

# PROCESSO TECNORED – FLEXIBILIDADE NO USO DE COMBUSTÍVEL

*José Henrique Noldin Júnior* <sup>(1)</sup>

*Marcos de A. Contrucci* <sup>(2)</sup>

*José Carlos D'Abreu* <sup>(3)</sup>

*Norberto Jacomini* <sup>(4)</sup>

## Resumo

Neste trabalho são discutidas as exigências e possibilidades relativas ao uso de combustíveis sólidos alternativos no processo TecnoRed. Esta característica, que se constitui em um dos maiores diferenciais do processo, foi plenamente comprovada na planta piloto a partir de campanhas experimentais realizadas com combustíveis alternativos, abundantes e de baixo custo, tais como coque verde de petróleo, biomassas, coques de alta cinza, entre outros. Os principais resultados destes testes são apresentados neste trabalho, assim como o simulador do forno TecnoRed, uma ferramenta extremamente útil e confiável projetada para replicar as condições reais de operação, determinando assim a adequação de quaisquer fontes alternativas de combustível para o processo, ainda que não testados na planta piloto.

**Palavras-chave:** TecnoRed; Carvão; Coque; Combustível.

## Fuel Flexibility in the TecnoRed Process

### Abstract

This discusses the various requirements and possibilities of the TecnoRed Process to use alternative solid fuels, other than coke. This ability of the process directly related to its competitiveness, was proved in the pilot plant tests by long time use of green petroleum coke, biomasses, high ash cokes, etc. The results of the pilot furnace using these fuel sources are presented as well as the introduction of the TecnoRed furnace simulator as a very important and reliable tool to approve other sources of solid fuel not tested in the pilot plant.

**Key-words:** TecnoRed, Coal; Coke; Solid-fuel.

## I INTRODUÇÃO

A inevitável dependência do uso de coque metalúrgico para a produção de ferro primário via altos-fornos tem sido apontada como um dos pontos mais frágeis da sustentabilidade do setor siderúrgico, devido a vários problemas de ordem técnica, econômica e ambiental na operação das coquearias, fenômeno agravado pela atual escassez e alto preço deste insumo no mercado mundial.<sup>(1)</sup>

Como um aumento expressivo da capacidade instalada mundial de produção de coque é muito pouco provável devido às rigorosas legislações ambientais, alto investimento necessário e longo tempo de construção de novas coquearias, o desenvolvimento de novas tecnologias de produção de ferro primário que não

usem coque parece crucial para a competitividade das empresas e manutenção da posição estratégica do setor siderúrgico.

Este trabalho discute a flexibilidade do processo TecnoRed quanto ao uso de combustíveis sólidos alternativos ao coque metalúrgico, apresentando alguns resultados obtidos durante a operação do forno piloto e do simulador do processo.

## 2 PROCESSO TECNORED – USO DE COMBUSTÍVEL SÓLIDO

Ao contrário dos altos-fornos convencionais, o processo TecnoRed foi concebido e desenvolvido para ser uma tecnologia “cokeless”, ou seja, que dispensa o uso de coque durante o processo produtivo, seja como agente térmico ou redutor, evitando assim o investimento e operação de coquearias, e qualquer emissão oriunda destas unidades.

Do ponto de vista do processo, a tecnologia TecnoRed utiliza duas fontes distintas de carbono.

<sup>(1)</sup> Membro da ABM, M.Sc., doutorando PUC-Rio, Gerente de Tecnologia da TecnoRed

<sup>(2)</sup> Membro da ABM, eng., Diretor da Tecno-Logos desenvolvimento tecnológico S.A.

