

Produção Sustentável de Aço no Brasil

Filipe Esteves Cortes Sálvio

Bolsista de Iniciação Científica, Engenharia Metalúrgica UFRJ

Heloisa V. de Medina

Orientadora DSc. em Engenharia de Produção COPPE/UFRJ, Pós DSC em Ecologia Industrial, Université de Technologie de Troyes- UTT/França

Resumo

Esse trabalho mostra um panorama atual da siderurgia e investiga como as inovações ambientais estão alterando o perfil tecnológico do setor. Analisa novas tecnologias e processos alternativos que vêm sendo adotados mundialmente indicando quais as perspectivas das mudanças em curso para uma Produção mais Sustentável de aço no Brasil destacando a importância das mesmas para o caso da Siderurgia na Amazônia.

1. Introdução: Produtores e clientes os grandes números do setor

No século XXI a sustentabilidade ambiental passou a fazer parte da estratégia competitiva das empresas industriais notadamente as dos setores siderúrgico, energético e químico. Termos como: ecologia industrial, ciclo de vida dos materiais e reciclagem passaram a fazer parte do cenário das regulamentações e de normas técnicas, exigindo pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos constantes e crescentes. Hoje é preciso inovar sempre para produzir de forma “mais limpa”, fazendo uso de materiais e processos menos poluentes e mais recicláveis. Atender às exigências ambientais é um desafio à inovação e à criatividade das empresas que, ao vencê-lo, tornam-se mais competitivas. As inovações em materiais impulsionadas e/ou direcionadas pela questão ambiental tornaram-se essenciais à sobrevivência competitiva. Mas o problema é complexo e exige soluções múltiplas e compartilhadas por todos os agentes, desde a mudança de processos de produção para prevenção-minimização dos resíduos até o desenvolvimento de novos processos para a reciclagem e/ou reaproveitamento de rejeitos e produtos em fim de vida.

No Brasil, diante da importância da produção siderúrgica e da agregação de valor que ela representa na cadeia minero-metalúrgica, a gestão ambiental da produção de aço e seus produtos assumem extrema relevância. Um modelo de gestão sustentável dessa atividade é fulcral, visto que o setor fornece matérias-primas, direta (insumos para produção de materiais) ou indiretamente (em máquinas, equipamentos e ou embalagens), para todos os demais setores de atividade econômica agro-industrial e de serviços. Hoje em dia a produção de ferro-gusa no Brasil é da ordem de 36 milhões de toneladas por ano (IBS), sendo 75% produzidos pelas usinas integradas (70% devido a usinas integradas à coque e 5% à carvão vegetal) e os outros 25% devido a usinas independentes a carvão vegetal. A conversão de ferro-gusa em aço é feita 76% a conversores LD e 24% a fornos elétricos a arco. A tendência mundial de crescimento das mini-mills parece não se aplicar ao Brasil, devido ao volume de produção e à escassez de sucata ferrosa.

2. Sustentabilidade e Qualidade Ambiental

O Brasil é o único país do mundo cuja Carta Magna (artigo 225, Constituição Federal de 1988) inclui o direito ambiental e considera o desenvolvimento sustentável um dos objetivos nacionais. Desde os anos 90, programas de gestão ambiental de empresas vêm aprimorando os processos de produção e de tratamento de resíduos, nos moldes dos programas de gestão da qualidade dos anos 80. A busca pela certificação de qualidade ambiental (ISO 14000) veio somar-se à certificação de qualidade (ISO 9000) como parte de um processo de normalização e controle ambiental. Estes vêm sendo ampliados quanto às exigências técnicas e ao alcance em termos de mercado, dentro de um processo de regulamentação da atividade produtiva que vem se tornando global.

