

APROVEITAMENTO DE SUCATA DE PNEUS E RESINAS PLÁSTICAS EM FORNOS ELÉTRICOS A ARCO¹

Antonio Augusto Gorni

Analista de Processos da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente da
Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA

Editor Técnico das Revistas **Plástico Industrial** e **Corte e Conformação de Metais**

¹ Trabalho apresentado no PlastShow 2008 Feira e Congresso, São Paulo SP, 6 a 8 de Maio de 2008.

RESUMO

A produção crescente de bens de consumo e artigos descartáveis feitos com os mais variados tipos de polímeros resulta no descarte de milhões de toneladas de materiais cuja degradação natural poderá levar vários séculos. Por outro lado, os sinais cada vez mais evidentes da deterioração ecológica do planeta estão fazendo a humanidade tomar uma atitude cada vez mais firme quanto à proteção do meio ambiente. Portanto, é necessário criar o maior número possível de alternativas para a reciclagem desses rejeitos a fim de garantir a sustentabilidade dos materiais poliméricos a longo prazo. Este trabalho apresenta uma revisão sobre o aproveitamento de sucata de pneus e resinas plásticas na forma de combustível suplementar em fornos elétricos a arco usados na elaboração de aços. Já há exemplos bem sucedidos de reciclagem de pneus em aciarias na França, Bélgica e E.U.A., o que pode ser atribuído não só pelo atendimento à legislação vigente, mas também à maior homogeneidade química e física deste resíduo. Já os estudos iniciais sobre a aplicação dessa abordagem para o tratamento dos plásticos pós-consumo somente foram feitos há poucos anos atrás, mas já se registra pelo menos um caso de implantação industrial, ocorrido na Austrália.

- INTRODUÇÃO

Os problemas decorrentes do descarte indiscriminado de pneus e plásticos pós-consumo não são novos e começam a ser enfrentados com vigor no Brasil. Isso decorre não apenas da produção cada vez maior de bens de consumo duráveis e não-duráveis para atender às demandas de uma população crescente e com maior poder aquisitivo [1]. Também a sensibilidade do público em geral quanto aos problemas ambientais causados pela poluição está se aguçando e forçando os fabricantes de materiais poliméricos a encarar mais seriamente a necessidade de tornar seus produtos mais amigáveis do ponto de vista ecológico [2]. Caso esse desafio não for enfrentado rapidamente, há o risco puro e simples de se proibir o uso de polímeros onde eles puderem ser substituídos por materiais menos agressivos ao meio ambiente – por sinal, uma sugestão encontrada com frequência cada vez maior na imprensa em geral [3]. A proibição do uso de sacos plásticos na África do Sul e na China comprova que essas pressões da sociedade são uma ameaça real e iminente aos materiais poliméricos [4].

Um fato bastante animador dentro dessa conjuntura foi a intensificação da reciclagem de pneus usados que ocorreu recentemente no Brasil. Até há poucos anos atrás não havia nenhuma lei impondo o tratamento desses rejeitos, o que fazia com que a maior parte dos pneus inservíveis fosse simplesmente descartada sem qualquer controle. Isso gerava - e ainda gera, mas em menor grau - uma série de inconvenientes, em particular o acúmulo de água estagnada que propicia a criação de mosquitos e a disseminação das doenças propagadas por eles, bem como o risco de incêndios incontroláveis nos grandes depósitos de pneus sucatados.

Algo precisava ser feito para se controlar esse passivo ecológico. Seria inconcebível banir o uso de automóveis, bem como o emprego da insubstituível borracha na fabricação de pneus. Logo, a única saída para garantir a sustentabilidade desse componente consistiu em impor sua reciclagem. Em 2002 o governo obrigou os fabricantes de pneus a reciclar o produto usado numa taxa proporcional à sua produção, a qual vem se elevando de forma paulatina ao longo dos anos. Essa iniciativa fez com que a reciclagem de pneus no país passasse de 100.000 t em 2002 para 241.000 t em 2006, o que correspondeu neste último caso a 73% das 330.000 toneladas então produzidas. Espera-se que esse valor se eleve a 280.000 t em 2008. As soluções encontradas para processar esse passivo ecológico são sua queima em grandes fornos industriais, como os existentes em fábricas de cimento; a produção de asfalto anti-aderente; fabricação de chinelos e tapetes, entre outras alternativas [5]. Além da imposição da lei, o sucesso verificado na reciclagem de pneus pode ser explicado também pela facilidade na identificação e coleta desse rejeito, bem como sua relativa homogeneidade química e física, o que dispensa a realização de análises.

Pode-se estimar que, em 2006, das 4,564 Mt de resinas plásticas produzidas no Brasil aproximadamente 53% se destinaram à fabricação de embalagens e produtos descartáveis ou de vida muito curta, o que significa um descarte de material plástico da ordem de 2,419 Mt [6]. Trata-se, portanto, de um enorme desperdício de uma rica fonte de matérias primas ou energia. Seria muito interessante que uma legislação semelhante à imposta no caso dos pneus também fosse aplicada às resinas plásticas, especialmente nas usadas em embalagens, cujo ciclo de vida é extremamente curto em comparação com sua potencial vida útil. Seria uma alternativa preferível à sua proibição pura e simples, que não é tão inviável como ocorre no caso dos pneus – afinal, podem ser encontrados sucedâneos aceitáveis na maioria das aplicações onde se usam plásticos, ainda que com desempenho não tão eficaz.

Portanto, já existe uma grande demanda por alternativas de reciclagem de materiais poliméricos, ainda mais quando se considera que todas elas só podem ser aplicadas de forma limitada por problemas técnicos e econômicos. Por exemplo, a queima de pneus em fornos industriais gera grande quantidade de resíduos devido à presença de malhas de aço. E essa situação só tende a se intensificar no futuro. Portanto, há um grande campo para o desenvolvimento de novas tecnologias para o reaproveitamento das quantidades cada vez mais crescentes de materiais poliméricos a serem produzidas no futuro.

