

THEREA CAMILA HOJO

Indústria Siderúrgica – Histórico, tendências e desafios

São Paulo

2009

THEREA CAMILA HOJO

Indústria Siderúrgica – Histórico, tendências e desafios

Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de Graduado
em Engenharia.

Área de concentração: Engenharia de
Materiais

Orientador: Professor Dr. César Roberto
Farias Azevedo

São Paulo
2009

THEREA CAMILA HOJO

Indústria Siderúrgica – Histórico, tendências e desafios

Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de Graduado
em Engenharia.

Área de concentração: Engenharia de
Materiais

Orientador: Professor Dr. César Roberto
Farias Azevedo

São Paulo
2009

Agradecimentos

Aos meus pais, que me proporcionaram todas as condições possíveis para ingressar no caminho da busca do conhecimento.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, dando forças para continuar neste caminho.

A todos os mestres que passaram pela minha vida e auxiliaram o longo caminho.

Resumo

O Brasil é hoje o 9º maior produtor de aço no mundo, sendo um dos produtores com maior potencial de aprimoramento e otimização da produção. Neste sentido, o presente trabalho busca identificar as principais tendências de mercado da indústria siderúrgica brasileira. Para isso, inicia-se com um breve histórico da siderurgia no mundo, identificando os principais avanços tecnológicos e ganhos de produtividade. Em seguida, apresenta um panorama atual da siderurgia situando o Brasil e justificando seu desenvolvimento histórico. Então, tenta-se através deste enquadramento lógico, identificar os principais pontos que farão da siderurgia brasileira diferenciada no mercado global.

Abstract

Brazil is currently the 9th largest steel producer in the world and one of the producers with greater potential of improvement and optimization of its production. That is why this paper tries to identify the main market trends in the steel industry in Brazil. To do so it begins with a brief history of the steel in the world, identifying key technological advances and productivity gains. Then it presents an overview of the current steel placement for Brazil and justify its historical development. So, by this way it identifies the key points that will make the Brazilian steel differentiated in the global market.

Sumário

Agradecimentos.....	2
Resumo.....	3
Abstract.....	4
Lista de Figuras.....	7
Lista de Tabelas.....	9
Lista de Siglas e Abreviações.....	10
1. Objetivos.....	11
2. Histórico.....	11
2.1 Antiguidade.....	13
2.2 Primeiras técnicas.....	13
2.3 Alto-forno.....	19
2.4 Processo Bessemer e Siemens-Martin.....	25
2.5 Conversor LD.....	28
2.6 Conversor AOD.....	29
3. Panorama atual.....	34
4. Os desafios do aço - Competição com outros materiais.....	37
5. Estudo de Caso – Indústria Siderúrgica no Brasil.....	40
5.1 Histórico Brasileiro.....	40
5.1.1 Brasil colônia.....	40
5.1.2 A criação das escolas (1890 A 1930).....	42
5.1.3 A partir de 1930 – A criação da CSN e Acesita.....	43
5.1.4 Pós guerra à década de 1980 – A criação da Cosipa e da Usiminas.....	45
5.1.5 Os anos 80.....	47
5.1.6 Os anos 90 e as privatizações.....	48
5.2 Introdução ao cenário atual.....	51
5.3 Desafio tecnológico.....	54

5.3.1	Carvão Vegetal	54
5.3.2	Mini alto-forno.....	58
5.3.3	TecnoRed™.....	61
5.4	Desafio de infra-estrutura.....	66
5.4.1	Logística.....	66
5.4.2	Investimentos e carga tributária.....	67
5.5	Desafio ambiental.....	67
5.5.1	Energia Elétrica.....	68
5.5.2	Geração de resíduos e co-produtos.....	68
5.5.3	Emissão de gases de efeito estufa (GEE).....	69
5.5.4	Legislação.....	70
5.5.5	Utilização de Recursos hídricos.....	71
6.	Tendências mundiais.....	71
6.6	Japão.....	71
6.7	China.....	73
7.	Considerações Finais	75
8.	Referências Bibliográficas.....	77

Lista de Figuras

Figura 2-1: Antigo método de fabricação de ferro na China antiga. Da direita para a esquerda, pode-se observar a fusão do ferro num forno com folos manuais, sendo retirado metal líquido ao centro da figura e à direita o resfriamento do metal e a retirada de escória [6].	14
Figura 2-2. Representação esquemática de um forno de lupa [12].	15
Figura 2-3. Representação esquemática de uma forja catalã [13].	17
Figura 2-4: Desenho da época ilustrando um Stückerfen [8].	18
Figura 2-5: Corte lateral de um Stückerfen. A camada interna do forno era feito de material refratário, a intermediária era preenchida com terra, e a externa era uma caixa de madeira [8].	19
Figura 2-6: Esquemas de alto-fornos modernos [21].	22
Figura 2-7: Alto forno de Corngraves, instalado em 1861 [8].	23
Figura 2-8: Reprodução esquemática de um Alto-forno atual. 1) minério de ferro, 2) Sinter e pellets de ferro, 3) CaCO_3 , 4) Válvula-Sino, 5 e 6) Camadas alternadas de coque e minério de ferro, 7) Ventaneiras, 8) Escória, 9) Ferro Gusa, 10) Panela, 11) Carro torpedão, 12) Filtro de mangas, 13) Trocadores de calor, 14) Saída de gases limpos, 15) Captadores de ar, 16) Carvão mineral, 17) Coqueria, 18) Coque, 19) Gases de saída.	24
Figura 2-9: Comparativo de produção de aço no início do séc. XIX e em meados do mesmo. Nota-se com a revolução industrial um aumento substancial na produção de aço na Inglaterra e nos EUA [22].	25
Figura 2-10: Descrição do processo Bessemer. A) Conversor na posição vertical; B) Conversor sendo carregado; C) Conversor em operação; D) Conversor descarregando; E e F), cadinho carregado com aço e ferro fundido, respectivamente; G e H) Projeto das lanças de oxigênio [23].	26
Figura 2-11. Forno Siemens-Martin.	28
Figura 2-12. Conversor LD e seu funcionamento (esq.), e um exemplar presente na Universidade de Cambridge (dir.) [26].	29
Figura 2-13: Diagrama de Ellingham para alguns óxidos. A energia livre de Gibbs de formação ($\Delta_f G^\circ$) para óxido de cromo é menor que a de oxidação do carbono a CO [31].	31

Figura 2-14: Esquema de um conversor AOD [34]	31
Figura 2-15: Eficiência de Remoção de Carbono (ERC) num conversor AOD [34]	33
Figura 3-1. Mapa da produção mundial de aço [38]	34
Figura 3-2.Distribuição da produção mundial de aço em 2007, evidenciando a tomada de produção do mercado pela China [39]	35
Figura 3-3. Distribuição de consumo de aço mundial em 2007 [39]	36
Figura 3-4. Distribuição setorial do consumo de aço no Brasil em 2008. [3]	37
Figura 4-1. Relação entre densidade e módulo de Young de alguns materiais. [2]	38
Figura 4-2. Relação preço (Libras Esterlinas/kg) e módulo de Young [2]	39
Figura 5-1. Produção de ferro gusa em toneladas [44]	44
Figura 5-2. Produção mundial de aço [39]	46
Figura 5-3. Produção de aço bruto no Brasil [3]	51
Figura 5-4. Destino das exportações de produtos siderúrgicos 2008. [3]	51
Figura 5-5: Produção de aço por continente. América do sul responsável por 4% da produção mundial [39]	52
Figura 5-6: Produção na América do Sul, sendo o Brasil responsável por 71% do total [39]	54
Figura 5-7. Fluxograma da produção de carvão vegetal [45]	55
Figura 5-8. Distribuição de custos da produção de carvão vegetal [45]	57
Figura 5-9: Imagem de mini alto-forno instalado na Coreia do Sul, controlado pela Samsung [48]	60
Figura 5-10: Comparativo em escala de alto-forno convencional contra forno TecnoRed™ [51]	62
Figura 5-11: Forno TecnoRed instalado na Aços Villares [52]	62
Figura 5-12: Gráfico do consumo de combustível pelo tipo de combustível utilizado nos testes da planta-piloto [51]	64
Figura 5-13: "Sequestro" de CO ₂ , causado pela técnica do uso de biomassa como combustível e redutor do processo TecnoRed™ [51]	66
Figura 6-1: Investimento fixo na indústria siderúrgica chinesa (1986-2008) [56]	73

Lista de Tabelas

Tabela 2-1. Quadro comparativo entre as ligas de aço inoxidável e ligas de alumínio. [2] 12

Tabela 5-1: Privatização da siderurgia brasileira [42] 50

Tabela 5-2: Tabela com os maiores produtores de aço do mundo. O Brasil, evidenciado, está em 9º colocado [39] 53

Tabela 5-3: Combustíveis utilizados na planta-piloto da tecnologia TecnoRed™ [61] 63

Tabela 5-4: Combustíveis aprovados no processo TecnoRed™ [51] 64

Lista de Siglas e Abreviaturas

LD: Linz-Donowitz	AOD: <i>Argon-Oxygen Descarburization</i>	PCO: Pressão parcial de monóxido de carbono	ERC: Eficiência de Remoção de Carbono	GRE: <i>Carbon Remotion Efficiency</i>	VOD - <i>Vacuum Oxygen Decarburization</i>	CSN: Companhia Siderúrgica Nacional	BNDES: Banco Nacional de Desenvolvimento	CVRD: Companhia Vale do Rio Doce	IBS: Instituto Brasileiro de Siderurgia	Consider: Conselho Consultivo da Indústria Siderúrgica	FINAME: Agência Especial de Financiamento Industrial	CST: Companhia Siderúrgica de Tubarão	ADR: American Depositary Receipts	PCI: Poder Calorífico Inferior	DPI: <i>Dry Pirolysis Carbonization</i>	MAF: Mini Alto-Forno	DRI: <i>Direct Reduced Iron</i>	ICMS: Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços	GEE: Gases de efeito estufa	CNRH: Conselho Nacional de Recursos Hídricos
-------------------	---	---	---------------------------------------	--	--	-------------------------------------	--	----------------------------------	---	--	--	---------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	---	----------------------	---------------------------------	--	-----------------------------	--

1. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo identificar as principais tendências e desafios da indústria siderúrgica brasileira. Para tanto se utiliza um breve histórico da siderurgia no mundo e no Brasil, apresentando em seguida um panorama atual da siderurgia no mundo.

Tenta-se através deste encaadeamento lógico, identificar, no mundo contemporâneo, o impacto de diversos fatores na escolha do aço como material. Também, através de alguns estudos de casos, o trabalho exemplifica o impacto de alguns fatores tecnológicos, ambientais, políticos, econômicos e até mesmo de propriedades intrínsecas do aço.

Espera-se assim trazer à engenharia siderúrgica a identificação do cenário em que está inserida bem como uma perspectiva dos próximos anos.

2. Histórico

Definem-se aço as ligas de ferro e carbono contendo menos de 2% de carbono, que podem ainda conter outros elementos de liga ⁽¹⁾. Comparativamente, o aço apresenta propriedades térmicas, mecânicas e gerais mais desejáveis, como é possível observar na tabela 2-1. Suas propriedades dependem essencialmente da composição química, ou seja, da adição de elementos de liga e do teor de impurezas; e de sua microestrutura, ou seja, da forma como os átomos estão arranjados.

Tabela 2-1: Quadro comparativo entre as ligas de aço inoxidável e ligas de alumínio.^[2]

Ligas de Alumínio	Aço Inoxidável		Ligas de Alumínio		Unidade
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
Propriedades gerais	Densidade	7.600	8.100	2.500	kg.m ⁻³
	Preço médio	14,9	16,4	2,12	BRL.kg ⁻¹
	Propriedades mecânicas				
Propriedades mecânicas	Módulo de Young	189	210	72	GPa
	Módulo de Cisalhamento	74	84	25	GPa
	Limite de escoamento	170	1000	50	MPa
	Dureza Vickers	130	570	60	HV
	Propriedades térmicas				
Propriedades térmicas	Ponto de fusão	1370	1450	475	°C
	Condutividade térmica	12	24	80	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
	Propriedades Elétricas				
Resistividade	64	107	2,5	8	µΩ.cm

Imaginar o mundo contemporâneo sem o aço é hoje um exercício muito árduo, não só devido às grandes quantidades utilizadas, mas também devido à ampla gama de utilização desta liga. Desde os usos mais corriqueiros como painéis e talheres, aos mais sofisticados, como próteses e ferramentas de precisão, o aço é hoje indispensável no cotidiano. Tãmanha é a importância deste material, que o domínio das técnicas de seu processamento representa ponto fundamental no desenvolvimento tecnológico da sociedade contemporânea.

Porém, somente no século XII a sociedade ocidental conseguiu gerar fornos com altas temperaturas, capazes de fundir completamente o ferro. Assim, surgiu a fundição que, somando-se às técnicas de forjar já conhecidas, difundiu o uso do ferro. Como grande parte dos adventos tecnológicos da humanidade, a fundição do ferro logo foi usada para a fabricação de armas de fogo e balas de canhão, sendo posteriormente utilizada para criar adornos detalhados que ostentavam portões e residências de nobres. Porém, o uso do ferro já se dava há mais de mil anos antes^[3].

Não se pode dizer ao certo quando o homem percebeu que o ferro era um material útil, mas historiadores definem a utilização deste material como uma

última fase da pré-história, posterior à Idade do Bronze^[4]. Na Idade do Bronze, o homem começou sua jornada na conformação dos metais a seu favor, permitindo fabricar utensílios e armas com mais precisão e que fossem mais duráveis, já que esta liga (o bronze) é mais resistente que o cobre, porém com maior facilidade de conformação^[5].

2.1 Antiguidade

Acredita-se que as primeiras observações de conhecimento da existência do ferro ocorreram há cerca de 4.500 anos, quando tribos nômades da Ásia Menor perceberam a possibilidade de utilizar meteoritos recolhidos no deserto. Por isso, a princípio o ferro era considerado enviado dos céus, vindo dos deuses, sendo utilizado como adorno. A diferença do ferro vindo de meteoritos e os recolhidos e produzidos até por volta de 1700 d.C, era a presença de níquel, metal que junto ao ferro dá melhores propriedades mecânicas e químicas ao material^[7].

Posteriormente se percebeu a possibilidade de se modificar as pedras de ferro, ao observar que após o aquecimento em fogueiras elas se tornavam bolas brilhantes. Ou seja, o que se observava era a redução dos óxidos de ferro presentes nos meteoritos com o carbono presente na madeira e nos gases da queima da mesma, segundo a reação global não estequiométrica $Fe_2O_3 + C \rightarrow Fe + CO_2$, obtendo assim um ferro com baixo teor de carbono na superfície da pedra^[8].

Neste momento, o uso do ferro no ocidente é puramente acidental, e só se pode considerar o uso consciente a partir do momento em que se descobriu como extrair o metal do minério. Mas isso só se deu em torno de 1.500 a.C. no Oriente Médio, e só em 1.200 a.C. pode-se considerar o início da Idade do Ferro. Na Palestina segundo STRASSBURGER^[7], foram encontrados vários fornos para fundir ferro, datados de 1.300 a.C.

2.2 Primeiras técnicas

É importante ressaltar que a história da siderurgia na China é bem anterior ao seu desenvolvimento na Europa (figura 2-1). Já no século V a.C. era possível observar o uso de ferro fundido na China, sendo que o mais antigo

alto-forno de que se tem vestígios foi construído durante a dinastia Han no século I a.C.^[9]

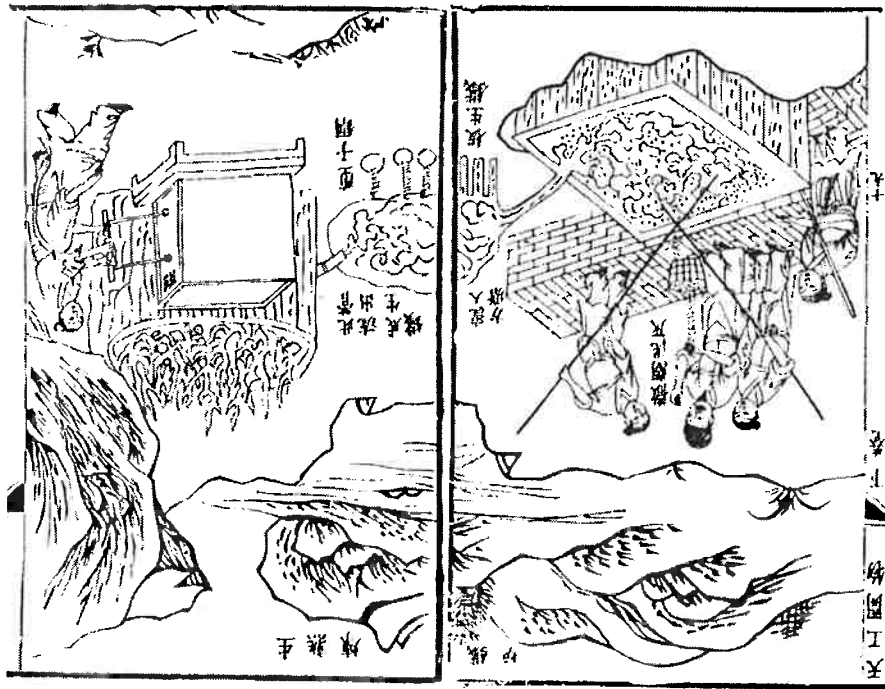


Figura 2-1: Antigo método de fabricação de ferro na China antiga. Da direita para a esquerda, pode-se observar a fusão do ferro num forno com foles manuais, sendo retirado metal líquido ao centro da figura e à direita o resfriamento do metal e a retirada de escória.^[6]

Estes fornos tinham as paredes de argila e utilizavam minerais com fósforo como fluxo, e o ar injetado dentro deles era feito manualmente. Posteriormente, estes fornos tiveram sua efetividade aumentada pelo uso de rodas d'água e pistões^[10]. Acredita-se que o surgimento de altos fornos na China tenha sido resultado do aprimoramento de fornos utilizados para fundir bronze na idade do Bronze chinesa (2000 a.C.)^[3].

Outro importante marco na siderurgia chinesa se deu já no século XI d.C., na dinastia Song, quando houve a primeira mudança de fonte energética, passando a alimentar os fornos de carvão vegetal para betuminoso^[11].

Já no ocidente, as primeiras técnicas de extração do ferro a partir de seus minérios se utilizavam de fornos bastante rudimentares, os chamados fornos de lupa^[12]. Não chegavam a atingir temperatura suficiente para fusão do metal, mas já eram suficientes para fundir e separar algumas impurezas contidas no minério e como não se conseguia temperatura suficiente para obter ferro líquido, a única forma de conformação era a forja, realizada na bigorna. Nesta época, estima-se que para obter um quilo de ferro em barras eram necessários até dois quilos e meio de minério pulverizado e quatro quilos de carvão vegetal^[13].

Como se observa na figura 2-2, o princípio do forno de lupa é simples, o monóxido de carbono resultante da combustão do carvão vegetal reduz o óxido de ferro na temperatura do forno. Mas como a temperatura não é muito elevada, a redução não é completa. Neste tipo de forno usa-se uma ventaneira simples para entrada de ar e a retirada de escória é realizada mecanicamente através de batidas na "massa" de aço. Ou seja, dada a menor temperatura para fundir o metal e a escória, a escória se fundia com maior facilidade, e ao retirar o produto ainda pastoso, basta-se martelar para fazer a separação^[12].

