

3 Tecnologia de Auto-Redução

O elemento químico ferro, de símbolo Fe, do latim *ferrum*, é sem dúvida o elemento químico de maior aplicação na humanidade. Com características de se combinar quimicamente com vários outros elementos que melhoram ou deterioram as suas propriedades, ele forma 5% da crosta terrestre, sendo o 4º elemento de maior abundância na terra atrás somente do oxigênio, silício e do alumínio. O ferro não é encontrado naturalmente como um metal de aplicação direta devido a sua averse por oxigênio, ou seja, encontra-se num estado oxidado, necessitando submeter-se a processos industriais que removam os átomos combinados de oxigênio, através da ação de um agente redutor, dando origem ao chamado ferro-primário. Esse processo é conhecido como redução, sendo o mais antigo, e ainda mais utilizado, o alto-forno.

O ferro primário é o principal insumo na fabricação do aço, logo, garantir uma equação econômica otimizada na sua fabricação, é uma necessidade real e constante para a manutenção da competitividade das indústrias siderúrgicas.

Os altos-fornos tem sofrido significativos avanços ao longo das últimas décadas, com o desenvolvimento de técnicas para aumentos de produtividade, aumento na disponibilidade do reator, flexibilidade de matéria-prima e redução no consumo de combustíveis, sempre buscando paralelamente uma maior adequação ambiental.

Apesar destes avanços, os clássicos altos-fornos estão continuamente ameaçados pelo desenvolvimento de **tecnologias emergentes**, que prometem ser mais eficientes, baratas, limpas e flexíveis que o seu concorrente.

Entre estas tecnologias emergentes, destacam-se os processos de auto-redução, que se baseiam na utilização de aglomerados auto-redutores, onde o agente redutor, no caso o carbono, é adicionado diretamente à mistura a ser aglomerada, visando, a partir do contato íntimo entre as partículas e à alta pressão parcial dos reagentes, obter altas velocidades de reação, e conseqüentemente, tempos de residência dos aglomerados nos fornos muito curtos.

Alguns destes processos, já se encontram em estágio comercial ou semi-comercial, de acordo com os seus promotores. Porém, por serem tecnologias relativamente novas e proprietárias, a bibliografia específica disponível é bastante limitada. De qualquer maneira, esta escassez de informações é compensada pelo fato de não haverem reações ou mecanismos desconhecidos em tais processos.

Algumas destas tecnologias são apresentadas e discutidas a seguir, com o objetivo de fazer uma breve descrição das principais rotas de produção de ferro primário, baseadas na utilização de aglomerados auto-redutores, que são o objeto de estudo desta dissertação.

3.1 Aglomerados Auto-Redutores

Conforme visto, um dos pilares de desenvolvimento dos processos de auto-redução está na utilização racional e otimizada de matérias-primas de baixo custo, aglomeradas na forma de briquetes ou pelotas auto-redutoras. As dispendiosas e ambientalmente limitadas unidades de sinterização e pelotização à quente, além das coqueiras, não se fazem presentes em nenhuma destas tecnologias. Duas são as tecnologias principais que se destacam na produção dos aglomerados auto-redutores: a pelotização e a briquetagem.

A pelotização é o processo onde a mistura é dosada de forma contínua em discos ou tambores de tamanho, inclinação, e rotação variadas. Durante a rotação do equipamento, a mistura vai nucleando e formando as pelotas, que em função das condições operacionais e características das matérias-primas é auto-extraída após atingir uma certa faixa de diâmetro, ou após um tempo definido de residência.

A briquetagem é o processo onde a mistura é dosada continuamente com o auxílio de dispositivos especiais ou simplesmente por ação da gravidade, entre rolos estampados com o formato de meio briquete a ser formado. A mistura ao passar pelos rolos é então prensada formando o briquete.

3.2 Processos de Auto-redução

Fazem parte deste grupo de processos os que utilizam aglomerados auto-redutores como carga. Para fins didáticos, dividir-se-á os processos de auto-redução de acordo com o tipo de forno utilizado: fornos de soleira rotativa, comumente chamados de RHF (*Rotary Hearth Furnace*), tais como, RedSmelt, ITmk3, Inmetco, FastMet, IDI, Maumee e os fornos de cuba tais como o TecnoRed e o Oxocup.

3.2.1 Fornos de Soleira Rotativa (RHF)

O desenvolvimento dos fornos de soleira rotativa iniciou em 1965, quando o processo Heat-Fast, das empresas Midland Ross Corporation (hoje Midrex Corporation), National Steel Corporation e a empresa de mineração Hann Mining foi desenvolvido. Neste processo, um RHF era usado para reduzir pelotas auto-redutoras de minério magnetítico (Fe_3O_4). O desenvolvimento prosseguiu até o estágio piloto, quando foi abandonado em função do baixíssimo preço do gás natural à época, e do desenvolvimento do processo de redução direta Midrex, que oferecia um produto com maiores índices de metalização. O processo Heat-Fast foi retomado a partir dos anos 90, agora sob o nome de Fastmet, pela empresa Midrex⁽¹⁰⁾.

