira, inclusive visando a aumentar a intensidade da cooperação entre a academia e o setor produtivo.

Setores que deveriam ser privilegiados em termos de recursos para investimentos em ciência e tecnologia

Duas deveriam ser as prioridades em termos de obtenção de recursos para investimentos em inovações siderúrgicas. De um lado, as usinas integradas a coque, que apresentam maior impacto em termos de consumo específico de energia e de emissão específica de CO_2. Além disso, tais usinas possuem alto custo de investimento por capacidade instalada, o que torna seu ajustamento a novos padrões tecnológicos mais oneroso. Os recursos devem ser aplicados na modernização contínua do parque, uma vez que é pouco provável que venham a ocupar um papel de destaque na arena internacional quanto ao desenvolvimento de inovações radicais.

A segunda prioridade – que requer um montante menor de recursos, pela menor capacidade instalada e menor intensidade de capital – é o desenvolvimento da siderurgia a carvão vegetal, seja na rota integrada, seja nos produtores independentes (“guseiros”). Por ser uma peculiaridade nacional, esta é uma vantagem que deveria ser melhor explorada. O objetivo de curto prazo deveria ser a modernização dos guseiros (adotando tecnologias disponíveis) e a médio e longo prazo melhorias dos processos operacionais nas usinas integradas e nos guseiros.

Modelos institucionais de inovação

As duas principais experiências mundiais em termos de tecnologia de baixo carbono na siderurgia mundial são os projetos ULCOS (União Europeia) e COURSE 50 (Japão). O primeiro caso consiste de consórcio de 48 empresas, congregando as principais siderúrgicas europeias (capitaneado pela ArcelorMittal), uma mineradora de ferro, e ainda fornecedores, universidades e centros de pesquisa. O projeto é financiado em 60% pelos participantes do consórcio e 40% pela Comissão Europeia, por meio do Fundo de Pesquisa para Carvão e Aço.

O projeto COURSE 50 conta com a participação das maiores siderúrgicas do país, sendo coordenado pela Japan Iron and Steel Federation (JISF) e totalmente custeado pelo governo japonês.

As duas experiências são difíceis de replicar no brasileiro, seja pelo volume de recursos requerido (US$ 725 milhões no caso do ULCOS e US$ 315 milhões no do COURSE 50), seja pela capacitação tecnológica acumulada. Na primeira

experiência, existe uma longa tradição de desenvolvimento tecnológico cooperativo com recursos da Comissão Europeia, e na segunda, as siderúrgicas japonesas participam de várias *joint-ventures* e consórcios não apenas em atividades tecnológicas.

Diante das limitações financeiras e tecnológicas e das dificuldades para organizar consórcios de desenvolvimento tecnológico (ainda mais quando os objetivos são a longo prazo), o modelo brasileiro deveria estimular a maior cooperação já existente entre universidades e centros de pesquisa e siderúrgicas. Ou seja, ao invés de buscar esforços entre todos os envolvidos como na União Europeia e Japão, estimular relacionamentos bilaterais, como os já existentes atualmente. Isto deve ser suficiente para os esforços de modernização, uma vez que os projetos na fronteira tecnológica parecem distantes dos interesses e das capacitações das siderúrgicas brasileiras.

Possibilidade de o Brasil participar do desenvolvimento e incorporação das novas tecnologias em nível internacional.

As principais iniciativas de desenvolvimento de inovações radicais na siderurgia, no que concerne à redução de baixo carbono, são de cunho regional (ULCOS) ou nacional (COURSE 50). Mesmo outros esforços, de menor envergadura, também são de âmbito nacional, como os verificados nos Estados Unidos, Coreia do Sul, Austrália e Taiwan. Assim, no contexto atual, parece pouco provável que as siderúrgicas brasileiras possam participar de tais projetos, embora possam ser beneficiadas indiretamente por meio de suas controladoras (ArceorMittal, na Europa, e Nippon Steel, no Japão, para citar apenas dois exemplos) ou mesmo de suas subsidiárias no exterior.