Uma dessas possibilidades consiste no uso de sucata de borracha e plásticos em reatores siderúrgicos, uma vez que estes trabalham em temperaturas muito altas, da ordem de $.1500^{\circ}\text{C}$, onde esses materiais podem ser decompostos de forma compatível com o processo metalúrgico. A reciclagem de plásticos pós-consumo em coqueiras e altos-fornos já é uma realidade no Japão e Alemanha [1], onde eles substituem parcialmente o carvão e o coque, respectivamente. Contudo, a fração de plástico usada neste tipo de reciclagem é relativamente pequena, uma vez que este material não possui a mesma resistência mecânica a quente do coque. Sua introdução nestes processos acima de certa quantidade leva a problemas no controle da marcha do alto-forno. Note-se que o bom funcionamento desse equipamento é vital para a operação de toda uma usina siderúrgica. O uso de matéria-prima não-padronizada num ponto crítico do

processo deixa seus operadores intranquilos, o que inibe a aplicação intensiva dessa rota de reciclagem, ao menos até essa tecnologia estar totalmente consolidada.

Outra possibilidade de reciclagem de resíduos poliméricos em processos siderúrgicos consiste no seu uso como substituto parcial do coque ou antracito usado em fornos elétricos a arco para a elaboração de aço. Ao contrário dos altos-fornos, este equipamento tende a ser mais tolerante ao uso de novas matérias primas, uma vez que não apresenta produção contínua, seu tempo de ciclo é mais curto e integra uma rota de produção menos crítica [7]. Serão descritos a seguir os progressos já efetuados nesta nova rota de reciclagem para sucatas de pneus e plásticos.

- O FORNO ELÉTRICO A ARCO

A figura 1 mostra um forno elétrico a arco usado na elaboração de aço. Sua capacidade pode variar desde algumas poucas até centenas de toneladas. O material a ser processado é enfiado usando-se caçambas que se abrem pelo fundo. Uma carga típica para esse tipo de forno é constituída de aproximadamente 85% de sucata de aço e 15% de ferro-gusa; contudo, podem ser usados outros insumos metálicos, como ferro obtido por redução direta. Juntamente com a carga metálica são acrescentados fundentes como dolomita e cal, numa proporção típica de 3,3 t para 100 t de sucata, os quais formarão a escória que absorve as impurezas (especialmente enxofre e fósforo) provenientes do banho metálico, protege o revestimento refratário do forno e melhora o desempenho energético do processo. Também são acrescentados 1,15 t de antracito ou coque a cada 100 t de sucata, cuja combustão serve de fonte de energia suplementar ao processo.

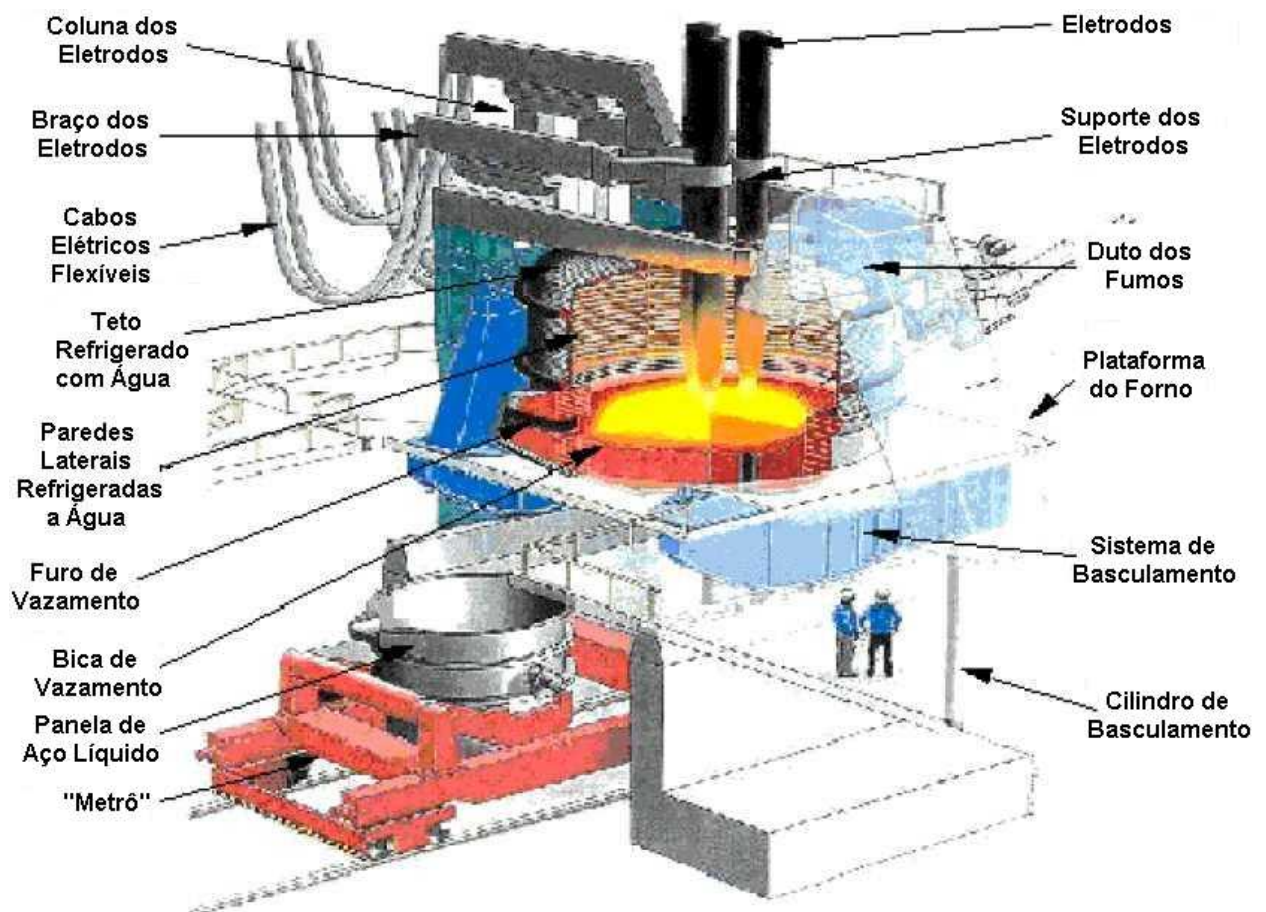
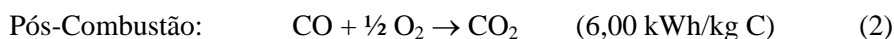
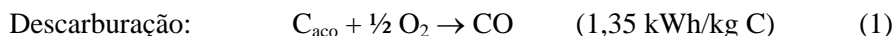


Figura 1: Visão esquemática de um forno elétrico a arco usado na elaboração de aço [8].

