



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

GESTÃO AMBIENTAL NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA – ASPECTOS RELACIONADOS ÀS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS.

Pedro Porto Silva Cavalcanti

Projeto de Graduação apresentado ao
Curso de Engenharia Metalúrgica da
Escola Politécnica, Universidade
Federal do Rio de Janeiro, como parte
dos requisitos necessários a obtenção
do título de Engenheiro Metalúrgico.

Orientador: Rupen Adamian

Rio de Janeiro

SETEMBRO/2012

GESTÃO AMBIENTAL NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA – ASPECTOS
RELACIONADOS ÀS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS.

Pedro Porto Silva Cavalcanti

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE
ENGENHARIA METALÚRGICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO METALÚRGICO.

Examinada por:

Prof. Rupen Adamian, (Orientador)

Prof. Achilles Junqueira Bourdot Dutra

Prof. Luiz Francisco Pires Guimarães Maia

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
SETEMBRO de 2012

Cavalcanti, Pedro Porto Silva

Gestão Ambiental na Indústria Siderúrgica – Aspectos Relacionados às Emissões Atmosféricas/ Pedro Porto Silva Cavalcanti. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2012.

VII, 46 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Rupen Adamian

Projeto de graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Metalúrgica, 2012.

Referências Bibliográficas: p. 44-46.

1. Siderurgia 2. Gestão Ambiental 3. Poluição Atmosférica
- I. Adamian, Rupen II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Engenharia Metalúrgica III. Gestão Ambiental na Indústria Siderúrgica – Aspectos Relacionados às Emissões Atmosféricas.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, por ter me concedido a força e a persistência necessária para concluir o curso de engenharia.

À minha mãe, Paulina, por ter insistido, investido e ajudado tanto na minha educação. Sem ela, com certeza, eu não me formaria Engenheiro. Obrigado, mãe, por toda ajuda, não só nesse projeto final, mas como em toda a minha vida.

Ao meu pai, Marcius, por ter acreditado em mim até mesmo quando eu não acreditava mais. Sempre com uma visão diferente, me fazendo refletir sobre coisas jamais pensadas, teve um papel fundamental na minha formação de vida. Muito mais que um pai, um amigo.

Ao meu orientador, Rupen Adamian, por toda a paciência e dedicação, mesmo quando eu não merecia.

Ao professor Maia por todas as oportunidades que me deu ao longo desses anos. Não tenho palavras para descrever a minha gratidão.

Ao meu amigo Talles Kropf, por toda ajuda e boa vontade demonstrada ao longo desses anos. Sem você, não tenho dúvidas, que essa formatura teria sido adiada alguns períodos.

Aos meus amigos Bruno Pacheco, Bruno Raphael, Carlos Antonio, Gabriel Barra, Jorge Guerra e Thiago Gonçalves por tanto tempo de convivência, brigas, brincadeiras, mau cheiro e muito estudo juntos. São amizades que levarei para a vida inteira. Saibam que sem vocês, não há dúvidas, eu não seria o mesmo. Obrigado por me ensinarem tantas coisas.

Aos amigos e colegas que fiz no Centro Acadêmico de Engenharia (CAEng), donde participei e diminuí um pouco da minha ignorância política. Porém, em certos momentos, talvez, a ignorância seja uma dádiva.

Aos meus chefes no INEA, que sempre foram fantásticos, me ensinando, fazendo com que eu enxergasse a prática e me motivasse mais.

A todos os meus familiares que contribuíram na minha formação como ser humano. Em especial para o meu avô materno, Kleber, que sempre foi fonte de inspiração para a minha vida.

Aos professores do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela dedicação e paixão pela profissão.

A todos os meus amigos que bem ou mal, precisaram ter uma dose de paciência por períodos de estresse, ou compreensão por períodos de isolamento. Afinal, quem se forma em engenharia sem esses percalços?

Resumo do Projeto de Graduação apresentado ao DEMM/EP/UFRJ como parte integrante dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Metalúrgico.

Gestão Ambiental na Indústria Siderúrgica – Aspectos Relacionados às Emissões Atmosféricas

Pedro Porto Silva Cavalcanti

Setembro/2012

Orientador: Rupen Adamian.

A indústria siderúrgica é considerada uma das mais poluidoras e mais intensivas em consumo de energia. O crescimento recente do setor siderúrgico no Brasil, embora proporcione ganhos econômicos, vem intensificando impactos negativos para o meio ambiente. Este crescimento está relacionado com uma estratégia de inserção na economia global que tem por base a exploração de recursos naturais e tecnologias poluentes.

Os riscos ambientais começam na extração e no transporte do minério, mas a situação se agrava na indústria siderúrgica e em todas as fases do processo se encontram poluentes do solo, ar e água.

A poluição do ar acontece em todos os setores da usina siderúrgica, desde o beneficiamento do minério, passando pela coqueificação e alto-forno, até a produção dos semi-acabados.

Dessa forma, o presente trabalho aborda a gestão ambiental na siderurgia, avaliando a poluição atmosférica causada e relacionando seus aspectos às novas tecnologias usadas para a minimização dos impactos ambientais.

Palavras chave: Siderurgia, Gestão Ambiental, Poluição Atmosférica.

Abstract of Undergraduate Project presented to DEMM/POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Metallurgical Engineer.

Environmental Management in The Steel Industry – Aspects Related to Atmospheric Emissions.

Pedro Porto Silva Cavalcanti

September/2012

Advisor: Rupen Adamian.

The iron and steel industry is considered one of the most polluting and intensive in power consumption. The recent growth of the steel sector in Brazil, although providing economic gains, has been intensifying its negative impact on the environment. This growth is related to a strategy of insertion in the global economy, which has, as its basis, the exploration of natural resources and polluting technologies.

The environmental risks start in the extraction and in the transportation of the ore, but the situation worsens in the steel industry and in all the phases of the process water, air and soil pollutants are found.

Air pollution happens in all sectors of the iron and steel industry, from the beneficiation of the ore, passing by coking and blast furnace, until the production of semi-finished products.

Thus, this study explores the environmental management in the iron and steel industry assessing air pollution and its aspects relating new technologies used to minimize the environmental impacts.

Keywords: Iron and Steel Plant, Environmental Management, Atmospheric Pollution.

Sumário

1. Introdução	1
2. Histórico	3
3. Indústria de Ferro e Aço	5
4. Processo Produtivo e Produtos.....	9
5. Poluentes Atmosféricos	12
6. Fontes de Emissão de Poluentes Atmosféricos e Alternativas de Controle e Prevenção de Poluição.....	14
6.1. <i>Pelotização</i>	15
6.2. <i>Sinterização</i>	17
6.3. <i>Coqueificação</i>	18
6.4. <i>Produção do Ferro Gusa.....</i>	21
6.5. <i>Produção do Aço Semi-Acabado</i>	22
6.6. <i>Lingotamento e Laminação</i>	24
6.7. <i>Redução Direta (ferro esponja)</i>	25

6.8. <i>Fusão Redutora (COREX)</i>	26
6.9. <i>Sucata</i>	27
7. Políticas de Melhores Práticas Internacionais	29
7.1. <i>Questões Tecnológicas</i>	29
7.2. <i>Sequestro de Carbono</i>	31
8. Gestão Ambiental e Emissões Atmosféricas	33
9. Instrumentos Legais	37
10. Conclusões e Recomendações	41
11. Referências Bibliográficas	43

1. INTRODUÇÃO

Toda atividade de extração e processamento mineral acarreta impactos socioambientais. Assim como em vários outros setores, tais impactos podem ser diretos ou indiretos, permanentes ou temporários, benéficos ou danosos, mitigáveis ou não, reversíveis ou irreversíveis. Tais impactos afetam o solo, a atmosfera, os recursos hídricos, os ecossistemas e a sociedade. Apesar dos avanços tecnológicos, gerenciais, e legais, sobretudo em países industrializados e desenvolvidos, a compatibilização do desenvolvimento econômico com a sustentabilidade dos ecossistemas afetados ainda é uma grande preocupação para tomadores de decisões. Os fatores que levam a esta preocupação são diversos e refletem as peculiaridades de cada região geográfica, das indústrias presentes e do sistema de governança em questão.

A produção mundial de aço foi uma das bases para revolução industrial e cresceu quase exponencialmente de 1870 até os dias de hoje. Nesse período, vários avanços tecnológicos como melhoria e controle de insumos, surgimento de novos processos em várias etapas de fabricação, com maior rendimento energético, seguido pela automação e controle *online* das operações possibilitaram uma maior produtividade. Simultaneamente com o aumento da produtividade, ocorreu uma diversificação dos tipos de aço produzidos e uma melhoria na sua qualidade, resultantes de processos com maior rendimento energético.

As crescentes restrições quanto à emissão de poluentes atmosféricos impõem a utilização de novos sistemas de controle ambiental, principalmente em processos baseados na queima de combustíveis fósseis, como o carvão e derivados de petróleo. As primeiras estratégias da prevenção de poluição atmosférica enfatizavam o controle de material particulado. Somente a partir da década de 1970, começou a ser considerado o controle de gases, como SO_x e NO_x , e vapores diversos, tais como: mercúrio, dioxinas/furanos, bifenilpoliclorados, hexaclorobenzenos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e monocíclicos.

Atualmente, a siderurgia tem sido responsabilizada como sendo um dos segmentos industriais que mais consome energia, produzindo emissões significativas de gases do efeito estufa.

Pelo fato da indústria siderúrgica ser grande consumidora de energia e de recursos naturais não renováveis, ela é responsável por significativo volume de efluentes gasosos e líquidos, bem como de resíduos sólidos, especialmente nas etapas de coqueria, sinterização e produção de gusa no alto-forno. Por isso, a indústria tem sido

induzida a desenvolver processos mais eficientes e a reciclar produtos e subprodutos de todas as suas etapas de produção.

Dessa forma, esse trabalho tem o objetivo de analisar e fazer uma síntese dos processos siderúrgicos empregados, sua evolução e tendências, relacionando-os com as emissões de poluentes atmosféricos, no sentido de auxiliar a gestão das emissões atmosféricas e da qualidade do ar.

2. HISTÓRICO

A variedade de materiais extraídos pela indústria mineral, a mineração de ferro e a verticalização de sua cadeia produtiva, do ferro-gusa até a fabricação do aço tem, há muito, sido indispensável para a manufatura de diversos produtos de uso cotidiano. Referências diversas apontam que o ferro foi descoberto no Período Neolítico, provavelmente por volta de 5000 a.C. Uma das hipóteses sobre sua origem argumenta que ele foi encontrado por acaso, quando pedras de minério de ferro usadas para proteger uma fogueira, após aquecidas, se transformaram em bolinhas brilhantes (IABr, 2010). A exploração regular de jazidas começou, entretanto, mais tarde. Em seu livro sobre a história da manufatura do ferro, James Swank destaca que é difícil precisar um marco temporal para a utilização regular de ferro. Diversas escrituras persas, egípcias, gregas, chinesas, dentre outras, referenciam o uso do metal, sugerindo que este se deu desde os primórdios das grandes civilizações humanas (SWANK, 1965). Acredita-se que a Idade do Ferro começou por volta de 1200 a.C na Europa e no Oriente Médio, mas, na China, se iniciou em 600 a.C. A Idade do Ferro é considerada a sucessora da Idade do Bronze, de modo que armas e utensílios domésticos teriam deixados de ser fabricadas em bronze e passaram a ser fabricados em ferro, e, posteriormente, aço. Esta alteração de material teria viabilizado a expansão territorial de diversos povos, o que mudou a face da Europa e de parte do mundo.

Hoje, o ferro fundido e as centenas de tipos de aço são utilizados por diversos setores da economia, tais como o automobilístico, a construção civil, indústria mecânica, eletrônico, dentre outros. O *modus operandi* da sociedade contemporânea tornou-se altamente dependente deste material, podendo-se afirmar que, sem ferro, os padrões globais de transporte, comércio, comunicação, construção civil, etc, ficariam drasticamente comprometidos.

Apesar da concorrência em diversos usos com outros materiais como plásticos, alumínio, outros metais, madeira e outros, o aço permanece um material competitivo e dominante em muitas aplicações: indústrias de base, tais como transportes, construção civil, construção naval, máquinas e equipamentos diversos, mineração e indústrias ligadas à produção e transporte de energia, que dependem fortemente das propriedades características do aço; bens de consumo duráveis, como automóveis e eletrodomésticos; objetos do uso cotidiano nas residências e escritórios. Embora o mercado de latas para bebida seja atualmente dominado pelo alumínio, folhas de aço ainda são muito utilizadas em latas para conservação de alimentos. Estes segmentos

de mercado deverão garantir consumos crescentes no futuro, em parte alavancados pela expansão econômica dos países emergentes, nomeadamente Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (BRICS).

Deve ser enfatizado que a atividade siderúrgica é tipicamente relacionada ao desenvolvimento econômico de um país, o que deriva da sua importância para a construção de infraestrutura e produção de equipamentos para outros setores da economia. Assim, os principais mercados de produtos siderúrgicos se relacionam à indústria automobilística, à construção civil, manufatura de bens de capital, materiais de transporte, bens de consumo duráveis e infraestrutura.

3. INDÚSTRIA DE FERRO E AÇO

O consumo energético da siderurgia pode ser afetado por vários fatores, entre os quais se destacam: a rota tecnológica e os processos utilizados, o tipo e a qualidade dos materiais e energéticos utilizados e a sua gama de produtos. As fontes de energia e os materiais utilizados na produção siderúrgica variam em função dos processos tecnológicos utilizados.