Quanto à incorporação de novas tecnologias adequadas ao paradigma da economia de baixo carbono, não se observam barreiras relevantes, pois elas tendem a estar incorporadas nos equipamentos. Portanto, é mais uma questão de preço a ser pago, do que de impedimento de acesso. A única exceção, que confirma a regra, é o fato de a Posco estar desenvolvendo o Finex sem o objetivo de comercialização. Desta forma, o Finex seria uma tecnologia proprietária para uso exclusivo. Esta estratégia é ímpar no setor e não se antevê que venha a ser adotada com intensidade por outros competidores.

Conclusão final

1. A principal alteração até 2050 deverá ser o incremento da participação da aciaria elétrica na siderurgia mundial, permitindo a diminuição do consumo específico de energia e da emissão específica de CO_2;
2. A siderurgia brasileira continuará sendo uma indústria com baixa capacidade de levar a cabo inovações radicais, tendo o foco na adoção e otimização de tecnologias adquiridas junto aos fornecedores internacionais;
3. Em geral, não se antevê imposições de barreiras comerciais relevantes à siderurgia brasileira, nem tampouco dificuldade para a compra das novas tecnologias em tela;
4. A manutenção de situação intermediária da siderurgia brasileira em termos de desempenho energético e tecnológico, entre os países desenvolvidos, de um lado, e China e Índia, de outro, requererá grande volume de investimentos, em um contexto de reduzidas margens de lucro;
5. A siderurgia a carvão vegetal é uma peculiaridade da siderurgia brasileira. Embora seja positiva em termos de redução de CO_2, o segmento guseiro enfrenta sérios problemas no curto prazo, requerendo políticas específicas visando à modernização tecnológica de seu parque.

Referências

ABM (2011). *32º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades.* Salvador: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (ABM);

AGRAWAL, B.B. & A.S. MATHUR (2011). New Ironmaking Processes: Relevance to India. *MMMM 2011 Conference*. New Delhi: Indian Institute of Metals;

ASSUMPÇÃO, M. *et alii* (2011). Brazilian Iron and Steel Market Review: the financial market's perspective. *2nd CRU's Latin American Iron & Steel Trends Conference.* Rio de Janeiro: CRU;

BAPTISTA FILHO, B. (2006). Brazil's Vocation as a Steel Supplier: slabs or finished products? *3rd Latin American Steel and Steelmaking Raw Materials Conference*. Rio de Janeiro: American Metal Market & Metal Bulletin;

BARCLAYS (2012). Quarterly Carbon Standard: worse before better. London: Barclays Capital;

BARKOVA, M. (2008). Global Slab Market: current trends & future outlook. *World Steel Semis Market Conference.* Istanbul: Metal Expert;

BARROS, R. & S. BARACALDO (2011a). *Latam Steel: old concepts die hard*. São Paulo: Deustche Bank;

BARROS, R. & S. BARACALDO (2011b). *CSN Buy: in line1Q11 results; mining is now 70% of EBITDA*. São Paulo: Deutsche Bank;

BASSON, E. (2012). The steel industry in a sustainable society. *3rd Annual Green Steel Strategies Conference*. Berlin: Steel Business Briefing (SBB);

BCG (2009). *Sustainable steelmaking: meeting today's challlenges; forging tomorrow's solutions.* Düsseldorf: Boston Consulting Group (BCG);

BLANCO, A.C. (2011). Novos projetos siderúrgicos. *42º Seminário de Aciaria – Internacional.* Belo Horizonte: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (ABM);

BNDES (1987). *Siderurgia Brasileira: questões e perspectivas para a próxima década*. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), (Texto para Discussão DEEST, 5);

BNDES (2000). *Ferro gusa: metálico alternativo.* Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES);

BONINI, M.R. (2011). Tarifas de Energia Elétrica: evolução nos últimos anos e perspectivas. *Boletim de Economia FUNDAP*, v. 8, pp. 19-36;