Outro importante histórico do desenvolvimento dos fornos RHF foram os estudos feitos pela empresa INCO Ltda, em seus laboratórios, no início dos anos 80, com o objetivo principal de recuperar ferro, níquel e cromo contidos em resíduos metálicos⁽¹¹⁾.

Os fornos RHF produzem o DRI sólido, pois trabalham abaixo da temperatura de fusão da carga⁽¹²⁾, com índices de metalização variados, entre 60 e 95%, para depois serem processados em outros tipos de reatores que fundem a carga e separam a ganga contida, tais como fornos elétricos ou fornos a arco submersos.

Os fornos RHF normalmente apresentam as seguintes características principais^(12,13):

- Baixos índices de produtividade, devido à baixa altura de carga e a complicados procedimentos operacionais de carga e descarga;
- Médios custos de instalação;
- Produto com alto teor de ganga e enxofre;
- Eficazes para a reciclagem de resíduos siderúrgicos tais como pós e lamas, devido relativa facilidade de coletar externamente os metais pesados;
- Baixa eficiência energética devido a necessidade de manter-se uma chama com relação $CO/CO_2 > 2,0$.

Por apresentarem características construtivas e operacionais muito semelhantes entre si, a descrição dos processos na maioria dos casos se confunde, tendo como diferença principal somente os promotores da tecnologia. A figura 1, mostra uma concepção artística de uma siderúrgica integrada com um forno do tipo RHF e a figura 2, mostra um fluxograma típico dos processos que utilizam estes fornos.