As rotas tecnológicas para a produção do aço evoluíram muito ao longo do século XX, principalmente após a Segunda Guerra Mundial, tendo sempre visado aumentar a produtividade e o retorno dos investimentos e, concomitantemente, tornar os processos siderúrgicos energeticamente mais eficientes. Outra tendência da siderurgia mundial tem sido a de procurar reciclar volumes crescentes de sucata ferrosa, que é reutilizada como matéria-prima para a produção do aço.

Embora a indústria do pós-guerra apresentasse elevados índices de produtividade, muitos dos processos utilizados, então, eram energeticamente pouco eficientes. De fato, ganhos mais significativos de eficiência energética na indústria passaram a ocorrer principalmente na segunda metade do século XX e, mais intensamente, a partir das últimas décadas, quando as preocupações com a elevação dos preços dos energéticos e com as questões ambientais, passaram a ganhar importância crescente nas discussões técnicas setoriais, nas preocupações dos investidores e na opinião pública em geral.

A produção de aço até o final da Segunda Guerra Mundial era dominada pelo processo Bessemer (BOH - Basic Open Hearth), que competia com o processo Siemens-Martin. Como os Estados Unidos da América não tiveram suas siderúrgicas destruídas durante a guerra, eles continuaram usando o processo Siemens-Martin e Bessemer durante muito tempo, pois os equipamentos já estavam amortizados. Caso típico em que a economia financeira impede a entrada de uma inovação.

Nas décadas de 1950 e 1960, estes dois processos passaram a ser substituídos, pelo LD (Linz-Donawitz), que ao anglo-americanos chamam de Basic Oxygen Furnace - BOF. Esses são os chamados conversores a oxigênio, permitindo maiores percentuais de carga líquida e energia (calor) desta carga borbulhada pelo oxigênio no processo BOF, enquanto que, no processo BOH, parte do calor é gerado pela queima de óleo.

Na Figura 1 estão representadas as fatias de mercado (%) correspondentes aos diferentes processos de fabricação do aço líquido ao longo dos anos.

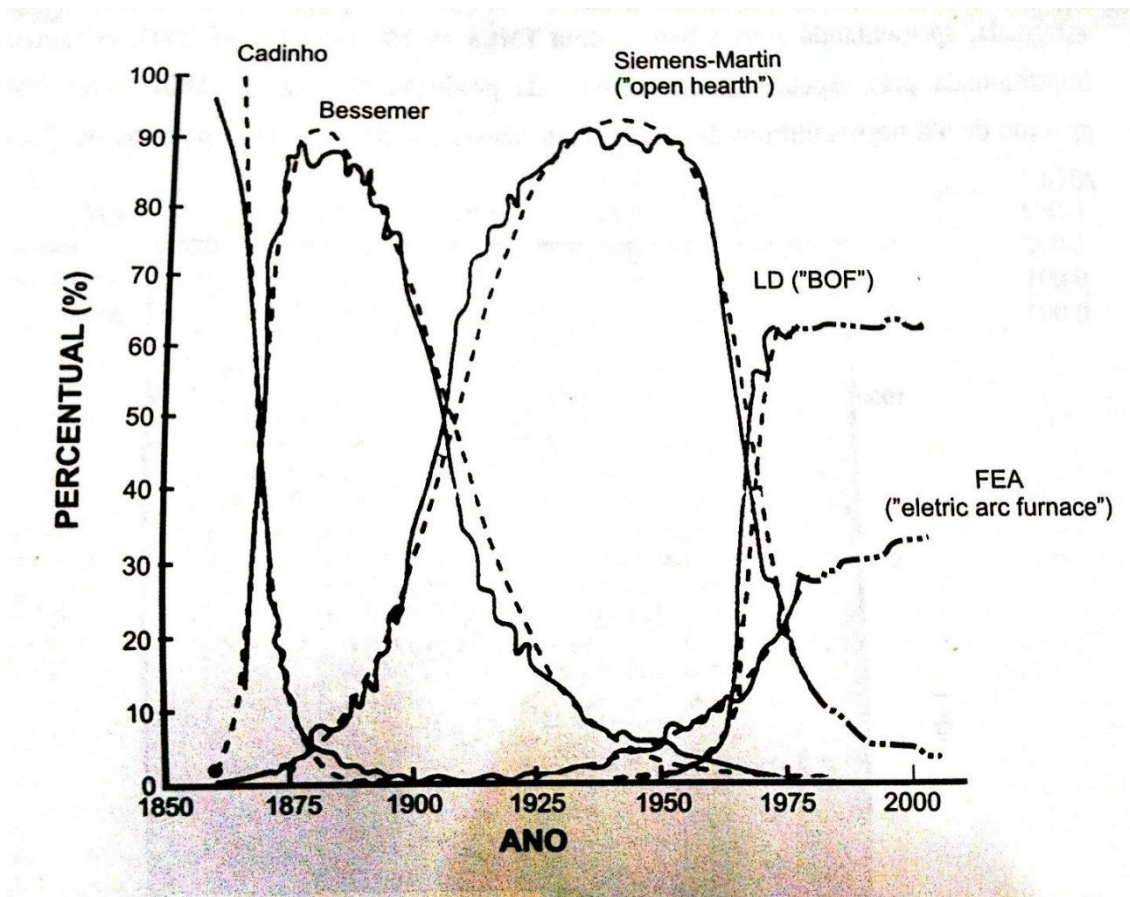


Figura 1: As parcelas de mercado (%) correspondentes aos diferentes processos de fabricação do aço líquido.

Fonte: Ref. 13- pg 88 (Adamian) *apud* (ADAMIAN, 2009).

Um processo siderúrgico importante, com impacto no consumo de energia, criado após a Segunda Guerra Mundial, é a aglomeração dos finos de minério de ferro, através das técnicas de sinterização e de pelletização. Em ambos os casos houve um aumento da eficiência química dos altos-fornos, permitindo melhor fluxo de gases e transferência de calor no alto-forno, como também menores consumos específicos de coque e de outros materiais para a produção do gusa líquido. Mais recentemente, a tecnologia de lingotamento contínuo de placas e tarugos também trouxe implicações energéticas, eliminando o calor do reaquecimento do lingote e o consumo de energia elétrica na chamada laminação de desbaste.

Como é sabido, os materiais básicos para a produção do aço são o minério de ferro, o carvão mineral coqueificável, o carvão vegetal (somente no Brasil – MG, PA e MS), calcário, e a sucata ferrosa. Existem abundantes reservas de minério no mundo que, no entanto, estão concentradas em relativamente poucos países. O Brasil possui uma das maiores reservas de minério do mundo que, juntamente com as reservas australianas, são as de melhor qualidade, com teor de ferro contido em torno de 65%.

O processo de fabricação do aço é muito intensivo em capital. O custo dos equipamentos utilizados na produção do aço são elevados, principalmente nas grandes usinas integradas, que incluem coqueria, sinterização ou pelotização, alto-forno e aciaria.

Foi essa razão que levou ao incremento das chamadas mini-usinas (mini-mills), que são usinas semi-integradas, geralmente de menor porte, com aciaria elétrica usando essencialmente sucata como carga metálica. As aciarias elétricas podem operar em escala reduzida (unidades com capacidade inferior a 500 mil toneladas por ano), embora, atualmente, já existam plantas com capacidade superior a dois milhões de toneladas anuais.

O objetivo de aumento da eficiência energética no setor industrial levou à adoção de tecnologias de menor consumo energético baseadas em novos equipamentos, materiais e procedimentos operacionais. Apesar das melhorias significativas, a “onda de eficiência energética” ainda tem um longo caminho pela frente, pois o potencial de “conservação de energia” ainda é bastante elevado em todos os setores da sociedade. Ao que tudo indica, o mesmo caminho estará sendo trilhado pela “onda de redução da poluição”.

Para as empresas, a estratégia ambiental tem mudado desde a década de 1970, época em que a abordagem era calcada na realocação ou diluição dos poluentes, realizadas no sentido da minimização dos impactos locais. Em uma nova fase, a crescente importância de valores ecológicos na sociedade estimulou gradativamente os setores produtivos a adotar equipamentos de controle de poluição. Uma abordagem mais recente se baseia no conceito de *Produção Mais Limpa*, que significa a prevenção e minimização da geração de poluentes e adoção de tecnologias mais eficientes no uso de energia e materiais.

A indústria siderúrgica constitui um caso clássico de evolução tecnológica, em particular nos aspectos ambientais. Em primeiro lugar, este setor é altamente intensivo em energia e envolve grandes volumes de insumos materiais, poluentes e rejeitos. Em segundo, enfrenta o desafio da competição com outros materiais, tanto no que se refere aos custos de produção quanto ao desempenho dos seus produtos, quando comparado ao de outros materiais. Terceiro, as crescentes exigências expressas na legislação ambiental têm afetado as opções e o desenvolvimento tecnológico. Hoje, entre as empresas siderúrgicas, já é possível identificar tendências para a integração das variáveis: competitividade (preço), qualidade de produto (desempenho) e redução do impacto ambiental. Apesar de grandes investimentos realizados para o controle de poluição – os quais levaram a significativas reduções na emissão de poluentes – melhorias e mudanças tecnológicas adicionais são necessárias para que as variáveis

citadas se integrem de fato. A saudável e bem vinda preocupação oriunda de associações industriais, agências ambientais e da sociedade revela uma mudança gradual para uma perspectiva de prevenção da poluição.

Embora os primeiros e rudimentares alto-fornos tenham sido construídos há 400-500 anos, as raízes da tecnologia siderúrgica remontam à Inglaterra do século XVIII e a fabricação do aço, no século XIX. O progresso dos países fortemente industrializados durante o século XX teve o aço como um de seus principais pilares. A partir dos anos 1950, as indústrias siderúrgicas experimentaram um crescimento vertiginoso e, na virada do milênio, atravessam um período de reestruturação tecnológica, comercial e societária. As expectativas apontam para uma Siderurgia mais eficiente energeticamente, altamente flexível em termos operacionais, que possa explorar sinergias de materiais com outros setores industriais e que tenha um mínimo impacto ambiental.

De modo geral, o custo dos investimentos em controle e prevenção de poluição pode ser bastante significativo. Todavia, com o advento das crises do petróleo dos anos 1970, o crescente combate ao desperdício energético mostrou nos últimos 50 anos o quanto a produtividade dos recursos energéticos e materiais ainda poderia crescer. A regulação ambiental e o cenário de taxas sobre emissões e custos crescentes de descarte de resíduos têm estimulado inovações que permitem a maior competitividade das empresas siderúrgicas.

Alguns setores industriais, cada vez mais, conseguem obter retorno econômico com investimentos em tecnologias limpas, reciclagem e aproveitamento de rejeitos. Devemos levar em consideração os custos implícitos dos recursos que podem ser utilizados de forma alternativa e a falta de recursos financeiros para investimentos, principalmente por parte dos setores industriais de países menos desenvolvidos. Os recursos naturais são limitados, e alguns já são escassos, e torna-se um desafio dar saltos qualitativos em direção a um melhor desempenho ambiental e maior competitividade na indústria. Trata-se de uma questão de estratégia de longo prazo que já tem sido enfrentada pela indústria.

4. PROCESSO PRODUTIVO E PRODUTOS

Como se sabe, o aço é uma liga de ferro e carbono, sendo o primeiro elemento obtido a partir de minérios de ferro encontrados na natureza, geralmente sob a forma de óxidos de ferro, e o segundo obtido a partir do carvão mineral ou vegetal. A produção siderúrgica contempla várias etapas, a primeira das quais consiste na preparação das matérias-primas, essencialmente o minério de ferro e o carvão, além de eventuais fluxantes (geralmente calcário), para utilização como carga nas primeiras etapas do processo. Na etapa de elaboração do ferro, procede-se primeiramente à aglomeração do minério, quando se trata de “finos”, que tem como objetivo dar uma conformação adequada à carga metálica que alimenta os altos-fornos (em sua grande maioria), ou os fornos de redução direta – RD (em menor frequência), a aglomeração pode ser realizada através de dois processos distintos: a sinterização e a pelletização. Por sua vez, o carvão mineral é transformado em coque metalúrgico nas coquearias. A segunda etapa consiste na separação do metal (ferro) do minério, através de um processo de redução, para o qual existem basicamente três rotas alternativas: alto-forno - AF, redução direta RD e fusão redutora. Ressalta-se que o montante de redução via alto-forno representa mais de 90% do total de ferro metálico produzido. O processo mais conhecido de fusão redutora é o denominado COREX. Ao contrário da rota baseada no uso de alto-forno, o processo de fusão redutora utiliza diretamente o carvão mineral e o minério de ferro (Fe_2O_3), sem necessidade das instalações de coqueificação e sinterização ou pelletização. A terceira etapa, de refino do ferro gusa, é realizada nas aciarias, onde é produzido o aço propriamente dito. Os dois principais tipos de aciaria são o conversor a oxigênio, atualmente o conversor LD (em Inglês, BOF *Basic Oxygen Furnace*) e o forno elétrico a arco – FEA (aciaria elétrica). As fases subseqüentes são o lingotamento e a laminação do aço.