CAMPOS, B. & A.U. RUIZ (2009). Padrões setoriais de inovação na indústria brasileira. *Revista Brasileira de Inovações,* v. 8, n. 1, pp. 167-210;

CASTRO, E.C. & P.N. FIGUEIREDO (2005). Aprendizagem Tecnológica Compensa? Implicações da Acumulação de Competências Tecnológicas para o Aprimoramento de Performance Técnico-econômica em uma Unidade de Aciaria no Brasil (1997-2001). *Revista de Administração Contemporânea*, edição especial, pp. 109-133;

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

CHEN, D. *et alli* (1991). Forecasting Steel Demand in China. *Resources Policy*, v. 17, n. 3, pp. 196-210;

CHISHOLM, B. (2011). Outlook on the Steel Industry in Mexico. *1er Congreso Mexicano de la Industria Siderúrgica*. Monterrey: Cámara Nacional de la Industrial del Hierro y del Acero (CANACERO)**;**

COMER, A. & A. KALKAPERSAD (2012). *Proposed Carbon Tax in 2012 Budget Speech: Effect on Sasol and ArcelorMittal South Africa – Alert*. Johannesburg: J.P. Morgan Cazenove;

COMIN, A. (2012). Plano Indústria. *V Congresso Internacional do Alumínio.* São Paulo: Associação Brasileira do Alumínio (ABAL);

CORREA, L. & R. ANTUNES (2011). *Usiminas, Management Meetings: multiple challenges ahead; at current levels, we remain 2-EW*. São Paulo: Barclays Capital;

D'ABREU, J.C. (2009). *Estudo Setorial da Siderurgia: indicadores da siderurgia brasileira, contextualização internacional.* Rio de Janeiro: Lucky;

DEILY, M. (1988). Exit Barriers in the Steel Industry. *Economic Review Federal Reserve Bank of Cleveland*, v. 24, n. 1, pp. 10-18;

DE PAULA, G. M. (1993). Competitividade da Indústria Siderúrgica*. Estudo da Competitividade da Indústria Brasileira*. Campinas e Rio de Janeiro: Instituto de Economia / Unicamp e Instituto de Economia Industrial / Universidade Federal do Rio de Janeiro;

DE PAULA, G.M. (1998). *Privatização e Estrutura de Mercado na Indústria Siderúrgica Mundial*. Rio de Janeiro: Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Tese de Doutorado);

DE PAULA, G. M. (2001a). *Inovação Tecnológica na Siderurgia Brasileira: contexto internacional, tendências recentes e proposição de uma estratégia tecnológica.* Rio de Janeiro: Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP);

DE PAULA, G.M. (2001b). *Desenvolvimento Tecnológico, Alianças Estratégicas e Apoio Governamental: o caso Tecnored*. Rio de Janeiro: Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP);

DE PAULA, G.M. (2002). Cadeia Produtiva de Siderurgia*. Estudo de Competitividade por Cadeias Integradas: um esforço coordenado de criação de estratégias compartilhadas*. Brasília: Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior e Instituto de Economia da Unicamp;

DE PAULA, G.M. (2006). La Consolidación en la Industria Siderúrgica Mundial y Latinoamericana. *Acero Latinoamericano,* n. 497, pp. 6-20;

DE PAULA, G.M. (2008). Mineração e Metalurgia de Ferrosos. *Perspectiva do Investimento no Brasil*. Rio de Janeiro e Campinas: Instituto de Economia / Universidade Federal do Rio de Janeiro e Instituto de Economia / Unicamp;

DE PAULA, G. M. (2010). América Latina y Estados Unidos: las crisis económicas y la industria siderúrgica (1980-1983/2008-2009). *Acero Latinoamericano,* n. 520, pp. 6-18;

DE PAULA, G.M. (2011). *Siderurgia Internacional: uma retrospectiva de 100 reflexões*. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2011;

DE PAULA, G.M. (2012). Crise sem Precedentes. *Revista da ABM – Metalurgia, Materiais e Mineração*, vol. 68, n. 615, p. 27, Janeiro-Fevereiro de 2012;

ECORYS SCS GROUP (2008). *Study on the Competitiveness of the European Steel Sector.* Rotterdam: ECORYS SCS Group.