A fusão da carga metálica sólida ocorre através do calor gerado por arcos elétricos que se estabelecem entre ela e a ponta de três eletrodos suspensos no teto do forno. Esses arcos elétricos ocorrem quando os eletrodos são aproximados da carga metálica, a qual atinge temperaturas da ordem de 15.000°C no ponto de incidência do arco. À medida que as camadas superiores de sucata se fundem, os

eletrodos podem penetrar cada vez mais fundo no banho metálico, liquefazendo as camadas inferiores. Geralmente se injeta uma mistura de gás natural (metano) mais ar ou oxigênio no interior do forno usando-se lanças, o que gera calor suplementar através da combustão do silício e carbono presentes no ferro-gusa, bem como do carbono presente no antracito ou coque. Após a fusão completa do metal sólido suspende-se a injeção de gás natural, mantendo-se a introdução de ar ou oxigênio que descarbura o banho metálico e efetua a pós-combustão do excesso de antracito ou coque. As reações envolvidas são:



A escória formada pelos fundentes, óxido de ferro e impurezas dos aços sobrenada na superfície do banho metálico. Uma prática relativamente recente no processo de elaboração de aço em fornos elétricos a arco consiste em proporcionar espumar a escória através da injeção simultânea de oxigênio e coque pulverizado em seu interior, gerando bolhas de CO. Isso faz com que sua espessura aumente de 5 a 15 vezes, intensificando a transferência de calor desde os arcos elétricos até a carga. Essa medida ainda proporciona um escudo contra o ataque da radiação do arco sobre as paredes de refratário, reduz o ruído dos arcos elétricos de 120 dB até 85 dB e melhora sua eficiência elétrica, tornando-os mais suaves, reduzindo o fator de potência e as oscilações na rede elétrica. O CO formado deve sofrer pós-combustão sobre a superfície do banho, o que é conseguido injetando-se oxigênio nesse ponto específico através de uma lança. O calor assim obtido é transferido para o banho metálico, contribuindo para que as reações endotérmicas necessárias ao refino do aço continuem ocorrendo [8,9].

Após um processo adequado de fusão e refino, o qual leva em regra 45 minutos, o aço líquido é vazado a 1.630°C para uma panela, momento em que são feitas as devidas adições de elementos de liga. O metal líquido segue então para o lingotamento, ou eventualmente para uma etapa adicional de refino em forno-panela. O forno elétrico a arco está então pronto para processar nova carga de aço [8,10,11].

- RECICLAGEM DE PNEUS NO FORNO ELÉTRICO A ARCO

A tabela 1 mostra a análise química típica de pneus. Como se pode observar, eles são constituídos em sua maior parte de carbono, presente na borracha e negro de fumo, o que os qualifica a substituir o antracito ou coque usado em fornos elétricos a arco. O segundo elemento presente em maior quantidade é o ferro das malhas de reforço dos pneus, o que representa uma forma adicional de sucata metálica para o forno. A seguir vem o hidrogênio, que não constituirá problema desde que se garanta a plena queima do pneu dentro do forno; caso contrário, esse elemento poderá contaminar o aço líquido e provocar fragilidade no produto siderúrgico final. Os demais elementos apresentam teores baixos demais para causar problemas. Em particular, o teor de enxofre é muito similar ao do coque e antracito normalmente usados nos fornos elétricos a arco [10]. Um pneu de automóvel pesando nove quilos possui poder calorífico de aproximadamente 80 Mcal, o que corresponde a 93 kWh de energia elétrica. Ou, dito de outra forma, valor energético igual a 8,3 Mcal/kg, similar ao do coque e 20% superior ao do carvão [12].

	C	H	O	N	S	Fe	Zn
Automóvel	71,0	7,0	4,0	0,5	1,0	15,5	1,0
Caminhão	62,0	6,0	3,0	0,5	1,0	25,5	2,0

Tabela 1: Análises químicas típicas de pneus (porcentagem em massa) [10].

Além disso, a substituição total ou parcial dos carburantes tradicionais por pneus inservíveis pode trazer vantagens econômicas substanciais. O custo dos carburantes usados em fornos elétricos a arco pode variar entre 200 a 700 dólares por tonelada, conforme seu rendimento e confiabilidade. Por sua vez, pneus usados podem ser obtidos de forma gratuita ou, eventualmente, pode-se até conseguir remuneração para seu processamento, aliando aumento de faturamento à redução de gastos com insumos [8,12].

O uso de sucata de pneus em altos-fornos, de forma similar ao que já vem sendo feito com plásticos pós-consumo [1], é inviável devido à presença de zinco e aço, que perturbam a marcha desse equipamento [7]. Aliás, o zinco tende a se acumular no alto-forno e atacar seu refratário. Por outro lado, a princípio não há maiores restrições quanto ao seu uso de pneus no forno elétrico a arco. Essa perspectiva

favorável incentivou o desenvolvimento de vários estudos para se verificar os eventuais problemas ambientais decorrentes desse tipo de reciclagem e maximizar as vantagens que ela pode proporcionar ao processo de elaboração de aço, o que foi feito pela Arcelor dentro da sua filosofia de “Siderurgia Cidadã” (*Sidérurgie Citoyenne*) [7].

Em primeiro lugar, é necessário considerar que o forno elétrico a arco não é um incinerador; logo, há um limite para a quantidade de fumos que ele pode processar, já que há limites rígidos para a contaminação orgânica eventualmente presente na sucata ferrosa. Os resultados dos ensaios feitos num equipamento laboratorial para simulação da pirólise de pneus em fornos elétricos mostraram que sua combustão, feita a partir de 900°C na presença de ar, é completa, não havendo a formação de CO ou compostos orgânicos voláteis, conforme mostra a figura 2. A comparação entre as emissões decorrentes da queima de pneus e de vários outros contaminantes orgânicos normalmente presentes nas sucatas ferrosas, como óleo de motor, massa de PVC e chapa revestida com PVC (Plastisol), apresentada na figura 3, mostrou que os pneus geraram o menor nível de emissões [7].