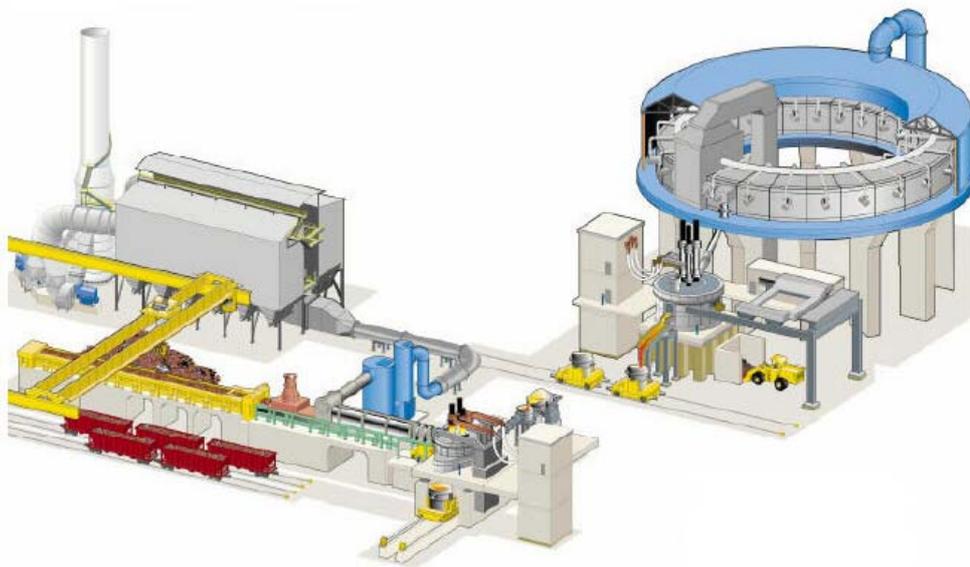


Figura 1 – Concepção artística de um forno RHF, integrado à uma siderúrgica⁽¹⁴⁾

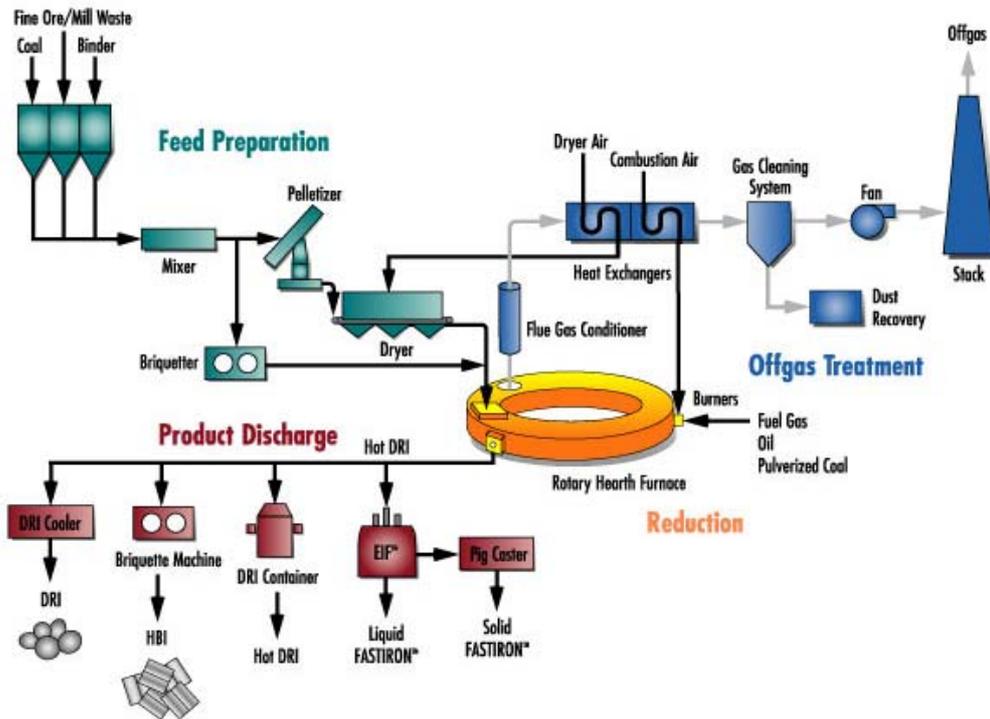


Figura 2 – Fluxograma clássico de processos baseados em fornos do tipo RHF⁽¹⁵⁾

3.2.1.1 RedSmelt⁽¹¹⁾

O processo Redsmelt, de propriedade da empresa alemã SMS Demag, é baseado no uso de um forno RHF que reduz pelotas de cura a frio, feitas a partir de finos de minério de ferro, finos de redutor (normalmente carvão) e um agente ligante, necessário para conferir a resistência necessária para a utilização das pelotas. Após produzidas, as pelotas são classificadas de acordo com o seu diâmetro médio, sendo utilizadas pelotas de 8 à 16 mm. Todo o material não classificado é recirculado no processo.

As pelotas são então carregadas no forno, em camadas até 30 kg/m². Durante o processo, a carga é aquecida até temperaturas da ordem de 1370°C, à pressão atmosférica. A secagem das pelotas, desvolatilização do carvão e redução dos óxidos de ferro, ocorrem durante este processo de aquecimento. O contato íntimo entre as partículas de óxido de ferro e carbono, à altas temperaturas, resulta em altas velocidades de reação.

Para prevenir a reoxidação do ferro metalizado, as zonas finais do forno operam em atmosfera abaixo das condições estequiométricas necessárias a reoxidação. O DRI produzido é então descarregado a quente, e carregado em um forno do tipo arco submerso (SAF), para a separação líquida do metal e escória.

As principais vantagens do processo, de acordo com a bibliografia, são:

- Uso direto de finos de minério de ferro como matéria prima
- Vasta flexibilidade no uso de agentes redutores
- Baixos tempos de redução (12 à 18 minutos)
- Uso de equipamentos com tecnologia comprovada

Situação atual

A empresa SMS Demag (proprietária da Tecnologia) em cooperação com a empresa italiana Lucchini, mantém um projeto que visa a construção da primeira planta de demonstração Redsmelt, com capacidade de produção de 10 toneladas por hora de DRI, em Piombino – Itália. O início de operações está previsto para este ano.

3.2.1.2 **Fastmet / Fastmelt** ^(10,13)

O processo Fastmet, de propriedade das empresas Midrex e Kobe Steel, é baseado no uso de um forno RHF que reduz pelotas de cura a frio, produzidas a partir de finos de minério de ferro, resíduos siderúrgicos ricos em ferro e finos de carvão. As pelotas são carregadas no forno por meio de um sistema de alimentação vibratória. Após carregadas as pelotas são aquecidas em 3 zonas, por queimadores montados junto às paredes do forno. Todos os queimadores são projetados para a combustão de gás natural. Um painel refrigerado à água é posicionado após a terceira zona para promover o resfriamento do DRI à 1000 – 1200°C, antes da sua descarga. O material produzido pode ser coletado para posterior briquetagem à quente, ou diretamente carregado em fornos elétricos. O processo opera em pressão moderadamente negativa, e é vedado através de um selo d'água.

Em 1992 a empresa Midrex construiu a primeira planta piloto Fastmet com capacidade de 0.15 t/hr. Com base no sucesso operacional da planta piloto, a

Midrex e a Kobe Steel Ltda. (KSL), construíram a primeira planta de demonstração Fastmet, com capacidade de 2.5 t/hr em Kakogawa, Japão, em 1995.