No que se refere à produção de aço, as usinas siderúrgicas seguem basicamente duas rotas tecnológicas:

- Usinas integradas: as usinas integradas utilizam, para a redução do minério de ferro, o alto-forno (AF), que também são alimentados com o coque obtido a partir do carvão mineral, resultando o ferro-gusa que é transformado em aço líquido na aciaria, constituída de um forno a oxigênio, geralmente um conversor LD.
- Usinas semi-integradas: são aquelas que operam somente as etapas de refino e laminação. Em geral, o aço é obtido essencialmente a partir da fusão de

insumos metálicos (sucata, gusa e/ou ferro esponja) e refinado em forno elétrico.

Nas usinas integradas, conforme ilustrado na Figura 2, as etapas de redução, refino e transformação mecânica encontram-se presentes numa única unidade industrial.

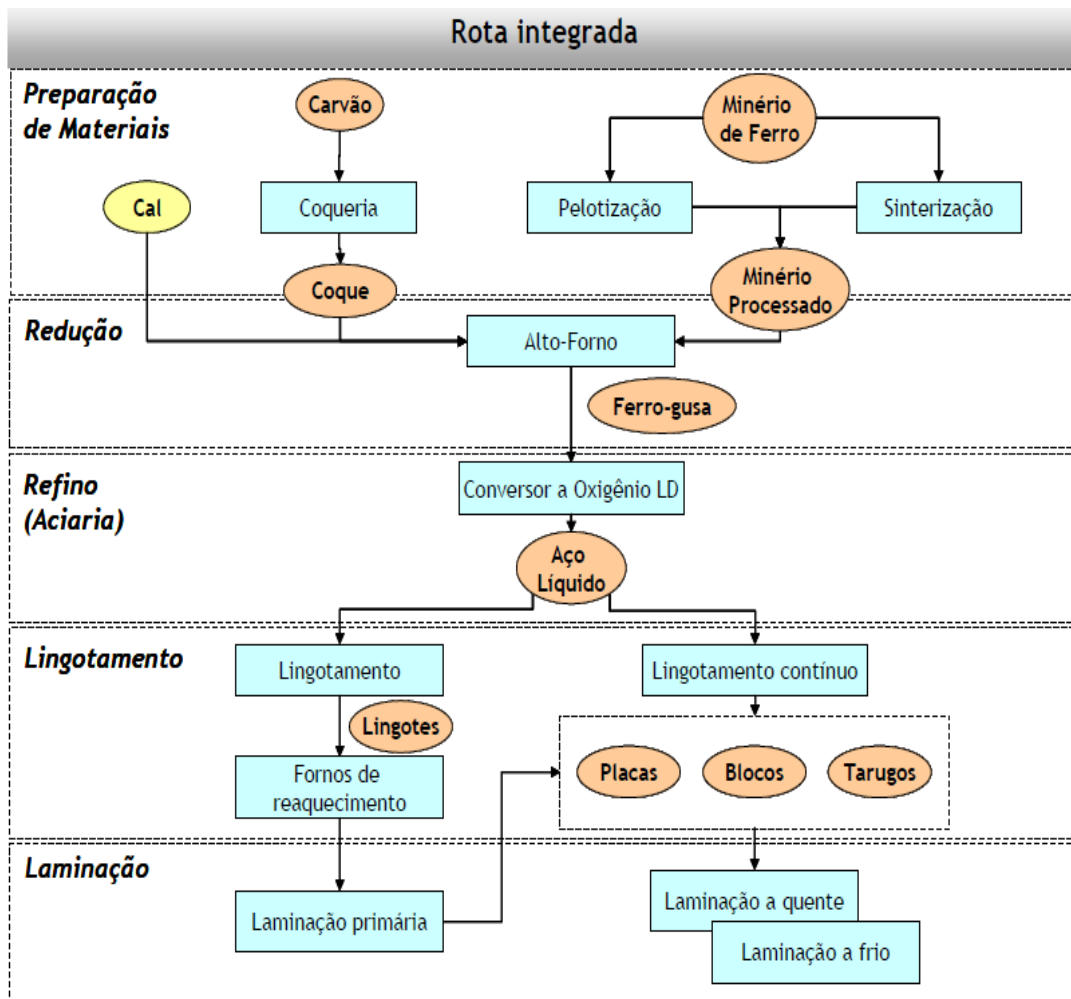


Figura 2: Fluxograma de Usinas Integradas

Fonte: (EPE,2009)

Como já foi apontado, nas usinas semi-integradas, de acordo com a Figura 3, parte-se de fontes de ferro: pré-reduzidos, sucata e/ou gusa sólido/líquido, para produção direta do aço, usando-se, para tanto, fornos elétricos a arco. O conceito de usina semi-integrada está ligado à possibilidade de uma dada usina não possuir a área de redução, operando com pelotas pré-reduzidas e/ou sucata, fornecida por terceiros, e/ou gusa sólido/líquido.

Rota semi-integrada

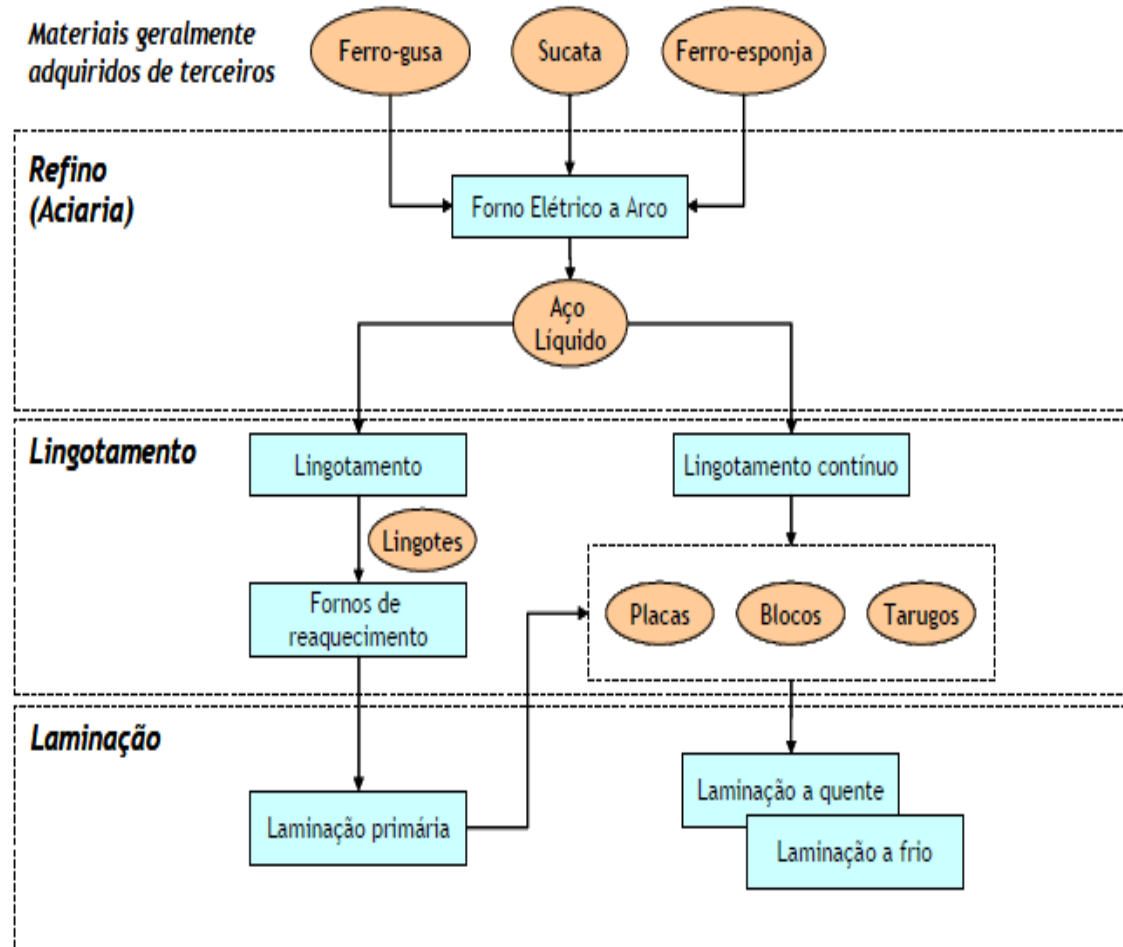


Figura 3: Fluxograma de Usinas Semi-Integradas

Fonte: (EPE,2009)

5. POLUENTES ATMOSFÉRICOS

O nível de poluição do ar é medido pela quantificação de alguns poluentes, considerados como indicadores da qualidade do ar, em função de sua importância em relação aos efeitos provocados e dos recursos materiais e humanos disponíveis. A contaminação supõe o aumento ou, às vezes, a redução de certos componentes naturais da atmosfera, decorrente de alguma ação, normalmente provocada por atividades humanas. Assim, de forma geral, os poluentes que servem como indicadores de qualidade do ar são: dióxido de enxofre, partículas em suspensão, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio, em razão da sua maior frequência de ocorrência e dos efeitos adversos que causam ao meio ambiente e à saúde humana. Esses poluentes também causam prejuízos à vegetação, pois aderem à superfície das plantas, prejudicando processos como fotossíntese, transpiração e respiração.

Material Particulado

O material particulado (MP) é o poluente mais frequente nos processos produtivos de uma usina siderúrgica integrada. Em todos os processos, em maior ou menor escala, ocorre emissão de MP, seja como emissões fugitivas (difusas), seja como emissões pontuais (chaminés de dutos de exaustão de processos de combustão e de sistemas de controle ambiental).

Dióxido de Enxofre

A emissão de dióxido de enxofre (SO_2) está relacionada aos processos que utilizam o carvão mineral como matéria prima, bem como nos processos de combustão, que utilizam combustíveis gasosos, líquidos ou sólidos, contendo enxofre.

Óxidos de Nitrogênio

A emissão de óxidos de nitrogênio (NO_x) está relacionada aos processos de combustão que utilizam combustíveis gasosos, líquidos ou sólidos.

Monóxido de Carbono

A emissão de monóxido de carbono (CO) está relacionada aos processos de combustão que utilizam combustíveis gasosos, líquidos ou sólidos e, também, aos

processos de redução no alto forno (produção do ferro gusa) e produção do aço na aciaria (redução do teor de carbono com sopro de oxigênio).

Compostos Orgânicos

A emissão de compostos orgânicos está relacionada ao processo de produção do coque na coqueria, onde são emitidas frações de voláteis existentes no carvão mineral e nos processos de combustão, devido à queima incompleta dos combustíveis utilizados.

6. FONTES DE EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS E ALTERNATIVAS DE CONTROLE E PREVENÇÃO DE POLUIÇÃO

As principais emissões atmosféricas provenientes das várias unidades operacionais que compõem a indústria siderúrgica são constituídas de material particulado, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, monóxido de carbono, metais pesados, compostos orgânicos voláteis, compostos alicíclicos aromáticos, dioxinas e furanos, bifenilas policloradas e compostos ácidos.

Na indústria siderúrgica, as fontes principais de emissões atmosféricas são: o transporte e estocagem de matérias-primas (carvão e minério), o tráfego de veículos e, no setor produtivo, a preparação do carvão na coqueria (carregamento, coqueificação, desenformamento e produção de vapor), a sinterização (máquina de sínter), alto-forno (sopro e aquecimento do ar), aciaria, lingotamento e central termoelétrica.

Independentemente das rotas tecnológicas adotadas pelas siderúrgicas, o minério de ferro é submetido a um beneficiamento prévio à sua utilização nos altos-fornos ou nos fornos de redução direta, que visa à obtenção de um melhor desempenho operacional destes equipamentos; isto é obtido, principalmente, pelo condicionamento granulométrico e pelos processos alternativos de pelotização e sinterização. A pelotização é realizada em unidades independentes da usina siderúrgica, sendo destinada à comercialização de pelotas (*pellets*) de ferro.

Os equipamentos de abatimento de poluentes atmosféricos correspondem a quatro tipos principais:

- *Ciclones*, no qual as partículas são separadas do gás de exaustão por ação de forças centrífugas. Os ciclones podem apenas separar partículas maiores, e por isso apresentam menor eficiência de remoção;
- *Precipitadores eletrostáticos*, nos quais uma carga elétrica é aplicada sobre as partículas presentes no gás, permitindo que estas sejam atraídas e capturadas por um eletrodo coletor. Os precipitadores, geralmente, apresentam eficiências de remoção superiores a 90%, baixo consumo de energia, mas são inadequados para partículas de alta resistividade elétrica;
- *Lavadores de gases*, utilizados para separar uma ampla faixa de poluentes pela “lavagem” do gás de exaustão com aspensão de água. Apresentam eficiências superiores a 90%, o gasto de energia é maior que para os precipitadores eletrostáticos. São necessários sistemas de tratamento para o

efluente líquido ou lama formada, de forma que o efluente possa retornar ao sistema;

- *Filtros de manga*, nos quais as partículas são separadas do gás de exaustão por intermédio de um material poroso, permitindo altas eficiências de remoção; seu consumo de energia é elevado e podem operar apenas para uma faixa limitada de temperatura e umidade dos gases.

De modo geral os sistemas de limpeza utilizam combinações desses dispositivos, incluindo não apenas a remoção de poluentes, mas também os dispositivos de coleta, necessários ao bom funcionamento. Muitos outros arranjos e técnicas são utilizadas, tais como a dessulfuração de gases, como o de coqueria e a denitrificação dos gases de combustão por catálise.