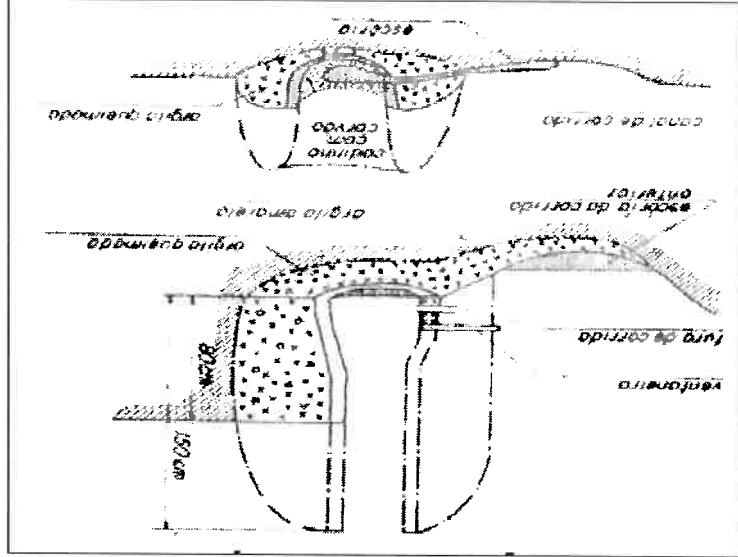


Figura 2-2. Representação esquemática de um forno de lupa.^[12]

Os primeiro utensílios de ferro eram forjados em bigorna e relativamente simples. Porém, aos poucos novas técnicas foram sendo implementadas, como a adição de calcário como o primeiro fluxante. Para cada "corrida" do forno de lupa, eram produzidos de 25 a 30 kg de ferro ^[12], e levava aproximadamente 6 horas ^[4,7].

Posterior ao forno de lupa surgiu a forja cataia, e este pode ser considerado o início dos altos-fornos utilizados atualmente ^[7,13]. Como o nome sugere, este forno surgiu na Espanha, após a queda do Império Romano e foi usada durante toda a idade média, até o aparecimento dos alto-fornos. Trata-se de uma lareira de pedra (de aproximadamente dois metros) na qual foies manuais introduziam o ar no forno, aumentando a temperatura (por aumentar a combustão) e, portanto, a quantidade de ferro produzido ^[13].

Com essa observação percebeu-se que a introdução de ar era fundamental na produção de ferro, colocando-se foies mecânicos acionados por servos ou cavalos, e posteriormente acionados por rodas d'água. E dessa maneira foi possível se obter, pela primeira vez, ferro líquido. Na figura 2-3 pode-se observar a representação esquemática de uma forja cataia com roda d'água. Para uma corrida, cujo calor durava 5 horas, a produção de ferro subia então para 180 kg, mostrando ser muito mais eficiente que o forno de lupa ^[4,7].

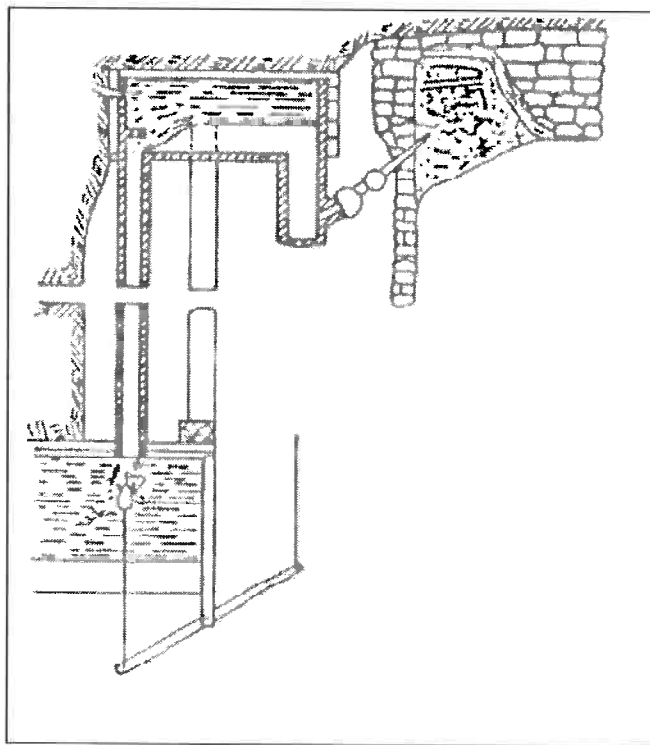


Figura 2-3. Representação esquemática de uma forja catalã ^[4].

A partir da forja catalã (figura 2-3), algumas melhorias foram feitas na mesma na região da Áustria e Alemanha, dando origem ao Stückerfen, ou “forno lobo”. Este agora tinha por volta de 3 metros de altura, e conseguia produzir até 360 kg de ferro por corrida, porém, os toles manuais não davam conta de introduzir ar dentro do sistema, sendo então necessário o desenvolvimento de toles movidos por rodas d’água ^[4].

Outro problema encontrado ao utilizar o Stückerfen: a quantidade de matéria prima necessária. Da mesma maneira que é utilizada até hoje, os minérios e o carvão precisavam ser reduzidos a um tamanho de partícula ideal, e com a necessidade de mais matéria prima, essa redução no tamanho precisava ser feita mecanicamente. A solução, da mesma maneira do sopro de ar, foi a utilização de moinhos d’água e moinhos movidos pela ação do vento ^[4]. Com essas melhorias, a carga ficava exposta por mais tempo a altas temperaturas. O resultado que foi observado foi a completa fusão do ferro.

Como o ferro contendo 3 a 4% de carbono funde-se a aproximadamente 1130°C, que pode ser considerada uma temperatura relativamente baixa para o processo, era possível tal obtenção [4,7,8]. Muitos dos fornos produzidos após o Stückofen produziam tanto metal líquido quanto na forma sólida, ou ferro-esponja [4,7,8].

Um desenho do Stückofen pode ser visto na figura 2-4, retirado de [8], onde as diversas ferramentas utilizadas para a operação do forno são vistas no chão ao lado do forno, porém, sem descrição das mesmas. O detalhe que pode ser notado é a operação manual do mesmo, jogando material pela parte superior do forno e o canal de corrida de metal líquido, mais explicitado na figura 2-5 como a abertura na lateral esquerda do desenho.

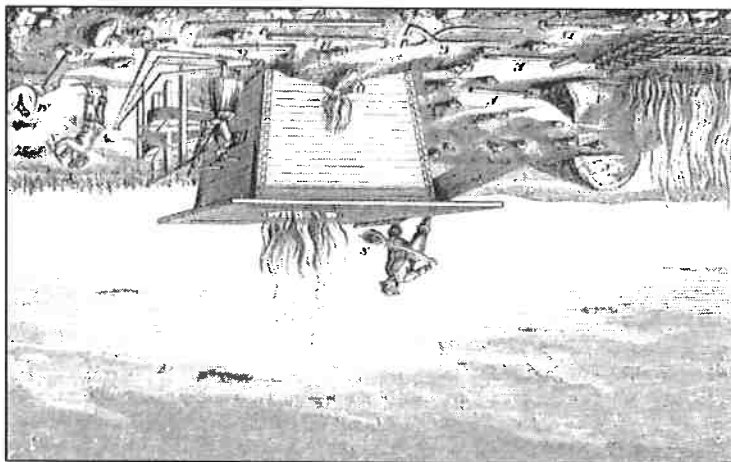


Figura 2-4: Desenho da época ilustrando um Stückofen [8].

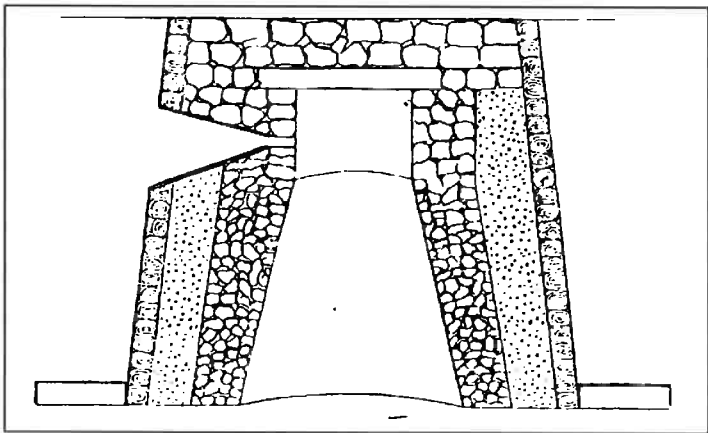


Figura 2-5: Corte lateral de um Stückerfen. A camada interna do forno era feito de material refratário, a intermediária era preenchida com terra, e a externa era uma caixa de madeira^[6].

A obtenção do ferro líquido foi um marco no desenvolvimento da siderurgia, já que agora era possível fundição de elementos mais detalhados e elaborados, como armas de fogo, sinos de igreja, portões e placas de lareira.

2.3 Alto-forno

A partir do século XV (ao redor de 1444)^[4,8,14], apareceram no ocidente os primeiros alto-fornos, processo pelo qual é obtido ferro até hoje. Porém, os alto-fornos deste período ainda não são iguais àqueles que são utilizados atualmente. Neste período, o processo ainda era abastecido com carvão vegetal^[4,7,8] e a alimentação de ar no sistema ainda não havia tanta pressão quanto nas langas existentes a partir do século XVIII.

Segundo LANDGRAF et al.^[13], nesta época (particularmente no século XVIII), as principais limitações da siderurgia inglesa eram: 1) O alto consumo de carvão vegetal (que chegou a devassar quase todas as florestas do norte da Europa) e 2) O refino do gusa, que era pouco produtivo. Para estas questões apresentaram-se as seguintes soluções:

1) O grande avanço que possibilitou sua superação foi a introdução do processo de coqueificação do carvão mineral. A queima do carvão mineral libera maior energia do que o vegetal, mas libera também enxofre,

fragilizando o gusa produzido. Assim, eliminando os voláteis e o enxofre presentes no carvão mineral é possível utilizá-lo em um alto forno, resultando em maior eficiência energética e, portanto, maior eficiência produtiva.

Os alto-fornos movidos a coque tiveram início por volta de 1710, na Inglaterra, onde o preço de produção de ferro gusa a partir do coque na época era mais barato que o ferro gusa produzido a partir de carvão vegetal. Com isso, um ferro com melhor qualidade e menor preço estava sendo produzido, o que era um passo essencial para a revolução industrial^[15,16,17].

2) A solução só se dá com o desenvolvimento de um forno revêrbero, cujo aquecimento não se dá por chama direta, mas por reverberação na abóbada do forno. Assim, era possível fundir o gusa e a introdução de minério e carepa inicia a descarburagem. Então se introduz uma barra de aço no gusa líquido, e essa barra então passa a ter diâmetro cada vez maior, já que o gusa descarburado se junta à ela. Para se remover a escória formada basta forjar a barra de aço, retirando-a mecanicamente, esse processo é conhecido como pudlagem e seu produto, ferro pudlado ou ferro lupa^[13].

Segundo GLOVER^[18], a partir da entrada de alto-fornos movidos a coque, a produtividade e o número de alto-fornos no interior da Inglaterra, subiu substancialmente. Antes da presença de alto-fornos a coque, existiam 4 alto-fornos, e a produção anual era de 800 toneladas. Em 1788, somente um alto-forno movido a carvão vegetal tinha restado, e sete outros movidos a coque foram construídos na região do condado de Derby, e a produção cresceu para 4.500 toneladas. Apenas 8 anos depois, mais três alto-fornos foram construídos, e a produção para 7.650 toneladas. Em 1827, existiam neste condado um total de 15 alto-fornos movidos a coque, e sua produção anual era de 20.800 toneladas.

Também segundo BURKE^[19], a França teve este crescimento na produção de ferro gusa e ferro fundido a partir de alto-fornos, feitos para operar em coque ou antracito. Segundo a mesma fonte^[16], em 1828 existiam 14

fornos operando, e tinham em construção mais outros 12, para gerar competitividade do produto produzido na França e suprir a demanda de ferro francesa em vista a revolução industrial.

Com tais evoluções, as temperaturas obtidas eram ainda maiores, a quantidade de carbono no produto final também era maior, tornando o ferro mais duro e também resistente. Com os novos aditivos, o produto se tornava altamente vantajoso para a indústria bélica, substituindo os antigos canhões de bronze pelos de ferro, menos dispendiosos. Como pode ser observado na figura 2-9, do século XV ao século XIX, a produtividade dos alto-fornos duplicou, passando para três toneladas de ferro diárias [13].

Uma vez que o processo mostrou-se eficaz, a busca por uma maior produtividade foi iniciada. Mas novamente entrou-se numa época onde o principal gargalo era a escassez de matéria prima. Não se podiam construir alto-fornos muito grandes, pois o fornecimento de matéria prima não era tão abundante, uma vez que o processo de extração de minério ainda era rudimentar [13].

Sendo assim, por volta de 1850, para o aproveitamento dos gases de saída do alto-forno (que eram despejados na atmosfera), fornos de reforma de gás começaram a ser construídos ao lado dos alto-fornos. Os gases de saída do alto-forno possuíam monóxido de carbono (CO), este um combustível. Para o aumento da produtividade, a injeção de ar aquecido facilitava a queima e as reações, portanto, o gás de saída era coletado e enviado para um forno de reforma e era queimado. A queima deste gás gerava calor para o aquecimento dos gases injetados pelas lanças no sistema – estas que agora injetavam o ar aquecido por máquinas movidas a vapor [17,8].

Um esquema de um alto-forno moderno pode ser visto na figura 2-6, em contraste com um alto-forno por volta de 1860, mostrado na figura 2-7. Como se pode notar, a evolução do formato do forno e dos equipamentos utilizados, juntamente com o avanço das técnicas de extração de minérios de ferro e carvão contribuíram para o aumento expressivo de produtividade. Para uma comparação, de acordo com FITCH [20], a produtividade de alto-fornos datados da mesma época do da figura 2-7 (que já possuíam fornos de reforma de gás e

injeção por máquinas movidas a vapor), era de aproximadamente 300 tons de ferro gusa por semana. Hoje, um alto-forno pequeno gera 1.900 toneladas por dia, e os maiores chegam a produzir 6.000 toneladas [21]. Na figura 2-8, o esquema de uma planta completa de produção de ferro-gusa é mostrado,

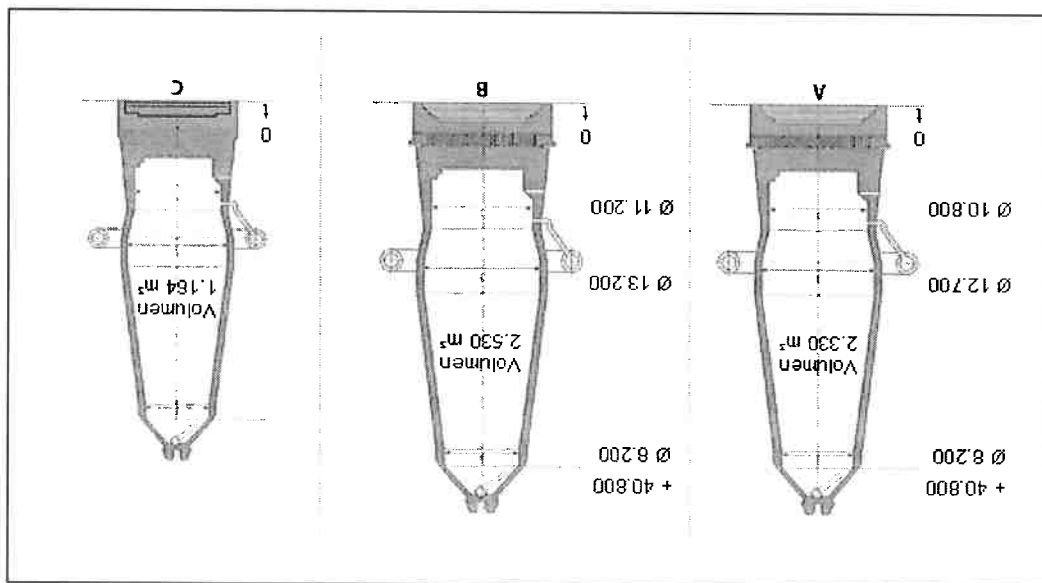


Figura 2-6: Esquemas de alto-fornos modernos [21].

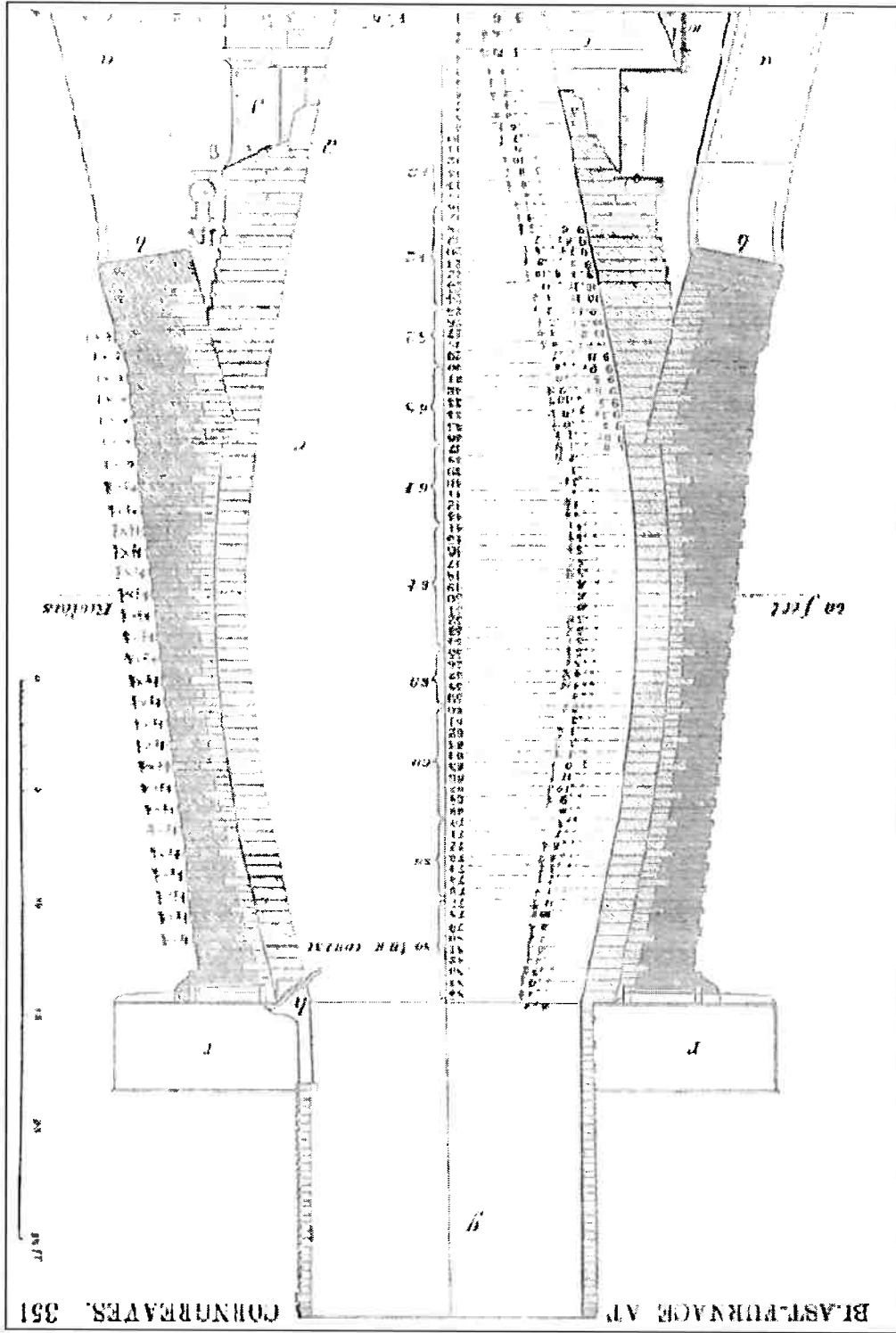


Figura 2-7: Alto forno de Corngraves, instalado em 1861. [9]

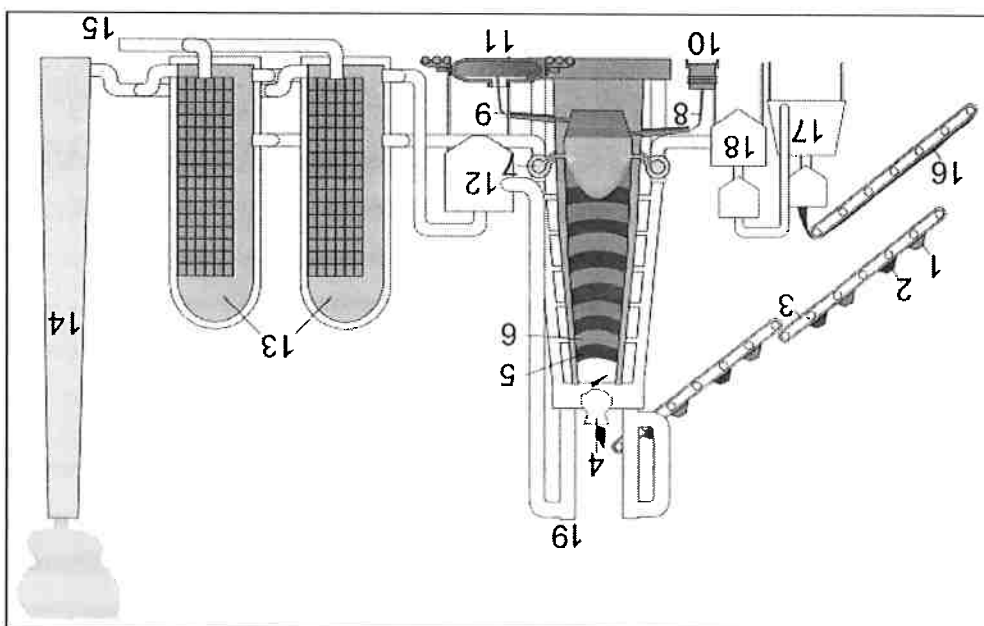


Figura 2-8: Reprodução esquemática de um Alto-forno atual. 1) minério de ferro, 2) Sinter e pellets de ferro, 3) CaCO_3 , 4) Válvula-Sino, 5 e 6) Camadas alternadas de coque e minério de ferro, 7) Ventaneiras, 8) Escória, 9) Ferro Gusa, 10) Panela, 11) Carro torpedeiro, 12) Filtro de mangas, 13) Trocadores de calor, 14) Saída de gases limpos, 15) Captadores de ar, 16) Carvão mineral, 17) Coqueria, 18) Coque, 19) Gases de saída.