Situação atual

A primeira unidade industrial Fastmet, iniciou as suas atividades em março de 2000, na siderúrgica japonesa Nippon Steel Corporation na cidade de Himeji no Japão. A unidade processa cerca de 190.000 ton/ano de resíduos de conversores tipo LD, produzindo DRI com 90% de metalização, num forno tipo RHF de 28m de diâmetro. A segunda planta industrial começou as suas operações em maio de 2001, na Kobe Steel em Kakogawa. Esta unidade processa 16.000 ton/ano de resíduos ricos em zinco, produzindo DRI e óxido de zinco como sub-produto.

As principais vantagens do processo, de acordo com a bibliografia, são:

- Uso direto de finos de minério de ferro como matéria prima
- Vasta flexibilidade no uso de agentes redutores
- Baixos tempos de redução (6 à 12 minutos)
- Uso de equipamentos com tecnologia comprovada

3.2.1.3 **ITmk3** ^(13,16)

O processo ITmk3, também de propriedade das empresas Midrex e Kobe Steel, é baseado no uso de um RHF similar ao Fastmet. As pelotas, produzidas a partir de uma mistura de finos de minério de ferro, agente redutores e um agente ligante, são secas e classificadas de acordo com o seu tamanho, na faixa de 17 à 19 mm. Todo o material não classificado recircula no processo de aglomeração.

As pelotas são então carregadas em um forno tipo RHF que apresenta três regiões de aquecimento (alimentação, redução e fusão) e uma zona de resfriamento, e aquecidas até temperaturas da ordem de 1350°C, onde a secagem das pelotas, desvolatilização do carvão e redução dos óxidos de ferro acontece analogamente aos processos Fastmet e Redsmelt. Na segunda zona, ou zona de redução, acontece a redução dos óxidos, e o aquecimento da ganga e das cinzas, que leva ao amolecimento e subsequente coalescimento da escória. A partir daí,

uma casca oca de ferro metálico é formada, tendo em sua parte interior um nódulo de escória. Na zona de maior temperatura, ou zona de fusão, ocorre a formação das primeiras gotas de ferro líquido, e o colapso da casca metálica, seguida do processo de coalescimento das gotas de ferro metálico, formando uma espécie de moeda de ferro completamente separada da escória, chamada de *nugget*. O processo opera à altas temperaturas e pressão atmosférica.

O processo começou a ser desenvolvido em 1996, com a primeira planta piloto construída em Kakogawa, Japão, em 1998.

As principais vantagens do processo, de acordo com a bibliografia, são:

- Uso direto de finos de minério de ferro como matéria prima
- Vasta flexibilidade no uso de agentes redutores
- Tempos de redução reduzidos
- Completa separação entre o metal e a escória.

Situação atual

Com um orçamento de US\$ 24 milhões, a primeira planta industrial do processo ITmk3, com capacidade de produção de 25.000 ton/ano será construída em Minnesota, EUA, em uma das minas da maior companhia americana de mineração, a Cleveland-Cliffs. A construção será iniciada em agosto de 2002, e a operação é esperada para março de 2003. Se houver êxito na primeira fase do empreendimento, esta primeira planta será expandida para uma capacidade de 350.000 ton/ano de *nuggets*.

3.2.1.4 **Inmetco** ⁽¹³⁾

O processo Inmetco, foi o primeiro forno tipo RHF a ser aplicado comercialmente. O processo é baseado no uso de um RHF, que reduz pelotas produzidas a partir de uma mistura de finos de minério de ferro, resíduos siderúrgicos ricos em ferro, agente redutores e um agente ligante. As pelotas são produzidas usando um agente ligante de ação rápida, que confere propriedades mecânicas que previnem a degradação no manuseio e operação.

As pelotas são carregadas no forno, em camadas de aproximadamente 3 pelotas de altura, através de uma correia transportadora pivotada. Durante o

processo, o forno rotaciona continuamente durante um período de 10 à 15 minutos, aquecendo as pelotas até 1300°C em média, através de queimadores localizados na periferia do forno. Os queimadores são dispostos formando duas zonas: aquecimento (1/3 do forno) e redução (2/3 do forno).

Após reduzidas, as pelotas podem ser coletadas para posterior briquetagem à quente, ou diretamente carregadas no forno elétrico. O processo opera em pressão moderadamente negativa, e é vedado através de um selo d'água.

As principais vantagens do processo, de acordo com a bibliografia, são:

- Uso direto de finos de minério de ferro como matéria prima
- Vasta flexibilidade no uso de agentes redutores
- Baixos tempos de redução
- Uso de equipamentos com tecnologia comprovada

Situação atual

Na cidade de Ellywood, Pensilvânia, um forno deste tipo, com capacidade de 60.000 toneladas por ano, está operando desde 1978 para o tratamento de resíduos de aciaria.