EPE (2009). *Caracterização do Uso da Energia no Setor Siderúrgico Brasileiro*. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (Nota Técnica DEA 02/09);

FADEL, I. & C. LOURO (2011). *LatAm M&M Update #62: inventories down, but there's more to go*. São Paulo: Credit Suisse;

FGV (2011). *Importância Estratégica do Aço na Economia Brasileira*. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas (FGV);

FORTIS BANK (2006). *M&A Comeback in the European Steel Industry.* Brussels: Fortis Bank;

FURTADO, M.A.T *et alii* (2000). A gestão de pesquisa e desenvolvimento em empresas siderúrgicas privatizadas. *Revista de Administração,* v. 35, n. 1, pp. 51-62;

GUAM, N.S. (2010). *China's Steel Sector: bright spots in the new landscape.* Hong Kong: OSK Securities Hong Kong Limited;

GUTIERREZ, T. (2010). *Countdown to Carbon.* London: Steel Business Briefing (SBB Insight, 132);

HERRERA, A. (1973). Social Determinants of Science Policy in Latin America: explicit science policy and implicit science policy. COOPER, C. (ed). *Science, Technology and Development: the political economy of technical advance in undeveloped countries.* London: Frank Cass;

HOWELL, T.R. *et alii* (1988). *Steel and the State: government intervention and steel's structural crisis.* Boulder and London: Westview (Economic Competition Among Nations);

IABr (2012a). *Inventário das Emissões de* CO_2 *da Indústria do Aço.* Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil (IABr);

IABr (2012b). *Relatório de Sustentabilidade 2010*. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil (IABr);

IABr (2011). *Mercado Brasileiro do Aço: análise setorial e regional.* Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil (IABr);

IABr (2012). *Relatório de Sustentabilidade 2012*. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil (IABr);

IEA (2009). *Energy Technology Transitions for Industry: Strategies for Next Industrial Revolution.* Paris: International Energy Agency (IEA);

IEA (2010). Energy Technology Perspectives 2010: Scenarios & strategies to 2050. Paris: International Energy Agency (IEA);

IEA (2012). *Energy Technology Perspectives 2012: Pathways to a clean energy system.* Paris: International Energy Agency (IEA);

IKENSON, D. (2002). *Steel Trap: How Subsidies and Protectionism Weaken the U.S. Industry*. Washington, D.C.: Center for Trade Policy Studies / Cato Institute (Trade Briefing Papers, 14);

INDIA (2005). *National Steel Policy – 2005*. New Delhi: Ministry of Steel;

LANZ, R. & S. MIROUDOT (2011). *Intra-Firm Trade: patterns, determinants and policy implications*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (*Trade Policy Working Papers*, n. 114);

LEPINE, V. (2011). *European Carbon Steel Sub-sector: value for investors with nerves of steel*. London: Barclays Capital;

LUITEN, E.E.M. (2001). Beyond energy efficiency: Actors, networks and government intervention in the development of industrial process technologies. Utrecht: Universiteit Utrecht (Tese de doutoramento);

MACQUARIE (2011). *The Slow Steel Consolidation Grind.* London: Macquarie (Commodities Comment);

MADAR, D. (2009). *Big Steel: technology, trade, and survival in a global market*. Vancouver: UBC Press;

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

MARCUS, P.F. & K.M. KIRSIS (2011). Chaos: the peril of black holes*. Steel Success Strategies XXVI.* New York: American Metal Market - World Steel Dynamics;

MARTÍ, K. (2011). Global Market Situation. *65th Irepas Meeting.* St Petersburg: International Rebar Exporters Association (Irepas);

McCULLOCH, R. (2007). Finex: new dawn or niche option for steelmakers? London: Steel Business Briefing (SBB Insight, 44);