A ISO 14000 é a “família” de normas através das quais as empresas ou interessados declaram que adotaram ou atenderam aos os requisitos básicos de um Sistema de Gestão Ambiental, e que estão aptos a buscar a certificação junto a terceiros. A certificação ambiental é um atestado de conformidade ambiental conferido aos agentes socio-econômicos (organismos e empresas) segundo critérios técnico-científicos estabelecidos em normas nacionais e internacionais. Estes vêm assumindo papel de mecanismo legal de proteção ambiental no comércio internacional. Esse conjunto de normas pode ser separado em três grandes grupos. O primeiro e mais antigo é ligado ao processo de gestão da produção estabelece diretrizes e normas gerais para gestão ambiental das organizações também chamado de SGA – Sistema de Gestão Ambiental -. O segundo grupo, que pode ser considerado instrumental, abrange metodologias, definições e termos mais usados no SGA. E um terceiro e mais novo conjunto de diretrizes e normas específicas relativas aos produtos que inicialmente estabeleceram as bases para a ACV – Avaliação do Ciclo de Vida – e mais recentemente para o projeto de desenvolvimento de produtos. São cinco as etapas da certificação:

- 1 Definição da política ambiental da empresa
- 2 Inserção dessa política no planejamento da empresa
- 3 Implementação dos objetivos e metas da política ambiental
- 4 Análise do desempenho ambiental da empresa
- 5 e implementação de melhorias contínuas.

No Brasil, o Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental - CB-38 -, criado, em abril de 1999, na estrutura da Associação Brasileira de Normas Técnicas –ABNT-, participa do sistema ISO (International Standard Organization) produzindo e disseminando normas de gestão ambiental, em consonância com as normas internacionais. A atividade de normalização para certificação ambiental no Brasil é realizada de forma compartilhada por organismos públicos e privados. O INMETRO é o órgão oficial que credencia auditores e Laboratórios de referência por designação do CONMETRO – Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – que criou o Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade. Independentemente da adoção voluntária dos padrões recomendados pelas normas técnicas, em atividades de grande impacto ambiental, há exigências legais envolvidos nas certificações e auditorias ambientais.

3. Tecnologias e Processos Atuais : Impactos ambientais da produção de aço

A usina siderúrgica integrada via alto-forno é a rota de produção de aço mais utilizada no país e vem sofrendo contínua modernização para poder atender a novas demandas de produção, operacionais e ambientais. Os alto-fornos operam em grande escala de produção e geram cerca de 600 quilos de resíduos por tonelada de aço produzido, que podem ser reaproveitados e comercializados como co-produtos. O processo de uma usina integrada à coque constitui-se de quatro etapas principais, coqueria e sinterização, alto-forno, aciaria e lingotamento contínuo, no esquema abaixo podemos ver o produtos, sub-produtos, emissões, resíduos e efluentes. [1] e [2].

Coqueria:

produtos: coque, moinha (finos de coque), gás de coque, moinha (finos de coque), água amoniacal;
sub-produtos: gás de coque, alcatrão, óleos leves, amônia, sulfato amoniacal, enxofre;
água: (mistura de solução amoniacal + água da torre + sub-produtos), fenóis, benzeno, NH₃, CN⁻;
atmosfera: (mistura da solução amoniacal com água da torre de apagamento + sub-produtos: NH₃, CN⁻, fenóis, benzeno etc.), particulados do carregamento, coquificação, desenformamento, da torre de apagamento, CN⁻, fenóis, benzeno CO, CO₂, NO_x, SO_x, etc.

Sinterização:

produto: sinter;
água: lamas de desentupimentos, NH₃, CN⁻, fenóis, Fe, Zn, (elem.tóxicos: As, Hg, Ni, Pb);
atmosfera: mistura de NH₃, CN⁻, fenóis, Fe, Zn, CO, CO₂, NO_x, SO_x, (elem.tóxicos: Cd, As, Hg, Ni, Pb), dioxinas, furano;
resíduo sólido: mistura de poeiras das caixas de vento, lamas residuais de tratamento de filtros e lavadoras.

Alto-forno:

produto: ferro-gusa líquido;
sub-produtos: gás de topo, escória;
água: lamas de desentupimentos, resfriamento e granulação da escória, NH₃, CN⁻, fenóis, Fe, Zn, (elem.tóxicos: As, Hg, Ni, Pb);
atmosfera: H₂S, NH₃, CN⁻, fenóis, CO, CO₂, NO_x, SO_x, Fe, Zn, (elem.tóxico: Pb), gás de topo (combust.), cast-house;
resíduo sólido: mistura das poeiras da cast house, escória, refratários, lamas de tratamento da água.