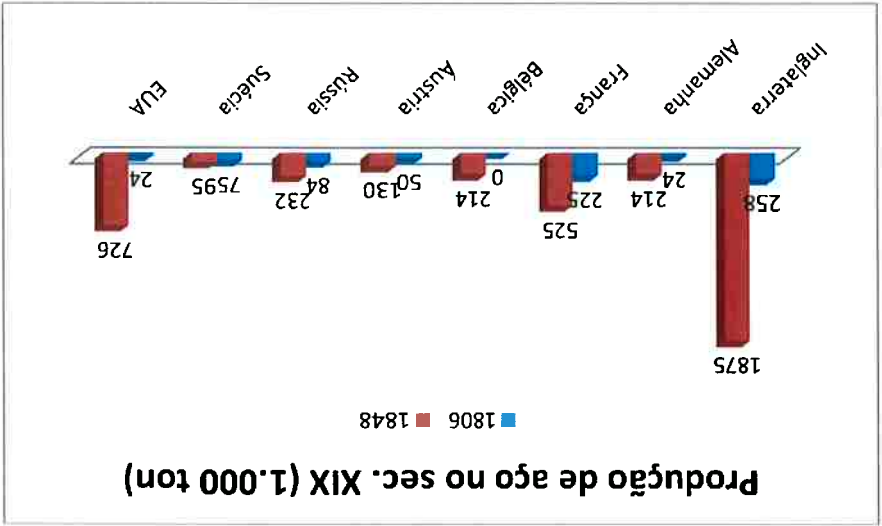
Além de todas as características do ferro, somava-se agora a alta produtividade, capaz de fornecer material para construção de ferrovias, máquinas a vapor, vigas de construção, etc. A partir do final do século XVIII, passam a se desenvolver novos métodos para acabamento de produtos de aço como tornos mecânicos e laminadores. Para se ilustrar a quantidade de ferro produzida na época, tem-se a figura 2-9.

O processo de produção de aço era até então feito em fornos revêberos, que foi explicado acima. Porém, era muito custoso para se produzir grandes peças de aço desta maneira. Henry Bessemer, que trabalhava no refino de barras de ferro por este processo, percebeu um dia que alguns grandes lingotes de ferro que ficavam com as pontas para fora do forno, também se convertiam parcialmente em aço apenas com a atmosfera aquecida do forno [23].

2.4 Processo Bessemer e Siemens-Martin

Como mencionado anteriormente, no século XIX o alto forno já possuía cerca de 15 metros de altura (em 1850) e o ar já era introduzido pré-aquecido através de pistões a vapor. Com o crescente aumento da demanda, a puddagem (também mencionada anteriormente) não gera produto suficiente, e o refino volta a ser o gargalo da produção. Este problema só foi resolvido na segunda metade do século com os processos Bessemer e Siemens-Martin de produção de aço líquido [13].

Figura 2-9: Comparativo de produção de aço no início do séc. XIX e em meados do mesmo. Nota-se com a revolução industrial um aumento substancial na produção de aço na Inglaterra e nos EUA [22].



A partir disso, Bessemer desenvolveu o conversor Bessemer, e o processo de produção de aço líquido. O processo Bessemer envolve a oxidação das impurezas do ferro pelo oxigênio presente no ar soprado através do ferro fundido. Um conversor Bessemer é constituído de uma carga de aço, com revestimento de sílica e dolomita, e formato oval. No topo existe uma entrada de ferro, enquanto na base, existem diversas entradas de ar, seu sistema pivotante permite que o conversor seja virado de modo a facilitar a carga e vazamento, e depois soprado o ar de baixo para cima. Na figura 2-10 o processo todo é ilustrado [23].

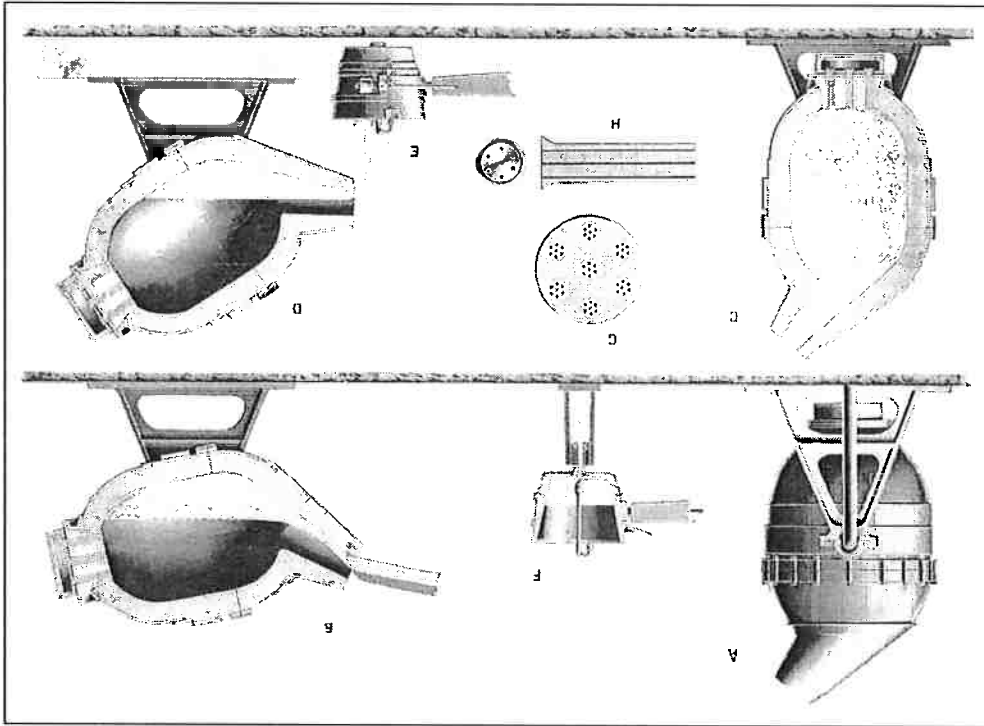


Figura 2-10: Descrição do processo Bessemer. A) Conversor na posição vertical; B) Conversor sendo carregado; C) Conversor em operação; D) Conversor descarregando; E e F), cadinho carregado com aço e ferro fundido, respectivamente; G e H) Projeto das lanças de oxigênio [23].

Quando o ar passa através da massa fundida, as impurezas, como silício, manganês e carbono oxidam em contato com o oxigênio, fazendo com que

sejam gerados monóxido de carbono (que será queimado, alimentando o calor) e óxidos de impurezas (que serão eliminados na escória) [24].

No oriente existem notícias de processos semelhantes desde 200 d.C. na China. Sua capacidade varia de 8 a 30 toneladas de ferro fundido e o processo dura aproximadamente de 15 a 20 minutos [23].

Na mesma época, Carl Siemens havia desenvolvido um forno regenerativo, no qual o consumo de combustível era bem reduzido. O calor gerado pela queima de combustível aquecia a atmosfera do forno, e essa atmosfera aquecida era direcionada para um compartimento com tijolos refratários. Estes tijolos então eram aquecidos, e o gás era liberado para a entrada de mais ar. Este novo ar era aquecido pelos refratários, e direcionados para os fornos. Assim, as temperaturas atingidas pelo forno eram extremamente altas, o suficiente para a fusão do aço [24].

Porém, foi em 1865 que o engenheiro Pierre-Emile Martin utilizou o forno para a produção de aço. Tais fornos eram bons para a produção de aços básicos rapidamente. O processo Siemens Martin carrega o forno com ferro-gusa, calcário e minério de ferro. Então, aquece-se a 871 °C e o calcário e o minério de ferro formam uma escória que contém óxidos de impurezas e, por ser menos densa, flutua na superfície. Sua capacidade varia entre 50 e 100 toneladas, chegando a atingir, em alguns processos especiais, 250 ou até mesmo 500 toneladas. O processo Siemens-Martin complementa o processo Bessemer, sendo mais devagar e portanto, de controle mais fácil [25]. Na figura 2-11 pode-se observar um esquema e uma foto de um forno Siemens-Martin.

Além disso, ainda no final do processo, quando o aço está sendo vertido na panela, adicionam-se elementos de liga para acertar a composição do aço,

Já em um conversor LD o sopro é de oxigênio puro e sua carga é formada por ferro gusa líquido, sucata de ferro, minério de ferro e fundentes. O sopro se dá por uma lança refrigerada com água, injetando o oxigênio a uma pressão de 4 a 12 bar. O processo é termodinamicamente mais favorável, já que a própria oxidação do carbono e das impurezas do ferro libera grande quantidade de calor. A adição de calcário e dolomita dá caráter básico ao fluxo, ajudando a remover o fósforo e resolvendo o problema antes tido com o conversor Bessemer [26].

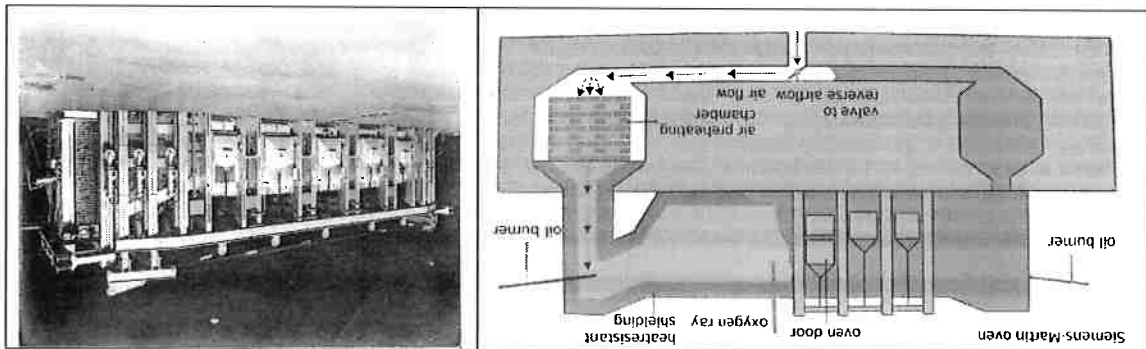
de nitrogênio pode ser indesejável para alguns tipos de liga [26].

Outro fator que influi nos custos é que este tipo de conversor (Bessemer) não permite ampla utilização de sucata na carga, aumentando também os custos. Soma-se ainda o fato de que com o sopro de ar a presença

Somente no século XX (aproximadamente em 1968) o conversor do tipo Bessemer foi substituído pelo processo de Linz-Donowitz, mais conhecido como conversor LD. Apesar de seu alto rendimento, o conversor Bessemer era tão rápido que não permitia por completo a análise química e ajuste de seus elementos de liga. Assim, ele exigia matérias primas de maior qualidade, para que não se houvesse a necessidade de ajuste químico da composição, o que resultava em maiores custos [26].

2.5 Conversor LD

Figura 2-11. Forno Siemens-Martin [25]



criando maior tolerância para a qualidade de matéria prima utilizada. Uma imagem do conversor LD é mostrada na figura 2-12, assim como um esquema do seu funcionamento [26].

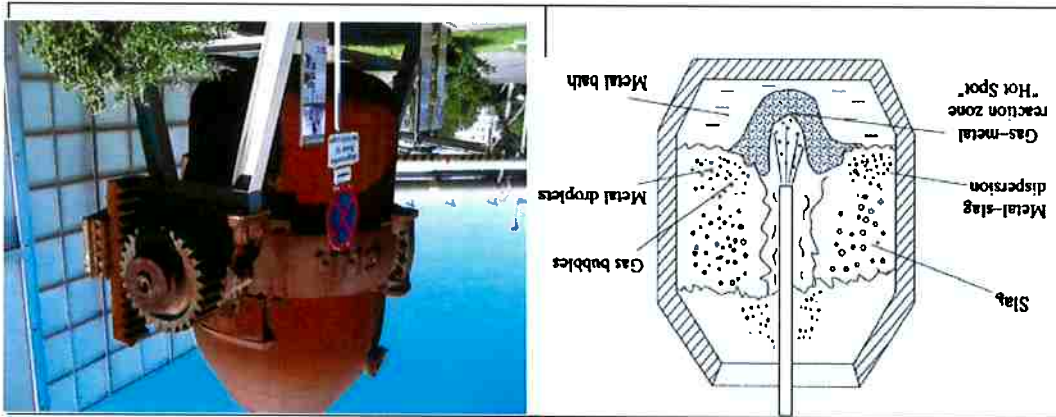


Figura 2-12. Conversor LD e seu funcionamento (esq.), e um exemplar presente na Universidade de Cambridge (dir.) [26].

2.6 Conversor AOD

A resistência a corrosão de ligas Fe-Cr foi reconhecida pela primeira vez em 1821, pelo metalurgista francês Pierre Berthier que notou a sua resistência a corrosão por alguns ácidos, e sugeriu sua utilização em cutelaria para evitar a contaminação dos alimentos. Porém, metalurgistas do século XIX não eram capazes de produzir a combinação de baixo carbono e alto cromo que a indústria moderna é capaz [27].

No final do século XIX, o alemão Hans Goldschmidt desenvolveu um processo aluminotérmico para produzir cromo livre de carbono. Entre 1914 e 1911, diversos pesquisadores e em particular o francês Leon Guillet, preparavam ligas que seriam consideradas hoje em dia aços inoxidáveis. Em 1911, Philip Monnartz relatou a relação entre a presença de cromo e a resistência a corrosão [27].

Em 1912, os engenheiros Benno Strauss e Eduard Maurer patentearam o aço inoxidável austenítico. Desenvolveram acontecimentos similares aos ocorridos na França e Alemanha estavam ocorrendo também nos Estados Unidos, onde

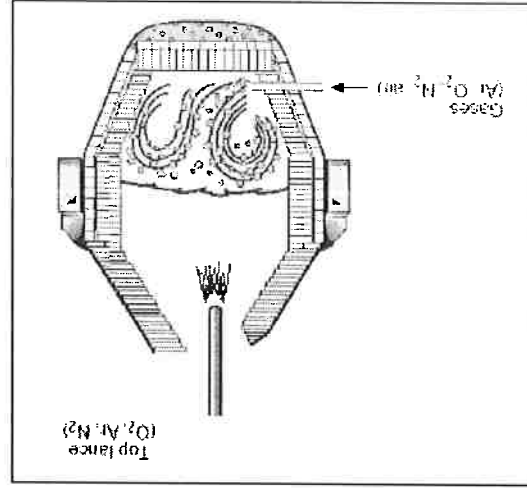
Christian Dantsizen e Frederick Becket estavam industrializando aços inoxidáveis ferríticos [28].

Harry Brearley do Brown-Firth Research Laboratory em Sheffield, na Inglaterra, é geralmente reconhecido como o inventor do aço inoxidável. Em 1913, quando pesquisava por uma alternativa de material resistente a erosão para a indústria armamentista, o mesmo desenvolveu e subsequentemente industrializou o aço inoxidável martensítico. A descoberta foi anunciada dois anos depois no *The New York Times* [28].

Porém, somente por volta de 1933 foram originados os aços inoxidáveis duplex. A origem dos aços inoxidáveis duplex ocorreu quando um erro de adição de elementos de liga, durante a fusão de um determinado aço inox na companhia Jacob Holtzer, levou a uma composição química com 20%Cr – 8%Ni – 2,5%Mo, contendo uma alta fração volumétrica de ferrita numa matriz austenítica [29,30].

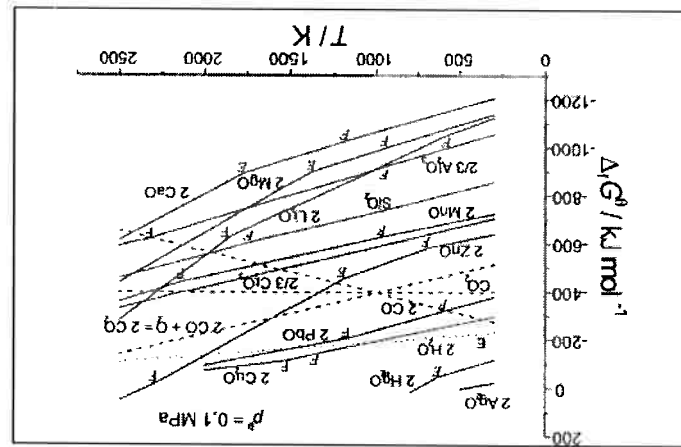
Nos processos convencionais de refino de aço, utiliza-se como principal processo o sopro de oxigênio. Mas, ao se refinar um aço inoxidável pela injeção de oxigênio, a oxidação do cromo é inevitável e o óxido de cromo é perdido na escória como mostra o diagrama de Ellingham (figura 2-13). Devido a este problema, processos tradicionais de fabricação de aço como o simples sopro de oxigênio iriam retirar todo o cromo do banho, e por isso era necessário um processo diferente [31].

Figura 2-14: Esquema de um conversor AOD [34]



O principal processo para este refino é o AOD (Argon-Oxygen Decarburization). O processo AOD é caracterizado pela utilização de gás misto (O_2 + gás inerte) soprados através de lanças ou ventaneiras para alcançar altas taxas de descarburização, mesmo em banho de aços de baixa concentração de carbono (Figura 2-14) [32,33].

Figura 2-13: Diagrama de Ellingham para alguns óxidos. A energia livre de Gibbs de formação ($\Delta_f G^\theta$) para óxido de cromo é menor que a de oxidação do carbono a CO [31].



O uso do conversor AOD chega a teores de carbono cada vez mais

baixos através da introdução de quantidades crescentes de argônio no oxigênio soprado através no banho. Esta descarburagem acontece na superfície das bolhas de gás inerte e o argônio dilui o monóxido de carbono formado durante a descarbonetagem, levando a uma menor pressão parcial de monóxido de carbono (PCO) [33].

A baixa pressão parcial monóxido de carbono favorece a formação de monóxido a partir do carbono e oxigênio dissolvido no banho de acordo com o diagrama do potencial de oxigênio e, portanto, uma temperatura mais baixa pode ser utilizada no conversor AOD para a fabricação de um aço inoxidável padrão. O resultado é a diminuição da queima de matéria prima energética para a obtenção do produto final [35].