A empresa mantém um acordo com a SMS Demag (ex-Mannesmann Demag) desde 1983, visando a pesquisa contínua e comercialização dos fornos tipo RHF.

3.2.1.5 Iron Dynamics (IDI)⁽¹³⁾

O processo IDI é composto de 5 áreas principais: recebimento de matéria prima, moagem e preparação do minério e do redutor, pelletização, redução e fusão do produto. O minério é seco até 0,5% de umidade usando os gases de topo do próprio RHF. O minério e o carvão são moídos (50% < 200 mesh e 80% < 200 mesh respectivamente) e pelletizados. As pelotas produzidas são secas a 1% de umidade e pré-aquecidas à 150°C em uma grade circular. O carregador recebe e distribui as pelotas secas no forno, formando camadas entre 1 e 1,5 polegadas de altura.

O forno usa gás natural na geração de energia e possui 8 (oito) zonas de reação. Temperatura, fluxo e composição do gás são controladas para promover as

condições de processo necessárias em cada uma das zonas, ou seja, para aquecer, reduzir e proteger a carga adequadamente. O DRI na descarga apresenta aproximadamente 85% à 95% de índice de metalização.

Uma unidade auxiliar nos transportadores de DRI controla as adições de fluxante, coque, sílica ou outros materiais, visando controlar as características da escória no SAF.

O sistema de gases de topo remove o calor, poeira, SO₂ e NO₂ dos gases do forno. Um queimador secundário queima todo o CO remanescente no gás. O gás é resfriado e o NO_x é removido no resfriador primário. A energia térmica do gás é usada para pré-aquecer o ar de combustão e fornecer o calor necessário para a secagem das matérias-primas. Após o uso no secador, o gás é então filtrado e o SO_x presente é removido antes da descarga na chaminé.

O DRI junto com os aditivos são alimentados por gravidade na camada de escória do SAF, onde a redução final e fusão ocorrem.

As principais vantagens do processo, de acordo com a bibliografia, são:

- Uso direto de finos de minério de ferro como matéria prima
- Vasta flexibilidade no uso de agentes redutores
- Baixos tempos de redução

Situação atual

O processo IDI possui, desde 1996, uma planta industrial na cidade de Butler, nos EUA, junto à siderúrgica SDI (Steel Dynamics Inc.) que é a proprietária da tecnologia. A capacidade de produção da unidade é 520.000 ton/ano de aço pela rota RHF-SAF. Devido ao baixo preço da sucata de aço no mercado atualmente, que chegou a níveis historicamente baixos, esta planta está paralisada, mas com expectativas de retomada de produção num curto prazo.

3.2.1.6

Maumee (DryIron)⁽¹³⁾

O processo Maumee, também chamado de *DryIron*, é baseado no uso de um RHF que reduz pelotas ou briquetes produzidos a partir de uma mistura de finos de minério de ferro, resíduos siderúrgicos ricos em ferro e um agente redutor. O aglomerado auto-redutor utilizado pelo processo *DryIron*, não utiliza

ligantes e após reduzido apresenta níveis residuais de carbono da ordem de 4%. A chave do processo é o controle da atmosfera, minimizando os índices de reoxidação da carga, o consumo de carbono e o tempo de residência.

Os principais objetivos da tecnologia são, prover solução para a reciclagem de resíduos siderúrgicos *in loco*, produzindo DRI e óxido de zinco como sub-produto.

As principais vantagens do processo, de acordo com a bibliografia, são:

- Uso de resíduos siderúrgicos como matéria prima;
- Recuperação de metais pesados;
- Vasta flexibilidade no uso de agentes redutores;
- Baixos tempos de redução ;
- Uso de equipamentos com tecnologia comprovada.

Situação atual

O processo DryIron possui uma planta industrial junto à AmeriSteel no Tennessee, EUA. O RHF desta planta usa uma mistura de pós coletados do sistema de limpeza dos gases do forno elétrico e carvão, de acordo com a relação carbono/óxido estabelecida. O forno então separa termicamente o óxido de zinco que é vendido para empresas que recuperam o zinco metálico.

3.2.2 Fornos de Cuba

Estes tipos de fornos produzem, ao invés de um produto sólido, metal líquido, utilizando apenas um reator em todo o processo. Por não terem partes internas móveis promovem baixa geração de finos e apresentam baixos custos de investimento.

Nesta categoria encontramos dois processos principais, o processo TecnoRed, desenvolvido no Brasil pela empresa que lhe deu o nome, e o processo Oxicip, desenvolvido pela empresa alemã Kuttner.

3.2.2.1 Tecnored^(08,17,18)

O processo Tecnored, é dentre os processos emergentes, o único brasileiro, tendo como principal inventor, o engenheiro Marcos de Albuquerque Contrucci, ex-professor do DCMM / PUC-RJ.