Aciaria a oxigênio & elétrica:

produto: aço líquido;
sub-produtos: escória;
água: lavagem do gás, Fe, Zn, (elem.tóxicos: Cr, Ni, Cd, Pb);
atmosfera (fusão & refino, carregamento e vazamento): CO, CO₂, NO_x, SO_x, Fe, Zn, (elem.tóxicos: Cr, Ni, Cd, Pb);
resíduo sólido: poeiras dos processos, escória, lama de tratamento da água, preparo da sucata (schredder, refratários, Fe, Zn, (elem.tóxicos: Cr, Ni, Cd, Pb)).

Lingotamento contínuo:

água: resfriamento do molde & secundário, óleos & graxas, Fe, Zn, (elem.tóxicos: Cr, Pb, Ni);
resíduo sólido/líquido: óleos & graxas, Fe, Zn, (elem. tóxicos: Cr, Pb, Ni).

Incluem-se em quase todas as etapas as emissões dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH), dos compostos orgânicos voláteis (VOC), dos materiais particulados totais (TPM), das bifenilas policloradas (PCB), das dibenzo-dioxinas policloradas, (PCDD), benzeno e metano.

Autor: Igor de Abreu e Lima

A melhoria contínua das usinas integradas seria um dos caminhos para atingir um grau de sustentabilidade no país, tendo em vista que não se pode substituir um alto-forno por um processo alternativo de uma hora para outra, eliminar um desses processos e/ou otimizá-los implicará uma diminuição das emissões, efluentes gerados e do consumo energético. Como vemos no esquema acima, a coqueria e a sinterização geram um grande problema ambiental, pois muitos finos de minério e carvão ascendem na atmosfera poluindo o ar. Muitos fatores freiam o aparecimento dessas usinas alternativas no Brasil como ao alto custo de capital, diversificação da matriz energética a não acompanhamento da tendência da substituição de usinas integradas por mini-usinas (mini-mills) como no caso dos países desenvolvidos.

Os auto-fornos apesar de eficientes, não atendem mais a novas exigências ambientais e de mercado tais como:

- Baixos níveis de emissões gasosas;
- Maior compatibilidade ambiental;
- Maior eficácia no tratamento e na reciclagem dos resíduos gerados;
- Maior flexibilização pra o uso das matérias-primas;
- Baixos custos fixos;

- Baixo custo de instalação, manutenção e ampliação;
- Baixo custo operacional;
- Flexibilidade para variar a escala de produção;

As novas necessidades do mercado vêm impossibilitando que esse tipo de usina se mantenha no mercado de maneira lucrativa, daí surgem os processos alternativos e complementares ao alto-forno. Bons exemplos desses processos que já se encontram em estágio de maturidade e consolidação são os de redução direta, como o Midrex®, HyL e SL/RN. Por usar gás natural como redutor, os processos Midrex® e HyL são inviáveis economicamente no Brasil devido à situação de instabilidade política na Bolívia e à ausência de uma política energética que disponibilize uma cota fixa de gás natural para siderurgia (processos de redução direta), como já acontece para outros setores da indústria. Outros fatores como energia barata e legislação ambiental não tão severa quanto em outros continentes, freiam, no Brasil, o aparecimento de processos alternativos que serão apresentados na próxima sessão.

As siderúrgicas brasileiras geram em torno de 600kg de resíduos por tonelada de gusa fabricado. Minimizar a produção de resíduos significa aumentar a eficiência da produção e diminuir os impactos ambientais gerados. Mais de 90% desses resíduos podem ser comercializados na forma de diversos produtos com boa expectativa de lucro. Um bom exemplo disso é a Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), que tem uma receita anual de US\$ 23 milhões com a comercialização de alcatrão, escória granulada e lama de alto-forno.

4. Novas tecnologias e processos alternativos

Atualmente, tecnologias alternativas e complementares ao alto-forno têm se mostrado fundamentais no processo de renovação da siderurgia mundial, particularmente no fornecimento de ferro primário para as mini-usinas e na reciclagem de resíduos siderúrgicos. Podemos caracterizar essas tecnologias pelo tipo de reação de redução ou pelo tipo de processo de fabricação de aço. Segundo [3] Noldin Jr., podemos classificar:

- Fusão-redutora (*bath smelting*) – Os óxidos de ferro, dissolvidos em banhos metálicos e/ou em escórias líquidas, são rapidamente reduzidos pelo carbono, produzindo metal líquido.
- Redução sólida (leitos fluidizado e fixo) – Por meio de reações gás-sólido, gases redutores (H₂, CO) promovem a redução dos óxidos, produzindo ferro-esponja.
- Auto-Redução – A reação do tipo sólido-sólido, ocorre de fato via intermediários gasosos no interior dos aglomerados (finos de minério e materiais carbonosos), produzindo metal líquido ou ferro-esponja. O contato íntimo entre as partículas e a ausência de N₂ resultam em reações muito rápidas.