Na pressão normal (1 atm) uma temperatura de 1940 ° C é necessária para alcançar tal nível de carbono sem perda de cromo. Quando a pressão parcial de monóxido de carbono PCO é reduzida a um décimo da pressão atmosférica normal, o mesmo nível de carbono pode ser atingido a 1600 ° C (Figura 6). Isto leva a benefícios econômicos, com menores tempos de aquecimento combinados com menores desgastes de refratário, e talvez refratários mais baratos possam ser utilizados por não necessitarem resistir a temperaturas extremas [27,36].

A Figura 2-15 mostra esquematicamente um processo de descarburagem. Na etapa inicial, o ERC atinge 90%. A eficiência de remoção de carbono diminui com a diminuição do carbono disponível no banho. A segunda etapa, quando ERC é de aproximadamente 45% e o nível de carbono é de 0,44%. O ERC sobe então para 100% e todo o oxigênio é consumido na formação de monóxido de carbono [36].

Depois de alguns minutos ERC diminui novamente junto com o nível de carbono. A etapa três acontece da mesma maneira, mas com conteúdo de argônio ainda maior. O sopro é executado até que o nível de carbono solicitado for atendido. Ela pode exigir uma quarta etapa com 100% de argônio puro insulhado no banho [32,36].

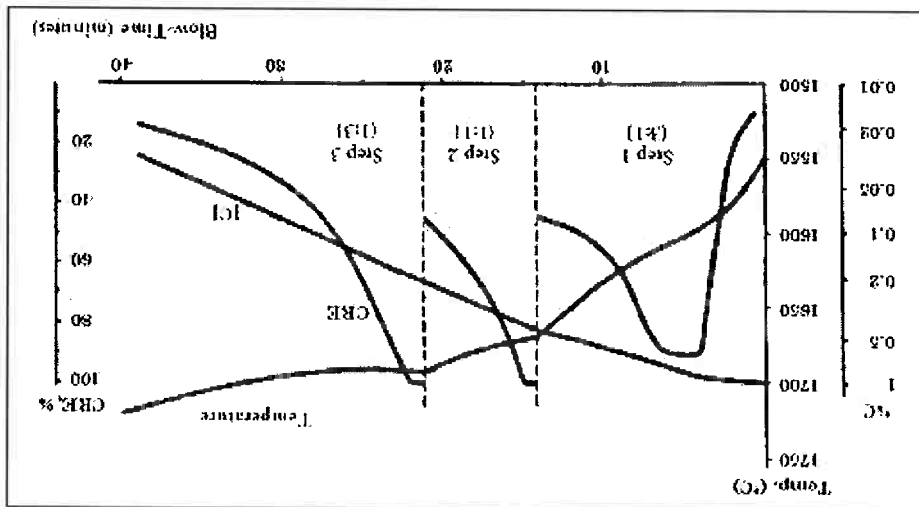
Desde então, depois das diversas técnicas descobertas e aperfeiçoadas, o aço tem sido um material fundamental no desenvolvimento da tecnologia, sendo utilizado desde trilhos de ferrovias a próteses, representando hoje o material mais usado pela humanidade.

Eventualmente, outros processos, alternativos ao AOD, como o processo VOD (*Vacuum Oxygen Decarburization*) foram desenvolvidos, porém na atualidade, o conversor AOD é o processo mais largamente utilizado. Em 1996 este processo foi responsável por 68,7% de todo aço inoxidável utilizado.^[33]

Devido ao argônio ser mais denso que o ar, este forma uma manta sobre o banho metálico, impedindo o contato do banho com a atmosfera e uma consequente oxidação do banho pelo oxigênio do ar.^[35] A grande injeção de argônio no banho causa a absorção pelas bolhas de nitrogênio e hidrogênio que são arrastados e liberados na superfície. Desta forma, o processo AOD contribui também para a degaseificação do banho.^[31]

Não apenas carbono é removido durante o processo de descarburização, mas também outros elementos com alta afinidade ao oxigênio, tais como silício, manganês, cromo e níquel. Estes em algum momento serão inevitavelmente oxidados durante a descarburização. Devido à diluição de argônio, carbono é oxidado antes de cromo.^[32,37]

Figura 2-15: Eficiência de Remoção de Carbono (ERC) num conversor AOD.^[34]



2

2

2

2



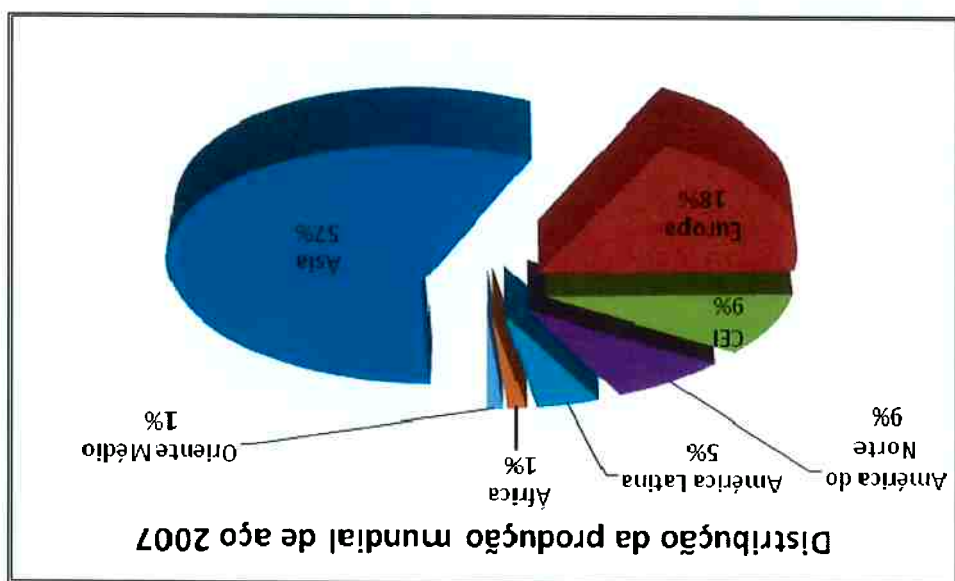
2

2

2

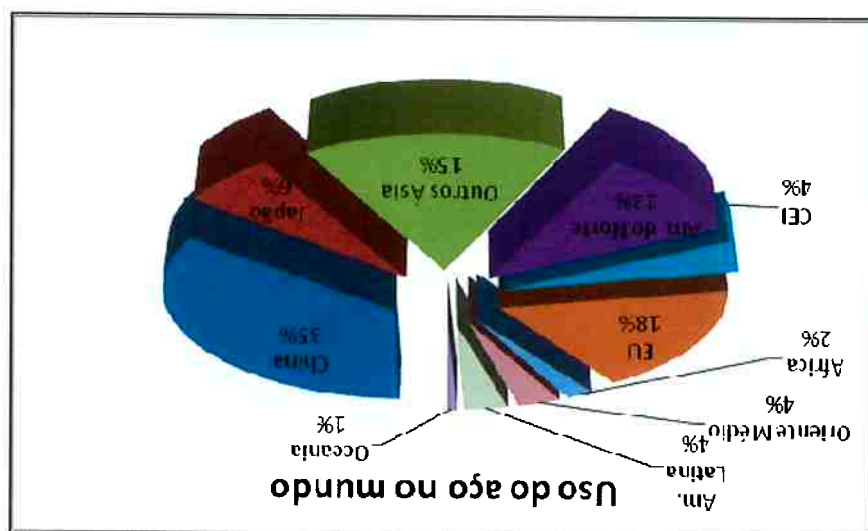
Com relação ao consumo, pode-se dizer que a China, além de ser o principal produtor mundial, é também o maior consumidor, pois o aço fomenta grande parte de seu desenvolvimento. Porém, a demanda chinesa não tem sido completamente satisfeita, sendo também a China uma das maiores importadoras de aço no mundo. Em linhas gerais também se mantêm o restante do perfil, ou seja, onde se produz muito aço também se consome muito aço, como pode ser observado na Europa, Europa Oriental (antiga Comunidade dos Estados Independentes) e também América do Norte. Na figura 3-3, evidencia-se o consumo do aço pelos principais países consumidores.

Figura 3-2: Distribuição da produção mundial de aço em 2007, evidenciando a tomada de produção do mercado pela China ^[39].



Apesar de sua ampla gama de utilização, alguns setores da indústria utilizam maiores quantidades de aço devido à magnitude de seus produtos, por exemplo, o peso de um automóvel popular equivale a, aproximadamente, 28 fogões. Hoje em dia praticamente 80% da produção de aço está comprometida com os setores de construção civil, automóvel e bens de capital (equipamentos e/ou instalações industriais) [3]. Uma visualização da distribuição de consumo setorial no Brasil é dada na figura 3-4.

Figura 3-3. Distribuição de consumo de aço mundial em 2007 [39].

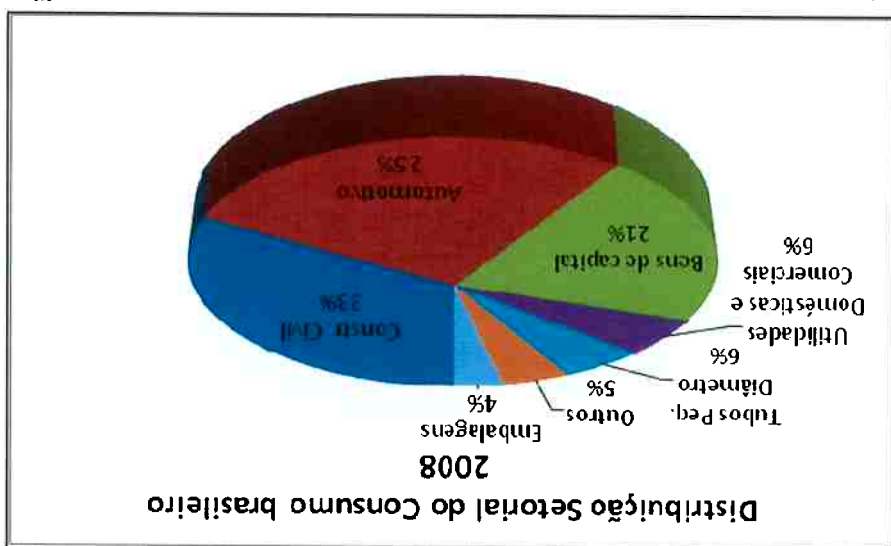


4. Os desafios do aço - Competição com outros materiais

Como já foi citado anteriormente, um dos principais motivos da ampla utilização do aço vem do fato deste material apresentar alta resistência mecânica associada à alta densidade, ou seja, comparativamente com outros materiais um menor volume já garante maior resistência, como pode ser observado na figura 4-1 [2].

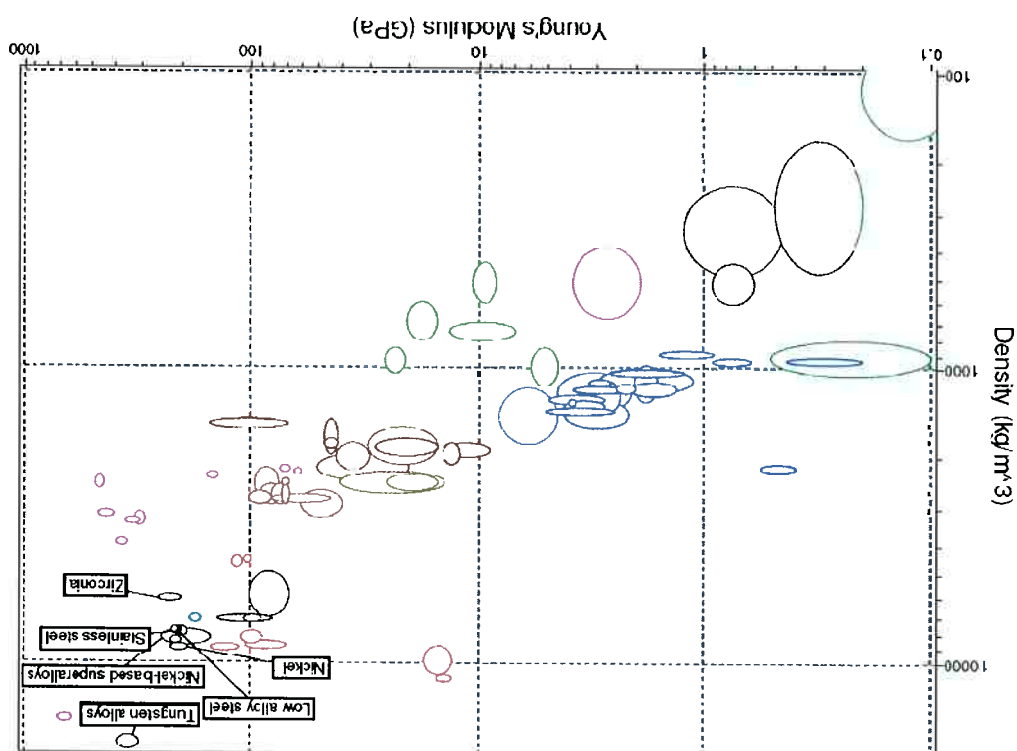
Porém, a grande utilização do aço por estes setores também pode ser explicada pela adequação de suas propriedades para estes usos. No setor automotivo, por exemplo, em um veículo de 903kg aproximadamente 504kg são relativos à componentes feitos em aço, e aproximadamente 10% do custo final é relativo ao custo do aço. E o uso do aço nestes setores se deve principalmente devido à relação entre resistência mecânica, peso e custo, como pode ser observado nas figuras 4-1 e 4-2 [1].

Figura 3-4. Distribuição setorial do consumo de aço no Brasil em 2008. [3]



Devido à maior abundância do ferro na crosta terrestre (com relação a materiais de semelhantes propriedades mecânicas), também se tem um menor custo das ligas de ferro, assim, quando comparadas com outras ligas de mesma resistência e densidade, o aço possui vantagem competitiva devido ao seu preço. Um comparativo destes custos pode ser obtido na figura 4-2 [2].

Figura 4-1. Relação entre densidade e módulo de Young de alguns materiais. [2]



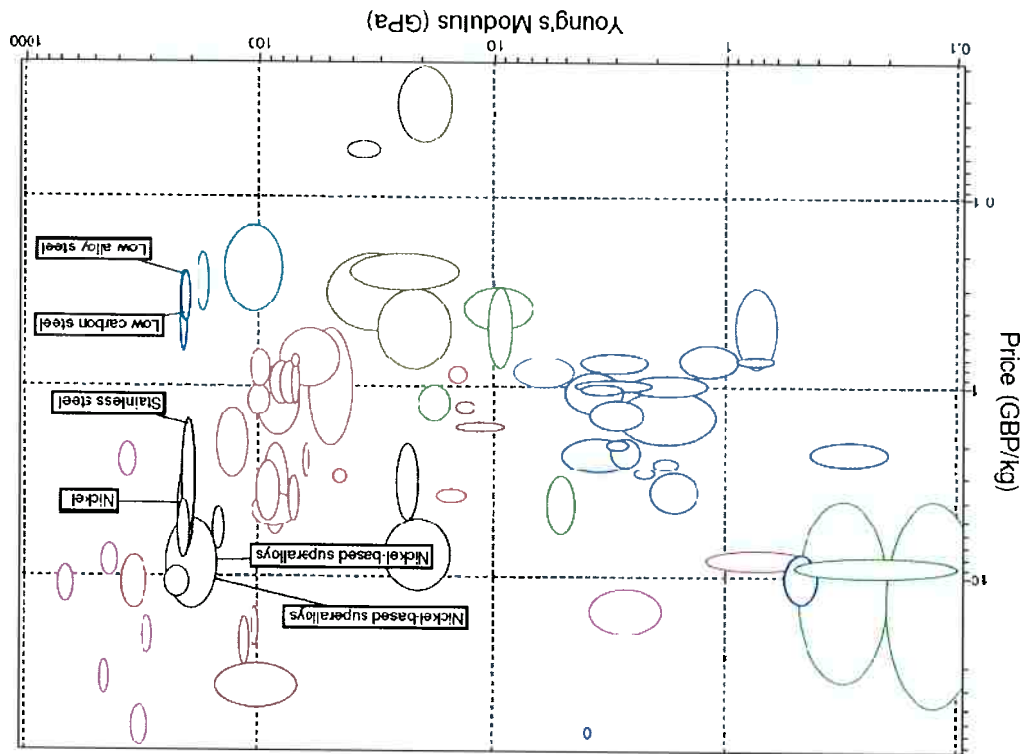


Figura 4-2. Relação preço (Libras Esterlinas/kg) e módulo de Young [2].

Alguns materiais como o níquel e suas ligas podem possuir propriedades semelhantes ao aço, porém na maioria das vezes seu custo é muito mais elevado. Uma tonelada de aço carbono tem um custo aproximado de US\$ 634, uma tonelada de aço inox AISI304 (composição de 8 a 10,5% de composição massica de níquel) US\$ 3.000, e níquel US\$ 17.120 [40,41].

Porém, seguindo as novas tendências do mercado mundial, tem-se observado iniciativas no sentido de diminuir o peso das estruturas mantendo suas propriedades. No caso da indústria automotiva, a diminuição do peso total dos veículos é crucial para o aumento de rendimento na utilização de combustíveis e, portanto, na emissão de carbono [1].

Materiais poliméricos e compósitos, como os chamados plásticos de engenharia e as fibras de alta performance, têm se apresentado como opções para a utilização do aço, representando menor peso final do componente, mas mantendo as propriedades mecânicas [1].

O que é importante observar é que para que haja a substituição de um material de ampla utilização como é o aço, inúmeros fatores são levados em consideração. Além da otimização do uso ainda é preciso considerar as pressões da demanda bem como a pressão da indústria fabricante ^[1].

5. Estudo de Caso – Indústria Siderúrgica no Brasil

5.1 Histórico Brasileiro

5.1.1 Brasil colônia

Enquanto na Europa (no século XV) já surgiam os primeiros alto-fornos, no Brasil, a metalurgia ainda era incipiente. A colônia começava a se estruturar nessa época, e em todos os grupos fundadores de capitânicas havia um artesão metalúrgico (ferreiros, caldeiros, funileiros, latoeiros). Se por um lado não havia muitos artesões aptos a manusear o metal, por outro, o seu desenvolvimento era muito rápido, elevando seu status a fazendeiro ou mercador. Assim, como não havia corporações de ofício, a profissão ia se extinguindo. Somando-se a isso o fato de que a matéria-prima era sempre importada, preferia-se utilizar a madeira, deixando o metal somente para as construções imprescindíveis ^[13].

Só se observa o início da metalurgia extrativa no Brasil quando no período em que se dá a união das Coraas portuguesa e espanhola, entre 1580 e 1640, já que a extração mineral era a principal exploração realizada nas colônias espanholas na América ^[13]. Mesmo assim, a metalurgia é inexpressiva e se enfraquece gradualmente principalmente devido à falta de interesse de Portugal.

A mudança começa a se dar no século XVIII com a descoberta do ouro em Minas Gerais e também dada à quebra do mercado de açúcar. Já no século XIX, como a mineração exigia artefatos de ferro e o minério era abundante naquela região, os escravos negros se utilizavam de técnicas rudimentares em "forjas de cadinho" para fabricar seus artefatos ^[42].

Porém, por muito tempo, a atividade metalúrgica do país se resume a artefatos agrícolas tais como machados e ferraduras, forjados principalmente em Minas Gerais e no Rio de Janeiro. Nessa época, o principal gargalo

produtivo no Brasil é a falta de escoamento, já que desde aquela época o país carecia em rede de transporte^[13].

Porém, reconhecendo o crescente papel do ferro no cenário mundial, já no século XIX, o governo português dá origem a um grupo de empreendimentos focado em aumentar a produção de ferro no Brasil. Infelizmente, nenhuma dessas empreitadas foi bem sucedida, principalmente devido ao baixo consumo de ferro e aço no país, pela alta tributação aplicada pelo governo português, falta de mão-de-obra qualificada e ainda, a falta de rede de escoamento^[42].