No caso das tecnologias voltadas à prevenção da poluição, há várias disponíveis para todas as etapas de produção e podem ser classificadas como:

- Modificações tecnológicas, que incluem novos equipamentos, automação e mudança de layout;
- Mudança ou redução de insumos, que incluem materiais e energéticos (medidas de eficiência energética);
- Procedimentos operacionais e de manutenção;
- Reciclagem interna dos materiais retornáveis ao processo produtivo.

6.1 Pelotização

A utilização em grande quantidade de finos de minério de ferro no alto-forno não é possível, devido aos efeitos prejudiciais à permeabilidade de gás em seu interior. No entanto, tais frações de minério podem ser utilizadas na forma de pelotas.

A pelotização é um processo de aglomeração do minério de ferro que produz pequenas esferas cristalizadas de 10-16 mm de diâmetro. As plantas de pelotização podem fazer parte de usinas integradas; no entanto, mais comumente elas estão junto às minas ou portos de embarque (**COSTA, 2002**).

Nas usinas integradas, a moagem é feita a quente, seguida de reidratação, enquanto nas usinas isoladas, a moagem é úmida seguida de desidratação. Além disso, nas últimas o potencial de recuperação de energia é maior. Em relação às usinas integradas, na primeira etapa, o minério e os aglomerantes são moídos e secos (entre 600-800 °C); na segunda, é preparada a *pelota verde* através da hidratação das bolas, adição de bentonita e ajuste do diâmetro na faixa desejada (peneiramento e recirculação das *pelotas verdes* de maior malha). Em relação às usinas isoladas, na

primeira etapa, é realizada uma moagem com adição de água e dolomita ou calcário e, na segunda, a desidratação na formação das *pelotas verdes*. A terceira etapa é comum aos dois tipos de plantas; um tratamento térmico entre 1150 e 1180 °C para endurecer as pelotas é realizado em etapas de secagem, queima e resfriamento. Finalmente, após o descarregamento, as pelotas são peneiradas.

As emissões atmosféricas são geradas nas etapas de moagem e secagem, mistura, queima e peneiramento/manuseio, nas quais são relevantes:

- i) moagem – material particulado;
- ii) mistura – material particulado;
- iii) leito de queima – material particulado, NO_x, SO₂, HCl, HF;
- iv) peneiramento/manuseio – material particulado.

As emissões de material particulado da etapa de moagem podem ser abatidas com precipitadores eletrostáticos (ESP) e alcançam 25 a 50 mg/Nm³ que levam a fatores de emissão de 50-100 g/t pelota.

Na etapa de mistura, a emissão de material particulado pode ser reduzida com filtros, resultando em emissões de 10 a 25 mg/Nm³, ou lavadores, com emissões de 50-100 mg/Nm³.

As emissões das etapas de secagem e queima podem ser removidas com precipitadores eletrostáticos ou filtros de manga, com eficiências elevadas, mas estes sistemas só podem operar em uma faixa estreita de temperatura e de condições de umidade. Portanto, os lavadores são usados com alta eficiência (>95% para material particulado) e também podem remover HCl e HF (eficiência > 95%) e SO₂ (eficiência > 90%):

As emissões de SO₂ provenientes da etapa de queima dependem do conteúdo de enxofre do minério de ferro, dos aditivos e do combustível usado. Sistemas de dessulfuração de gases e lavadores podem remover emissões de SO₂ com 90% ou mais de eficiência.

As emissões de NO_x (óxidos de nitrogênio), basicamente NO (óxido nítrico) e NO₂ (dióxido de nitrogênio), também são provenientes do processo de queima pela reação do nitrogênio atmosférico com o oxigênio existente no ar de combustão (NO_x térmico) e, também, pela reação do nitrogênio contido no combustível (NO_x do combustível) ou ligado às moléculas desse, ou mesmo por reações entre o ar de combustão e radicais de hidrocarbonetos nele existentes (**US-EPA AP42, 2010**).

A formação de NO_x térmico nos queimadores é significativa, devido às altas temperaturas, entre 1300-1400 °C e disponibilidade de oxigênio. Portanto, as emissões podem ser minimizadas pela redução da temperatura de pico nos queimadores e reduzindo o excesso de oxigênio no ar de combustão.

As emissões de NO_x de combustível podem ser reduzidas substituindo óleo e carvão por combustíveis gasosos como butano e propano, o que pode reduzir também as emissões de SO₂ e CO₂. As duas alternativas caracterizam medidas de Prevenção da Poluição.

6.2 Sinterização

A sinterização caracteriza-se pela sua excepcional capacidade de permitir a reutilização dos resíduos metálicos industriais gerados no processo produtivo. Esses resíduos correspondem ao material fino gerado pelos sistemas de desempoeiramento, que são reprocessados na própria sinterização. Por conta das altas temperaturas e do grande tempo de residência dos materiais na máquina de síter, são garantidas excelentes condições para a reutilização de diversos materiais, pois assegura a completa destruição térmica dos compostos indesejáveis, além de promover a recuperação das unidades de ferro contidas nos resíduos.

A sinterização é um processo que consiste na aglomeração de finos do minério de ferro e de outros materiais complementares, como fundentes, e finos de coque para a carga do alto-forno, de forma a adquirir as características necessárias de resistência mecânica, porosidade, granulometria, composição química e redutibilidade. A carga é submetida a uma operação redutora-oxidante a temperaturas na faixa de 1200 a 1400°C, utilizando-se para isto o coque como combustível principal e gases (GCO – gás de coqueria, GAF – gás de alto-forno e GN – gás natural) como combustíveis auxiliares e de ignição.

As emissões atmosféricas são bastante significativas e são provenientes das etapas de queima ou sinterização propriamente dita (emissões primárias), manuseio dos insumos materiais, zona de descarga e resfriamento de síter (emissões secundárias). Além da aglomeração de minério de ferro, a sinterização cumpre um importante papel na recirculação de pós, lamas, carepas e escórias, além do próprio síter em frações mais finas.

O processo de sinterização é uma fonte significativa de emissão de particulados (poeiras), além de gases, incluindo dioxinas e furanos e outros aromáticos. Essas substâncias policloradas, dibenzo-p-dioxinas e dibenzofuranos (PCDD e PCDF), possuem alta toxicidade e são formadas a altas temperaturas. São muito estáveis nas condições normais, podendo permanecer na atmosfera por vários anos. Tais compostos são comprovadamente cancerígenos, representando um grande risco à saúde e ao meio ambiente. Por isso, estão listados na Convenção de Estocolmo sobre

Poluentes Orgânicos Persistentes e necessitam ser monitorados e reduzidos drasticamente, para eliminar os riscos à população.

Para o controle das emissões de material particulado, os precipitadores eletrostáticos secos são os dispositivos de limpeza do sistema primário mais comuns nas plantas de sinterização da Europa, com eficiências entre 95-99%, seguido dos sistemas precipitadores eletrostáticos avançados (eletrodo móvel, pulso e alta voltagem), precipitadores eletrostáticos + filtro de manga, precipitadores eletrostáticos + lavadores, ciclones, com eficiência média de 80%. A maior parte das usinas utiliza ciclones para coletar material particulado de maior diâmetro anteriormente aos sistemas mencionados.

Para as emissões secundárias, principalmente da etapa de resfriamento, são utilizados os filtros de manga e ciclones.

Na Europa, em cada quatro sistemas instalados, três são ciclones e um é precipitador eletrostático. Quando há recuperação de calor advindo do resfriamento de sínter, o material particulado é reciclado na sinterização.

A minimização das emissões de SO₂ pode ser alcançada, primeiro, através do uso de insumos com mais baixo teor de enxofre, como por exemplo o coque e o minério de ferro e, segundo, pela redução do consumo de coque.

A dessulfurização úmida é uma alternativa de alta eficiência (90%), mas de alto custo. A alternativa de dessulfurização seca com carbono ativado regenerativo atinge 97% de eficiência.

Para as emissões de NO_x, os sistemas de desnitrificação são aplicados somente no Japão, utilizando Redução Catalítica Seletiva (SCR) com amônia.

As emissões de dioxinas e furanos podem ser originadas nos insumos (carepas e sistemas de dessulfuração de gases) formados via condensação de precursores químicos como bifenilas policloradas (PCB).

6.3 Coqueificação

O processo de coqueificação causa uma das grandes preocupações ambientais associadas à produção de ferro e aço. Alguns gases podem ser recuperados e usados como subprodutos, mas as perdas são inevitáveis em cada estágio. Uma alternativa para a não utilização de coque na etapa de redução do óxido de ferro é o emprego da redução direta, a injeção de finos de carvão mineral ou do uso de outro combustível conveniente, como o gás natural ou óleo, que substituem parcialmente o coque. Esse

procedimento pode substituir em torno de 25 a 40% do coque no alto-forno, reduzindo as emissões associadas.

Na Coqueria, diversos tipos de carvão mineral são misturados e aquecidos a temperaturas da ordem de 1000°C, em ambiente isento de ar, para a liberação da umidade e dos produtos voláteis do carvão, resultando no coque, um material não fusível e poroso, usado nos altos-fornos como principal agente redutor. O coque permitiu o desenvolvimento de altos-fornos de grande porte, pois tem resistência suficiente para sustentar a carga de minério de ferro.

Nas coquerias convencionais, formam-se também gases de coqueria que, ao serem recolhidos e tratados, permitem a recuperação de frações condensáveis como o benzeno, tolueno e o xileno, que são comercializáveis, e o alcatrão, que pode ser utilizado como combustível em caldeiras. O gás pode ser aproveitado como combustível na própria coqueria, nos fornos de reaquecimento, nos altos-fornos, na sinterização e em caldeiras. Completada a operação, que pode durar de 13 a 24 horas, dependendo das dimensões do forno, temperatura e mistura de carvões, o coque é resfriado ou apagado com água. Uma tecnologia mais moderna é o apagamento a seco do coque ou *coke dry quenching* (CDQ), que confere maior uniformidade na umidade final, promove maior recuperação de energia e redução dos impactos ambientais, pois minimiza a emissão de gases. O calor sensível do coque é recuperado pela passagem de uma corrente de gás inerte (N₂), que após o aquecimento transfere a energia térmica para uma caldeira onde é gerado vapor **(COSTA, 2002)**.

O processo de coqueificação do carvão mineral está sujeito a restrições ambientais cada vez mais severas, levando o setor a buscar alternativas tecnológicas a essa etapa do processo de produção de ferro gusa.

Atualmente, como alternativa à redução das emissões de poluentes, tem sido empregada a tecnologia com recuperação de calor (*Heat Recovery*), que consiste em uma coqueria que recupera o calor, aumentando a temperatura do processo, sendo energeticamente mais favorável e destruindo termicamente os materiais voláteis.

Na tecnologia *Heat Recovery*, os gases, parcialmente queimados, produzidos durante a coqueificação, são captados e dirigidos para os canais descendentes, construídos nas paredes laterais dos fornos, sendo posteriormente queimados (combustão secundária) com ar (secundário) admitido à câmara situada abaixo do fundo do forno. Essa concepção de projeto permite que o calor contido nesses gases seja ainda utilizado para a coqueificação do carvão a partir do fundo do forno. Portanto, a coqueificação da carga, batelada de carvão, se dá a partir do topo e a partir do fundo da massa de carvão a coqueificar.

A diferença básica entre as tecnologias adotadas nas coquearias com recuperação de calor e aquelas com recuperação de subprodutos é que, nestas, a entrada de energia (calor) para a reação é devido à queima de um gás combustível, realizada em canais que flanqueiam ambas as paredes laterais do forno.

Nesse caso, a reação de coqueificação se dará em ambiente com ausência de ar (de combustão). Ainda, nas coquearias com recuperação de subprodutos, o avanço da reação de coqueificação se dá segundo uma direção correspondente ao eixo horizontal da carga. Enquanto que, nas coquearias com recuperação de calor o avanço se dá segundo o eixo vertical da carga, isto é, a partir do topo e do fundo da camada.

Uma outra importante diferença consiste em que nas coquearias com recuperação de subprodutos, os fornos são mantidos sob pressão positiva, enquanto que nas coquearias com recuperação de calor a pressão interna nos fornos é negativa. Este modo operacional faz com que as coquearias com recuperação de calor sejam livres de emissões gasosas, devidas à coqueificação. Esse fato torna a vedação dos fornos mais simples, mais barata e de manutenção mais fácil, o que contribui, significativamente, para a consideração de que as coquearias com recuperação de calor sejam mais aceitas, quando avaliadas sob os critérios ambientais.

Em linhas gerais, ressaltam-se alguns aspectos que traduzem as diferenças, em termos de emissões:

- incorporação de múltiplos canais descendentes e incorporação da admissão de ar secundário pela base de cada canal principal, objetivando suprir o ar de combustão e alcançar uma distribuição uniforme de calor. Esta configuração para o suprimento do ar de combustão favorece a formação de emissões gasosas com menor concentração de NO_x , devido às baixas temperaturas de chama alcançadas nas regiões onde se dão as reações de combustão;
- utilização de dispositivos controladores do fluxo dos gases nos canais descendentes, permitindo o ajuste perfeito da relação estequiométrica ar/gás e, portanto, da relação do aquecimento entre o topo e o fundo do forno. A utilização de placas deslizantes permite que seja mínima a variação da qualidade do coque ao longo da seção transversal da camada;
- a adoção de um carro de descarga / resfriamento de coque do tipo de cama plana, que minimiza o vazamento de emissões gasosas para o ar durante a operação de descarga;
- inexistência de unidade carboquímica para recuperação de subprodutos, já que todos os componentes voláteis presentes no carvão serão destruídos termicamente para o aproveitamento da energia neles contida.