O processo utiliza aglomerados auto-redutores, curados a frio, produzidos a partir de uma mistura de finos de minério de ferro ou resíduos ferrosos, e um agente carbonoso (redutor) como finos de carvão mineral, vegetal, coque de petróleo, ou ainda resíduos siderúrgicos ricos em carbono. Estes materiais são misturados com agentes fluxantes e ligantes, e então aglomerados em discos de pelletização tradicional para a produção de pelotas, ou em briquetadoras para a produção de briquetes. Os aglomerados na forma de pelotas ou briquetes são curados em secadores/curadores especiais, conferindo-lhes as propriedades mecânicas necessárias para as solicitações de manuseio externo e de processo.

Os aglomerados são então carregados em um forno de geometria especial, o forno Tecnored (figura 3), caracterizado por duas inovações: a alimentação lateral de combustível e a queima secundária.

A alimentação lateral dos combustíveis previne a ocorrência da reação de gaseificação do carbono (reação de Boudouard) na cuba superior do forno, resultando em economia de combustível.

A queima secundária, através da energia gerada pela combustão do monóxido de carbono (CO) vindo das regiões inferiores do forno, é responsável pela redução das pelotas, com altas taxas de reação, na região conhecida como ‘cuba superior’ do forno.

Após reduzidos, os aglomerados são fundidos na ‘zona de fusão’, em atmosfera redutora, onde ocorre a escorificação da ganga e das cinzas no estado líquido. As gotas de metal e escória acumulam-se na ‘cuba inferior’ do forno, ou cadinho, onde ocorre o superaquecimento do metal e da escória.

FORNO TECNORED *(Patenteado em 40 países)*

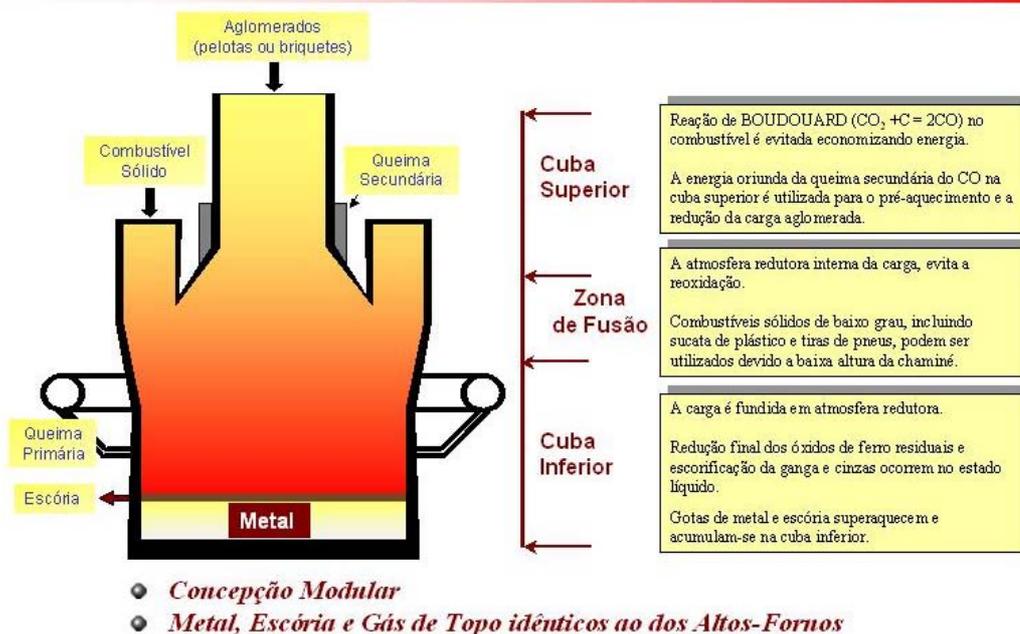


Figura 3 – Forno TecnoRed (seção transversal)⁽¹⁹⁾

Por ser um forno compacto, o Forno TecnoRed utiliza combustíveis sólidos de baixo custo, como coque verde de petróleo, semi-coques ou carvão mineral.

O forno TecnoRed é dimensionado a partir de módulos básicos, o que permite que o forno seja construído de maneira escalonada, de acordo com as pretensões das empresas ou até mesmo obedecendo às demandas de mercado.

Outro aspecto que impressiona na tecnologia é que, a partir da utilização do mesmo forno, o processo também pode ser utilizado para a simples fusão de carga metálica, como sucatas, ferro gusa e cavacos de usinagem, com custo de fusão menor que os processos convencionais, fornecendo metal líquido para aciarias ou fundições, contribuindo para a solução de eventuais problemas de desbalanceamento de produção, reduzindo o consumo de energia elétrica e aumentando a produtividade das usinas.