<sup>(3)</sup> Membro da ABM, D.Sc., Professor Associado da PUC-Rio

<sup>(4)</sup> Técnico metalúrgico, Coordenador de Projetos da TecnoRed

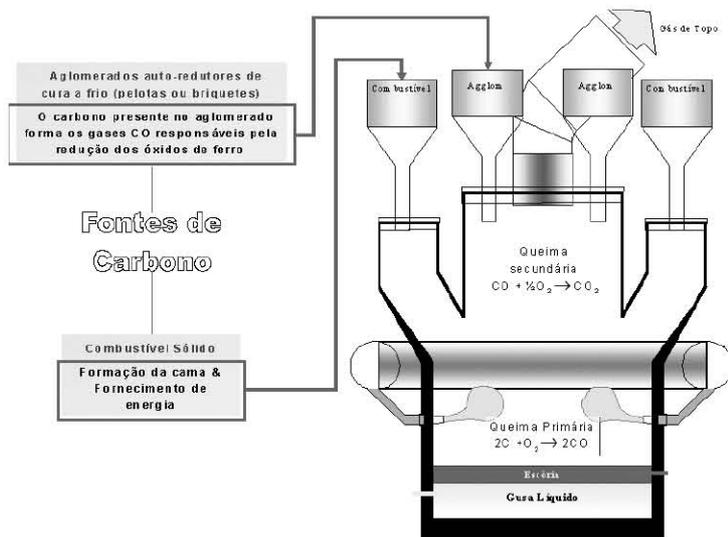


Figura 1. Seção transversal esquemática do forno TecnoRed

A primeira é o agente redutor, que misturado aos outros constituintes (fontes de ferro, fluxantes e ligantes) é aglomerado na forma de pelotas ou briquetes, dando origem aos chamados aglomerados auto-redutores. A quantidade de redutor adicionada à mistura é sempre definida pela relação C/F (Carbono por Óxidos ferrosos presentes), normalmente em quantidade suficiente para promover a completa redução no estado sólido dos aglomerados, num modelo de redução sólido-sólido via intermediários gasosos que dispensa ou sofre pouca influência da atmosfera exterior ao aglomerado.

A segunda fonte de carbono para o processo é o combustível sólido, que atua como agente térmico ao processo. O material, bitolado, é carregado através de alimentadores laterais diretamente na cuba inferior do forno, formando a cama de combustível e, depois de queimado, fornecendo energia ao processo.

O processo TecnoRed apresenta alta eficiência energética. Gases e carga trocam energia em contra-corrente e com o conceito dos alimentadores laterais, evita-se a ocorrência da reação de gaseificação de carbono na cuba superior do forno ( $CO_2 + C \rightarrow 2CO$ ), com conseqüente economia de combustível e melhor distribuição térmica. A energia utilizada no processo é gerada em duas etapas, primeiro pela queima direta do combustível no raceway (queima primária) e depois pela pós-combustão do gás CO oriundo das regiões inferiores do reator (queima secundária).

A Figura 1 mostra um esquema da seção transversal do forno TecnoRed, indicando a utilização das duas fontes de carbono.

As duas fontes de carbono usadas no processo TecnoRed apresentam especificações distintas, principalmente com relação a sua granulometria, para atender as diferentes exigências físico-químicas do processo. Enquanto o material utilizado como combustível sólido apresenta granulometria grosseira, tipicamente da ordem de 40 a 80 mm, o redutor exige o uso de material fino, abaixo de 1mm.

### Demandas física e térmica do processo

Tal como outros reatores metalúrgicos, o processo TecnoRed

apresenta demandas que devem ser atendidas de maneira a otimizar a sua performance.

O material utilizado como combustível no forno TecnoRed, por exemplo, deve criar a permeabilidade necessária para um bom fluxo das fases gasosa e líquida dentro do reator. Para isso, o combustível deve apresentar no fim dos alimentadores laterais, após passar pelo processo de remoção de umidade e matéria volátil, um esqueleto com resistência suficiente para suportar a carga acima da cama que é formada na cuba inferior. Além disso, o material resultante, chamado de "char", deve ter reatividade adequada a promover tanto uma boa temperatura adiabática como uma boa geometria de chama quando queimado, e por fim garantir certa relação CO/CO<sub>2</sub> no topo da cama de combustível (Figura 2).

Contudo, deve-se ressaltar que o total da carga imposta à cama de combustível no forno TecnoRed é bem menor que em um alto-forno, devido à alta produtividade volumétrica do processo, logo as exigências mecânicas são proporcionalmente menores.