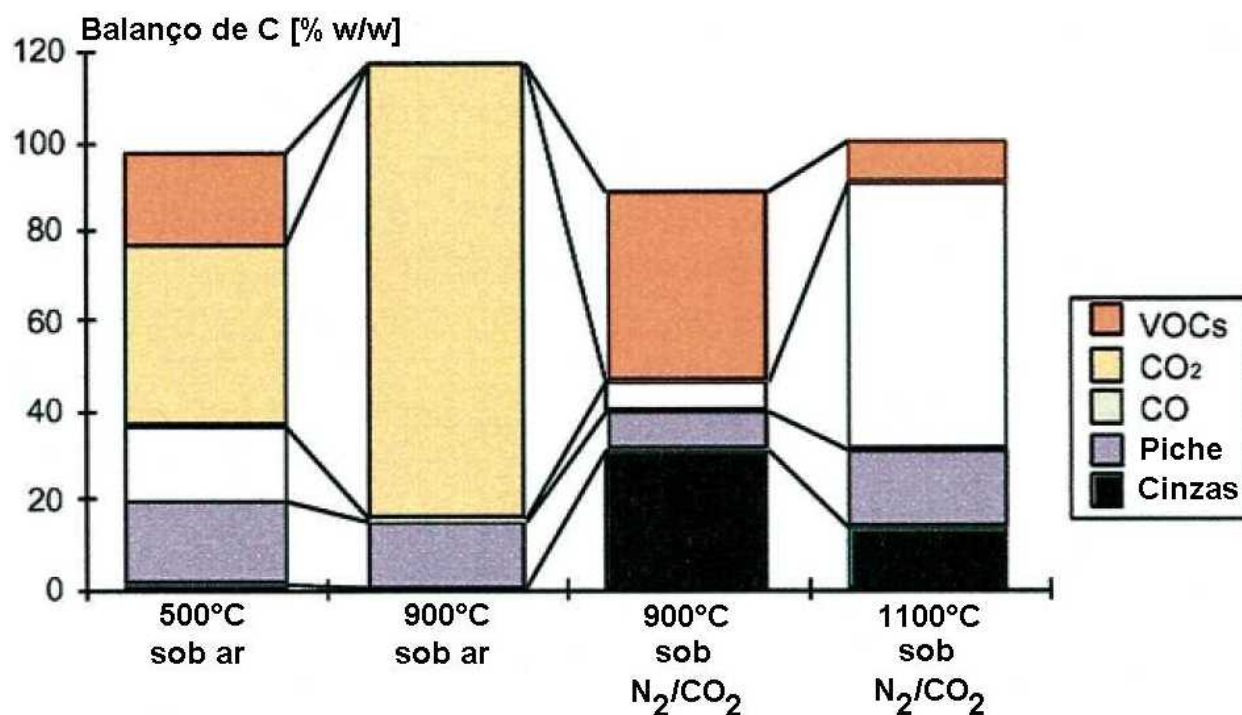


Figura 2: Balanço de massa das emissões geradas por pirólise e combustão de pneus sob atmosferas oxidantes ou redutoras a várias temperaturas [7].

Essa avaliação prévia positiva incentivou a realização de testes preliminares de reciclagem de pneus em fornos elétricos a arco em duas siderúrgicas francesas, Ascométal Hagondange e SAM Neuves-Maisons, com o objetivo de comprovar essa possibilidade teórica no ambiente industrial. Entre 1997 e 1998 foram realizadas 55 corridas num forno elétrico a arco com capacidade de 110 t. Em 2000 foram efetuadas mais 163 corridas num forno de 130 t. A figura 4 mostra o esquema adotado para monitoração de emissões geradas nessas experiências iniciais. Os resultados obtidos mostraram que não houveram maiores problemas em termos das emissões geradas, particularmente em termos de compostos orgânicos voláteis (VOC), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH), mistura de benzeno, tolueno e xileno (BTX) e dioxinas. O processo de refino de aço igualmente não foi afetado [7].

Contudo, a monitoração do processo revelou que ocorre forte reação exotérmica durante um período de cinco a dez minutos após a incorporação dos pneus usados à carga, sendo então constatada elevação de 10 a 20% nos níveis de CO e hidrogênio em relação às corridas convencionais, onde não houve a adição de pneus. É necessário que os parâmetros de pós-combustão sejam adaptados para promover a queima total do CO dentro do forno, evitando que ela ocorra no sistema de exaustão de gases, o que prejudica esse equipamento. Além disso assegura-se que a energia gerada por essa reação seja aproveitada pelo processo de refino de aço, aumentando sua eficiência energética [7,11].

Foi possível adotar taxas de adição de pneus à carga semelhantes às obtidas com o carvão, entre 5 a 12 kg/t de aço. O valor máximo de adição foi conseguido desde que os pneus fossem incorporados à

carga na forma de fragmentos com tamanho entre 150 e 200 mm e sob condições controladas, as quais foram definidas como se segue [7]:

- A quantidade de pneus a ser adicionada deve ser pesada com boa precisão;
- Os pneus precisam ser posicionados no ponto correto da carga, a meia altura, evitando-se o contato dos pneus com o aço líquido durante a fase de carregamento, antes que a tampa do forno seja fechada;
- Os queimadores devem estar desligados no momento do carregamento dos pneus. Também se deve evitar que estes sejam carregados na frente dos queimadores;
- A prática de pós-combustão do forno deve ser ajustada de forma a queimar o CO antes que ele saia do forno, evitando que sua queima ocorra no sistema de exaustão dos fumos, onde pode causar sérios problemas;
- Recomenda-se que o ritmo da operação seja cadenciado e contínuo, evitando-se paradas que ocasionalmente podem resultar na liberação de fumos mal-cheirosos.