Segundo o mesmo autor os principais processos emergentes são:

- TecnoRed – Reator desenvolvido no Brasil em um forno de geometria especial e processo de cura a frio. O forno é inovador na alimentação lateral de combustível, que previne a ocorrência da reação de Boudouard na

cuba superior do forno, e na queima secundária dos gases da zona inferior mais eficiente. O reator Tecnoled pode processar uma variedade de cargas (minérios, sucatas, DRI¹, cavacos, etc.)

- ITmk3 – Processo conceitualmente similar ao Fastmet (tecnologia e equipamento), o Itmk3 opera em condições mais severas. Sua temperatura de trabalho é mais alta (1350°C), resultando na fusão do metal e na necessidade de uma posterior separação da escória/metál.
- Hismelt – 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 finos de minério (-6mm) e carvão. Por operar com escória básica e rica em FeO é capaz de remover parte do fósforo do metal.
- 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%. O processo Circored é a 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 minério ao invés de lumps ou pelotas.
- Finmet – Processo a gás natural, desenvolvido com base no processo FIOR, utilizando novas tecnologias de fluidização de leitos. Finos de minério são reduzidos em uma série de 4 reatores de leito fluidizado, à uma pressão de 10 – 12 bar, e os finos de DRI do último reator são briquetados a quente.
- Corex – Inicialmente desenvolvido no Brasil, o processo opera em dois estágios. Carvão e oxigênio são introduzidos no reator inferior onde um gás de alta temperatura é gerado para a redução dos óxidos. Este gás (95% CO+H₂) é resfriado e alimentado no reator superior, onde a redução ocorre no estado sólido gerando um DRI cuja fusão e redução residual ocorrem no reator inferior.
- Midrex – Responsável por mais de 65% da produção mundial de DRI, o processo é semelhante ao HyL (lump e pelotas reduzidos em um forno de cuba vertical). O Midrex opera à pressão ambiente, utilizando um gás redutor mais rico em CO que o HyL, e diferentes tipos de reformadores.

As novas tecnologias e os processos complementares ao alto-forno são de suma importância para uma produção sustentável de aço no Brasil, já que a rota siderúrgica mais difundida é a integrada via alto-forno. Essas tecnologias visam diminuir, principalmente, a quantidade de resíduos gerados; o gasto energético; as emissões gasosas e a suspensão de particulados finos.

4.1 Siderurgia Verde: O caso Amazônico

¹ DRI - Direct reductin iron (ferro-esponja).

O termo "Siderurgia Verde" é dado àqueles processos siderúrgicos onde se utiliza como input carvão de origem vegetal, seja de siveicultura ou de extração de mata nativa. Com a ascensão do uso de carvão mineral para produção de coque nos altos-fornos das indústrias siderúrgicas integradas, o uso do carvão vegetal vem caindo na região Sudeste. Já na região da Amazônia oriental ocorre o contrário. Usinas "independentes" ou guseiras se instalaram ao longo do Corredor Ferroviário de Carajás para produção única e exclusivamente de ferro-gusa em mini alto-fornos a carvão vegetal. O investimento e a escala de produção dessas unidades são pequenos se comparados com os de rota integrada que produz cerca de 3 milhões de t/ano de aço, com investimentos da ordem de US\$ 3,6 bilhões por unidade industrial.

Segundo Monteiro [5], a capacidade de produção das usinas independentes já chega a ocupar $\frac{1}{4}$ da produção nacional, ultrapassando 2,77 milhões de t/ano de ferro-gusa, e alcança um consumo anual de carvão vegetal de 2 milhões de toneladas, número bem expressivo. Em contrapartida, a demanda por minério de ferro não é tão grande, cerca de 6% de total de minério extraído da serra de Carajás.