A alteração da qualidade do ar acarretada pelas emissões atmosféricas da coqueria dependerá, fundamentalmente, das condições meteorológicas, das condições operacionais e de controle dos aspectos ambientais que possam desencadear as emissões de poluentes para a atmosfera.

As emissões das coquerias são provenientes das seguintes etapas de coqueificação: manuseio de carvão, enforamento (carregamento), carbonização (vazamentos), combustão, desenforamento (descarregamento), apagamento do coque, purificação do gás de exaustão (**SANTOS, 2010**).

- Manuseio de carvão: inclui o seu descarregamento, armazenagem, transporte interno, preparação, carregamento na torre de carvão e no carro;
- Carregamento de carvão: três técnicas são adotadas para o carregamento com carros sendo (i) o carregamento sem fumaça (*smokeless charging*), (ii) carregamento sequencial (*sequential charging*) e (iii) *telescope sleeves*. As emissões podem ser bastante reduzidas com tais técnicas (**SANTOS, 2010**).
- Coqueificação (carbonização): durante o ciclo de coqueificação, as emissões ocorrem nas portas, nas entradas descarregamento e nos dutos de ascensão.
- Combustão nos fornos: O calor para o processo de coqueificação é fornecido por combustíveis gasosos, GCO e GAF. Na combustão, as emissões de SO₂ e NO_x são significativas.
- Desenforamento do coque.
- Apagamento do coque.
- Purificação: consiste em uma série de etapas de limpeza do gás de exaustão para a obtenção de amônia, GCO, alcatrão, fenol e óleos leves.
- Manuseio e peneiramento de coque: utiliza-se do sistema de ciclones para limpeza.

6.4 Produção do Ferro Gusa

A produção do ferro consiste na separação do metal contido no minério, por meio de redução. O alto-forno, processo mais difundido na siderurgia para a redução dos minérios, é alimentado com uma carga metálica composta por granulados, sinter, pelotas e uma porcentagem de sucata de ferro onde se adiciona, dependendo da planta, dois tipos de agentes redutores: coque de carvão mineral ou carvão vegetal. A redução do minério de ferro ocorre por meio de fluxos intensos de materiais e gases, resultantes de diferentes reações químicas que ocorrem simultaneamente. Por meio da introdução de ar pré-aquecido, dá-se a gaseificação do coque e esse gás,

denominado gás de alto-forno, rico em monóxido de carbono é utilizado, tanto como redutor, quanto como combustível para produção do ferro-gusa.

A operação de redução do minério de ferro em ferro gusa é a etapa de maior gasto energético na siderurgia. No interior do alto-forno, através da introdução de ar pré-aquecido, o coque é gaseificado e este gás, rico em CO, serve tanto como redutor quanto como combustível, saindo pelo topo. O GAF (Gás de Alto-Forno) é conduzido a sistemas de despoeiramento e lavagem; depois, uma parte é levada aos regeneradores para pré-aquecimento de ar; e outra parte segue como combustível para outras etapas. O ferro-gusa no estado líquido é retirado pela parte inferior do alto-forno. As impurezas retiradas após reação com os fluxantes, constituem a escória, que é escoada um pouco acima do metal líquido.

As emissões na produção de ferro-gusa envolvem as seguintes etapas: carregamento de insumos, geração do sopro quente, injeção dos agentes redutores, vazamento e processamento de escória.

O gás de alto-forno, após limpo — remoção das partículas grosseiras, que podem ser aproveitadas na sinterização, é usado para gerar vapor para pré-aquecer o ar que alimenta o forno e para suprir calor para outros processos na planta ou, ainda, para geração de energia elétrica. Quando o ferro-gusa é transferido, ocorrem emissões de gases e fumos metálicos.

A injeção de finos de carvão (PCI – *Pulverized Coal Injection*) é uma tecnologia cada vez mais difundida no setor, e permite a redução do consumo de coque nos altos-fornos, ou seja, o consumo de energia e as emissões na coqueria podem ser reduzidos.

As emissões de SO₂ derivadas do consumo de GCO são significativas, dependendo da dessulfuração.

Os regeneradores são a principal fonte de emissões de NO_x nos altos-fornos, devido às altas temperaturas alcançadas de cerca de 1100 °C.

6.5 Produção do Aço Semi-Acabado

Na fabricação do aço nas aciarias, ocorre a modificação da composição química do metal para ajustá-lo à composição desejada, incluindo a remoção completa ou parcial de elementos desnecessários e a adição de outros. O refino é realizado em fornos especiais a oxigênio, dos quais o mais difundido é o chamado conversor LD, no caso da rota integrada de produção do aço, e o forno elétrico a arco - FEA, no caso da rota semi-integrada. Nas usinas integradas, de uma maneira geral, o aço líquido é

processado para remoção das impurezas, segundo processos com objetivos específicos, os quais, no conjunto, são convencionalmente denominados de “*metalurgia secundária do aço*”, ou ainda, simplesmente, “*refino secundário*”. Os resíduos da produção com o uso de fornos a oxigênio incluem: monóxido de carbono (CO), reaproveitado para gerar energia e óxido de ferro (FeO), emitido em forma de particulado e presente na escória.

A escória de aciaria tende a ser processada para recuperação do metal ocluído, que será reaproveitado na aciaria e a fração não metálica é encaminhada para reaproveitamento, apesar de sua utilização limitada.

Na aciaria o metal líquido é oxidado, o que significa uma redução da concentração de carbono a níveis inferiores a 2%. Na operação de refino no conversor LD, oxigênio é soprado sobre o ferro gusa, oxidando o carbono até os níveis adequados e retirando impurezas indesejáveis como enxofre, silício e fósforo, principalmente.

A tecnologia de metalurgia secundária (metalurgia de panela) com tratamento a vácuo permite a remoção de gases dissolvidos no aço líquido. Em geral, quanto maior a utilização da metalurgia de panela, maior o enobrecimento dos produtos. Isso porque a panela interliga a aciaria às máquinas de lingotamento, possibilitando um ajuste fino da temperatura e composição química do aço. Motivo pelo qual os processos de degaseificação a vácuo e de equipamentos como os fornos-panela são bons indicadores do nível de utilização da metalurgia de panela.

As emissões primárias ocorrem durante o sopro (injeção) de oxigênio e na extração do GAC, enquanto as emissões secundárias são provenientes do pré-tratamento do gusa, carregamento, vazamento, retirada de escória e metalurgia secundária. Dois procedimentos são adotados no conversor:

1. Combustão suprimida (interrompida) com recuperação de Gás de Aciaria (GAC);
2. Combustão completa (aberta) com recuperação de calor.

O primeiro sistema consiste na interrupção da combustão de CO no duto do gás através de uma cortina retrátil resfriada a água que é levada até a abertura do conversor. Deste modo, o GAC pode ser recolhido para uso posterior. No segundo sistema, o gás do conversor é completamente, ou parcialmente queimado, em virtude da entrada de ar no duto, e assim o calor pode ser recuperado.

As emissões de particulados contêm, principalmente na forma de óxidos de ferro e, em menor quantidade, metais pesados e fluoretos. As escórias de aciaria são menos utilizadas do que as escórias de alto-forno. Os pós e lama de aciaria são gerados durante a limpeza do gás de aciaria. O conteúdo de zinco no pó e lama de aciaria, crescente devido à maior reciclagem de aços galvanizados, afeta a sua reciclabilidade. Não há resíduos perigosos associados com a os processos que ocorrem na aciaria, no

entanto, os pós podem apresentar características de resíduos perigosos devido a elementos como chumbo e cromo.

Um parâmetro importante para os resultados estendidos a toda a cadeia de produção é o percentual de sucata utilizada nas aciarias a oxigênio. As quantidades adotadas dependem de uma série de fatores como disponibilidade de sucata de qualidade (com menor teor de impurezas), composição e temperatura do gusa, estando ligado ao tipo de metalurgia de panela utilizado.

6.6 Lingotamento e Laminação

No Lingotamento Convencional, o aço é vazado nas lingotadeiras e, ao ser resfriado, toma a forma de lingotes que depois são levados para fornos de reaquecimento (fornos-poço) que os preparam para serem laminados.

O Lingotamento Contínuo dispensa os fornos de reaquecimento, pois o aço sai da aciaria diretamente para uma primeira etapa de laminação. O rendimento placa/aço líquido é maior, proporcionando melhor qualidade do produto final e redução do consumo de energia (aproximadamente 70%).

A introdução do Lingotamento Contínuo revelou-se um dos fatores mais importantes para a redução do consumo energético nas siderúrgicas. Hoje, aproximadamente 95% da produção mundial de aço envolve o lingotamento contínuo.

As emissões atmosféricas, os efluentes líquidos e resíduos sólidos não são relevantes. A laminação é um processo de conformação que, essencialmente, consiste na passagem de um corpo sólido (peça) entre dois cilindros.

A laminação do aço consiste em diversas etapas em série, que dão forma diferenciada aos produtos (chapas, bobinas, barras, perfis e fios). Geralmente, a primeira etapa é a laminação a quente, seguida da decapagem e laminação a frio.

Na laminação a quente, a peça inicial é comumente um lingote fundido obtido do lingotamento convencional, ou uma placa ou tarugo processado previamente em lingotamento contínuo. A peça final assume seu formato em forma de perfis (produtos não planos) ou de placas e chapas (produtos planos) após diversas passagens pelos cilindros laminadores. A temperatura de trabalho se situa acima da temperatura de recristalização do metal da peça, a fim de reduzir a resistência a deformação plástica em cada passagem e permitir a recuperação da estrutura do material evitando o encruamento nos passes subsequentes.

No caso da laminação a frio, a peça inicial para o processamento é um produto semi-acabado (chapa), previamente laminado a quente. Como a temperatura de trabalho se

situa abaixo da temperatura de recristalização, o material apresenta uma maior resistência a deformação e um aumento dessa resistência com a deformação (encruamento). A laminação a frio é aplicada, por tanto, para as operações finais (operações de acabamento).

6.7 Redução direta (ferro esponja)

A redução direta - RD envolve a produção de ferro primário sólido, a partir de minério de ferro e um agente redutor, por exemplo o gás natural. O produto sólido é denominado ferro esponja (*Direct Reduced Iron – DRI*).

Processos de redução direta foram introduzidos em escala industrial nos anos 1950 e, naquele tempo, havia uma expectativa de aumento da produção de ferro esponja que viria substituir a produção de ferro-gusa, obtido através do uso de coque em altos-fornos. A previsão era de aproximadamente 100 Mt de ferro esponja produzidas durante a década de 1990. No entanto, como a economicidade do processo sempre dependeu de uma fonte barata e abundante de combustível redutor e, além disso, a demanda por ferro-esponja em plantas semi-integradas a forno elétrico tinha diminuído, devido ao aumento de sucata disponível, a produção não cresceu tanto. Porém, mesmo com o aumento da sucata, a disponibilidade de uma sucata de boa qualidade ainda é um problema e o uso de ferro-esponja é crescente, apesar de não satisfazer as primeiras previsões. Portanto, a rota de produção semi-integrada com carga de sucata e ferro-esponja, combinada com refino de panela a vácuo e laminação de tiras a fino, tende a crescer em volume de produção.

Apesar de já conhecida, a redução direta foi comercialmente adaptada nos anos 1960. O processo Midrex responde por grande parte da produção mundial. Outros processos de redução direta estão em operação e em desenvolvimento. O Midrex utiliza gás natural para reduzir pelotas e/ou minério de ferro em um forno de cuba. A hematita (Fe_2O_3) é reduzida por um gás contendo H_2 e CO . Tal gás é produzido no reformador catalítico a partir da mistura de gás natural e o GAF. A recuperação de calor é obtida aproveitando os gases de escape do reformador, que pré-aquecem o ar de combustão no reformador e a mistura de gases no forno de redução, com impacto ambiental bem reduzido.

As emissões de particulado são baixas e facilmente coletadas. Além disso, a utilização de gás natural leva a menores emissões de CO_2 que uma unidade consumindo carvão. No entanto, o ferro-esponja contém ganga na faixa de 3-6%, o que ocasiona maior consumo de energia elétrica nos fornos elétricos a arco.

6.8 Fusão redutora (COREX)

Os processos de fusão redutora envolvem a redução do minério de ferro sem a necessidade da etapa de coqueificação. O princípio básico está na redução por carbono ou monóxido de carbono, dos óxidos de ferro em estado líquido, de maneira diversa à realizada no alto-forno em que a redução ocorre no estado sólido. O que estimula a adoção de processos de fusão redutora é principalmente o menor custo de capital e o menor impacto ambiental. Entre os processos de fusão redutora existentes, o COREX é o de uso comercial/industrial mais avançado (PASSOS, 2009).

Inicialmente desenvolvido na África do Sul, o processo COREX consiste basicamente de um reator e de uma cuba, na qual o minério de ferro é pré-reduzido por um gás redutor produzido no reator, também utilizado para fusão e redução final da carga metálica para obtenção de metal líquido (cerca de 4,5% de carbono, 0,02% de enxofre e 0,5% de silício), com características similares ao ferro gusa produzido nos altos-fornos. No reator, a combustão do carvão com o oxigênio permite que temperaturas superiores a 1000°C sejam atingidas, suficiente para a redução final do ferro esponja e decomposição dos voláteis de carbono, resulta em um gás redutor (CO e H₂) que promove a redução final do ferro esponja e é levado para a cuba de pré-redução. O processo garante a eliminação no reator de componentes indesejáveis como alcatrão e fenóis, no reator.