NOLDIN JÚNIOR, J. H. (2002). *Contribuição ao Estudo da Cinética de Redução de Briquetes Auto-redutores*. Rio de Janeiro: Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia/PUC (Dissertação de mestrado);

NOLDIN JÚNIOR, J. H. (2011). An Overview of the New and Emergent Ironmaking Technologies. *IAS 8th Ironmaking Conference*. Rosario: Instituto Argentino de Siderurgia (IAS);

OECD (2010). Market Developments and Trend in Some Steel-using Industries. *68th OECD Steel Committee Meeting.* Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD);

PAGLIA, E. (2011). Dry Bulk Shipping Outlook*. 65th Irepas Meeting.* St Petersburg: International Rebar Exporters Association (Irepas);

PASSOS, E.K.D. (2009). Avaliação das Rotas Alternativas de Produção de Ferro Gusa. Rio de Janeiro: Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais / Universidade Federal do Rio de Janeiro (Monografia final de gradução);

PAVITT, K. (1984). Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. *Research Policy*, v.13, pp. 343-373;

PELKMANS, J. (2006). European Industrial Policy. BIANCHI, P.; LABORY, S. (ed.). *International Handbook of Industrial Policy*. Cheltenham: Edward Elgar, pp. 45-78;

PINHO, M.S. (1993). *Tecnologia e Competitividade na Indústria Brasileira de Aços Não-Planos Comuns*. Campinas: Instituto de Economia/UNICAMP (Dissertação de Mestrado);

PINHO, M. S. (2001). *Reestruturação Produtiva e Inserção Internacional da Siderurgia Brasileira.* Campinas: Instituto de Economia/Universidade Estadual de Campinas (Tese de Doutoramento);

PWC (2011). *Metal Deals: forging ahead 2010 annual review*. New York: PricewaterhouseCoopers (PWC);

RAO, R.T.S. (2007). Environment & Energy Aspects of Corex at JSW Steel Ltd. *Asia-Pacific Partnership on Clean Development and Climate 3rd Steel Workshop*. Wollongong, Australia: Asia-Pacific Partnership on Clean Development and Climate;

ROSSI, J.W.; SANT'ANNA, M.; SIDSAMER, S. (1985). *As Interligações Setoriais na Economia Brasileira em 1975.* Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) (Texto para Discussão Interna INPES/IPEA, 83);

SANTOS, U. P. & C.C. DINIZ (2010). O sistema regional de inovação mínero-metalúrgico de Minas Gerais e seus efeitos sobre a siderurgia local. *XIV Seminário sobre Economia Mineira*. Diamantina: Cedeplar/UFMG;

SBB (2005). *China's Steel Industry Development Policy*. London: Steel Business Briefing (SBB);

SCHEPS, R. (2010). Competitiveness of Aluminum: automotive applications. *Expoaluminio 2010*. São Paulo: Associação Brasileira do Alumínio (Abal);

SCHIMIDT, C. A. J. & M. A. M. LIMA (2006). A Perda do Peso Morto e a Elasticidade-Preço da Demanda do Setor Siderúrgico no Brasil. *Estudos Econômicos*, v. 36, n. 1, pp. 127-147;

SHEN, M. *et alii* (2011). *China Macro Flash: what's new in the 12th Five-Year Plan*. Hong Kong: Citi Investment Research & Analysis (CIRA).

SILVA, E.M.P. (2007). A experiência de colaboração do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFMG com empresas – Lições para a Lei de Inovação. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 6, n. 2, pp .433-459;

SUZIGAN, W. & E. M. ALBUQUERQUE (2008). *A interação entre universidades e empresas em perspectiva histórica no Brasil*. Belo Horizonte: Cedeplar/UFMG (Texto para Discussão, 329);

UNCTAD (2012). *Iron Ore Market 2011-2013*. Geneva: United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD).