O processo para obtenção de gusa é de alta intensidade energética. Um dos insumos energéticos mais utilizados é proveniente do carvão vegetal. Estes são fabricados em fornos chamados "rabo-quente", de baixíssima eficiência. Convertem 2,6t de lenha para 0,875t de carvão, que fabricará apenas uma tonelada de ferro-gusa. Além do desflorestamento que esse carvão representa, a mão-de-obra dessas carvoarias trabalha em condições precárias, de 10 a 11 horas diárias, em ambiente insalubre, com baixa remuneração e descumprimento das leis trabalhistas. A ineficiência energética do processo produtivo é aumentada pelo fato da produção de ferro-gusa também ser marcada pela baixa eficiência, onde ocorre a dispersão de grande quantidade de matéria e energia. Contudo, a baixa eficiência da carbonização e da redução de minério de ferro não afeta o rendimento econômico do sistema. Os baixos custos para obtenção do carvão vegetal e um ferro-gusa com teores de enxofre residual, que elimina um processo de refinamento secundário como a dessulfurização, garantem o lucro das chamadas usinas independentes.

5. Conclusão: Perspectivas das Mudanças em curso no Brasil para uma Produção mais Sustentável.

Uma possível solução para não se utilizar mais o carvão oriundo da mata primária seria a silvicultura. Entretanto, a implantação de florestas para a obtenção de biomassa para produzir carvão requer um ciclo longo de no mínimo 20 anos. Os investimentos de capital por tão longo prazo e aumento do custo de produção tornam inviáveis a operação de usinas que produzem somente ferro-gusa. A Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) propõem o financiamento público, a fundo perdido, destinado à aquisição de terras para a implantação da siveicultura para abastecer as siderúrgicas da Amazônia Oriental. Porém os custos iniciais para a aquisição de terra elevariam muito o preço do carvão vegetal reflorestado, de tal modo que seria impossível competir com carvão vegetal proveniente da extração de mata primária. O problema de fato é que as empresas siderúrgicas são isentas de responsabilidade ambiental. Nesse caso, passam esse problema para as carbonizadoras que, na maioria das vezes, não têm condições de fazer investimentos em tecnologias que possam aumentar a eficiência energética e a comercialização de seus co-produtos, e muito menos investir num manejo florestal sustentável.

Assim, o mais adequado em termos de sustentabilidade ambiental seria que as empresas guseiras fossem responsabilizadas pela procedência do carvão vegetal que consomem e também penalizadas pelo descumprimento das leis trabalhistas e por outros impactos ambientais causados.

Como já foi dito, outro caminho para a sustentabilidade da produção do aço seria o das melhorias contínuas das usinas integradas. Busca-se eliminar processos de maior impacto e/ou otimizá-los para diminuir emissões e controlar os efluentes gerados, assim como reduzir do consumo energético do processo como um todo. Contudo, somente a adoção, mesmo que de forma progressiva, de novas tecnologias alternativas aos altos-fornos permitirão uma produção sustentável de aço no Brasil, já que por razões econômicas não se pode mudar o processo no curto prazo.

6. Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio financeiro ao projeto PROSUL (Edital CNPq No.40 /2005) ao CETEM pela bolsa de IC e ao prof. Rupen Adamian pelos seus valiosos ensinamentos e sua confiança.

7. Referências Bibliográficas

- [1] Menezes J.O. R., Cunha O. G. da, Abreu e Lima I. "Oportunidades de produção de aço em Mato Grosso do Sul", REM: Rev. Esc. De Minas de Ouro Preto, 60(3); jul-set. 2007.
- [2] Menezes J.O. R., Cunha O. G. da, Abreu e Lima I. "Foundations of Social Capital: a case study of 10 flat rolled steel minimills in the US", artigo inédito a ser publicado.
- [3] Noldin Jr.,J.H. "Contribuição ao estudo da cinética de redução de briquetes auto-redutores", tese, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, PUC, Rio de Janeiro, 2002.
- [4] Noldin Jr.,J.H. et al. "Flexibilidade de matérias primas no processo TecnoRed", 61° Congresso Anual da ABM, 4° Seminário de Auto-redução e Aglomeração a Frio, 2006 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil.
- [5] Monteiro, M. A. "Em busca de carvão vegetal barato: o deslocamento de siderúrgicas para a Amazônia", Novos cadernos NAEA,v. 9, n. 2, p. 55-97, dez. 2006.
- [6] U.S. Department of Energy."Ironmaking Process Alternatives Screening Study ,Volume I: Summary Report" acessado em 2008 no sítio www1.eere.energy.gov/industry/steel/pdfs/ironmaking_process.pdf