Esta característica, ou seja, uso de um forno compacto, é uma das principais razões que explicam a habilidade do forno para dispensar o uso de coque metalúrgico e permitir o uso de combustíveis sólidos não-convencionais e de baixo custo, tais como carvões minerais semi-antracíticos.

Evidentemente, o uso ou não de um determinado combustível deve ser definido após uma avaliação sobre o custo do insumo frente à

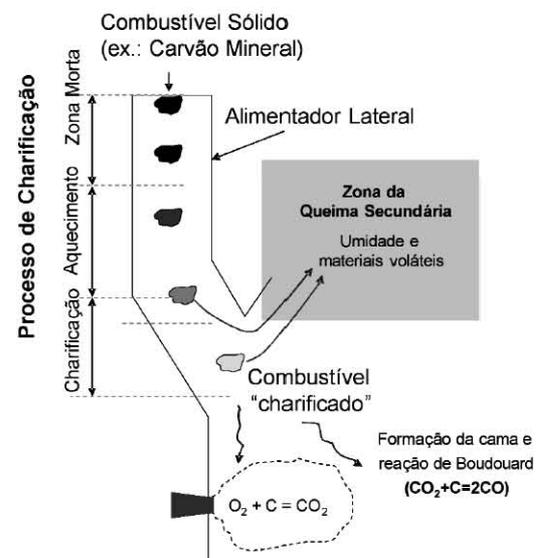


Figura 2. Processo de charificação do combustível sólido no forno TecnoRed

quantidade consumida por tonelada de produto, volume de escória gerado, friabilidade, necessidade de dessulfuração, etc.

## 2.1 Combustíveis Sólidos Testados no Processo

A lista de combustíveis sólidos avaliados durante o desenvolvimento do processo Tecno-red é bastante extensa. Parte deles foi efetivamente usado no forno piloto em condições similares às industriais enquanto outros foram aprovados após testes criteriosos no simulador do processo.

### Testes na planta-piloto

O desenvolvimento em planta piloto do processo Tecno-red foi feito em diferentes fases, usando diferentes conceitos e tamanhos de reatores (circular nas primeiras fases e um módulo do forno industrial nas últimas fases). Durante este período, vários tipos de unidades de ferro e carbono (reductor e combustível) foram testados, visando otimizar a performance da tecnologia através da definição da geometria ótima do reator, parâmetros ideais de operação, engenharia de chama, padrão de "raceway", formação, posição e estabilidade da zona coesiva, definição dos perfis de temperatura, pressão e velocidades dos gases no interior do forno, etc.

Os tipos principais de combustíveis sólidos usados no forno de piloto, suas composições típicas e granulometria são mostrados na Tabela 1.

Com relação à performance do forno, a Figura 3 mostra os consumos médios totais de combustível em quilogramas por tonelada de metal, alcançados durante os testes em planta piloto, em função do tipo de carga utilizada (óxidos, carga metálica, etc.).

É importante mencionar que os consumos de combustível apresentados na Figura 3 são apenas indicativos, pois os valores variaram de teste para teste, em função dos parâmetros de operação, tipo de carga ferrosa, relação "Carbono/Óxido" nos aglomerados, grau de metalização do DRI, granulometria dos materiais, variação da umidade, etc.

## 2.2 Simulador do Processo para Combustíveis Sólidos

A natureza e as propriedades físico-químicas de qualquer combustível sólido para

Tabela 1. Combustíveis testados no forno piloto Tecno-red

Combustível	C fixo (%)	Matéria volátil (%)	Cinzas (%)	S (%)	Granulometria (mm)
Coque metalúrgico	85,70	1,80	12,50	1,00	+30 -60 e +40 -80
Coque alta cinza	79,00	1,10	19,90	1,00	+40 -100
Carvão mineral	50,00	14,00	36,00	3,00	+30 -50
CVP (*) (Argentina)	84,48	14,52	1,00	0,61	+30 -60 e +40 -80
CVP (Brasil)	87,00	12,00	1,00	0,70	+30 -60 e +40 -80
Madeira seca (**)	47,00	52,20	0,80	0	Variado
Resíduos Automotivos (fluff)	(plásticos 86% + areia 5% + resíduos não-ferrosos 2% + vidros 7%)				