O gás redutor passa por resfriamento e despoeiramento, com a reciclagem dos pós, antes de penetrar na cuba, em contracorrente, onde ocorre a pré-redução acerca de 800°C. O gás é retirado pela parte superior e passa por um sistema de limpeza (lavadores) para enfim ser utilizado como gás de exportação. No processo COREX, o gás de exportação é formado por cerca de 45% de CO, 32% de CO₂, 16% de H₂, 2% de H₂O, 2% de CH₄ e 3% de N₂, e tem um poder calorífico inferior de aproximadamente 7,5 MJ/m³. O gás pode ser utilizado para uma série de aplicações, como geração de energia elétrica, combustível em plantas de redução direta, produção de gás de síntese (na fabricação de amônia e metanol) e aquecimento em outras etapas siderúrgicas.

Na Figura 4 estão representadas as etapas do processo COREX, descrito acima.

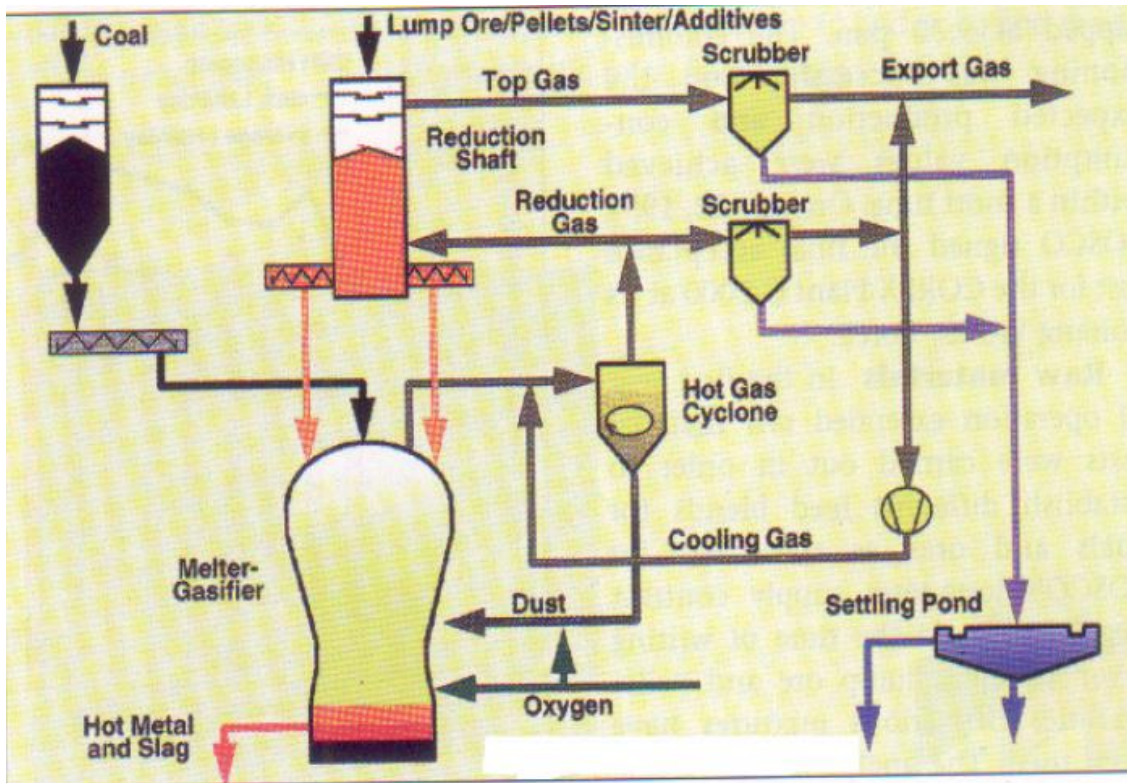


Figura 4: Diagrama esquemático do processo COREX.

Fonte: AGRAWAL & MATHUR, 2011

O processo COREX permite a utilização de uma grande variedade de tipos de carvão não metalúrgicos, em comparação à faixa estreita de carvões coqueificáveis que a rota de produção integrada exige. As características do gás de exportação dependem do tipo (% de voláteis) e da quantidade de carvão utilizada, o que permite que a flexibilidade no uso do gás seja considerável.

6.9 Sucata

A sucata de aço e ferro fundido é utilizada em diferentes proporções na carga das aciarias. No caso das aciarias elétricas, a sucata pode atingir 100% da carga, enquanto nas aciarias a oxigênio pode atingir cerca de 30%. Existem três tipos de sucata:

- Sucata interna (*home scrap, circulating scrap*) – geração na própria usina siderúrgica, principalmente nas etapas de Lingotamento e de Laminação;
- Sucata industrial (*prompt scrap, industrial scrap*) – geração nas indústrias transformadoras de produtos siderúrgicos. Trata-se de sucata de alta qualidade (baixa quantidade de materiais contaminantes e composição química

conhecida). Sua geração acompanha a produção siderúrgica, a coleta é contínua e previsível;

- Sucata de obsolescência – geração a partir do fim da vida útil (ou por acidentes) de produtos contendo aço, como automóveis, eletrodomésticos, tanques de estocagem, silos e a partir da demolição de unidades industriais e obsolescência de máquinas e equipamentos.

A expectativa é de redução da geração de sucata interna, aumento modesto da sucata industrial e aumento significativo da sucata de obsolescência. As aciarias elétricas vão continuar demandando a maior parte da sucata no mundo e, apesar da crescente utilização de ferro-esponja nos fornos elétricos, a estimativa é de aumento da participação da sucata nestes fornos. Um dos principais condicionantes para um consumo elevado de sucata em uma região ou país é a existência de uma rede bem organizada de coleta, além, é claro, da presença de aciarias elétricas.

As emissões relacionadas à sucata seriam aquelas provenientes do transporte e da preparação para a carga nas siderúrgicas. Utilizando a tecnologia de pré-aquecimento de sucata, que permite a redução do consumo de energia elétrica nos fornos elétricos ocorrem emissões de dioxina e furanos, que se tornaram mais um fator de preocupação para o controle de emissões em fornos elétricos.

7. Políticas de Melhores Práticas Internacionais

7.1 Questões Tecnológicas

Com a abertura e globalização dos mercados, iniciou-se, em 1988, um grande processo de privatização na siderurgia de vários países, caracterizando uma nova etapa de constantes e profundas transformações para o setor, contribuindo para a sua internacionalização. As desestatizações ocorreram com maior relevância na Europa Ocidental e na América Latina. As estatais remanescentes localizam-se principalmente, nos países asiáticos, no Leste Europeu, no Oriente Médio e na África **(Andrade et al, 2002)**.

Ainda segundo os mesmos autores *“junto com a globalização acirrou-se a competição existente na indústria, fazendo com que seus players buscassem produtividade, tecnologia e escala para adquirir vantagens competitivas em sua atuação. As siderúrgicas privatizadas ganharam agilidade, tornaram-se mais orientadas para o cliente, investiram mais em pesquisa e desenvolvimento, buscaram ganhos de produtividade, direcionaram-se para nichos específicos e deram ênfase à obtenção de vantagens competitivas. Ao mesmo tempo, os mercados se beneficiaram com esses ganhos”*.

O desenvolvimento da indústria siderúrgica mundial vem ocorrendo em decorrência da apropriação de economias de escala, que, embora relevantes, cada vez mais duas trajetórias tecnológicas vêm se impondo no setor: integração das etapas do processo de fabricação do aço e automação dos processos. Muitos autores acreditam que o desenvolvimento de processos de produção mais contínuos e uso intensivo da informática e automação industrial foram os fatores principais da reestruturação industrial da siderurgia dos países desenvolvidos.

No que tange à integração, duas tecnologias são exemplares: (i) instalações de fusão-reduzora; e (ii) lingotamento contínuo de seções mais finas, nas suas três variantes: placas finas, tiras e tiras finas.

Ambientalmente, há um movimento mundial no sentido de envidar esforços para reduzir as emissões na siderurgia:

- Os Estados Unidos da América estão desenvolvendo tecnologias inovadoras para produção do aço, com base na não utilização de carbono; são os denominados *“carbonless processes”*.
- Na Europa está sendo desenvolvido o projeto ULCOS — *Ultra Low CO₂ Steelmaking*, apoiado na tecnologia HIs melt, complementada com tecnologias

auxiliares, para a qual se estima a redução de emissões de 1,9 t CO₂/t gusa, atual, para 0,1 t CO₂/ t gusa, em 2020;

- No Japão, a redução de emissões privilegia a captura e sequestro de carbono;
- Todos os projetos que mantêm o carbono como redutor levam em consideração a possível utilização de biomassa nas suas estratégias (**CGEE, 2010**).

Considerando a rota de usinas integradas convencionais, existem as seguintes opções:

- Injeção de gás natural nos altos-fornos — tecnologia comprovada, que pode ser empregada em conjunto com a injeção de carvão — os ganhos ambientais são a redução das emissões decorrentes de manuseio de carvão e, principalmente, a redução da emissão de CO₂, substituída parcialmente pela de H₂O.
- Lingotamento de placas finas ou de tiras — tecnologia existente, aplicada, atualmente, para escalas de produção menores (mini-usinas). Pode reduzir a utilização do forno de aquecimento ou mesmo eliminá-lo, o que reduziria ou eliminaria o consumo de gás natural neste equipamento.

Considerando as opções fora da rota do alto-forno:

- Substituição do alto-forno por novos processos de fusão-redução:
 - Processo COREX – em escala comercial na África do Sul e Coréia do Sul. As vantagens da tecnologia COREX podem ser segmentadas em três aspectos: a) redução da escala ótima de produção de metal líquido, reduzindo a competitividade das usinas integradas a coque e a própria importância das economias de escala no setor; b) diminuição substancial de emissões no meio-ambiente; e c) custo de produção de metal líquido cerca de 20% inferior ao do método convencional.
 - Processos *Hismelt* – desenvolvido pela Rio Tinto, há uma unidade de demonstração na Austrália. A capacidade da instalação é de 850 mil toneladas/ano. Apesar do porte, pode se considerar que o processo está em uma fase pré-comercial. Difere dos demais processos *bath smelting* pela redução dos óxidos e gaseificação do carvão em banho metálico. Os materiais são injetados por lanças submersas e não pelo topo do reator. O processo utiliza ar pré-aquecido (1200° C) enriquecido com oxigênio e carga de finos de minério (-6 mm) e carvão. Por operar com escória básica e rica em FeO, é capaz de remover parte do fósforo do metal. Este processo é flexível quanto ao redutor, dispensando a coqueria. Quando operado com oxigênio, leva a reduções significativas das emissões de CO₂.

- Substituição do alto-forno por processos de redução direta. Existem duas rotas distintas:
 - *Redução em forno de cuba* — MIDREX, HyL — usando pelotas e gás natural – elimina o consumo de carvão, com todas as emissões a ele relacionadas, reduzindo, sensivelmente, a emissão de gases de efeito estufa. É responsável por mais de 90% da produção mundial de ferro esponja (Directed Reduced Iron, DRI), o processo é semelhante ao HyL — minérios fragmentados e pelotas reduzidas em um forno de cuba vertical. Existem várias instalações comerciais. O MIDREX opera à pressão ambiente, utilizando um gás redutor mais rico em CO que o HyL, e diferentes tipos de reformadores. Até agora as usinas são de pequeno porte.
 - *Redução em reatores de leito fluidizado* — FINMET — usando minério fino e gás natural, utilizando novas tecnologias de fluidização de leitos. Os finos de minérios são reduzidos em uma série de 4 reatores de leito fluidizado, a uma pressão de 10-12 bar, e os finos de DRI do último reator são briquetados a quente. Nesta alternativa o gás natural substitui a totalidade do carvão e do coque, isto é, não há estoque de carvão, nem coquearias na usina, apresentando ganhos ecológicos consideráveis. A outra implicação relevante é que o processo usa minério fino, ou seja, não há pelletização. Existem duas instalações comerciais, de 2 Mt cada uma, operando uma na Venezuela e outra na Austrália. No entanto, o processo ainda apresenta problemas, que não foram resolvidos, impedindo que essa tecnologia se firme no cenário mundial.
 - *Circored/Circofer* – processos de leito fluidizado em dois estágios, baixas temperaturas e pressão moderada (4 bar). Os finos de minério são aquecidos e reduzidos em um reator de leito fluidizado circulante (CFB) até índices de metalização de ~70%, quando são transferidos para o segundo reator, onde a redução continua até ~93% de metalização. O processo Circored é à base de gás natural e o Circofer a carvão.
 - *FINEX* – o reator de redução utilizado no processo COREX é substituído por uma série de reatores de leito fluidizado. A vantagem é a utilização direta de finos de minérios ao invés de sinterizados ou pelotas.

Com exceção dos processos MIDREX, HyL e COREX, viáveis em algumas situações específicas, nenhum dos demais compete com o AF e muitos ainda não têm sua comprovação industrial.