Um outro grupo de empreendimentos pode ser descrito pela incursão de estrangeiros como Jean Monlevade no Brasil. Monlevade, francês formado na Escola Politécnica de Paris, chegou ao país em 1817 e em 1823 instalou forjas catedas no vale do Rio Piracicaba, em Minas Gerais, dirigindo-a pessoalmente até 1872, quando faleceu^[42].

Posteriormente se criam algumas indústrias de transformação metalúrgica, como fundições, fábricas de implementos agrícolas e fábrica de instrumentos cirúrgicos. Essas indústrias foram amplamente beneficiadas pela presença de imigrantes europeus com conhecimentos metalúrgicos e pelo excedente de capital proveniente da extinção do tráfico de escravos. Nesta época (meados do século XIX) o Barão de Mauá possuía trinta mil operários em indústrias de base como fundições de ferro e bronze, mecânicas, ferrarias, serralheria, caldeiraria de ferro, construção naval e galvanização^[13].

Foi nessa época que se instalaram no Brasil os primeiros alto fornos, substituindo as forjas catedas, que eram insufladas com ajuda de rodas d'água ligadas a folas de couro. Estes alto-fornos instalados em São João do Ipanema, próximo a Sorocaba, tinham aproximadamente oito metros de altura, com uma ventaneira e três folas acionadas hidráulicamente. Produziam em média 1.200 quilos de ferro gusa por dia e consumindo 15 toneladas de carvão por dia^[13].

A produção era lingotada em lingotes de 45 quilos, os quais posteriormente (após o refino) rendiam 22 quilos de ferro em barra. Na

operação de refino se consumiam aproximadamente 17 quilos de carvão por quilo de ferro (quase 10 toneladas por dia) ^[13].

Porém, estes fornos entram em decadência a partir de 1821, principalmente devido à falta de mão-de-obra especializada para operar o alto forno. É preciso um rigoroso controle de alimentação de insumos e matéria prima no forno, determinantes para a qualidade do produto. A ausência de mestres experientes dificultava a operação dos fornos, levando-os ao fracasso ^[13].

5.1.2 A criação das escolas (1890 A 1930)

Exatamente para suprir a carência de profissionais habilitados, passam a surgir, no final do século XIX, escolas que se tornam fundamentais ao desenvolvimento da metalurgia no país. Então, a pedido do imperador D. Pedro II, é fundada em 1876 a primeira escola de estudos mineralógicos, geológicos e metalúrgicos do Brasil, a Escola de Minas de Ouro Preto. A escola foi fundada pelo francês Claude Henri Gorceix, que depois de estudo criterioso definiu que aquele seria o local ideal para a instalação da escola devido à riqueza geológica da região ^[42].

Em 1893, em São Paulo, é oficialmente fundada a Escola Politécnica, e em 1900 se iniciam as atividades práticas do Gabinete de Resistência dos Materiais, que posteriormente (1925) seria transformado em Laboratório de Ensaios de Materiais (LEM), dando origem ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas em 1925 ^[43].

Da criação da Escola de Minas de Ouro Preto vem o desenvolvimento de técnicas que resultam na criação da Usina Esperança, em Itabrito, Minas Gerais. A usina tinha capacidade de produção de 6 toneladas por dia de ferro gusa, através de carvão vegetal e minério de ferro (proveniente da própria região). Posteriormente, os mesmos empresários que fundaram a Usina Esperança também fundaram outra unidade em Miguel Burnier, Minas Gerais, sendo as duas usinas posteriormente adquiridas pelo engenheiro doutor J. J. Queiroz, que, em 1899, adicionou outra unidade ao grupo. "Em 1915 as três unidades empregavam 412 operários numa capacidade total de 40 toneladas diárias." ^[42].

Neste contexto é importante destacar em 1909 a iniciativa do governo Nilo Peçanha, que oferecia privilégios e subsídios para estimular o investimento de capitais nacionais e estrangeiros na indústria metalúrgica. Porém, ela não é bem sucedida, e a produção de aço no país ainda era incipiente, quase que totalmente destinada às pequenas fundições.^[5]

A expansão somente se dá a partir da década de 1920 quando se operou a Companhia Siderúrgica Mineira, e em 1920, em visita ao Brasil, o rei Alberto da Bélgica é incentivado a investir no estado de Minas Gerais, resultando na Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira^[42].

Em 1925 a usina de Sabará, Minas Gerais, realiza um marco na siderurgia brasileira, sendo a primeira da América do Sul a operar com carvão vegetal como redutor. Esta unidade, apesar de pequena, era integrada, possuindo um alto-forno, um pequeno forno Siemens Martin e uma pequena unidade de laminação^[42].

Era comum nesta época que as unidades siderúrgicas fossem partes fornecedoras de outras usinas cujo ramo de atuação era outro que não a fabricação de aço. Como o Grupo Dedini, na época fabricante de peças de reposição para engenheiros no interior de São Paulo, que em 1920 instalou uma fundição de aço com um forno elétrico e um Siemens-Martin^[42].

5.1.3 A partir de 1930 – A criação da CSN e Acesita

Assim como em outros países subdesenvolvidos (como os da América Latina, Ásia, África e Oriente Médio) a siderurgia brasileira foi criada para a sustentação do desenvolvimento, e assim, obteve investimentos estatais diretamente direcionados para o desenvolvimento desta indústria. A siderúrgica esteve por muito tempo fortemente associada ao governo militar, já que o aço era um produto de alto valor estratégico por ser amplamente utilizado na manufatura de artefatos bélicos.

Entre 1918 e 1925 observam-se diversos decretos de incentivos do governo para a indústria do ferro, assim, em 1930 a produção brasileira de ferro-gusa atinge 35.305 toneladas sendo apenas 2.000 toneladas importadas.

Dez anos depois, em 1940, a produção de ferro gusa passa a ser de 185.000 toneladas, aumentando também a produção de lingotes e laminados ^[42].

Esses dados podem ser interpretados como resultado direto de um período mundial entre guerras, em que o Brasil necessariamente precisa reduzir suas importações, fazendo com que haja incentivos para a produção doméstica industrial, fundamentalmente da indústria de base. Assim, surge a usina da Belgo-Mineira em João Monlevade (MG), que em 1940 passou a ser a maior siderúrgica integrada da América Latina, e, por um certo tempo, a maior do mundo a operar com carvão vegetal ^[42], como ilustra figura 5-1.

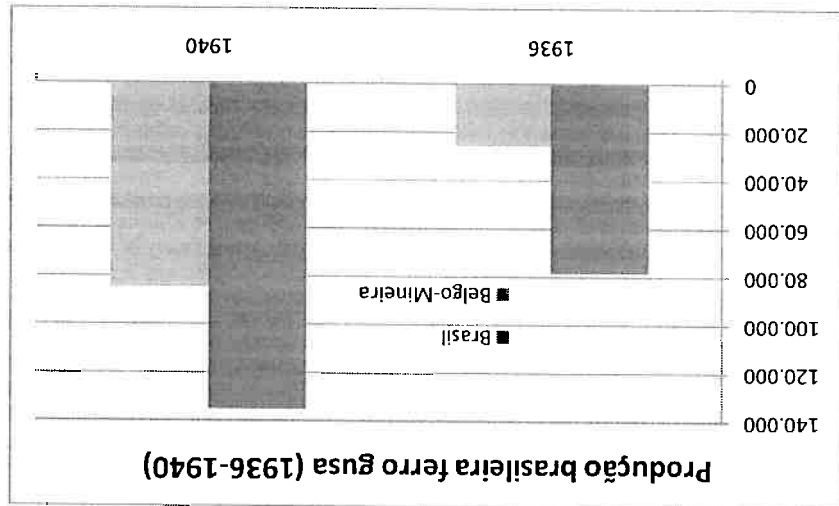


Figura 5-1. Produção de ferro gusa em toneladas ^[44].

Ainda na década de 1930, é importante apontar a criação de novas siderúrgicas como a siderúrgica Barra Mansa (RJ) e a Aços Villares em São Paulo (SP), para fornecer peças fundidas à matriz, a elevadores Atlas.

Neste cenário de desenvolvimento da indústria de base, o então presidente Getúlio Vargas já manifesta interesse em construir uma grande siderúrgica integrada que fornecesse aço para ferrovias, estaleiros e construção civil. Na realidade, Vargas reaviva uma antiga idéia anterior à Primeira Guerra Mundial, que, apoiada pelo empresário americano Percival

Farquihar, volta a ter forma. Farquihar já havia tentado estabelecer um plano semelhante que não obteve sucesso por conta das pressões nacionalistas sofridas, mas que resultou na fundação da Aços Especiais Itabira (Acesita).^[42]

Em 1931, após a criação da Comissão Siderúrgica Nacional, um centro de estudos e debate sobre siderurgia, criou-se a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN).^[42]

Mesmo assim, para que se substituísse a importação de aço pesado necessário à construção civil, naval e ferroviária, percebe-se a necessidade de aumentar a produtividade com a implementação de usinas com redução a coque. Percebendo a possibilidade de aplicação de capital estrangeiro na indústria de base brasileira, a facção nacionalista trata de estabelecer em 1940 o Código de Minas, lei que proíbe capitais estrangeiros na mineração e metalurgia. Finalmente, em julho de 1940, uma comissão de empresários brasileiros consegue um financiamento de US\$ 20 milhões para iniciar a siderúrgica nacional.^[42]

A CSN pode ser tratada como um investimento estratégico do governo brasileiro, sendo sua localização, em Volta Redonda, Rio de Janeiro, estabelecida devido a uma série de fatores, entre eles: proximidade com a matéria prima em Minas Gerais, proximidade com os mercados consumidores em São Paulo e no Rio de Janeiro, menor custo de mão de obra em Volta Redonda e localização militar estratégica (por não ser uma cidade litorânea, Volta Redonda não está vulnerável a ataques).^[42]

Para aumentar o valor do financiamento para US\$ 45 milhões, o banco norte americano estabeleceu exigências como incluir engenheiros e administradores estrangeiros. Assim acordado, a CSN iniciou sua produção de coque em abril de 1946 e em julho iniciavam-se a operação dos altos-fornos e aciaria.^[42]

5.1.4 Pós guerra à década de 1980 – A criação da Cosipa e da Usiminas

No período pós-guerra o processo de instalação de novas usinas continua, porém se soma a ele a expansão das usinas já existentes, resultando

na expansão significativa da capacidade instalada nacional. Como é possível se observar na figura 5-2, a expansão da capacidade produtiva brasileira acompanha um expressivo aumento da produção mundial de aço [39].

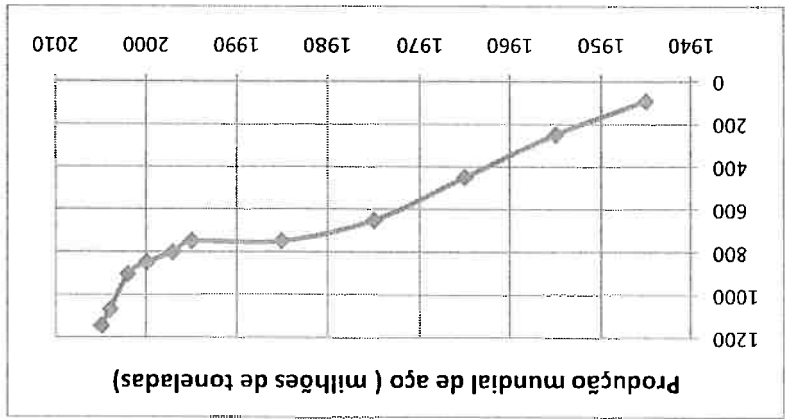


Figura 5-2. Produção mundial de aço [39].

“Algumas empresas surgiram, como do grupo alemão Mannesmann que fundou a subsidiária brasileira Siderúrgica Companhia Mannesmann em 1952. Em 1956 já colocava em funcionamento uma usina integrada especializada na produção de tubos sem costura e barras pesadas em aços especiais e em aço carbono. Instalada na cidade de Belo Horizonte, abrigava um forno elétrico para redução do minério, além da produção de ferro-gusa. Nos anos 1960 foi construído um alto-forno a coque atingiu a produção de 200 mil toneladas de lingotes e 160 mil toneladas de laminados.” [42].

Também neste período foi concebida a ideia da construção de duas outras usinas integradas, a Cosipa e a Usiminas. A primeira idealizava um complexo siderúrgico próximo a São Paulo, e apesar de nascer da iniciativa privada encontrou no Estado de São Paulo e no BNDES condições financeiras de se tornar realidade. Dados todos estes entraves, a Cosipa somente passou a operar em 1965, 15 anos após o início de seu projeto [42].

A Usiminas, ao contrário, já nasceu de interesses privados e governamentais, que desejavam se utilizar da área do Vale do Rio Doce para

logística mais facilitada do carvão importado, minério de ferro e escoamento dos produtos. Assim, após acordo com diversas empresas japonesas, o BNDES, o governo de Minas Gerais e a Companhia Vale do Rio Doce, nasceu em 1956 a Usiminas, passando a operar em 1962^[42].

Nos anos 60 a produção de aço bem como seu consumo mais do que duplicou, sendo fundado, em 1963, o Instituto Brasileiro de Siderurgia (antigo IBIS, atual Instituto Aço Brasil) e em 1968 o Conselho Consultivo da Indústria Siderúrgica (Consider). E foi o Consider, em 1971 que criou o Plano Siderúrgico Nacional, que objetivava a produção de 20 milhões de toneladas de aço em 1980. Assim, em 1970, o Brasil era o 17º produtor mundial de aço, sendo as estatais CSN, Usiminas e Cosipa responsáveis por mais de 50% da produção^[42].

É possível caracterizar os anos 1970 por constante investimento do BNDES e outras formas de incentivo do governo para que atingissem as metas dos planos de desenvolvimento estabelecidos pelo governo, como o Plano de Metas. Nessa época ocorre também a transferência das ações de empresas controladas pelo BNDES para o Banco do Brasil, sendo que todas essas iniciativas resultaram na triplicação da produção de aço bruto no país^[42].

5.1.5 Os anos 80

O crescimento da produção de aço se manteve até início dos anos 1980, quando se pode observar uma estagnação da produção por volta de 700 milhões de toneladas por ano. Alguns fatores podem ser utilizados para explicar esta desaceleração do crescimento, entre eles a desaceleração do crescimento das economias em si, e, principalmente, o surgimento de novas tecnologias em materiais, como a utilização de alumínio, cerâmicas e polímeros.

Nos anos 1980 entram em atividade duas importantes siderúrgicas integradas brasileiras, a Açominas e a Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), ambas financiadas pela FINAME (Agência Especial de Financiamento Industrial). Porém, nesta época o Brasil passa por severa crise econômica, causando declínio do consumo interno de aço e excesso da capacidade instalada, resultando assim no aumento das exportações brasileiras de aço^[42].

Instala-se então um interessante conflito na indústria siderúrgica

nacional. Apesar da necessidade de abertura de mercado para continuar escoando a produção do parque industrial instalado, a indústria não consegue se capacitar devido à participação estatal. Também devido este fato, as empresas não conseguiram atender as exigências de mercado, sendo sensivelmente mais lentas que as estritamente privadas.

Por outro lado, o alto endividamento do Brasil forçava o aparecimento de uma política de substituição das importações, privilegiando mais uma vez a indústria de base, que supria o desenvolvimento de serviços urbanos fundamentais, como redes de água e esgoto.

Já no final dos anos 1980 a crise do Estado brasileiro impediu a continuidade dos investimentos do BNDES na indústria siderúrgica, obrigando as empresas a promoverem a oferta pública de suas ações como forma de angariar capital. Para completar o processo de reestruturação do setor, reúnem-se esforços para realizar privatizações, fusões e aquisições ^[42].

5.1.6 Os anos 90 e as privatizações

Até então era possível observar uma série de limitações na indústria siderúrgica nacional devido à alta intervenção do Estado. Entre elas podendo-se citar baixos investimentos em pesquisa e desenvolvimento; lentidão no acompanhamento de tendências, dada a lentidão na reformulação de processos produtivos; e, principalmente, limitações na autonomia de gestão e planejamento, dadas interferências políticas e econômicas.

Assim, dada a estagnação da economia na década de 1980, a indústria mundial do aço passou por um processo de mudanças estruturais, como a modernização da produção, racionalização dos investimentos e redução de custo, o que mudou profundamente o perfil da qualidade, competitividade e produtividade do setor.

Em um primeiro momento, foram privatizadas as pequenas usinas como a Cosim e a Cimetel em 1988, e a Cotavi e a Usiba em 1989. Sendo que o grupo Gerdau teve intensa participação, adquirindo as usinas Barão de Cocais, Usiba, Cimetel, Cosinor e Piratini ^[42].

Posteriormente ocorrem as privatizações das grandes usinas, como a

Usiminas em 1991. No início, foi realizada uma oferta de ações ordinárias da Usiminas, sendo a maioria delas adquirida por bancos, fundos de pensão, a mineradora Vale do Rio Doce e distribuidores de aço. Já em uma segunda etapa, em 1994, promoveu-se a privatização em si, por meio de ações no mercado acionário internacional (American Depositary Receipts – ADRs) ^[42].

Enquanto isso, se delineava a privatização da CST, em 1992, através de leilões de ações ordinárias, que foram adquiridas principalmente pelos bancos Bozano Simonsen e Unibanco, e pelo fundo de pensão PREVI. No mesmo ano ocorria a privatização da Acesita, que também passou a ser controlada majoritariamente pelo fundo PREVI ^[42].

As últimas a serem privatizadas foram a CSN, a Cosipa e a Açominas, que iniciaram o processo de privatização durante o governo Itamar Franco. Não muito diferente das demais, a CSN passou a ter maior controle pela Companhia Vale do Rio Doce, um grupo industrial (o Vicunha) e um banco, o Bamerindus. Bem como a Cosipa, que foi vendida a um consórcio formado pela Usiminas, pelo banco Bozano Simonsen e um grupo de distribuidores de aço. E também a Açominas, vendida para o grupo Mendes Junior e Villares, a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) e bancos sob controle de Minas Gerais ^[5].

As privatizações possibilitam então a entrada de capital estrangeiro no setor (10,4%), bem como a participação de instituições financeiras (33,6%), indústrias nacionais (21,8%) e fundos de pensão (15%). Representando o fim do controle sobre preços e estratégias, mas o início da abertura de mercado ^[42]. É importante apontar também que a presença da CVRD já demonstrava o interesse da mineradora em agregar maior valor ao minério, tendência essa que tem se retomado na América Latina nos últimos anos.

A tabela 5-1 apresenta um resumo do processo de privatização da siderurgia nacional.