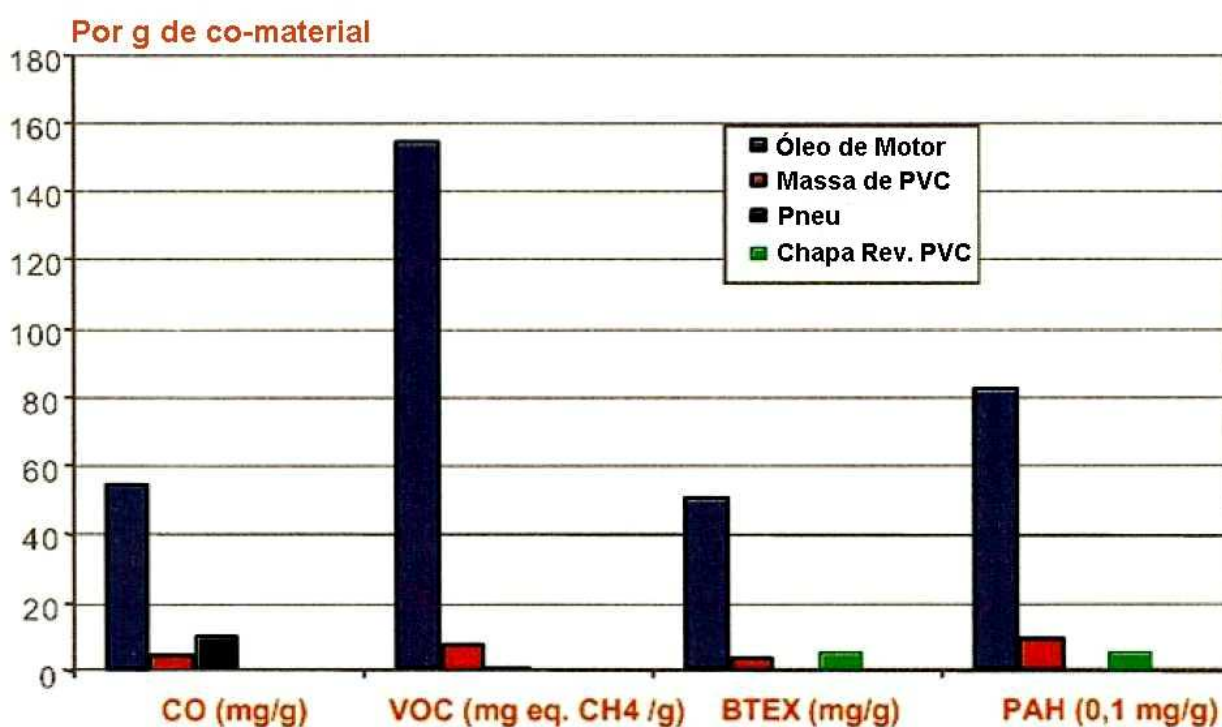


Figura 3: Comparação entre as emissões geradas pela combustão de óleo de motor, massa de PVC, pneu e chapa revestida com PVC (Plastisol). Legenda: VOC = compostos orgânicos voláteis; BTEX: benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno; PAH = hidrocarbonetos policíclicos aromáticos [7].

Também foi verificado que não é necessário redimensionar o sistema de exaustão do forno caso essas medidas sejam seguidas. O teor de enxofre no aço não sofreu alterações com a substituição de pneus dentro das faixas especificadas, tendo sido estabelecido que 1,7 kg de pneus são equivalentes do ponto de vista energético a 1 kg de carvão, situação em que não se observou alteração no consumo específico de energia elétrica do forno, expressa em kWh/t sucata metálica [7]. Faltou, contudo, verificar se houve alguma incorporação de hidrogênio originado pela pirólise ao aço líquido, o que é prejudicial para sua qualidade.

Esses bons resultados levaram à implantação da reciclagem industrial de pneus usados em duas aciarias européias. Uma delas, pertencente à siderúrgica LME, na França, consome regularmente 7.500 t de pneus/ano desde 2005, os quais são processados num forno elétrico a arco com capacidade de 100 t, sob uma taxa de adição em peso entre 1,0 a 1,3%, o que resultou numa economia de 5.000 t de antracito

por ano. Já a usina de Charleroi, da Industeel, na Bélgica, consome regularmente 1.800 t de pneus/ano desde 2005, usando um forno elétrico a arco com capacidade de 210 t. Aqui fração de pneus adicionada à carga não passa de 1% em massa, apesar de teoricamente poder atingir até 1,5%, devido a problemas na precisão da pesagem. Em cada carga adiciona-se tipicamente duas toneladas de pneus usados, sendo uma tonelada na segunda metade da primeira caçamba, e o restante no terceiro terço da segunda caçamba. A economia de antracito conseguida foi de 1.000 t/ano [10]. Também a partir de 2005 a Gerdau Ameristeel Jackson, nos E.U.A., passou a usar pneus usados como carburante, mas infelizmente não foram publicados maiores detalhes técnicos sobre esse procedimento [13].