A fusão/redução de DRI, promovendo a redução final dos óxidos e a separação da escória contida, é também uma aplicação promissora da tecnologia, para o aumento de produtividade e redução de custos nas aciarias elétricas, que usam pré-reduzidos.

Em todas as suas versões, o Processo TecnoRed, devido a sua alta eficiência energética, simplicidade de operação e dos equipamentos, flexibilidade

no uso de matérias-primas e alta compatibilidade ambiental, vem sendo apontado por estudos independentes, como a melhor via para a produção de metal líquido.

As principais vantagens do Processo Tecnoled são:

- Utilização de matérias primas de baixo custo, tais como resíduos siderúrgicos, finos de minério de ferro, ultra finos de decantação produzidos em mineradoras, etc.
- Utilização de combustíveis de baixo custo, tais como coque verde de petróleo, carvões minerais, biomassas, etc.
- Alta flexibilidade de produção (níveis de produção, paradas e retomadas, matérias-primas, campanhas, etc.);
- Alta produtividade;
- Alta eficiência energética;
- Alta compatibilidade ambiental;
- Baixo custo de investimento;
- Baixo custo de produção
- Modularidade que permite o aumento (ou redução) da capacidade instalada de acordo com a demanda do mercado ou planos de expansão da empresa.

Situação Atual

Em março de 2000, o desenvolvimento piloto do processo Tecnoled foi completado. Num arranjo inovador, este desenvolvimento realizou a operação do processo em condições reais, utilizando uma fatia modular do equipamento industrial, que garantiu as condições necessárias para desenvolver a engenharia final de chama e os correspondentes padrões de *raceway*, assim como mapear as características da zona de fusão. Com a conclusão dos testes, uma grande quantidade de dados referentes ao desempenho do processo, incluindo uma larga seleção de matérias-primas, combustíveis, e ligantes foram compilados, e analisados com relação aos diferentes tipos de aglomerados (pelotas e briquetes).

A conclusão da fase de planta-piloto do desenvolvimento do Processo Tecnoled, viabilizou o projeto da primeira planta em escala industrial, a ser construída em Vitória (ES).

3.2.2.2 OxiCup⁽²⁰⁾

O processo OxiCup é uma versão de forno cubilô, que prevê a produção de metal líquido, a partir da redução de resíduos siderúrgicos e ou finos de minério de ferro. Estes materiais são misturados com um agente carbonoso e cimento, sendo em seguida aglomerados na forma de tijolos hexagonais conhecidos como C-Bricks. Estes aglomerados, para evitar maiores problemas de manuseio externo, causando quebras e geração de finos e conferir boa permeabilidade interna no reator com uma distribuição adequada dos gases do processo, são maiores do que as convencionais pelotas ou até mesmo que os briquetes. O comprimento entre as extremidades do aglomerado é da ordem de 10 à 15cm.

O processo, segundo os seus promotores, se mostra extremamente eficiente para a utilização de resíduos siderúrgicos não recicláveis nos processos convencionais (fornos elétricos ou altos-fornos), como os resíduos ricos em zinco, produzindo metal líquido e recuperando o zinco no sistema de limpeza dos gases em concentrações vendáveis à empresas produtoras de zinco.

O forno OxiCup se divide em três zonas principais, a zona superior onde ocorre a alimentação da carga, a zona intermediária onde ocorre o pré-aquecimento, redução e fusão dos aglomerados auto-redutores e a formação da escória, e por fim a parte inferior onde ocorre a separação do metal líquido da escória formada.

O processo utiliza como combustível coque, na granulometria de 90 à 150mm, que reage com ar aquecido à 600°C, injetado através de ventaneiras localizadas no cadinho do forno. Como as reações de redução são endotérmicas e a combustão do coque com ar na temperatura de processo, não é capaz de suprir as exigências energéticas, o processo utiliza ar enriquecido com oxigênio (20 à 30%) ou ainda a injeção direta de oxigênio através de lanças. Os gases quentes deixando a ‘cama de coque’ fornecem a energia necessária para a redução dos óxidos de ferro e a fusão da carga metálica. O metal é super-aquecido e carburado em níveis que dependem das dimensões do forno e vazado continuamente, podendo ser coletado em carros torpedo ou panelões.

As principais vantagens do processo, de acordo com a bibliografia, são:

- O processo não demanda grandes alterações, em usinas já existentes, para a sua implantação;
- Baixos custos de investimento;
- Processo similar aos altos-fornos;
- Uso de resíduos siderúrgicos como matéria-prima;
- Flexibilidade de produção.

Situação atual

A empresa TKS (Thyssen-Krupp-Stahl) possui uma planta de demonstração com base na tecnologia Oxicip, operando na cidade de Duisburg. Esta planta possui um forno do tipo oxicipola de 2.6m de diâmetro, com capacidade de processar aproximadamente 150.000 ton/ano de C-bricks misturados com 60.000 ton/ano de rejeitos de ferro e aço.