(\*) CVP – Coque verde de petróleo, que é um resíduo sólido oriundo do refino catalítico de petróleo. (\*\*) Madeira tipo Bracatinga, seca a céu aberto

uso no forno Tecno-red, podem ser pré-avaliadas através de testes no simulador do processo. Características dos materiais tais como, reatividade, inchamento, degradação, resistência ao empilhamento, distribuição granulométrica, resistência a quente e a frio em diferentes atmosferas e perfis térmicos são avaliadas a partir destes testes.

Para isso a Tecno-red desenvolveu um equipamento especial, operado em procedimento específico, para simular o desempenho de combustíveis sólidos alternativos, individualmente ou misturados, visando prever o comportamento destes materiais se usados industrialmente como fonte de combustível no processo Tecno-red.

Os seguintes testes são realizados e os resultados obtidos comparados a padrões pré-aprovados:

- caracterização físico-química do material;
- teste de secagem;
- teste de crepitação ao choque térmico (seco e curva de umidade);
- teste de simulação do forno;
- teste de inchamento e formação de fase plástica; reatividade natural e após remoção de umidade e matéria volátil; e teste de perda de peso (termogravimetria).

Combustíveis sólidos já testados e pré-aprovados pelo simulador do processo incluem tipos de carvões sub-bituminosos, bituminosos e antracíticos, briquetes de finos de carvão, carvão vegetal, semi-coques, tiço, etc, com diferentes níveis de carbono fixo, cinzas e matéria volátil<sup>(2)</sup>.