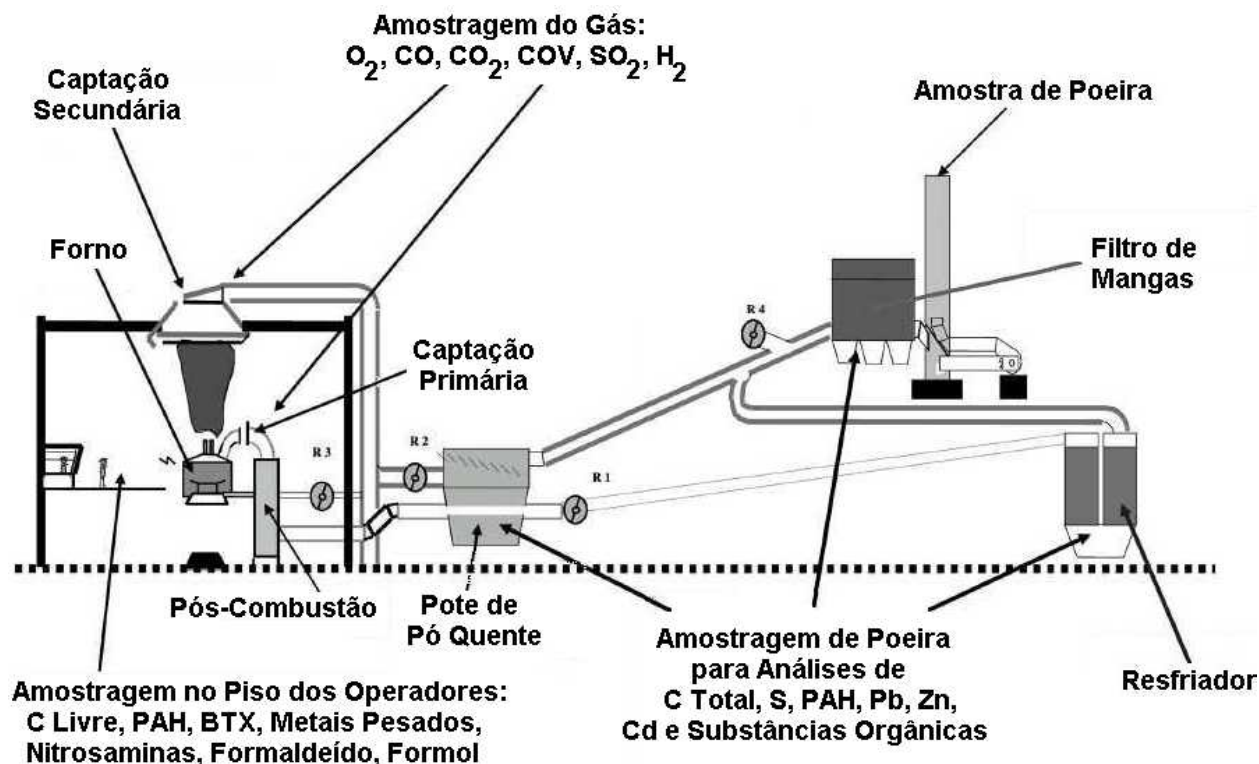


Figura 4: Esquema de monitoração de emissões no forno elétrico a arco e em seu sistema para tratamento de fumos [10].

- RECICLAGEM DE RESINAS PLÁSTICAS NO FORNO ELÉTRICO A ARCO

As resinas plásticas também são ricas em carbono – e, portanto, também elas são fortes candidatas a substitutos de carburantes convencionais usados em fornos elétricos a arco. Mas sua reciclagem nesse equipamento ainda não encontrou o mesmo sucesso verificado para os pneus. No caso do Brasil a principal razão é fácil de ser identificada: a falta de uma legislação que obrigue à reciclagem da sucata plástica, como já ocorre no caso dos pneus. Por outro lado, a ampla variedade de resinas encontradas nos rejeitos pós-consumo gera dúvidas quanto à sua adequação ao processo de elaboração de aço no forno elétrico a arco. Enquanto que no caso dos pneus há grande homogeneidade na composição química do material a ser reciclado, no caso dos rejeitos de resinas plásticas ela é variável e muito complexa, podendo conter elementos indesejáveis. O pior deles é o cloro presente no PVC e em aditivos anti-chama, cuja combustão pode gerar dioxinas, um perigoso poluente. Portanto, como já ocorre no caso da reciclagem de plástico pós-consumo em altos-fornos, é necessário todo um trabalho de identificação, classificação e, eventualmente, pré-tratamento da sucata plástica caso ela for obtida no lixo comum.

Sintomaticamente, a literatura sobre a reciclagem de plásticos pós-consumo em fornos elétricos a arco é escassa, havendo menções a trabalhos nessa linha desenvolvidos na Austrália [14,15] e Japão [16, 17]. Os trabalhos desenvolvidos na Austrália são descritos mais detalhadamente e concentraram-se na substituição parcial do coque pulverizado para espumar a escória por plásticos pós-consumo. Uma patente americana também cita a possibilidade de se usar pneus inservíveis nessa aplicação específica, mas não

há informações sobre sua viabilização industrial [18]. De fato, o uso de pneus neste caso é mais complicado, já que ele também contém aço, cuja presença neste caso específico é indesejável.

Os estudos iniciais para se avaliar o potencial do uso de sucata plástica na substituição do coque usado para espumar a escória de fornos elétricos a arco foram efetuados na Universidade de New South Wales, na Austrália [14]. Misturas de coque mais frações crescentes de PEAD, este na forma de partículas com 65 μm de diâmetro, foram aquecidas a 1200°C num forno tubular sob atmosfera de 80% de nitrogênio e 20% de oxigênio. Foi então determinada a eficiência da combustão η , a qual é proporcional ao teor de carbono e inversamente proporcional ao teor de cinzas que permanecem no resíduo calcinado:

$$\eta = 1 - \left(\frac{A_0}{A_i} \frac{C_i}{C_0} \right) \times 100\% \quad (1)$$

A figura 5 revela que a eficiência da combustão de uma mistura de coque mais 20% em peso de PEAD é quarenta vezes maior do que a do coque puro; esse valor permanece constante para teores superiores de PEAD na mistura. Ou seja, a substituição de coque por PEAD libera maior quantidade de carbono com menor geração de cinzas, elevando o poder carburante da mistura devido à maior volatilidade das moléculas de polímero. Ensaios laboratoriais complementares mostraram que as bolhas formadas na escória usando-se a mistura de coque mais PEAD apresentaram maior volume, o qual manteve-se constante ao longo de um maior período de tempo, estabilizando a espuma formada [14].