3.3

Processos de auto-redução e os impactos ambientais

A indústria siderúrgica de uma maneira geral está profundamente comprometida com a manutenção e melhora da saúde humana e do meio ambiente. A simples descarga no ecossistema de elementos poluidores pela indústria siderúrgica mundial, foi reduzida em mais de 90% em relação aos níveis do início dos anos 70, após pesados investimentos, da ordem de bilhões de dólares, em tecnologias de controle ambiental⁽⁰¹⁾. No entanto, o controle nas emissões não resolveu o problema da geração de resíduos poluentes e seu controle, sendo este um tema de preocupação constante nos dias de hoje.

Muitos dos resíduos gerados atualmente são de difícil, as vezes impossível, reutilização pelos processos convencionais. As limitações de reciclagem de tais materiais, pelos processos convencionais, se dá principalmente por razões econômicas, devido ao baixo valor intrínseco dos materiais recicláveis, ou por razões de ordem técnica, tais como contaminação, granulometria, periculosidade, etc.

Estima-se que aproximadamente 3,5 milhões de toneladas de ferro possam ser produzidas adicionalmente, somente nos EUA, a partir de resíduos

siderúrgicos que hoje não são aproveitados¹. Esta capacidade latente está pendente apenas da pesquisa, desenvolvimento e demonstração da capacidade ‘recicladora’ de processos tais como os de auto-redução⁽⁰¹⁾.

Existem duas tendências claras para tratar de maneira mais otimizada o problema da geração de resíduos. A primeira, prima pela pesquisa e desenvolvimento de métodos e processos que auxiliem na redução substancial dos resíduos gerados, e a segunda, vislumbra o desenvolvimento de técnicas que aumentem a capacidade de reaproveitamento ou reciclagem de resíduos. A solução ‘à moda antiga’ de dispor os resíduos em aterros não é mais a de menor custo. Nos EUA, o valor de disposição de resíduos chega à US\$ 10,00/ton no caso de aterros internos e US\$30,00/ton (produtos não perigosos) à US\$ 150,00/ton (produtos perigosos) no caso de aterros externos, obviamente sem contabilizar o custo de desgaste da imagem da empresa junto à sociedade. Este alto custo de disposição de resíduos, aliado à novas e ainda mais rigorosas legislações ambientais, além do fechamento de aterros existentes, vem fazendo com que a reciclagem se torne imperativa.

Este cenário abre enormes oportunidades para as tecnologias de auto-redução no futuro. Os processos de auto-redução podem usar finos de minério de ferro e resíduos siderúrgicos como matéria-prima de processo, de uma maneira muito mais simples e eficiente. De uma maneira simplificada, podemos afirmar que devido às altas velocidades de reação, os processos de auto-redução apresentam reatores compactos, permitindo que os contaminantes dos resíduos sejam coletados externamente, em concentrações que justifiquem a sua comercialização, como por exemplo o zinco, apontado como o maior vilão para o reaproveitamento dos resíduos siderúrgicos.

O processo Tecored, no seu desenvolvimento em planta piloto, realizou testes experimentais de longa duração, operando exclusivamente com briquetes de resíduos, sem nenhum problema operacional, pelo contrário, com altos índices de produtividade. Considerando que os resíduos variam em quantidade e composição de usina para usina, de produto para produto, etc., os parâmetros de processo também variam, e deverão ser definidos em função do mix de materiais⁽¹⁸⁾.

¹ A siderurgia americana produz cerca de 30 milhões de toneladas de resíduos por ano, contendo aproximadamente 7 milhões de toneladas de ferro. Apenas 50% deste total é recuperado atualmente.

Em geral, para o Processo TecnoRed, pode-se afirmar que:

- Pós e lamas de alto-forno, dependendo da quantidade, fornecem todo, ou a maior parte, do carbono necessário como redutor;
- O consumo de combustível tende a ser menor para maiores índices de Fe metálico nos resíduos;
- A produtividade do forno aumenta com a redução no consumo de combustível;
- A quantidade de escória tende a aumentar, se resíduos mais contaminados são utilizados;
- Na maioria dos casos a briquetagem é mais indicada para a aglomeração de resíduos.

Alguns processos de auto-redução já estão operando comercialmente na reciclagem de resíduos siderúrgicos, tais como o Inmetco e o IDI (atualmente paralisado), sendo que outros são promovidos através de fortes apelos comerciais, pela reciclagem de resíduos siderúrgicos, mais do que propriamente para a produção de ferro primário via minério de ferro.

De qualquer maneira, fica evidente o enorme potencial futuro de produção de unidades de ferro primário via utilização de resíduos pelas tecnologias de auto-redução.