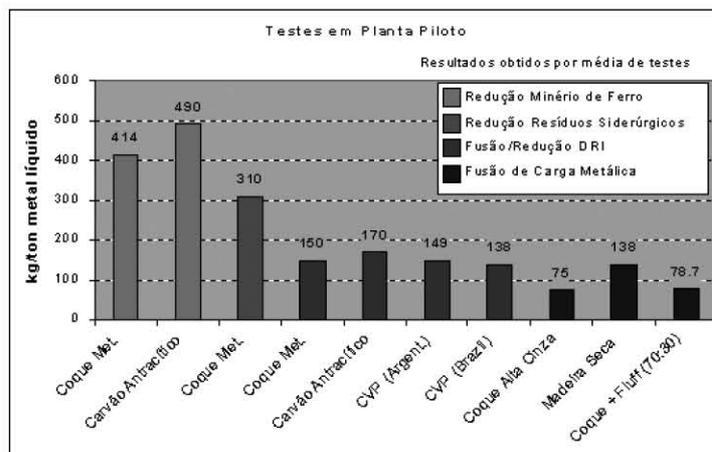


Figura 3. Consumos médios totais de combustível na planta piloto Tecno-red

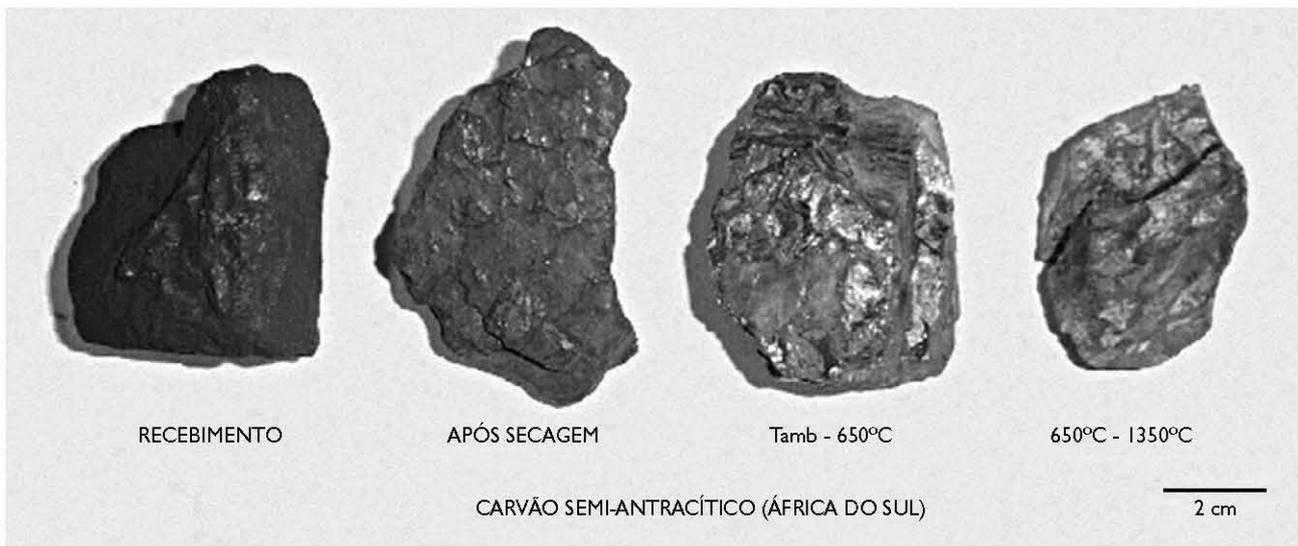


Figura 4. Carvão semi-antracítico durante simulação do processo

A Figura 4 mostra o aspecto visual de uma amostra de carvão mineral após o teste de simulação do processo.

Portanto, os combustíveis sólidos com potencial de uso no processo TecnoRed podem ser selecionados entre várias alternativas de baixo custo e ampla oferta, a serem usados integralmente ou em misturas, ratificando a extrema flexibilidade e garantindo a competitividade da tecnologia, conforme mostrado na Tabela 2.<sup>(3)</sup>

### 2.3 BIOMASSAS

O uso de combustíveis renováveis para produção de ferro primário vem sendo muito discutido nos últimos tempos, visando uma produção siderúrgica ambientalmente sustentável. Neste sentido, o uso de biomassas como agente combustível e redutor na etapa de redução (etapa com maior geração dos gases estufa na cadeia siderúrgica), parece ser uma eficiente rota para produção de ferro primário de maneira econômica e ambientalmente sustentável. Isto porque, a partir da substituição do uso de combustíveis fósseis por biomassas, obtém-se um ciclo fechado de geração e captura de CO<sub>2</sub>, conforme Figura 5 a seguir:

Tabela 2. Combustíveis sólidos com potencial de uso no forno TecnoRed

Classe	Combustíveis sólidos
Carvão mineral não-coqueificável	Carvão semi-antracítico Briquetes de finos de carvão
Coque verde de petróleo (CVP)	CVP tipo "esponja"
Coque metalúrgico	Coque chinês de baixo-resistência Semi-coque (coque Indiano de alto-cinza)
Biomassas	Madeira seca (até 20% do total) Carvão vegetal Madeira anidra (tiço) Briquetes de finos de carvão vegetal
Resíduos	Pedaços de pneu (até 20% do total) Resíduos automotivos (até 20% do total)

Passo a passo, o ciclo acontece da seguinte maneira:

- carbono na biomassa é usado como agente redutor e combustível no forno TecnoRed, gerando as emissões de CO<sub>2</sub> liberadas para atmosfera;
- o CO<sub>2</sub> emitido é capturado pelo ativo florestal, e através do processo de fotossíntese usado para o crescimento da plantação;
- o carbono é então fixado na biomassa e o oxigênio liberado para atmosfera; e
- a biomassa após atingir o tamanho adequado é utilizada, reiniciando o ciclo novamente.