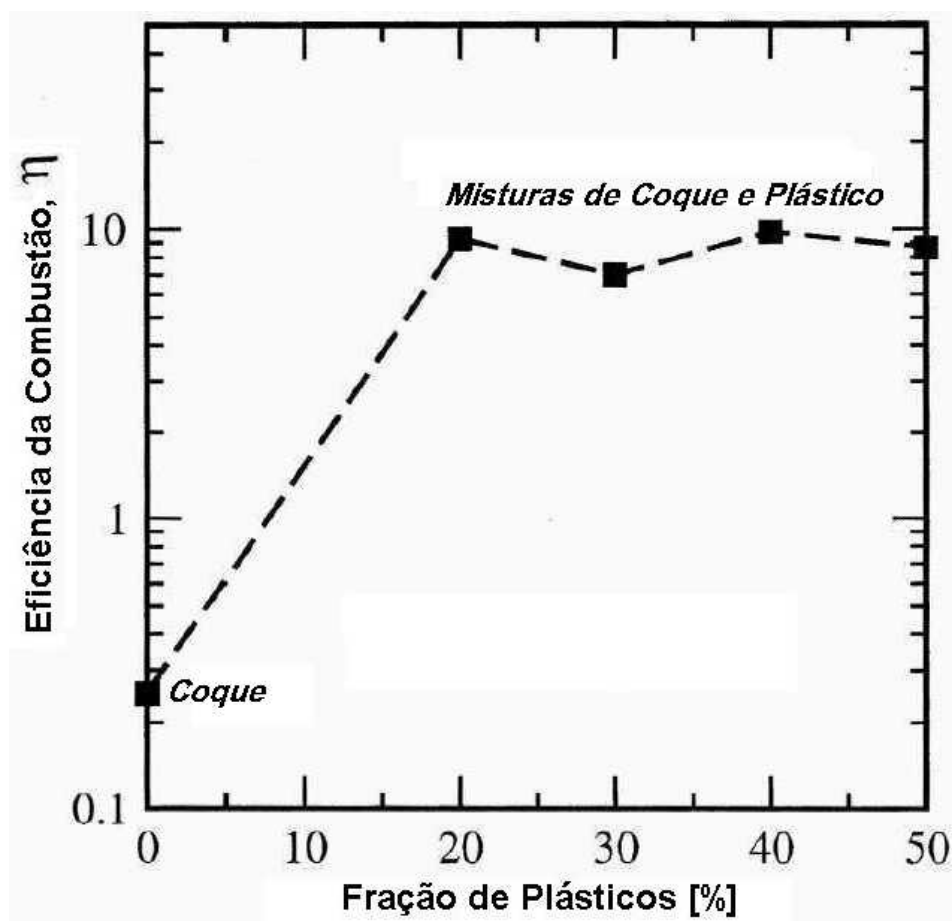


Figura 5: Eficiência de combustão η relativa ao coque e misturas de coque sob frações crescentes de PEAD nos ensaios efetuados em forno tubular sob temperatura de 1200°C e atmosfera oxidante de 80% de nitrogênio mais 20% de oxigênio [14].

Esses bons resultados preliminares estimularam a OneSteel Sydney Steel Mill, uma siderúrgica australiana, a realizar testes industriais envolvendo a substituição de parte do coque usado para espumar a escória por sucata plástica. Além da maior eficiência observada na geração de escória espumosa, a substituição do coque pelo plástico reciclado reduziu a geração de cinzas. Enquanto que o coque possui de 15 a

19% em peso de cinzas, conforme sua procedência [9], as resinas plásticas apresentam um teor típico de 3% [1]. A queima do coque para espumar a escória no forno elétrico a arco dessa empresa, com capacidade de 80 t, gera aproximadamente 100 kg de cinzas a cada corrida, as quais contêm em média 50 kg de sílica e 39 kg de alumina. Essas cinzas, com caráter ácido, se incorporam à escória, requerendo a adição suplementar de fluxantes para manter sua neutralidade. Portanto, a diminuição da quantidade de cinzas reduzirá o consumo de fluxantes, representando mais uma vantagem decorrente da substituição do coque pela sucata plástica nessa aplicação. Além disso, a sucata plástica contém menos enxofre do que o coque, outro fator bastante positivo para a qualidade do aço produzido [15].

Entre fevereiro e novembro de 2006 foram elaboradas 35 corridas com injeção de mistura de coque mais resina plástica para espumar a escória. Infelizmente não foram revelados detalhes vitais sobre o processo, como o tipo de resina plástica que foi injetada, nem sua proporção na mistura com o coque. Não se conseguiu determinar diretamente a eficácia dessa mistura em espumar a escória, mas foi observada uma redução de 3% no consumo de energia elétrica, ou seja, 11,1 kWh/t de aço, e um aumento de produtividade, que se refletiu numa redução de 66 segundos no tempo de corrida-a-corrida – ou seja, 2%. Não foram observadas alterações na basicidade da escória, fato que pode ter sido causado pela baixa fração de resina plástica misturada com o coque [15]. Os resultados obtidos parecem ter sido favoráveis uma vez que, a partir do final de 2007, a One Steel passou a substituir rotineiramente 30% do coque usado para espumar a escória por sucata de sacos plásticos [19]. Note-se que optou-se aqui por reciclar apenas um tipo de produto plástico para se ter certeza sobre a composição química do rejeito que está sendo carregado no forno.

Também está sendo cogitado o uso de forno elétrico a arco no processamento do chamado resíduo resultante do desmantelamento de veículos automotivos (*ASR, Automotive Shredding Residue*). No momento esse é um problema tipicamente europeu, uma vez que nesse continente a lei impõe a reciclagem de uma fração cada vez maior de veículos sucata em função dos níveis de produção das montadoras automotivas. Esse resíduo é uma mistura complexa de materiais com difícil separação. Ele é tipicamente constituído de 23% de elastômeros/borrachas, 13% de vidros e cerâmicas, 13% de ferro, 13% de resinas poliolefínicas, 7% de espuma de poliuretano, 6% de PVC, 6% de fibras, 4% de madeira e celulose, 3% de outras resinas plásticas, 3% de tintas, 3% de alumínio e 1% de cobre, além de 5% de outros materiais. Apesar de seu alto teor de carbono – cerca de 65% - e da presença apreciável de ferro, ele contém diversas impurezas problemáticas para o processo de elaboração do aço. Por exemplo: cobre, que pode aumentar a fragilidade a quente do aço produzido; cloro (3 a 4%), presente no PVC e aditivos anti-chama, o qual pode gerar dioxinas durante o processamento do resíduo no forno; vidros e cerâmicas, que alterarão a composição da escória de forma potencialmente indesejável. Foi proposta uma alternativa, a qual consiste da pirólise do ASR em reator próprio usando o calor proveniente dos fumos quentes do forno elétrico a arco; o gás resultante seria tratado, eliminando-se o HCl produzido na pirólise, e a seguir injetado no forno. Mas, até onde se sabe, essa proposta ainda não foi testada industrialmente [20].