7.2 Sequestro de carbono

No processo siderúrgico o principal gás de efeito estufa emitido é o dióxido de carbono (CO_2). Os altos-fornos são a maior fonte de CO_2 no processo, sendo os principais candidatos à aplicação de tecnologias de sequestro de carbono. Cerca de 60% das emissões de CO_2 da siderurgia estão contidas nos gases dos altos-fornos. Os fornos de redução direta também são uma fonte de emissões, ainda que menos importante, embora possam, igualmente, ser candidatos ao sequestro de carbono. Os montantes de emissão de CO_2 associados à produção de uma tonelada de aço dependem da rota tecnológica utilizada.

Nas usinas integradas, a maioria das emissões de CO_2 (em torno de 70%) é proveniente da produção do ferro-gusa no alto-forno. Montantes inferiores de emissões de CO_2 são provenientes da laminação e acabamento de produtos (12%), preparação do minério (12%) e da produção de energia elétrica e oxigênio (7%). Nas usinas semi-integradas baseadas em sucata, o volume principal de emissões é proveniente do forno elétrico a arco (em torno de 45%), laminação e acabamento (em torno de 36%) e da produção de oxigênio e energia elétrica (16%).

Quanto ao sequestro de carbono, é tecnicamente viável com a utilização de tecnologias disponíveis, descarbonizar os gases de alto-forno antes de utilizá-los como combustível. Devido à baixa pressão do CO_2 nos gases de alto-forno, a tecnologia de absorção é a mais adequada para fazer o sequestro do carbono. O CO_2 sequestrado não poderá ser utilizado no processo siderúrgico e deverá ser transportado para ser utilizado em outra aplicação ou estocado.

Os gases de alto-forno contêm, tipicamente, em torno de 20% de CO_2 e 21% de CO por volume, sendo o restante praticamente composto de N_2 (nitrogênio). A pressão desses gases é baixa, em torno de 2 a 3 bar. O CO_2 pode ser capturado antes ou após a combustão dos gases. A concentração de CO_2 após a combustão é em torno de 27% por volume, significativamente superior à dos gases de exaustão de centrais geradoras termelétricas.

Outros processos em uma usina siderúrgica também podem ser candidatos à captura de CO_2 , pré ou pós-combustão. Por exemplo, os gases de exaustão de um forno a oxigênio contêm, tipicamente, 70% de CO e 16% de CO_2 .

Por sua vez, a composição dos gases de alto-forno vem mudando, em virtude da crescente injeção de carvão, de gás natural e de resíduos plásticos. Como estes combustíveis tendem a reduzir a temperatura no alto-forno, esse efeito é compensado

pela injeção de 50 kg a 75 kg de oxigênio por tonelada de aço. O enriquecimento, com a injeção de oxigênio, diminui a concentração de N_2 nos gases de exaustão e aumenta a concentração de CO, CO_2 e de H_2 .

8. Gestão Ambiental e Emissões Atmosféricas

A gestão ambiental é uma tarefa complexa que requer um equilíbrio bastante delicado entre ciência, tecnologia, economia e riscos à saúde humana e ao ecossistema.

Uma gestão sustentável do recurso atmosférico necessita de um conjunto mínimo de instrumentos de suporte: uma base de dados e informações acessíveis, a definição clara da vocação de ocupação da região, o controle dos impactos sobre a qualidade do ar e o processo de tomada de decisão.

O controle efetivo das fontes de poluição é realizado pela limitação das emissões que, por sua vez, é alcançado pela adoção de padrões de emissão mais restritivos, alteração do processo industrial, melhores técnicas operacionais, utilização de combustíveis alternativos, troca de matéria-prima, mudança de tecnologia etc. Entretanto, antes de estabelecidas as estratégias de redução de emissões, é importante atentar sobre que fontes devem incidir os limites menores de emissão e quais são os investimentos necessários para o controle.

O sistema de controle é dinâmico, cíclico e definido pela linha que conecta os padrões de qualidade do ar, os limites de emissão e as fontes de poluição, o que significa que, necessariamente, qualquer estratégia de controle consiste na limitação das emissões na fonte.

De uma maneira geral, as etapas a serem cumpridas culminam nas diretrizes que deverão ter continuidade para o gerenciamento das emissões de uma dada atividade industrial. Os seguintes pontos detalham os componentes necessários para tal objetivo:

- Levantamento das melhores tecnologias disponíveis para as especificidades industriais:

Na questão de poluição ambiental, o princípio da prevenção é a melhor medida a ser adotada: redução da geração de poluentes na fonte e não o tratamento pós-geração. Sob a ótica do desenvolvimento sustentável, devem ser priorizadas as medidas de prevenção da poluição, privilegiando aquelas que eliminem ou reduzam a geração de poluentes e incentivando a adoção de tecnologias mais limpas.

O conceito das melhores tecnologias disponíveis – *Best Available Techniques* (BAT) deve ser sempre utilizado. De acordo com a Comunidade Européia, conceitua-se BAT como:

"*Melhores Técnicas*", o estágio mais eficiente e avançado no desenvolvimento de atividades e dos seus métodos de operação, que demonstre a aptidão prática de técnicas específicas para

constituir, em princípio, a base de valores dos limites de emissão destinados a prevenir e, quando isso não é possível, em geral, para reduzir as emissões e o impacto sobre o meio ambiente, onde "técnicas" inclui tanto a tecnologia utilizada, como a forma que a instalação é projetada, construída, conservada, explorada e desativada; e "técnicas disponíveis" entende-se aquelas desenvolvidas em uma escala que possibilite a sua aplicação no setor industrial, sob condições econômica e tecnicamente viáveis, tendo em conta os custos e vantagens; e "melhores técnicas disponíveis", aquelas mais eficazes para se alcançar um nível geral elevado de proteção do ambiente como um todo (EEA, 2006).

Na Diretiva 96/61/EC da União Européia, os limites de emissão foram baseados nas melhores tecnologias disponíveis:

"Considerando que os valores do limite de emissão, parâmetros ou medidas técnicas equivalentes deverão ser baseados nas melhores tecnologias disponíveis, sem prescrever a utilização de uma técnica ou tecnologia específica, e levando em conta as características técnicas da instalação em causa, a sua localização geográfica e as condições ambientais locais; considerando que em todos os casos, as condições de licenciamento deverão prever disposições relativas à minimização da poluição a longa distância ou transfronteiriças e garantir um nível elevado de proteção do ambiente como um todo" (EEA, 2006).

- Caracterização das fontes de poluentes e estimativa de emissões;

É necessário caracterizar, com base na literatura ou em experiências de outras atividades industriais já implantadas, ou por meio de informação dos fabricantes de equipamentos, as características das fontes potenciais, bem como realizar a estimativa e/ou o inventário das emissões atmosféricas.

- Estabelecimento de um Plano de Gestão da Qualidade do Ar:

É importante destacar o caráter dinâmico, contínuo, permanente e participativo de um Plano de Gestão, uma vez que a elaboração de um plano ou programa de ação constitui apenas a etapa inicial do planejamento, que deve prever mecanismos de constante revisão e avaliação, na medida em que os problemas ambientais são passíveis de solução. O Plano de Gestão da Qualidade do Ar, com certeza, estará inserido num Plano de Gestão Ambiental mais amplo, envolvendo todos os recursos naturais. Deve ser elaborado com base em: sistema de monitoramento integrado da

qualidade do ar da área de influência da indústria siderúrgica, monitoramento contínuo das principais fontes de emissão, monitoramento periódico das emissões e monitoramento de parâmetros meteorológicos, cujos resultados gerados são avaliados de forma integrada, com pessoal capacitado para propor e estabelecer medidas preventivas com base em previsão meteorológica e da qualidade do ar **(CAVALCANTI, 2010)**.

Dentro de um processo contínuo, especial atenção deve ser dada à redefinição dos objetivos do plano de gestão ambiental e estabelecimento das metas de qualidade ambiental, tanto com base nos resultados do diagnóstico (caracterização da qualidade do ar), quanto do prognóstico (percepção de alguma tendência de degradação da qualidade do ar, antes não conhecida), pois pode haver a necessidade de se afinarem os objetivos específicos do plano. Para cada redefinição de objetivos, o programa, com suas respectivas metas deverão ser revistos e nova avaliação de impactos cumulativos elaborada.

- Diretrizes e Recomendações

Nesse quadro é necessário que um conjunto de medidas seja tomado no sentido da gestão da qualidade do ar, com destaque, sempre, para a adoção de tecnologias e combustíveis mais limpos. São necessários esforços tanto na esfera empresarial, quanto na governamental, para operacionalizar as ações para que sejam alcançados os objetivos pretendidos **(CAVALCANTI, 2010)**.

- Programa de acompanhamento de objetivos e metas

A implementação de um plano de gestão requer que seus resultados sejam acompanhados, de modo que possam ser periodicamente avaliados, em função dos objetivos e das metas de qualidade ambiental que foram estabelecidos. Tal avaliação é de grande utilidade para reorientar ações, corrigir e adaptar o processo de planejamento ambiental, quando necessário, uma vez que são frequentes as alterações do meio. Deve ser levado em conta que não só a região está sujeita a alterações naturais, como também as variáveis políticas, econômicas e culturais quase sempre se mostram diferentes das tendências que norteiam as propostas de planejamento.

- Programas de monitoramento

A implantação de um programa de monitoramento das emissões atmosféricas em um complexo produtivo potencialmente poluidor da atmosfera é um requisito fundamental para a efetiva gestão da qualidade do ar da área de influência direta da indústria siderúrgica, além de permitir um acompanhamento eficaz da conformidade e evolução de suas emissões e desempenho dos sistemas de controle de emissões.

A medição e a análise sistemática das emissões possibilitam, ainda, a realização de ajustes do processo produtivo e dos sistemas de controle associados, reduzindo perdas e descontroles operacionais, que, em geral, provocam aumento na geração e emissão de poluentes atmosféricos.

Quanto ao monitoramento da qualidade do ar da área de influência, podemos citar os principais objetivos:

- acompanhar sistematicamente a qualidade do ar, comparando os resultados obtidos com os limites preconizados como padrões na legislação em vigor;
 - viabilizar a elaboração de diagnóstico e/ou prognóstico da qualidade do ar, subsidiando ações no que diz respeito ao controle das emissões;
 - identificar os aspectos meteorológicos da região e sua interação com a qualidade do ar;
 - indicar a eficácia das estratégias de controle implantadas;
 - testar e aferir os Modelos de Dispersão a serem aplicados na região;
 - informar a população;
 - avaliar a implementação dos programas de gestão da qualidade do ar em áreas degradadas e não degradadas; e
 - fomentar projetos e pesquisas com vistas à saúde e melhoria da qualidade de vida da população.
- Avaliação dos ganhos ambientais

O plano de gestão ambiental deve prever mecanismos de constante revisão e avaliação, na medida em que os problemas de poluição do ar são de solução complexa e que as tecnologias empregadas, tanto nos processos produtivos, quanto nos sistemas de controle, estão em constante evolução. Sobretudo, é relevante a identificação dos ganhos ambientais obtidos com a implantação de um sistema de gestão para acompanhamento dos objetivos e metas de melhoria da qualidade do ar estabelecidos no Plano. Dessa forma, é sugerido que se realizem auditorias no sentido de *“determinar a extensão na qual os critérios preestabelecidos são atendidos”* (ISO 19011). Ainda, deve apresentar evidências e avaliação do desempenho ambiental, incluindo as não-conformidades e conformidades mais significativas, as ações corretivas e preventivas e as oportunidades de melhorias. A avaliação da gestão e do desempenho ambiental deve ser baseada nos indicadores ambientais estabelecidos para acompanhamento das emissões e da qualidade do ar, destacando-se as tendências e eventos não usuais.

9. Instrumentos Legais

Alguns aspectos da legislação ambiental vigente no Brasil devem ser destacados quanto ao seu cumprimento para o setor de siderurgia:

- Resolução CONAMA N. 01/86 – estabeleceu, em seu Artigo Segundo, item XII a obrigatoriedade de elaboração EIA/RIMA para licenciamento ambiental de complexos siderúrgicos.
- Resolução CONAMA N. 382/06 – estabeleceu, em seu Anexo XIII, “LIMITES DE EMISSÃO PARA POLUENTES ATMOSFÉRICOS GERADOS NAS INDÚSTRIAS SIDERÚRGICAS INTEGRADAS E SEMI-INTEGRADAS E USINAS DE PELOTIZAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO” para novas siderúrgicas que solicitassem licença ambiental após 2007.

Estes limites estão listados na Tabela I, reproduzida a seguir.

Tabela I: Limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos gerados em indústrias siderúrgicas integradas e semi-integradas:

Unidade de produção	Fontes de emissão pontual	MP ⁽¹⁾	SO ₂ ⁽¹⁾	NOx ⁽¹⁾ (como NO ₂)	% O ₂ ⁽¹⁾
Coqueria	Sistema de despoejamento do desenformamento	40	N.A.	N.A.	N.A.
	Câmara de combustão dos fornos de coque	50	800	700	7%
Sinterização	Sistema primário de despoejamento	70	600	700	NA*
	Sistema secundário de despoejamento	70	N.A.	N.A.	
Alto forno a coque	Sistema de despoejamento da casa de estocagem	40	N.A.	N.A.	
	Sistema de despoejamento da casa ou ala de corrida	40	N.A.	N.A.	
Alto forno a carvão vegetal	Sistema de despoejamento da casa de estocagem	50	N.A.	N.A.	
	Sistema de despoejamento da casa ou ala de corrida	50	N.A.	N.A.	
Aciaria LD	Sistema primário de despoejamento	80	N.A.	N.A.	
	Sistema secundário de despoejamento	40	N.A.	N.A.	
	Sistema de despoejamento da dessulfuração de gusa	40	N.A.	N.A.	
	Sistema de despoejamento dos fornos de cal	100	N.A.	470	
Aciaria elétrica	Sistemas primário e secundário de despoejamento (2)	≤ 50 t/c: 50 > 50 t/c: 40	N.A.	N.A.	N.A.
Laminação	Fornos de aquecimento de placas com queima de gases siderúrgicos	50	800	700	7%
Pelotização	Sistema de exaustão do forno de pelletização	70	700	700	N.A.
Central termelétrica	Caldeira com queima de gases siderúrgicos	50	600	350	5%

(1) Os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca e no teor de O₂ explicitado. (2) t/c = toneladas de aço/corrida. NA = Não Aplicável

Fonte: Resolução CONAMA 382/06.