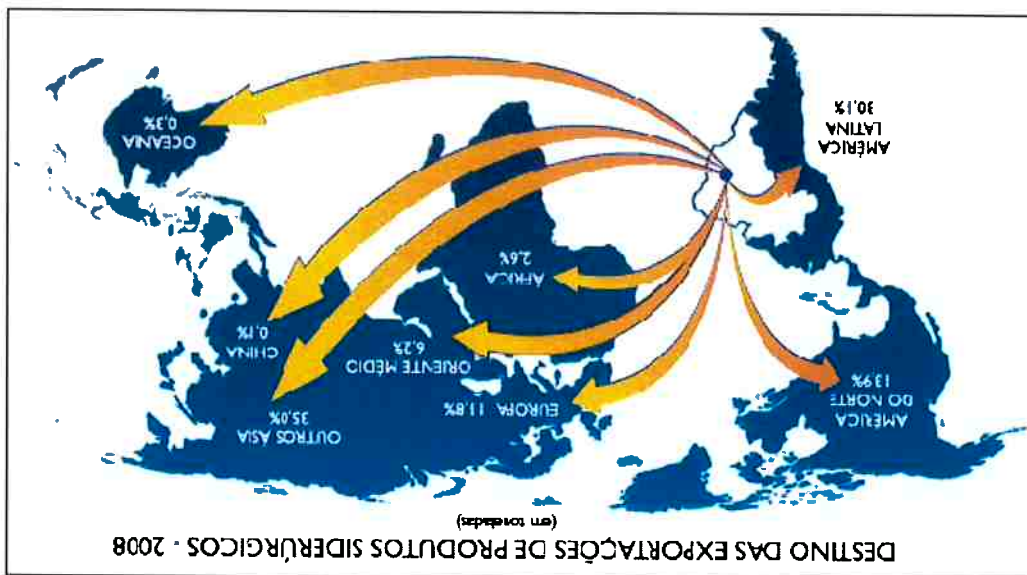
Empresa	Estrutura produtiva	Capacidade (mil toneladas)	Data da venda	Técnica utilizada na privatização	Valor (US\$ milhões)	Capital Total Vendido (%)
Cosum	Planta de Tubos	36	Ser. 1988	Venda de Ações	4	-
Cumetal	Integrada a Carvão Vegetal	200	Nov. 1988	Venda de Ações	59	-
Colares	Semi-Integrada	500	Jul. 1989	Leilão	8	100
Usiba	Integrada a redução direta	350	Out. 1989	Leilão	54	100
Usiminas	Integrada a Coque	4.200	Out. 1991 - Set. 1994	Leilão e Oferta Pública	1.461 e 480	70 e 16
Cosimor	Semi-Integrada	100	Nov. 1991	Leilão	15	100
Puruni	Semi-Integrada	236	Fev. 1992	Leilão	107	73
CST	Integrada a Coque	3.000	Jul. 1992	Leilão	354	90
Acesita	Integrada a Carvão Vegetal	850	Out. 1992	Leilão	465	74
CSN	Integrada a Coque	4.600	Abr. 1993	Leilão	1.495	91
Cosipa	Integrada a Coque	3.900	Ago. 1993 - 1994	Leilão e Oferta Pública	360 e 226	60 e 24
Açominas	Integrada a Coque	2.400	Set. 1993	Leilão	599	100

Tabela 5-1: Privatização da siderurgia brasileira ^[42].

Como a reestruturação se deu majoritariamente por leilões, se próximos anos em intenso movimento de fusões e aquisições. Até que em 2006 já, após mais de vinte transações patrimoniais, pode-se identificar a participação de dez empresas em 97% da produção nacional ^[42].

Assim, após a reestruturação pode-se identificar quatro grandes grupos controlando a siderurgia brasileira, Gerdau, Belgo-Mineira (Arcelor Brasil), Usiminas e a CSN. Deste modo observa-se a seguinte distribuição na indústria siderúrgica brasileira em 2007 na figura 5-3.

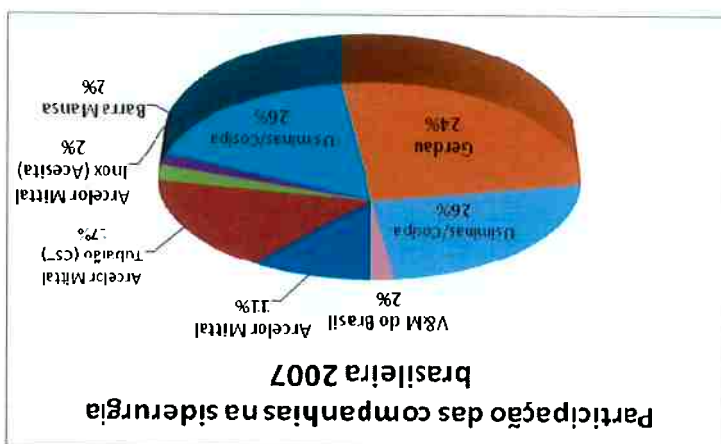
Figura 5-4. Destino das exportações de produtos siderúrgicos 2008. [3]



Assim como se pôde observar no panorama mundial, a indústria brasileira do aço (bem como a economia mundial em geral) passou a apresentar crescimento exponencial após o término da Segunda Guerra Mundial. Experimentando estagnação durante os anos 1980 e 1990, e voltando a apresentar tendência de crescimento a partir do ano 2000. Como se pode ver na figura 5-4, o Brasil exporta hoje para os maiores mercados do mundo, principalmente para a América Latina.

5.2 Introdução ao cenário atual

Figura 5-3. Produção de aço bruto no Brasil [3].



Além dos fatores históricos já mencionados, para explicar a ausência de

multinacionais no setor siderúrgico brasileiro, pode apontar uma tendência mundial, na qual privilegiavam-se investimentos locais, devido a fatores como: altos custos fixos irrecuperáveis da siderurgia, que privilegiavam a economia de escala, favorecendo altos investimentos em um pequeno número de locais; e a possibilidade de exploração de vantagens locais, como proximidade com

matérias primas [5].

Ainda como inibidores de investimentos externos, pode-se citar a baixa diferenciação que se existia entre os produtos, ou seja, apesar dos esforços de marketing para destacar a qualidade de seus produtos, o mercado sofria de um progresso muito lento, que resultava em baixa diferenciação de qualidade entre as empresas [5].

Como se pôde observar, a indústria siderúrgica sempre esteve altamente associada às estratégias políticas, e principalmente no cenário pós-guerra teve seu desenvolvimento fomentado pelos próprios governos, que davam preferência ao desenvolvimento de indústrias de base para reconstrução de seus países. Levando a um aumento total na produção de aço mundial após as grandes guerras [5].

Atualmente, a América do Sul é responsável por cerca de 4% da produção mundial de aço bruto (figura 5-5), sendo o Brasil o maior produtor da América do Sul (figura 5-6), responsável por aproximadamente 2,5% da produção mundial (9º maior produtor de aço do mundo, tabela 5-2).

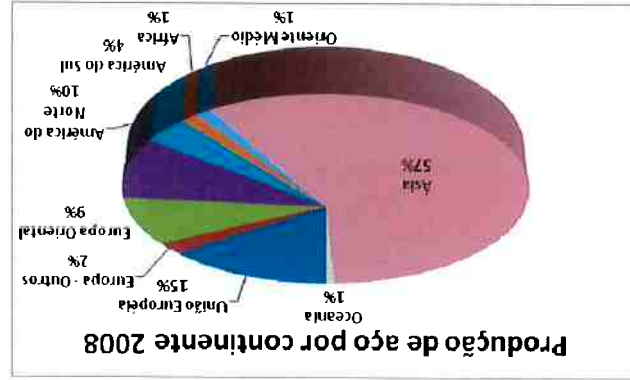
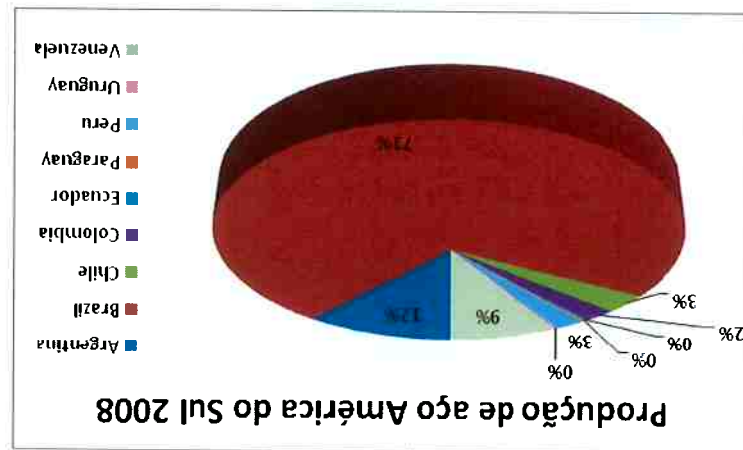


Figura 5-5: Produção de aço por continente. América do Sul responsável por 4% da produção mundial [39].

Tabela 5-2: Tabela com os maiores produtores de aço do mundo. O Brasil, evidenciado, está em 9º colocado ^[39].

Pais	Milhões de toneladas	Porcentagem
1 China	500.488	38,4%
2 Japão	118.738	9,1%
3 Estados Unidos	91.490	7,0%
4 Rússia	68.510	5,3%
5 Índia	55.050	4,2%
6 Coreia do Sul	53.488	4,1%
7 Alemanha	45.833	3,5%
8 Ucrânia	37.107	2,8%
9 Brasil	33.713	2,6%
10 Itália	30.477	2,3%
11 Turquia	26.410	2,0%
12 Taiwan	20.210	1,6%
13 Espanha	19.048	1,5%
14 França	17.874	1,4%
15 México	17.615	1,4%
16 Canadá	15.130	1,2%
17 Reino Unido	13.538	1,0%
18 Bélgica	10.860	0,8%
19 Outros	154.140	11,8%
Total 2008	1.329.719	100%

Figura 5-6: Produção na América do Sul, sendo o Brasil responsável por 71% do total [39].



5.3 Desafio tecnológico

5.3.1 Carvão Vegetal

No processo de carbonização da madeira objetiva-se a concentração da energia da biomassa em menor volume, removendo umidade e voláteis, como compostos orgânicos leves e oleosos. Assim, o carvão vegetal praticamente dobra o seu conteúdo energético por massa (900 kJ/kg), com cerca de 75% de carbono fixo, carbonização a temperaturas máximas de 400°C e poder calorífico inferior de 1690 kJ/kg [45].

Se ainda se deseja eliminar praticamente todos os voláteis é possível realizar a coqueificação deste carvão vegetal, chegando a 95% de carbono fixo e PCI de 2000 kJ/kg. Para se determinar o rendimento do processo de carbonização vegetal geralmente se utiliza o quociente entre o peso do carvão vegetal seco e o peso da madeira seca (rendimento gravimétrico) [45].

Também é possível recuperar parte do alcatrão do carvão para ser utilizado como combustível no pré-aquecimento de panelas de gusa e aço, bem como em fornos de aquecimento de lingotes, diminuindo o impacto ambiental do processo. Bem como explorar a possibilidade de utilizar pequenos cortes das árvores para geração de energia [45].

Para se aferir a qualidade do carvão vegetal leva-se em consideração características químicas, físicas e mecânicas da madeira. Já com relação ao

processo de carbonização pode-se levar em conta a umidade da madeira, diâmetro, distribuição dos gases dentro dos reatores, temperatura final de carbonização, taxa de aquecimento dos fornos de carbonização e a pressão de trabalho [45].

Dada a importância da umidade inicial da madeira na carbonização, ultimamente tem-se priorizado o desenvolvimento de processos de secagem de biomassa de forma mais eficaz e simples, através do uso de energia solar. Para se ter uma noção, estima-se que o aumento de 1% na umidade inicial da madeira pode levar à redução de até 0,37% no rendimento gravimétrico [45].

De maneira geral, pode-se representar esquematicamente o processo de produção do carvão vegetal com o fluxograma apresentado na figura 5-7.

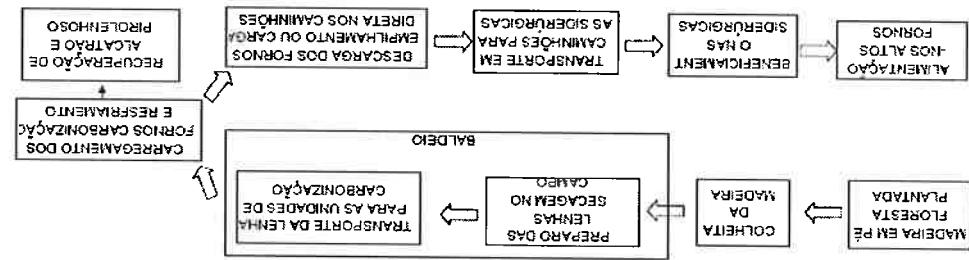


Figura 5-7. Fluxograma da produção de carvão vegetal [45].

Atualmente, cerca de 70% da produção de carvão vegetal é realizada em fornos de tijolos comuns, conhecidos como “Rabo-Quente”. Estes fornos, apesar de diminutos e rudimentares, quando operados de forma controlada, são tão eficientes quanto os grandes fornos parcialmente mecanizados. Porém, ainda é necessária maior capacidade para operação destes fornos, bem como a mecanização de algumas operações como as de carga e descarga [45].

É importante notar que a tecnologia de carbonização do carvão vegetal permaneceu praticamente estagnada quando comparada ao desenvolvimento da tecnologia do carvão mineral e coque. E hoje pode-se considerar que se utilizam quatro tipos principais de fornos [45]:

Observando a distribuição de custos do processo de carbonização da figura 5-8, percebe-se que os custos relativos à logística chegam a ultrapassar aqueles relativos à carbonização e beneficiamento em si! [45].

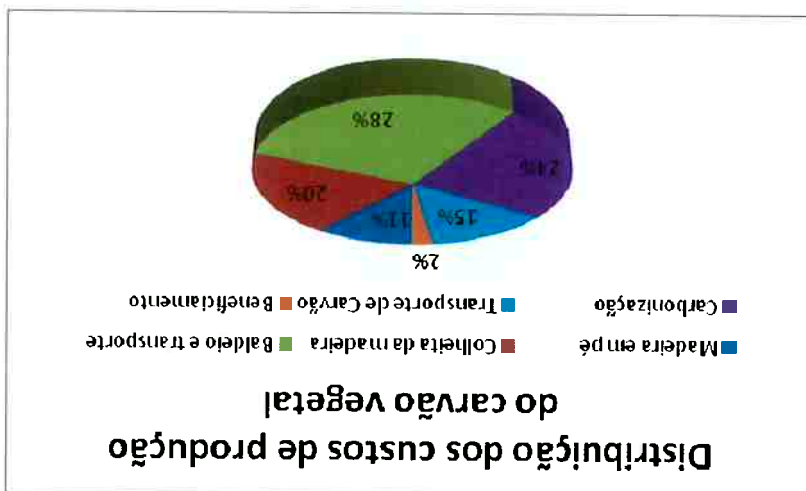
Entre as novas tecnologias de carbonização destaca-se a de *Dry Pyrolysis Carbonization* (DPI), processo contínuo que otimiza o balanço de massas e energia, e melhora a homogeneidade do carvão obtido, mas que ainda se encontra em fase de comprovação na escala industrial. Neste aspecto, algumas empresas como a V&M do Brasil e ArcelorMittal apresentam atualmente, o aprimoramento de diversas tecnologias, bem como a reestruturação de outras mais antigas (como os fornos cilíndricos metálicos) [45].

A presença de alguns processos já centenários pode ser explicada também pela baixa densidade energética da madeira/biomassa, bem como a fácil acessibilidade dos fornos de tijolos comuns. Estes fornos podem estar no local da fonte de madeira, reduzindo os custos logísticos [45].

- Fornos cilíndricos metálicos.
- Fornos retangulares, que apesar de ganharem escala de produtividade, na maioria das vezes, não captam os condensáveis da carbonização para reuso;
- Fornos cerâmicos tipo colmeia (*beehive kilns*);
- Fornos cerâmicos cilíndricos;

- Maior treinamento da mão-de-obra responsável pelo controle e operação dos fornos de carbonização. Para tanto é fundamental a criação de escolas técnicas e homogeneização de métodos.
 - Otimização da logística de transporte, já que ela representa a maior parte do custo do carvão vegetal.
 - Investimento em pesquisas que desenvolvam tecnologias de carbonização e maximizem a eficiência da conversão e ao mesmo tempo a recuperação dos voláteis.
 - Mecanização de processos de carga e descarga em pequenos produtores.
 - Melhoria dos processos de quantificação de umidade e outros parâmetros envolvidos na qualificação do carvão vegetal.
 - Melhoria do controle da umidade da biomassa através da pavimentação e limpeza das unidades de secagem e armazenagem.
- Assim, pode-se concluir que para ampliar a utilização do carvão vegetal na siderurgia brasileira é relevante citar as seguintes medidas ^[45]:

Figura 5-8. Distribuição de custos da produção de carvão vegetal ^[45].



O alto forno a carvão vegetal não apresenta muitas diferenças de um alto forno convencional em termos de desenho^[46], apenas tem seu tamanho diminuído dada a baixa resistência mecânica do carvão. Esta limitação acaba

diminuindo custos logísticos^[22]. Geralmente estas usinas são controladas por companhias onde há uma grande produção de finos de minério e gaseiros. Elas se encontram próximas dos locais de captação de matéria-prima ou dos mercados locais, diminuindo

Para realizar a produção de ferro gusa utilizando carvão vegetal é necessária a utilização de mini alto fornos (MAF), com capacidade entre 40.000 e 300.000 toneladas de ferro gusa por ano. Sendo que no Brasil, cerca de 90% da produção de gusa por carvão vegetal é realizada em usinas não integradas^[22].

5.3.2 Mini alto-forno

Ou seja, trata-se de um esforço conjunto para desenvolver toda a cadeia produtiva do carvão vegetal, desde a produtividade agrícola das florestas até a melhoria do escoamento de carvão e insumos.

- Com relação à emissão de CO₂, é preciso que as entidades reconheçam as fontes renováveis como vantajosas, estabelecendo incentivos.
- Desvinculação da imagem de carvão vegetal ao coque. O carvão vegetal é um produto bastante distinto do coque, devendo ser estudado e tratado de forma diferenciada.
- Reengenharia dos fornos retangulares através de estudos de dinâmica de fluidos dentro dos fornos, mecanização do processo de carga, domínio do uso de ventiladores para movimentação dos fumos e resfriamentos, e desenvolvimento de sistemas de carga contínua e mecanizada.
- Viabilização de processos de secagem da madeira através do uso de voláteis reaproveitados da carbonização.

por limitar sua produtividade para até 300.000 toneladas de ferro gusa por ano. mineral é necessário controle rigoroso de seus parâmetros de processo, tais como a injeção de gás pelas ventaneiras, a qualidade do material metálico e do material carbonáceo, temperaturas de queima e conseqüentemente, a atmosfera redutora dentro do MAF.

A carga do MAF é construída em chapas de aço carbono de diversas espessuras. Internamente o forno é revestido com tijolos refratários com alto teor de alumina, enquanto o cadinho é revestido com blocos de carbono. A carga do MAF é fixada diretamente na sua base de concreto [47].

As ventaneiras são alimentadas com ar pré-aquecido (o sopro), a partir da cora de distribuição, dotados de juntas de expansão e com conexões articuladas. O número de ventaneiras depende do volume útil do forno e da vazão de sopro especificada.

O MAF é dotado de um único furo de corrida por onde são vazados o metal líquido e a escória. A escória é separada do gusa líquido, na própria bica de corrida, através de um sistema de contenção. Esse sistema está localizado na própria plataforma de operação [22].

Normalmente a carga do MAF possui refrigeração externa, por aspersão, em circuito fechado, não sendo econômico o recurso à refrigeração interna - esse é um dos diferenciais de custo de instalação do MAF em comparação ao alto forno convencional. Já ventaneiras e timpas são dotadas de sistema de refrigeração em circuito fechado, com torres de resfriamento, em tudo semelhante aos grandes altos-fornos [47].

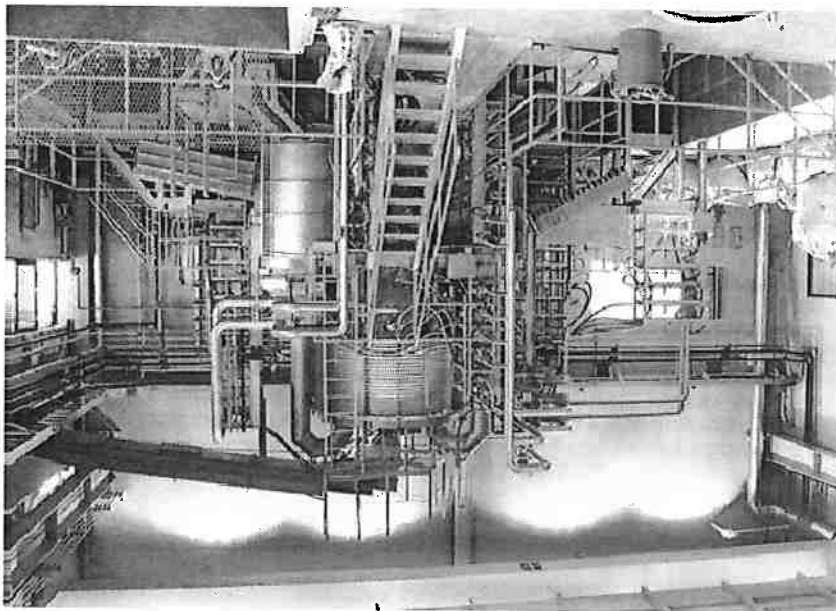
Uma imagem de um mini alto-forno instalado pode ser visto na figura 5-9. Este foi instalado pela Samsung na Coreia do Sul, para a fabricação de ferro gusa, este será utilizado na fabricação de componentes para seus equipamentos produzidos [48].