- CONCLUSÕES

Os resultados desta revisão bibliográfica mostram que o uso de pneus usados na forma de combustível suplementar em fornos elétricos a arco usados na elaboração de aço já é uma realidade industrial, sendo aplicado rotineiramente em aciarias da França, Bélgica e Estados Unidos. Essa reciclagem energética permite diminuir ou mesmo suprimir o consumo de coque ou antracito, reduzindo gastos com insuflados e, conforme as circunstâncias, até propiciar ganho financeiro direto ou institucional decorrente do processamento de um sério passivo ambiental. Já a reciclagem de sucata plástica pós-consumo nesse mesmo equipamento ainda se encontra engatinhando, em função da ausência de leis que forcem seu reaproveitamento e da incerteza sobre a composição química do material a ser processado, uma circunstância que não ocorre no caso dos pneus. Mas já se registram sinais promissores de seu potencial. Por outro lado, a reciclagem do resíduo proveniente do desmantelamento de veículos automotivos é problemática, uma vez que ele obrigatoriamente precisará ser submetido a pré-tratamento para que as impurezas nele presentes não afetem o aço elaborado no forno elétrico a arco ou causem problemas ambientais.

- BIBLIOGRAFIA

1. GORNI, A.A. Siderúrgicas São o Novo Espaço para a Reciclagem Energética de Plásticos Pós-Consumo. **Plástico Industrial**, 8:89, Janeiro 2006, 84-100.
2. GORNI, A.A e outros. K 2007: Surfando na Onda Verde. **Plástico Industrial**, 10:112, Dezembro 2007, 62-103.
3. CORRÊA, R. & VIEIRA, V. A. Guerra Contra a Água Mineral. **Veja**, 40:47, 28 de Novembro de 2007, 104-106.
4. ANON. Guerra Contra as Sacolas de Plástico. **Veja**, 41:2, 16 de Janeiro de 2008, 32.
5. ANON. Cresce a Reciclagem de Pneus. **Veja**, 41:3, 21 de Janeiro de 2008, 41.
6. ANON. **Perfil da Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico**. Associação Brasileira da Indústria do Plástico, São Paulo, 2007, 16 p.
7. GOREZ, J.P. e outros. **Charging Tires in the EAF as a Substitute to Carbon**. La Revue de Metallurgie – CIT, Janvier 2003, 17-23.
8. NUNN, J. e outros. **Sydney Steel Mill Trial**. In: Sustainable Steelmaking Using Renewable Forest Energy, BHP Billington Min. Tech., Wallsend, February 2001, 12 p.
9. SAHAJWALLA, V. e outros. Influence of Carbonaceous Materials on Slag Foaming Behavior during EAF Steelmaking. In: AISTech 2005 – Iron & Steel Technology Conference. **Proceedings**. AIST, Charlotte, vol. II, May 2005, 639-650.
10. AYED, P. e outros. Substitution de Pneus Usagés à l'Anthracite em Four Électrique à Arc: des Résultats Positifs pour LME et Industeel Belgique. **La Revue de Metallurgie - CIT**, Mars 2007, 128-135.
11. CLAUZADE, C. **End-of-Life Tyres in Electric Arc Furnaces: An Industrial Success Story**. Aliapur, Lyon, 2006, 8 p.
12. STEBBING, F.L. **Method of Melting a Mixture of Scrap Metal Using Scrap Rubber**. United States Patent Application Publication, US 2003/0066387 A1, April 10, 2003, 9 p.
13. ANON. **Gerdau - Relatório Anual 2005**. Porto Alegre, 2006, 192 p.
14. SAHAJWALLA, V. e outros. Waste Plastics – A Resource for EAF Steelmaking. **Iron & Steel Technology**, April 2006, 91-96.
15. SAHAJWALLA, V. e outros. Novel Industrial Trials Demonstrating the Use of Plastics for EAF Slag Foaming. In: AISTech 2007 – Iron & Steel Technology Conference. **Proceedings**. AIST, Indianapolis, vol. II, May 2005, 12 p.
16. NARUSE, I. e outros. Application of Waste Plastics to Electric Furnaces for Steel Making as Thermal and Carbon Sources. In: **Waste Management in Japan**. WIT Press, Southampton, 2004, 145-154.
17. HATTORI, T. Recycling Technique of Waste Plastics as Carbon Material. **Electric Furnace Steel**, 76:1, 2005, 27-32 (em japonês).
18. STEBBING, F.L. **Methods of Using Tires and Scrap Rubber in the Manufacture and Melting of Steel and Other Metals**. United States Patent Application Publication, US 2005/0229743 A1, October 20, 2005, 7 p.

19. ANON. Parceria Australiana Usa Sacos Plásticos na Produção de Aço. **Plástico Industrial**, 10:113, Janeiro 2008, 15-16.
20. FINK, J.K. Usage of Organic Wastes in the EAF for Iron Scrap Recycling. In: Tagungsband der Velen IV. **Proceedings**. Deutsche Gesellschaft für Minerale und Kohle, Velen, März 2000, 321-328.

CURRÍCULO DO AUTOR

Engenheiro de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos, 1981

Mestre em Engenharia Metalúrgica pela Escola Politécnica da USP, 1990

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas, 2001

Analista de Processos da Companhia Siderúrgica Paulista desde 1982

Editor Técnico das Revistas Plástico Industrial (desde 1998) e Corte e Conformação de Metais (desde 2005), da Aranda Editora

Autor de mais de 180 trabalhos técnicos publicados no Brasil e exterior, nas áreas de aciaria, fundição, laminação a quente, tratamentos térmicos, polímeros, modelamento matemático e inteligência artificial

4 patentes concedidas na área de laminação a quente

Prêmios da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM): COSIPA (1992, 1996), Luiz Dumont Villares (1997 e 1999), Paulo Lobo Peçanha (1999), Usina Presidente Vargas (2000)

Outros Prêmios (ligados à área de patentes): Prêmio Talento Brasileiro, Fase Estadual (1994 e 1998); Prêmio Estadual FIESP de Conservação e Uso Racional de Energia (1998); Prêmio Governador do Estado (1999).

Home Page: www.gorni.eng.br