- Resolução CONAMA N. 436/11 -estabeleceu, em seu Anexo XIII, “LIMITES DE EMISSÃO PARA POLUENTES ATMOSFÉRICOS GERADOS NAS INDÚSTRIAS SIDERÚRGICAS INTEGRADAS E SEMI-INTEGRADAS E USINAS DE PELOTIZAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO” para as siderúrgicas instaladas anteriormente a 2007.

Estes limites estão listados na Tabela II, reproduzida a seguir.

Tabela II: Limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos gerados em indústrias siderúrgicas integradas e semi-integradas:

Unidade de Produção	Fontes de Emissão Pontual	MP ⁽¹⁾	SO ₂ ⁽¹⁾	NO _x ⁽¹⁾ como NO ₂	%O ₂
Coqueria	Sistema de Despoeiramento do Desenformamento	40	NA	NA	NA
	Camara de Combustão dos Fornos de Coque	50	800	700	7%
Sinterização	Sistema Primário de Despoeiramento	70	600	700	NA
	Sistema Secundário de Despoeiramento	70	NA	NA	
Alto-Forno a Coque	Sistema de Despoeiramento da Casa de Estocagem	40	NA	NA	
	Sistema de Despoeiramento da Casa ou Ala de Corrida	40	NA	NA	
Alto-Forno a Carvão Vegetal	Sistema de Despoeiramento da Casa de Estocagem	50	NA	NA	
	Sistema de Despoeiramento da Casa ou Ala de Corrida	50	NA	NA	
Aciaria LD	Sistema Primário de Despoeiramento	80	NA	NA	
	Sistema Secundário de Despoeiramento	40	NA	NA	
	Sistema de Despoeiramento da Dessulfuração de Gusa	40	NA	NA	
	Sistema de Despoeiramento dos Fornos de Cal	100	NA	470	
Aciaria Elétrica	Sistema Primário e Secundário de Despoeiramento ⁽²⁾	≤ 50 t/c: 50	NA	NA	NA
		> 50 t/c: 40			
Laminação	Fornos de Reaquecimento de Placas com Queima de Gases Siderúrgicos	60	1000	700	7%
Pelotização	Sistema de Exaustão do Forno de Pelotização	70	700	700	NA
Central Termelétrica	Caldeira com Queima de Gases Siderúrgicos	60	600	350	5%

(1) Os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca e no teor de O₂ explicitado. (2) t/c = toneladas de aço/corrida. NA = Não Aplicável

Fonte: Resolução CONAMA 436/11.

- Resolução CONAMA N.03/90 – estabeleceu padrões de qualidade do ar. Estes padrões são listados na Tabela III, reproduzida a seguir.

Tabela III - Padrões de qualidade do ar segundo a Resolução CONAMA n. 03/90.

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas Totais em Suspensão	24 horas (1)	240	150
	MGA (2)	80	60
Dióxido de Enxofre (SO_2)	24 horas (1)	365	100
	MAA	80	40
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	40000	40000
	8 horas	10000	10000
Ozônio (O_3)	1 hora	160	160
Fumaça	MAA	60	40
Partículas Inaláveis (PM10)	24 horas (1)	150	150
	MAA (3)	50	50
Dióxido de Nitrogênio (NO_2)	1 hora	320	190
	MAA (3)	100	100

Observações: (1) Não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

(2) MGA - Média geométrica anual.

(3) MAA - Média aritmética anual.

Fonte: MMA.

10. Conclusões e Recomendações

O desenvolvimento sustentável visa melhorar a qualidade de vida para todos, agora e para as gerações futuras. Para a indústria siderúrgica mundial, significa valorizar a interdependência dos aspectos ambientais, sociais e econômicas em todas as tomadas de decisão.

Em 2002, toda a indústria siderúrgica mundial trabalhou junto, por meio da World Steel Association, para estabelecer uma política de desenvolvimento sustentável, incluindo uma visão e compromissos.

Em 2003, os indicadores de sustentabilidade foram criados pelas empresas associadas Worldsteel, em consulta com organizações externas, para medir o progresso no cumprimento desses compromissos.

O aço é fundamental para o nosso modo de vida moderno e essencial para o crescimento econômico. A taxa de demanda global de aço tem aumentado rapidamente: em 1950, a produção de aço bruto foi de 200 Mt e aumentou mais de sete vezes desde então, para 1512,2 Mt em 2011. A demanda deve crescer anualmente de 3 a 5% em todo o mundo, para atender às necessidades da sociedade, impulsionada pela demanda em países como China, Índia e Rússia, onde a indústria do aço deve crescer de 8 a 10% ao ano.

Segundo o quarto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), em 2007, o consenso científico é que, para evitar danos irreversíveis ao planeta, as emissões globais de gases do efeito de estufa devem atingir o máximo nos próximos 10 anos e serem cortadas em 50% até meados do século.

As implicações para o aço são fundamentais. Se o consumo per capita de aço, em países como a China e a Índia, se torna comparável aos níveis dos países da OCDE, conseqüentemente, até 2050, as emissões de gases de efeito estufa provenientes da indústria do aço poderiam ser mais que o dobro dos níveis atuais.

Para cada tonelada de aço produzido, em média, são emitidas 1,7 toneladas de dióxido de carbono.

De acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE), a indústria siderúrgica contribui com cerca de 4 a 5% das emissões totais de CO₂ do mundo.

As empresas siderúrgicas estão trabalhando ativamente para enfrentar esses desafios, como, por exemplo:

- desenvolver uma abordagem global do setor para reduzir a intensidade de CO₂ de aço e permitir a transferência de tecnologia para modernizar e melhorar a eficiência energética em plantas antigas;

- investir em tecnologias de ponta para soluções de longo prazo;
- trabalhar com clientes e indústrias parceiras para maximizar a contribuição de novos aços no sentido de reduzir o ciclo de vida das emissões de CO₂, particularmente em aplicações de alto impacto, tais como transporte e construção.

Os avanços tecnológicos nos últimos 25 anos permitiram reduções substanciais nas emissões de CO₂ provenientes da produção de aço. Esses avanços incluem:

- reforço da eficiência energética no processo siderúrgico;
- melhoria das taxas de reciclagem e utilização de produtos de aço;
- aumento da reciclagem de subprodutos da indústria do aço;
- melhores técnicas de proteção ambiental.

Outras melhorias a médio prazo serão realizadas por meio de transferência de tecnologia. A longo prazo, as melhorias substanciais virão de tecnologias inovadoras na produção de aço novo.

Por fim, entende-se que o estabelecimento de parceria entre o setor produtivo, a academia e os órgãos ambientais poderia agilizar a busca pelas melhorias tecnológicas tão desejadas.

O envolvimento das instituições públicas, nas instâncias técnicas, visando um comportamento mais integrado e mais proativo, com certeza se traduzirá em conciliar a necessidade de desenvolvimento tecnológico e econômico com a manutenção de uma adequada qualidade ambiental, essencial para uma boa qualidade de vida para a atual geração e para as futuras.

11. Bibliografia

- ADAMIAN, Rupen. *Novos Materiais: Tecnologia e Aspectos Econômicos* (Cap 4). Rio de Janeiro: COPPE-UFRJ, 2009.
- AGRAWAL, B. B.; MATHUR, A. S. *New Ironmaking Processes: Relevance to Índia*. R & D Centre for Iron & Steel. Ranchi, Índia, 2011.
- AISI - AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE, *Steel Industry technology roadmap*. American Iron and Steel Institute, 1997.
- ANDRADE, Maria Lúcia et al. *Reestruturação na Siderurgia Brasileira*. Rio de Janeiro: BNDES, 2002.
- ARAÚJO, L. A. *Manual de Siderurgia, Produção – Volume 1. Arte & Ciência*, 2ª Edição, 2005.
- BÖHM, C. COREX information, 1999.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 001, 1986.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 003, 1990.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 382, 2006.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 436, 2011.
- CAVALCANTI, Paulina M. P. S. *Modelo de Gestão da Qualidade do Ar – Abordagem Preventiva e Corretiva*, Tese de Doutorado, PPE/COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.
- CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – Ciência, Tecnologia e Inovação, *Incremento do Carvão Vegetal Renovável na Siderurgia Brasileira - Relatório Final*, Brasília, 2010.
- COSTA, Márcio M. *Princípios de Ecologia Industrial Aplicados à Sustentabilidade Ambiental e aos Sistemas de Produção de Aço*, Tese de Doutorado, PPE/COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.
- EEA, 2003. *Air Pollution and Climate Change Policies in Europe: Exploring Linkages and the Added Value of an Integrated approach*. Relatório Técnico número 5 da Agência Ambiental Européia, Disponível em <http://www.eea.europa.eu/>. Acessado em fevereiro de 2011.
- EEA, 2006. *Air Quality and Ancillary Benefits of Climate Change Policies – Relatório Técnico número 4 da Agência Ambiental Européia*. Disponível em <http://www.eea.europa.eu>. Acessado em fevereiro de 2011.
- EEA, 2011, disponível em <http://europa.eu/index>.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. *Caracterização da energia no setor siderúrgico*. Ministério das Minas e Energia, Brasil, 2009.
- GEORGE E. TOTTEN. *Handbook of Metallurgical Process Design*. USA, 2004.

- IABr, Instituto Aço Brasil, 2010, Relatório de Sustentabilidade, Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.iabr.org.br>.
- IISI – International Iron and Steel Institute, Steel Statistical Yearbook. Bruxelas, Bélgica, 2001.
- INFORME DE SUSTENTABILIDAD de la Industria Siderúrgica Mundial 2008 <http://www.worldsteel.org/index.php?action=publicationdetail&id=78>. Acessado em janeiro de 2011.
- http://www.worldsteel.org/pictures/publicationfiles/Sustainability%20Report%202008_English.pdf 2008 Sustainability Report of the World Steel Industry. Acessado em janeiro de 2011.
- MICHARD, JEAN A. *Method for heating the reducing gas of a blast furnace by means of a plasma generator*. France, 1987.
- MIDREX , The MIDREX Direct Reduction Process. Midrex Direct Reduction Corporation, 1998.
- MOTA, Ana Ceci Franco Vidal. Pólos Mínero-Siderúrgicos no Brasil: A Contribuição da Avaliação Ambiental Estratégica no Caso de Corumbá. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2009.
- Notas de aula da Disciplina Engenharia de Processos do professor Miguel Peralta. Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas/Brasil.
- PASSOS, Elisa Kimus Dias, Avaliação das Rotas Alternativas de Produção de Ferro Gusa, Projeto de Graduação, DEMM-Poli/UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.
- SANTOS, Antonio Leonardo. Inventário dos Rejeitos, Efluentes e Sub-Produtos das Indústrias Siderúrgicas Integradas na Fabricação de Aço Líquido, Projeto de Graduação, DMM-Poli/UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.
- SHUHMANN, R. *Ingenieria Metalurgica*, Compañia Editorial Continental, S.A., 1ª Edição, 1968.
- SWANK, James M. *History of the manufacture of iron in all ages - and particularly in the United States from colonial times to 1891. Also a short history of early coal mining in the United States and a full account of the influences which long delayed the development of all American manufacturing industries*. New York: Burt Franklin, 1965. Reprint of the 1892 ed. with revisions.
- US-EPA – U.S. Environmental Protection Agency, 2010, Compilation of Air pollutant Emission Factors AP-42,10th Edition, Volume I: Stationary Point and Area Sources. Research Triangle Park, NC, January.
- US-EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Cumulative Impacts*. 15 de fevereiro de 2001 (Versão preliminar).

- WORLDSTEEL, World Steel Association, 2008, *Sustainability Report of the world steel industry*, Belgium. Disponível em <http://www.worldsteel.org/pictures/publicationfiles/Sustainability%20Report%202008English.pdf>. Acessado em fevereiro de 2011.
http://www.worldsteel.org/pictures/publicationfiles/Sustainability%20Report%202008_Spanish.pdf. Acessado em fevereiro de 2011.
www.wikipedia.com.br. Acessado em 17/05/2012.
www.ibs.org. Instituto Aço Brasil. Acessado em 16/07/2012.
www.tecnometal.com.br. Acessado em 15/05/2012.
www.bgs.ac.uk. British Geological Survey. Acessado em 13/05/2012.
www.samarco.com. Acessado em 13/05/2012.
www.koopers.com. Acessado em 11/05/2012.
www.demec.ufmg.br. Notas de aula do Professor Marcelo Pimenta. Acessado em 10/05/2012.