WOLFE, R.M. (2010). *U.S. Businesses Report 2008 Worldwide R&D Expense of $330 Billion: Findings from new NSF survey*. Arlington, VA: National Science Foundation;

WORLD STEEL ASSOCIATION (2012). *Sustainable Steel: at the core of the green economy.* Brussels: World Steel Association;

WORLD STEEL DYNAMICS (2011a). *Inside Track # 113*. Englewood Cliffs: World Steel Dynamics;

WORLD STEEL DYNAMICS (2011b). *Truth & Consequences # 62*. Englewood Cliffs: World Steel Dynamics;

WORLD STEEL DYNAMICS (2011c). *Truth & Consequences # 63*. Englewood Cliffs: World Steel Dynamics;

YI, S.H. *et alii* (2011). Operating Experience of the First Commercial Finex Ironmaking Plant. *Steel Times International, v. 35, n. 8, pp. 32-34.*

ANEXO 1: QUESTIONÁRIO

1. Caracterização do respondente

1.1. Assinale seu setor de atuação e/ou especialização.

Setores	
Aeronáutico	
Agroindústria	
Agropecuária	
Alumínio	
Automobilístico	
Biocombustíveis	
Cimento	
Petróleo e Gás	
Petroquímico	
Siderurgia	
Outro: _____	

1.2. Entre os tipos de organização listados abaixo, indique aquele que melhor caracteriza sua inserção profissional.

Organizações	
Empresa atuante no setor indicado	
Empresa fornecedora do setor indicado	
Empresa cliente do setor indicado	
Empresa fabricante de máquinas e equipamentos	
Universidade	
Centro de formação tecnológica	
Instituto de pesquisa	
Empresa de consultoria	
Consultor individual	
Entidade de classe	
Outra: _____	

1.3. Tempo de experiência no setor: ___ anos.

2. Tendo em mente especificamente o setor em que você atua, indique se as seguintes medidas já foram implementadas em âmbito nacional e internacional e o grau de importância que têm ou viriam a ter caso fossem implementadas:

Mudanças Institucionais e regulatórias	Já implementada no **Brasil**?		Já implementada no **exterior**?		Grau de importância			
Grau de Importância	Sim	Não	Sim	Não	Nenhuma	Baixa	Média	Alta
a) pagamento por restrições ambientais de caráter local								
b) pagamento por permissões de emissões de CO_2								
c) pagamento por permissões de emissões de outros GEEs								
d) restrições ao comércio exterior								
e) regulamentação restritiva sobre os processos produtivos								
f) regulamentação restritiva sobre os produtos								
g) mudanças no comportamento do consumidor								
h) *outra*: _____ _____ _____								

3. Considerando as especificidades do seu setor de atuação, aponte a importância de cada uma das linhas de desenvolvimento tecnológico listadas abaixo.

Linhas de desenvolvimento tecnológico	Grau de importância para o setor			
	Nenhuma	Baixa	Média	Alta
a) mudança para fontes de energia renováveis				
b) mudança nas matérias-primas e insumos materiais				
c) tecnologias de processo mais eficientes no uso de energia				
d) tecnologias de processo que reduzem emissões de outros GEEs				
e) ampliação da reciclagem e uso de resíduos				
f) tecnologias de produto mais eficientes no uso de energia				
g) redução do uso / substituição por outros produtos				
h) tecnologias de sequestro e captura de carbono				

4. Em relação a cada uma das tecnologias que se acredita impactarão no setor de uma economia de baixo carbono, pede-se para (i) apontar o estágio atual de desenvolvimento, (ii) indicar o horizonte de

difusão e (iii) opinar sobre o caráter proprietário ou não da tecnologia, isto é, uma tecnologia proprietária é aquela protegida por patentes ou segredos industriais, por exemplo.