Assim, o carbono usado no processo pode ser obtido por um ciclo fechado de média duração, através do seqüestro do CO<sub>2</sub> da atmosfera e não pelo uso de combustíveis fósseis. Além

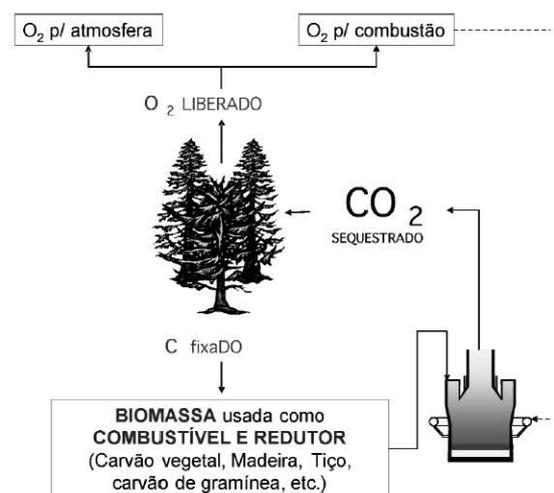


Figura 5. Ciclo de geração e seqüestro de CO<sub>2</sub> na redução com uso de biomassa

disso, o baixo teor de enxofre na biomassa, resulta em baixas emissões de gases tipo SO<sub>x</sub>, e incorporação deste elemento no metal.<sup>(4)</sup>

O processo TecnoRed pode operar inteiramente com biomassa (carbonizada ou não) para atender à sua demanda de unidades de carbono. Neste caso, as frações maiores são usadas como combustível e as frações menores como agente redutor dentro do aglomerado. O uso de material de menor granulometria como redutor possibilita inclusive o uso de carvão de gramíneas, de cascas de cocos ou até mesmo de espigas de milho.

Por fim ressalta-se que o uso de 100% biomassa para suprir as unidades de carbono do processo TecnoRed resulta em um balanço de CO<sub>2</sub> negativo, ou seja, a quantidade de CO<sub>2</sub> seqüestrada da atmosfera para crescimento da biomassa é maior do que a emissão durante a produção de ferro primário.

### 3 CONCLUSÕES

O processo TecnoRed comprovou a sua extrema flexibilidade no uso de combustíveis sólidos alternativos a partir de vários testes realizados no forno piloto e no simulador do processo. Com isso os combustíveis sólidos para uso industrial no forno TecnoRed podem ser selecionados entre várias alternativas de maior oferta e menor custo do que o coque, ratificando a flexibilidade da tecnologia e garantindo a atratividade do processo.

A flexibilidade do processo abre ainda a possibilidade de usar misturas entre diferentes combustíveis sólidos, garantindo uma composição média adequada para o processo a um baixo custo.

A partir do simulador do processo, especialmente desenvolvido para este fim, materiais ainda não usados no forno podem ser facilmente testados e seu comportamento em uso industrial previsto.

### REFERÊNCIAS

1. NOLDIN JR., J. H.; CONTRUCCI, M. A.; D'ABREU, J. C. TecnoRed Process – high potential in using different kinds of solid fuels. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 59., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABM, 2004. 1 CD.
2. LEHRMAN, A; BLUMENSCHEN, C. D.; DORAN, D. J.; STEWART, S. E. Steel plant fuels and water requirements. In: \_\_\_\_\_. **The making, shaping and treating of steel**. Pittsburgh: AISE, 1999. cap. 6, p. 301.
3. CONTRUCCI, M. TecnoRed Process – industrial plant in construction. In: BEYOND THE BLAST FURNACE CONFERENCE, 2000, Atlanta, USA. Atlanta: Gorham Conferences, 2000.
4. HICKL, A. J.; CONTRUCCI, M. A.; D'ABREU, J. C.; COSTA, P. H. C.; MARCHEZE, E. S.; NOLDIN JR., J.H. A biomassa no Processo TecnoRed. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON BIOMASS FOR METAL PRODUCTION & ELECTRICITY, 1., 2001, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ISS, 2001. 1 CD.

Recebido em: 28/03/05

Aceito em: 16/06/05

Proveniente de: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO E MATÉRIAS PRIMAS, 34., 2004, Vitória - ES. São Paulo : ABM, 2004.