Por outro lado, o alto forno à coque contém menor teor de fósforo no ferro gusa e menor quociente CO/CO_2 , o que gera maior capacidade calorífica utilizada para pré-aquecer o sopro no forno, ou para vender o excesso para produção de energia elétrica [22].

Dentre as vantagens da utilização de mini alto fornos pode-se citar a emissão zero de CO_2 , baixo teor de enxofre no metal, baixo volume de escória, (cerca de 150 kg/ton de ferro gusa) e baixa basicidade binária da escória (por volta de 0,9) [22]. É importante destacar que a emissão zero de CO_2 só é possível quando se considera o processo produtivo como um todo, ou seja, é importante que se leve em consideração a produção do carvão vegetal no cálculo de emissão de carbono.

Outro ponto importante da utilização de mini alto-fornos para se aumentar a produtividade, é a utilização de sinter na carga já que as partículas parcialmente fundidas resultam em maior aproveitamento dos gases na redução e do calor gerado na queima do carvão [45].

Figura 5-9: Imagem de mini alto-forno instalado na Coreia do Sul, controlado pela Samsung [48].



5.3.3 Technored™

O processo Technored™ é uma tecnologia emergente de produção de ferro primário, desenvolvida no Brasil, que se destaca pelo uso de um forno com geometria inovadora, que utiliza matérias-primas de baixo custo de forma limpa e altamente eficiente ^[49].

As matérias-primas, utilizadas através de aglomerados auto-redutores (pelotas ou briquetes) de cura a frio são produzidos a partir de finos de minérios de ferro ou resíduos ferrosos, mais um agente redutor como finos de coque verde de petróleo, carvão vegetal ou carvão mineral. Estes materiais, misturados com fluxantes e ligantes, são aglomerados e curados ao tempo ou em equipamentos de concepção especial ^[50].

Esta tecnologia apresenta dois grandes atrativos quanto à produção de ferro ^[50]:

- 1) Possibilidade de utilização de diversos combustíveis sólidos de baixo custo;
- 2) Utilização de matérias-primas mais baratas na produção de ferro, como resíduos próprios e de terceiros (rejeitos de lavra, finos de peneiramento, transporte, limpeza etc).

Outro atrativo do processo também é a redução do espaço utilizado pelo sistema produtivo. Uma comparação em escala é feita pela figura 5-10 ^[51], e uma fotografia de um dos fornos instalados na Aços Villares (atualmente, Gerdau), na cidade de Pindamonhangaba, é mostrado na figura 5-11 ^[52].

Em um processo de produção de ferro fundido, o coque é responsável pela fluidização do leito de queima (tanto para a fase líquida quanto a fase gasosa presente no sistema), visto que ele é o único material sólido na zona de fusão de um alto-forno, pela energia liberada da sua queima (que o torna responsável pela fusão do ferro) e pela formação de gases redutores como o CO e a inserção de carbono na estrutura do ferro fundido ^[51,52].

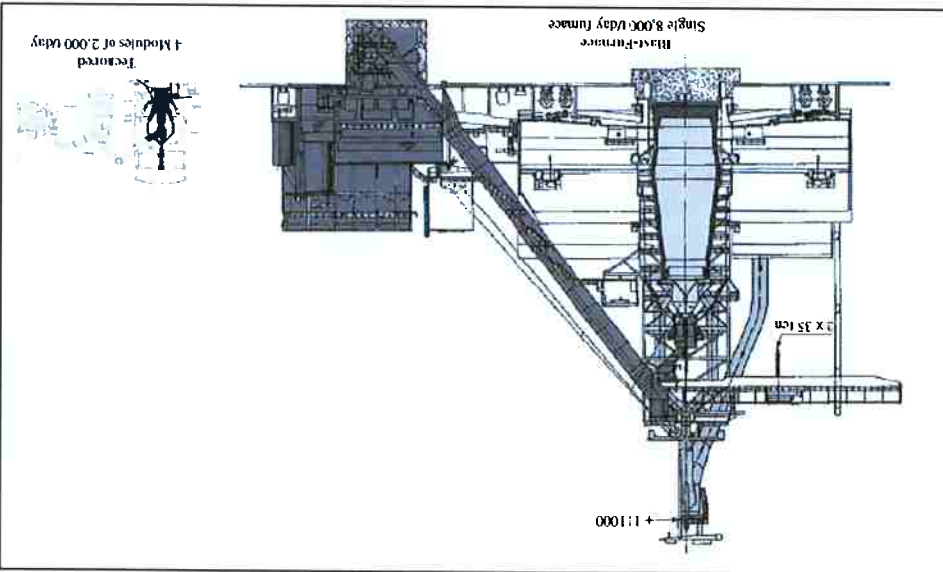


Figura 5-10: Comparativo em escala de alto-forno convencional contra forno Technored™ [61]



Figura 5-11: Forno Technored instalado na Aços Villares [52]

Fuel	Fixed C (%)	Volatiles	Ashes (%)	S (%)	Size Range (mm)
Met. coke	85.70	1.80	1.250	< 1.00	+ 30 - 60 and + 40 - 80
High ash met. coke	79.80	1.10	1.9.90	< 1.00	+ 40 - 100
Anthracite coal*	50.00	14.00	36.00	< 3.00	+ 30 - 50
Per-coke (Argent)	84.48	14.52	1.00	0.61	+ 30 - 60 and + 40 - 80
Per-coke (Brazil)	87.00	12.00	1.00	0.7	+ 30 - 60 and + 40 - 80
Dry wood**	47.00	32.20	0.80	na	Varied
Fluff	Autonomous residues (Plastics 86% + sand 3% + non-ferrous metallic residues 7% + glass 7%)				

* According to the norm ASTM/D-388, this is a sub-bituminous type of coal, although the trade company sells as an anthracite coal.

** "Brazington" type wood, dried at open air yard.

Tabela 5-3: Combustíveis utilizados na planta-piloto da tecnologia TecnoRed™ [51].

diversos materiais testados é apresentado na figura 5-12.

combustíveis, mostrados na tabela 5-3. Seu desempenho no consumo dos planta piloto da tecnologia TecnoRed™, foram testados diversos materiais custos de obtenção do material. Segundo NOLDIN JR. et AL [51], em uma quantidade de material necessária para fusão e redução, implicando assim, em mediante o material metálico a ser reduzido, pois isto influenciará na A escolha tanto do combustível quanto do material redutor, deve ser feita a 80 mm de diâmetro [50].

particulado, diferente do primeiro, deve estar com granulometria por volta de 40 que faz a exigência mecânica sobre o material de queima ser menor. Este da quantidade de material inserido no sistema ser consideravelmente menor, o que era necessitado o coque, no processo já não é mais necessário, pelo fato $C+O_2 \rightarrow CO_2$, e outra na reação $CO+1/2O_2 \rightarrow CO_2$ [51]. Para o efeito estrutural em Essa energia é provida de duas etapas de queimas, uma na reação qualquer carvão a ser utilizado, é alimentado por uma entrada lateral no forno. Para a energia demandada na fusão do material o minério de carvão, ou particula [52].

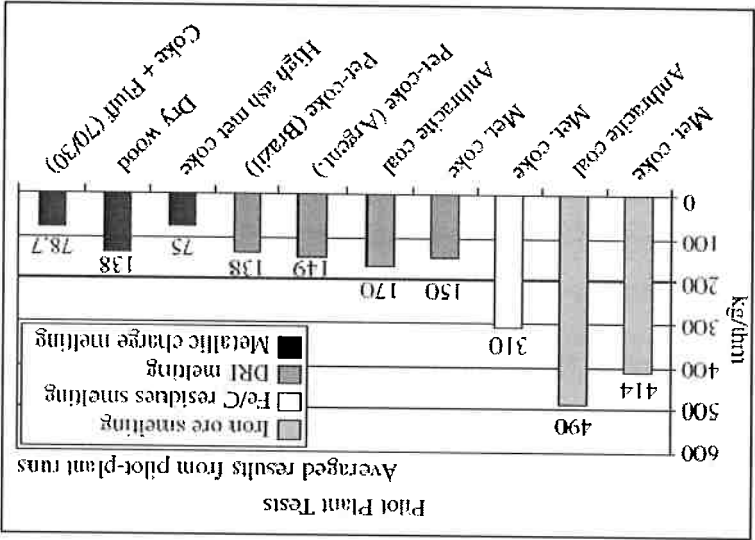
deve se encontrar com granulometria abaixo de 1 mm, para melhor redução da suficiente para a completa redução do metal. Geralmente o material particulado fonte de carbono enriquecida, desde que a razão Carbono/Oxidos de ferro seja combustíveis do processo. Para a redução, são utilizados finos de qualquer material é diferente do da queima, o que viabiliza a flexibilidade de Porém, no processo TecnoRed™, o material responsável pela redução do

Materials	
Solid Fuels	
1. Non-coking coals	Lump anthracitic coal
2. Oil refinery residues	Briquettes of coal fines
3. Low-cost cokes	Green Pet-coke
4. Bio-mass	High-ash semi-cokes (Indian gas plant coke)
	Wood chips (up to 20% mixed with coal)
5. Waste Materials	Charcoal
	Charred wood chips
	Briquettes of charcoal fines
	Tire pieces (up to 20% mixed with coal)
	Fluff (up to 20% mixed with coal)

Tabela 5-4: Combustíveis aprovados no processo Tecored™ [51].

Convém notar que os valores são teóricos e que foram realizados diferentes processos na etapa de testes, e que os valores de consumos devem ser menores que estes apresentados, tendo em vista que fornos industriais devem ter melhores controles de perda de calor, de pressão de gás, entre outros fatores. Os combustíveis aprovados para o uso no processo são mostrados na tabela 5-4 [51].

Figura 5-12: Gráfico do consumo de combustível pelo tipo de combustível utilizado nos testes da planta-piloto [51].



Com o uso de biomassa como redutor e combustível do sistema e sua

posterior reposição, se os gases de topo do processo forem direcionados para a área plantada, tem-se o efeito chamado de “sequestro de CO₂” [50,51]. Este “sequestro” é dado pela fixação do CO₂ emitido pelo forno através das plantações geradoras de biomassa do sistema.

A produção do gás oxigênio, liberado pela plantação na fotossíntese, pode ser levada em consideração quando realizado o balanço de emissão de carbono. Neste cálculo, a emissão de gases provenientes do sistema de queima é contrabalançada pela emissão de oxigênio e pelo consumo de gás carbônico na fotossíntese. Quando a biomassa atinge uma massa crítica, onde não há mais a fixação do carbono, a biomassa é colhida, e o processo se inicia novamente.

Este processo prova-se auto-sustentável ao ponto de vista ambiental, quando utilizado 100% do combustível como biomassa. Para grandes operações, este processo pode-se transformar em uma fonte de lucro, pois o balanço de emissão de carbono na atmosfera é negativo (consome mais CO₂ que libera na atmosfera), e com a comercialização de créditos carbono, gera mais uma fonte de recursos para sua utilização [50,51]. Um fluxograma deste processo é mostrado na figura 5-13.

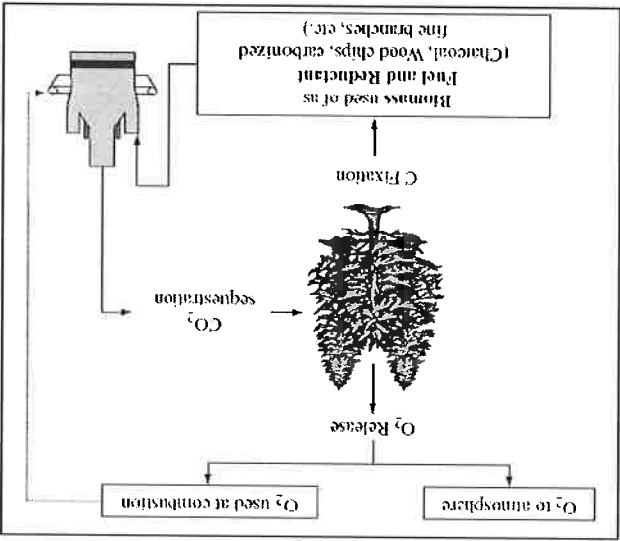
Atualmente o sistema de transportes no Brasil representa um entrave não somente para o escoamento e suprimento da produção de aço, mas para inúmeros setores produtivos. Principalmente devido ao fato de ainda operar um modelo dos anos 60 e 70, que não privilegia a competição entre as operadoras de transporte ferroviário, por exemplo, necessita de regulamentação que assegure ao usuário custos competitivos, bem como a modernização e ampliação do sistema. Já o sistema portuário sofreu avanços nos últimos anos, estabelecimento da competitividade do setor.

Para produzir uma tonelada de produto siderúrgico estima-se que são consumidas cerca de 2,7 toneladas de insumos^[53], e como seus produtos possuem baixo valor unitário e de alta densidade, o frete tem elevada participação na formação do custo. Assim, o transporte é fundamental para o

5.4.1 Logística

5.4 Desafio de infra-estrutura

Figura 5-13: "Sequestro" de CO₂ causado pela técnica do uso de biomassa como combustível e redutor do processo TecoredTM [51].



porém ainda insuficientes para igualar os custos portuários brasileiros aos custos e qualidade de operação internacionais.

Já com o transporte marítimo, é importante adotar medidas que permitam a maior utilização da bacia hidrográfica brasileira e da navegação de cabotagem.

Outros pontos fundamentais com relação à logística são o estabelecimento da livre circulação na América do Sul, agilizando o trânsito aduaneiro e a transposição de fronteiras; e a multimodalidade, principalmente através da simplificação do ICMS.

5.4.2 Investimentos e carga tributária

Entre 1994 e 2006, a siderurgia nacional recebeu cerca de US\$ 19 milhões em investimentos, e objetivando assegurar pleno atendimento do mercado interno e ampliar as exportações ainda se busca mais US\$ 35 milhões em investimentos ^[53].

Para que se mantenha o ritmo dos investimentos é preciso estabelecer a isenção total de incidência de impostos sobre investimentos e bens de capital. Bem como se estabelecer política de crédito fiscal às exportações.

Bem como outros setores industriais, a siderurgia defende pronta reforma tributária, para que se tenha maior transparência e eficiência na arrecadação, resultando em maior competitividade internacional da indústria siderúrgica.

5.5 Desafio ambiental

Um grande esforço da indústria siderúrgica nos últimos anos têm sido minimizar o impacto ambiental deixado pela produção do aço. Segundo o Instituto Aço Brasil, somente em 2007 as iniciativas relacionadas ao meio ambiente somaram R\$ 570 milhões ^[53], entre ações de melhoria e preservação. No Brasil, a certificação que trata da gestão ambiental é a NBR ISO 14 001, que tem como foco a proteção ao meio ambiente e à prevenção da poluição equilibrada com as necessidades sócio-econômicas, ela é baseada na série ISO 9000 ^[53].

5.5.1 Energia Elétrica

O setor é responsável por 10,5% do consumo de energia elétrica industrial nacional. Neste aspecto as indústrias siderúrgicas têm tentado reduzir o consumo de matérias primas e insumos não renováveis, tanto através da otimização do uso desses materiais quanto do aumento da reciclagem deles. Um importante recurso natural utilizado na produção do aço é a energia, tanto elétrica quanto de redução, podendo-se considerar que se utiliza cerca de 19 GWh [3].

Uma iniciativa importante é o aproveitamento de gases gerados no processo produtivo para geração de energia termoeleétrica, chegando a gerar até 30% da energia consumida pelo setor [53]. Esta é uma iniciativa interessante, pois ataca de uma vez só duas questões de importância fundamental para a sustentabilidade da indústria, a emissão de gases e a utilização de energia elétrica.

Além disso, para a indústria siderúrgica brasileira é fundamental que haja regulação que aumente a confiabilidade do fornecimento e serviços, além da garantia de preços livres e competitivos [53].

5.5.2 Geração de resíduos¹ e co-produtos

Alguns outros resíduos estão presentes na produção do aço, como finos e pós, provenientes de sistemas de despoeiramento; lamas, fruto de estações de tratamento de águas e efluentes; sucatas metálicas; agregados siderúrgicos, vindos de alto-fornos e aciarias; e subprodutos do processo carboquímico, como carepas, refratários e borras. Pode-se considerar que o processo siderúrgico gera, em média, no Brasil cerca de 450 kg de co-produtos e resíduos por tonelada de aço produzida, sendo 70% de escória [53].

Geralmente se busca a otimização do processo para que ocorra cada vez mais a redução de emissão deles, porém, não sendo possível maior otimização, procura-se a reutilização do co-produto ou o descarte ou

¹Considera-se resíduo todo material que não tem utilização técnica e economicamente viável. Ao contrário de co-produtos, que são materiais gerados de forma secundária e que possuem aproveitamento como matéria prima ou fonte de energia

A *World Steel Organization* estima que a indústria do aço no mundo seja responsável por aproximadamente 3% do total das emissões diretas de CO₂ [53]. Porém, se considerarmos que se trata de uma indústria essencialmente redutora, o processo de emissão de CO₂ é praticamente inerente à produção de aço. Desta maneira, uma vez que não é possível uma grande otimização do processo, é possível que a imposição de metas de redução de CO₂ agregue custos elevados ao produto final.

O uso de carvão vegetal, por exemplo, só pode ser considerado uma vantagem, a partir do momento em que se regularmente a produção do carvão. Ou seja, é necessário adotar políticas que não só evitem o desmatamento de florestas nativas, mas estabeleçam o reflorestamento e o controle de emissões de gases na produção do carvão vegetal.

Mesmo que, comparativamente, a indústria brasileira seja considerada baixa emissora de gases poluidores em função do uso do carvão vegetal e de fontes renováveis de energia elétrica, é fundamental estabelecer políticas setoriais definidas que objetivem metas conjuntas.

5.5.3 Emissão de gases de efeito estufa (GEE)

Ainda na questão da comercialização de subprodutos devemos considerar unidades carbônicas. Somente estes compostos geraram receita de R\$ 571 milhões em 2007 [53].

Grande parte destes resíduos e co-produtos (cerca de 60%) referem-se aos chamados agregados siderúrgicos, ou seja, sucata de ferro e aço (14%), finos, pós, lamas e outros (juntos somam 26%). Destes agregados, cerca de 80% são comercializáveis, principalmente para a produção de cimento e base de pavimentação de estradas [53].

Em 2007, estima-se que a indústria siderúrgica brasileira tenha gerado por volta de 21 milhões de toneladas de resíduos e co-produtos. Sendo que 94% foram reaproveitados e apenas 6% foram dispostos em aterros ou incinerados a partir de procedimentos ratificados por órgãos competentes [53].

Por isso a maioria das siderúrgicas nacionais trabalha em projetos relacionados à maior eficiência energética dos processos e plantio de florestas para produção de carvão vegetal como insumo. Além de todos os benefícios já mencionados, a utilização de carvão vegetal substitui a importação do insumo e aumenta a geração de empregos no país ^[54].

Assim, é fundamental que se estabeleça um esforço conjunto entre indústria, governo e entidades associativas, para que se estabeleçam metas e práticas conjuntas, que levem em consideração tanto sua realidade política quanto prática.

5.5.4 Legislação

Com relação à legislação ambiental, a brasileira é extensa e complexa. Por isso diversas organizações do setor têm trabalhado para melhorar a viabilidade técnica e econômica aplicadas à legislação. Nesse aspecto é necessário estabelecer metas conjuntas de atendimento à legislação, bem como o estabelecimento de políticas e padrões que levem em consideração a extensa diversidade física, sócio-econômica e cultural existente no Brasil. A simples reprodução de leis internacionais não necessariamente se aplica a um país tão extenso e diverso como o Brasil, sendo necessária a realização de estudos prévios que garantam a viabilidade da aplicação das leis ^[54].

Uma grande lacuna na legislação ambiental é a falta de disposição a respeito da definição e descarte de resíduos no Brasil. É necessário se estabelecer norma geral que incentive a reciclagem e o reuso de resíduos ^[54].

Outro ponto importante com relação à legislação é estabelecer definição clara quanto à sobreposição das esferas federal, estadual e municipal, já que muitas vezes a superposição gera conflitos que acarreta em maior duração da tramitação de processos de licenciamento e fiscalização ^[54].

Ainda no quesito licenciamento, é fundamental que se defina juridicamente critérios e procedimentos objetivos para o licenciamento ambiental, mais uma vez garantindo maior agilidade dos processos ^[53].

5.5.5 Utilização de Recursos hídricos

Com relação aos recursos fluviais utilizados pela siderurgia, pode-se considerar que em um só dia cerca de 16 milhões de metros cúbicos de água circulam nas unidades de produção, sendo que, destes 16 milhões, cerca de 15 milhões (ou seja, 94%) circulam em circuito fechado. A maior parte deste volume (cerca de 60%) é água salobra/salgada que é utilizada nos sistemas de refrigeração. O processo total considera que são gastos cerca de 14m³ de água por tonelada de aço (sendo 10m³ de água doce) ^[54].

Na ponta inversa do processo, as iniciativas têm como meta zerar o lançamento de efluentes nos corpos d'água, investindo em reutilização e tratamento de efluentes. Ainda neste sentido, observam-se projetos de recuperação de matas ciliares, para evitar o assoreamento dos rios. Geralmente as indústrias trabalham em conjunto com órgãos como o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e os Comitês de Bacia Hidrográfica, par que juntos possam regulamentar o uso da água e também assegurar a qualidade necessária para a produção do aço ^[53].

6. Tendências mundiais

6.6 Japão

Dada a ascensão de países do BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China), é possível observar que a produção de aço japonesa experimentou queda de aproximadamente 20% de sua produção entre 1970 e 1990 [xx]. Porém, na última década a produção apresentou retomada, apenas interrompida devido à crise econômica mundial de 2008. Segundo MIWA ^[55], é possível identificar algumas tendências marcantes nos últimos dez anos na siderurgia japonesa:

- Aquelas no intuito de utilizar matérias primas e combustíveis mais baratos.
- Medidas que prolonguem a vida útil de alto-fornos e coqueiras.
- Medidas de economia de energia.
- Soluções para questões ambientais.

Assim, a indústria japonesa tem tomado iniciativas no intuito de melhorar a capacidade produtiva de cada alto-forno, empregando refratários de melhor desempenho, por exemplo, (maior resistência à corrosão e alta condutividade térmica). Para ilustrar a diminuição no número de alto-fornos, a indústria japonesa passou de 65 alto-fornos em 1971 para 28 em 2009. Com relação às coqueiras, também é observado maior esforço para aumentar a vida útil de seus fornos, desenvolvendo métodos mais eficientes e precisos de diagnóstico e reparo dos danos [55].

Além disso, busca-se maior eficiência no processo produtivo, com maior produtividade, conservação de energia e estabilidade operacional. Para tanto, pesquisa-se o uso de sinter pellets MEBIOS (Mosaic Embedding Iron Ore Sintering), tecnologia que controla a reação de fusa do minério de ferro e calcário, distribuindo melhor a circulação do coque volatilizado e também uniformizando a distribuição do calcário. Este processo busca melhorar a produtividade do sinter e sua reutilidade [55].

Com relação à otimização de recursos, pode-se citar a tecnologia de aglomeração híbrida de minério para alto-fornos. Essa tecnologia transforma minério de baixa qualidade em pelotas utilizando o carvão para amolecimento e fusão das mesmas. Ela objetiva utilizar diversos tipos diferentes de minério de ferro e também dar maior resistência mecânica para melhor distribuição da carga e, portanto, maior controle para obter maior eficiência energética [55].

Outro processo recente é a injeção de combustível secundário (super-sinter), injetando gás natural na camada superior da cama de sinter e auxiliando a manutenção da temperatura na parte superior da cama de sinter e se melhora a eficiência energética e a exaustão de CO₂ em, aproximadamente, 60 mil toneladas por ano [55].

Relacionado à eficiência do alto-forno pode-se citar o desenvolvimento de novos processos de simulação numérica, como o uso do método de elementos discretos, utilizado para simular o comportamento de partículas de ferro gusa durante o processo de redução. Pode-se citar ainda a utilização de alto-forno experimental, para se ter melhor noção da situação real, e a utilização de gás natural para aumentar a produtividade do alto-forno. A injeção de gás natural

melhora a permeabilidade do alto-forno, resultando em mais oxigênio no sopro e, então, maior produtividade [55].

Com relação ao consumo de energia além de se comprometer com metas de redução de emissão de carbono, o país investe em processos siderúrgicos inovadores, como o desenvolvimento de um composto feito de óxido de ferro, material carbônico e ferro metálico. Este material resultaria em redução de consumo energético, pois propiciaria ao cubo do alto-forno uma redução de temperatura de 1000° para 800°C. Porém, este composto ainda se encontra em fase de desenvolvimento [55].

Ainda relacionado com a redução de emissão de CO₂, a IISI (*International Iron and Steel Institute*) propôs o projeto COURSE 50 (*CO₂ Ultimate Reduction in Steelmaking process by innovative technology for cool Earth 50*). Consistente em duas partes, sendo a primeira, o desenvolvimento de tecnologias de uso prático para redução do minério de ferro com uso do hidrogênio e a segunda, o desenvolvimento de técnicas baratas de obtenção de hidrogênio [55].

6.7 China

A partir da década de 1990, a indústria siderúrgica chinesa passou a ter lugar de grande destaque no cenário mundial, sendo que a partir do ano 2000 é possível observar crescimento vertiginoso. A figura 6-1 exibe o crescimento financeiro da siderurgia chinesa nos últimos 20 anos [56].

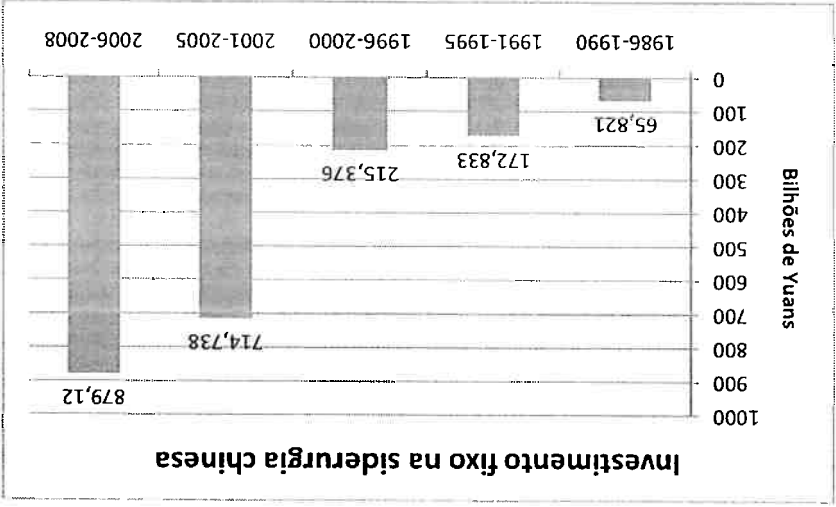


Figura 6-1: Investimento fixo na indústria siderúrgica chinesa (1986-2008) [56].

É possível atribuir o rápido crescimento da capacidade instalada chinesa à dramática redistribuição do parque industrial siderúrgico. Com exceção do Tibete (região autônoma) em todas as 30 unidades administrativas existem indústrias do ferro, resultando em aumento expressivo no número de alto-fornos [56].

Dado o recente desenvolvimento chinês, foi possível a construção de grandes alto-fornos, mais modernos. Porém, segundo ZHANG [56], o que proporcionou tamanho aumento de produção foi a disseminação do uso de alto-fornos menores, com maior produtividade.

Como é possível notar, a China se encontra em situação peculiar com relação aos outros produtores mundiais, já que experimentou desenvolvimento impar nas últimas décadas. Assim, existe um fenômeno de coexistência, no qual tecnologias ultrapassadas coexistem com modernas instalações. Sendo esta uma das principais questões a serem discutidas no desenvolvimento da siderurgia chinesa [56].

Também é possível perceber que o rápido crescimento chinês trouxe um número excessivo de alto-fornos, coqueiras e plantas de sinterização, fazendo-se necessária a reestruturação do parque industrial [56].

Outra questão fundamental quando se trata de desenvolvimento da China é a utilização de recursos naturais. É principalmente na extração de carvão que se deve ter cuidado especial, para que haja menor impacto ambiental associado a esta indústria [56].

A indústria do aço chinesa representa cerca de 13 a 14% do consumo energético do país, havendo abundante espaço para redução do consumo. Outros dois importantes fatores são a adoção de medidas mais rigorosas de controle de emissão de gases poluentes (questão pouco desenvolvida na China), e o desenvolvimento de mão de obra qualificada, já que o fenômeno da coexistência levou à falta de homogeneidade na qualidade da mão de obra [56].

Por isso, para ZHANG [56], existem três fatores fundamentais para o desenvolvimento da indústria do aço na China:

Do ponto de vista tecnológico, pode-se dizer que a indústria siderúrgica nacional sofreu com a gestão do Estado, já que muitas vezes pode-se afirmar que este tipo de gestão privilegiava as questões políticas às tecnológicas, deixando de gerar produção de pesquisa e desenvolvimento.

Assim, no Brasil a siderurgia somente passou a uma livre economia de mercado após o processo de privatização das indústrias. Porém, como o processo foi majoritariamente dado através de leilões de ações, as empresas do setor eram instáveis, levando a um novo processo, o de fusões e aquisições, o que, finalmente, resultou na concentração da indústria em cerca de 10 grandes empresas.

Dada a importância do aço para a sociedade, é possível identificá-lo como insumo estratégico, tanto para o desenvolvimento humano e social quando militar. Por esse motivo a produção deste metal desenvolveu histórico peculiar, levando, entre outros fatores ao baixo nível de internacionalização de suas indústrias e, como no caso latino americano, a constante intervenção do Estado no setor.

A utilização e o domínio das técnicas de obtenção do aço têm sido fundamentais no desenvolvimento da humanidade. Desde que descoberta a utilidade deste material, o homem tem se esforçado para conseguir produzi-lo de forma a suprir matéria-prima para diversos tipos de utilização. Por isso os ganhos de escala foram imensamente importantes para o desenvolvimento de diversos setores industriais.

7. Considerações Finais

Citando como gargalos produtivos a insuficiência de recursos naturais e o alto impacto ambiental.

- Crescimento econômico da sociedade, como fator principal.
- Progresso tecnológico, como importante fator.
- Restrições quanto ao uso dos recursos naturais, energia e meio ambiente.

Atualmente a siderurgia brasileira se mostra em compasso com questões abordadas mundialmente como logística, utilização de recursos hídricos e energia elétrica, geração de co-produtos e resíduos, utilização de sucata, emissão de GEE, legislação e tributação.

É possível observar nos principais produtores mundiais que os pontos fundamentais para o desenvolvimento da siderurgia no mundo são comuns a todos os mercados, entre eles:

- Otimização do uso de matérias primas e insumos;
- Prolongamento da vida útil de alto-fornos e coqueiras;
- Economia de recursos energéticos;
- Soluções para questões ambientais.

Por isso algumas alternativas como a ampliação da utilização de carvão vegetal se mostram viáveis no desenvolvimento do potencial nacional. Além de representarem diminuição nos custos diretos, também se pode dizer que este tipo de iniciativa traz benefícios ambientais implícitos como redução na emissão de carbono e diminuição do consumo de energia elétrica.

É possível concluir que a siderurgia brasileira se encontra em posição privilegiada no cenário mundial. Tanto devido às possibilidades de otimização pouco exploradas quanto devido ao potencial de diminuição de impacto ambiental e emissão de carbono. Estes fatores por sua vez, se mostraram fundamentais no desenvolvimento e precificação do aço no cenário atual. A sustentabilidade tem um peso cada vez maior, e a indústria que não puder contribuir com a economia sustentável se torna ultrapassada e pouco competitiva.

8. Referências Bibliográficas

- [1] ASHBY, M. F., JONES, D.H.R, *Engineering Materials 2*, Oxford: Pergamon Press, 1998.
- [2] Software de seleção de materiais CES EDUPACK, 2005.
- [3] <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/index.asp>, acessado em 16/06/2009.
- [4] SASS, S.L., *The substance of civilization: Materials and human history from the stone age to the age of silicon*, Arcade Publishing, 1998.
- [5] PERENTELLI, N.D., *Aplicação da análise envoltória de dados no estudo da eficiência econômica-financeira da indústria siderúrgica brasileira nos anos 2004 e 2005*, São Bernardo do Campo, 2007.
- [6] <http://www.hindu.com/thehindu/holnus/001200903261611.htm>, acessado em 29/07/2009.
- [7] STRASSBURGER, J.H. et al, *Blast furnace – Theory and practice*, vol.1, Gordon and Breach science publishers, 1969.
- [8] PERCY, J., *Metallurgy: The art of extracting metals from their ores, and adapting them to various purposes of manufacture*, Londres, 1864.
- [9] NEEDHAM, J., *Science and Civilization in China: Volume 4, Part 3, Civil Engineering and Nautics*, Taipei: Caves Books, Ltd., p. 563., 1986.
- [10] YINGXING, S., *Tiangong Kaiwu encyclopedia*, 1637.
- [11] WAGNER, D.B., *Chinese blast furnaces from the 10th to the 14th century*, *Historical Metallurgy* 37, 2003.
- [12] ARAUJO, L.A., *Manual da Siderurgia*, vol. 1, Ed. Arte e Ciência, São Paulo, 1997.
- [13] LANDGRAF, F., TCHIPSTCHIN, A., GOLDENSTEIN, H., *Notas sobre a história da metalurgia no Brasil – 1500 a 1850*, retirado do livro *História da*

Técnica e da Tecnologia no Brasil - Milton Vargas, Editor UNESP., pag.107 a 129, 1995.

[14] AWTY, B., WHITTICK, C., *The Lordship of Canterbury, iron-founding at Buxted, and the continental antecedents of cannon-founding in the Weald*, Sussex Archaeological Collections, pp. 71–81, 2004.

[15] KING, P. W., *The production and consumption of iron in early modern England and Wales*, *Economic History Review* LVIII, 1-33, 1973.

[16] HAMMERSLEY, G., *The charcoal iron industry and its fuel 1540–1750*, *Economic History Review* Ser. II, XXVI, 1973.

[17] TRINDER, B. S., *The Industrial Revolution in Shropshire*, Chichester: Phillimore, 2000.

[18] GLOVER, S., *The history and gazetteer of the County of Derby*, Henry Mozley and son, 1831.

[19] BURKE, E., *The annual register, or, a view of the history, politics and literature for the year of 1829*, Londres, 1830.

[20] FITCH, J.A., *The Steel Workers*, University of Pittsburgh Press, 1989

[21] http://www.salzgitter-flachstahl.de/en/Leber_uns/Produktionsanlagen/Hochofen/, acessado em 02/08/2009.

[22] TAKANO, C., MOURAO, M.B., CASTRO, J.A., TOLEDO N.N., *Sustainable charcoal ironmaking in Brazil, São Paulo*, Universidade de São Paulo, 2010.

[23] <http://www.history.rochester.edu/ehp-book/shb/>, acessado em 08/09/2009.

[24] BARRACLOUGH, K., *Steelmaking 1850-1900*, Institute of Metals, Londres, 1990.

[25] GALE, W.K.V., *Iron and Steel*, Longmans, Londres 1969.

[26] www.msm.cam.ac.uk/phasetrans/2006/LD/LD.html, acessado em dezembro de 2009.

- [27] PENHALBER, C.A.L., *Influência dos parâmetros térmicos durante a solidificação na formação da microestrutura do aço inoxidável austenítico AISI 304*, Itatiba, Universidade São Francisco, 2006.
- [28] PADILHA, A.F., GUEDES, L.C., *Aços inoxidáveis austeníticos: microestrutura e propriedades*, São Paulo, Hemus, 1994.
- [29] MARTINS, M., CASTELETTI, L.C., *Caracterização microestrutural do aço inoxidável super duplex ASTM A890 grau 6A, 12° CONAF* – Congresso de fundição, São Paulo, 2005.
- [30] RAMÍREZ LONDONO, A. J., *Estudo da precipitação de nitrato de cromo e fase sigma por simulação térmica da zona afetada pelo calor na soldagem multipasse de aços inoxidáveis duplex*, Tese de Mestrado, EPUSP, 1997.
- [31] ASM Metals Handbook – Metallography and Microstructure 2004. s.l. : ASM International. Vol. 09.
- [32] Heise et al. – United States Patent 3.861.888 – Jan. 21, 1975.
- [33] CHOULET R. J. - *Stainless Steel refining*, Praxair technology LTD, 1997.
- [34] <http://steel.keytometais.com/default.aspx?ID=CheckArticle&NM=220>, acessado em dezembro de 2009.
- [35] BATES, S; NARIMAN, R. AOD refining process, Maximizes operational efficiency, minimizes costs. Material matters.
- [36] A. H. Chan, A. W. Cullen, L. Stambaugh, J. P. Wiencek - Operation with praxair's Intelligent Refining System – Praxair AOD Systems Group.
- [37] Stainless Steelmaking Solutions – Siemens Val.
- [38] [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Steel production by country map.PNG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Steel_production_by_country_map.PNG), acessado em 19/05/2009.
- [39] <http://www.worldsteel.org/>, acessado em 04/06/2009.
- [40] www.worldsteelprices.com, acessado em 05/01/2010.

[41] www.indexmundi.com/pt/precos-de-mercado/?mercadoria=niquel, acessado em 05/01/2010.

[42] POSO, A.T., *O processo de reestruturação da siderurgia mundial e brasileira*, Tese de mestrado, USP, 2007.

[43] <http://www.poli.usp.br/>, acessado em novembro de 2009.

[44] BAER, W., *Siderurgia e Desenvolvimento Brasileiro*, Ed. Zahar, 1970.

[45] SAMPAIO, R.S., *Conversão da Biomassa em Carvão Vegetal - Situação Atual com Tendências 2025, Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico*, CGEE, 2008.

[46] CHATTERJEE, A., *Beyond the blast furnace*, CRC Press, 1994.

[47] <http://www.minitecnologias.com.br/downloads/mbf-pt-16-07-09.pdf>, acessado em 20/10/2009

[48] CHAIKIN, B. S., DORONIN, R. A., BALASANOW, A. V., *Mini-Unit for Making Pig Iron in Liquid-Phase-Reduction Furnaces*, Metallurgist, vol. 49, 2005.

[49] http://www.tecnored.com.br/tecnologia/processo_tecnored.htm, acessado em 15/10/2009.

[50] NOLDIN JR., J.H., D'ABREU, J.C., MARCHEZE, E.S., COSTA, P.H.C., *Flexibilidade de matérias-primas no processo Tecnored*, Tecnologia em Metalurgia e Materiais, São Paulo, v.3, n.3, 2007.

[51] NOLDIN JR., J.H., CONTRUCCI, M.A., D'ABREU, J.C., *Tecnored Process - High Potential in Using Different Kinds of Solid Fuels*, Materials Research, vol. 8, n.4, 2005.

[52] NOLDIN JR., J.H., CONTRUCCI, M.A., *Tecnored ironmaking process - The present and the future*, Iron and Steel technology Conference and Exposition, USA, 2006.

- [53] *Siderurgia brasileira: princípios e políticas*, Brasília, Instituto Aço Brasil, 2007.
- [54] *Siderurgia brasileira: relatório de sustentabilidade 2008*, Rio de Janeiro, Instituto Aço Brasil, 2009.
- [55] MIWA, T., *Development of Iron-making Technologies in Japan*, Japan, 2009.
- [56] ZHANG, S., *The Current Situation and Challenges to Chinese Ironmaking*, China, 2009.