Tecnologia	Estágio atual de desenvolvimento				Horizonte de difusão				Tecnologia Proprietária?	
	Conceito	Bancada	Protótipo/ Piloto	Comercial	2015	2020	2030	2050	Sim	Não
Captura e estocagem subterrânea de CO2 (CCS)										
Corex										
Fusão-redutora (Finex, HIsmelt, Hisarna)										
Hidrogênio como redutor										
Produção de ferro por eletrólise do óxido fundido (MOE)										
Produção direta de aço (ou ferro de baixo carbono)										
Resíduos de plásticos como matéria prima de alto-forno										
Rotary Hearth Furnace/RHF, High-Quality Iron Pebble/Hi-QIP										
Tecnored										
Top-gas recycling blast furnace no âmbito do Projeto ULCOS										
Outra: _____										
Outra: _____										
Outra: _____										

5. Dentre as tecnologias listadas abaixo, em quais o Brasil tem condições de participar do desenvolvimento e quais agentes teriam um papel crítico nesse desenvolvimento?

Tecnologia	Boa oportunidade	Instituições críticas para o desenvolvimento da

	para o Brasil?		tecnologia				
	Sim	Não	Empresas	Fornece-dores	Univer-sidades	Centros de Pesquisa	Outros
Captura e estocagem subterrânea de CO2 (CCS)							
Corex							
Fusão-redutora (Finex, HIsmelt, Hisarna)							
Hidrogênio como redutor							
Produção de ferro por eletrólise do óxido fundido (MOE)							
Produção direta de aço (ou ferro de baixo carbono)							
Resíduos de plásticos como matéria prima de alto-forno							
Rotary Hearth Furnace/RHF, High-Quality Iron Pebble/Hi-QIP							
Tecnored							
Top-gas recycling blast furnace no âmbito do Projeto ULCOS							
Outra: _____							
Outra: _____							
Outra: _____							

5.1. Caso considere pertinente, aponte gargalos para a atuação brasileira no desenvolvimento dessas tecnologias.

6. Opine sobre as medidas de políticas públicas que poderiam ser adotadas pelo País para a adaptação ao contexto de uma economia de baixo carbono.

ANEXO 2: ROTEIRO DE ENTREVISTAS

Economia de Baixo Carbono:
Avaliação de Impactos de Restrições e Perspectivas Tecnológicas

O objetivo da pesquisa é identificar o impacto de restrições ambientais e mudanças tecnológicas direcionadas a uma Economia de Baixo Carbono sobre setores econômicos específicos no Brasil. Além disso, pretende verificar quais as principais perspectivas (rotas) tecnológicas no setor que resultariam em uma transição para Economia de Baixo Carbono: maior eficiência energética, emprego de fontes de energia renováveis e redução das emissões. Este projeto é financiado pelo BNDES e coordenado pela Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da USP de Ribeirão Preto.

GARANTIA DE CONFIDENCIALIDADE

Todas as informações recolhidas serão exclusivamente utilizadas de forma agregada, garantindo, desse modo, o anonimato das informações reveladas.

IDENTIFICAÇÃO DO ENTREVISTADO

Nome da empresa:

Nome do entrevistado:

Cargo:

Telefones:

Fax:

E-Mail:

1. **Quais são as <u>questões ambientais</u> mais relevantes atualmente para?**
    a. Siderurgia mundial:
    b. Siderurgia brasileira:

2. **Considerando a rota tecnológica de sua empresa (integrada x semi-integrada), como você avalia a <u>situação da siderurgia brasileira</u> comparativamente às melhores práticas mundiais, em termos de?**
    a. Gestão ambiental:
    b. Desempenho ambiental:
    c. Desempenho energético (consumo específico):

3. **Considerando a rota tecnológica de sua empresa (integrada x semi-integrada), como você avalia a <u>situação da sua companhia</u> comparativamente às melhores práticas brasileiras, em termos de?**
    a. Gestão ambiental:
    b. Desempenho ambiental:
    c. Desempenho energético (consumo específico):

4. **Qual tem sido o impacto do <u>efeito estufa e das mudanças climáticas</u> sobre?**
    a. Siderurgia mundial:
    b. Siderurgia brasileira:

5. **Que impactos são previstos do <u>efeito estufa e das mudanças climáticas</u> para o futuro? Em que horizonte temporal e com qual intensidade?**
    a. Siderurgia mundial:
    b. Siderurgia brasileira:

6. **<u>Restrições à produção e ao comércio exterior</u> associados ao efeito estufa já ocorrem? De que tipo e com qual intensidade?**
    a. Siderurgia mundial:
    b. Siderurgia brasileira:

7. **A empresa antevê novas <u>restrições à produção e ao comércio exterior</u> associados ao efeito estufa no futuro? Em que horizonte temporal e com qual intensidade?**
    a. Siderurgia mundial:
    b. Siderurgia brasileira:

8. **Considerando um cenário de crescente restrição à emissão de gases efeito estufa (GEE) – incluindo, por exemplo, uma taxação específica –, a siderurgia tende a ganhar ou perder mercado para os seus principais sucedâneos:**
    a. Alumínio:
    b. Cimento:

9. **Quais são as oportunidades que podem ser geradas em um cenário mais restrito de emissão de GEE para:**
    a. Siderurgia mundial:
    b. Siderurgia brasileira:

10. **As condições de financiamento para adequação a um cenário mais restritivo de emissão de GEE são adequadas?**
    a. Siderurgia mundial:
    b. Siderurgia brasileira:

11. **Quais são os principais problemas tecnológicos enfrentados atualmente?**
    a. Siderurgia mundial:
    b. Siderurgia brasileira:

12. **Considerando a rota tecnológica de sua empresa (integrada x semi-integrada), como você avalia a situação da siderurgia brasileira comparativamente às melhores práticas mundiais, em termos de?**
    a. Esforço inovativo, em geral:
    b. Pesquisa & desenvolvimento, em particular:
    c. Patentes, em particular:

13. **Considerando a rota tecnológica de sua empresa (integrada x semi-integrada), como você avalia a situação da sua companhia comparativamente às melhores práticas brasileiras, em termos de?**
    a. Esforço inovativo, em geral:
    b. Pesquisa & desenvolvimento, em particular:
    c. Patentes, em particular:

14. **Assumindo maior pressão para redução de emissão de GEE nos próximos cinco anos, de que forma e em que intensidade o esforço inovativo será afetado?**
    a. Siderurgia mundial:
    b. Siderurgia brasileira:

15. **Num cenário mais restritivo de emissão de GEE, quais são as <u>tecnologias mais promissoras</u> no âmbito da siderurgia mundial? Qual é o horizonte previsível para sua difusão?**
    a. Inovações radicais:
    b. Inovações incrementais:

16. **No que tange a <u>cada uma das inovações radicais</u> mencionadas na seção anterior, discuta:**
    a. Qual é o horizonte previsível para sua difusão?
    b. Quais são os principais gargalos enfrentados?
    c. Se elas são tecnologias de caráter proprietário?
    d. Quais são os agentes mais diretamente envolvidos (as universidades e institutos de pesquisa, os fornecedores de equipamentos, os produtores de insumos, as próprias siderúrgicas):

17. **Quais são as repercussões das inovações tecnológicas citadas nas duas questões anteriores sobre a <u>posição competitiva</u>?**
    a. Siderurgia mundial (principais *players* atuais):
    b. Siderurgia brasileira:
    c. Sua empresa:

18. **Considerando os <u>riscos para a siderurgia brasileira</u> dos impactos das inovações tecnológicas, discuta:**
    a. Se os agentes localizados no Brasil podem atuar de maneira ativa no desenvolvimento dessas tecnologias? Quais agentes?
    b. Quais são os benefícios que as empresas brasileiras obteriam se participassem desse processo?
    c. Se as atuais competências tecnológicas localizadas no Brasil são suficientes para que o país se engaje nesse processo?
    d. Quais são os principais gargalos para este engajamento?

19. **No processo de adaptação às mudanças climáticas, quais devem ser <u>as medidas tomadas pelo país</u> em termos de?**
    a. Meio ambiente:
    b. Ciência, tecnologia e inovação:
    c. Comércio exterior:
    d. Outras: