

# AVALIAÇÃO DA MINIMIZAÇÃO DO CONSUMO DE CAL EM ACIARIA ELÉTRICA E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA A REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA<sup>1</sup>

Carlos Alberto Mendes Moraes<sup>2</sup>

Daiane Calheiro<sup>3</sup>

Mônica Vargas<sup>4</sup>

Clairton dos Santos<sup>5</sup>

Francisco Anastácio de Oliveira Neto<sup>6</sup>

Daniel Canello Pires<sup>7</sup>

## Resumo

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a contribuição da minimização do uso de cal calcítico no processo de produção de aço via aciaria elétrica e suas possíveis interfaces com a redução de emissões de CO<sub>2</sub>. Baseado na abordagem do programa de P+L, Ecologia Industrial e Eco-Eficiência, procurou-se evidenciar as correlações entre estes conceitos e as estratégias de responsabilidade ambiental no consumo de cal em aciaria. Através de análise de literatura foram avaliadas as ações relacionadas ao processo de fabricação de aço no intuito de aumentar a vida útil de seus produtos e redução da geração de CO<sub>2</sub>. Com base em novas tecnologias (classificadas como oportunidades de produção mais limpa), os resultados práticos da minimização do uso de cal calcítico em aciaria elétrica mostraram com relação à redução de emissão de CO<sub>2</sub>, a partir de balanço de massa energético no ciclo produtivo da cal calcítica, ganhos ambientais que podem ser significativos.

**Palavras-chaves:** Aciaria elétrica; Produção mais limpa; Consumo de cal; Emissão de CO<sub>2</sub>.

## EVALUATION OF LIME CONSUMPTION MINIMIZATION ON ELECTRIC ARC FURNACE STEELMAKING AND ITS CONTRIBUTION DO REDUCTION OF GREENHOUSE GASES EMISSION

### Abstract

The present work has the aim of evaluating the contribution of minimization of lime use in EAF steelmaking process and its possible interface with the reduction of CO<sub>2</sub> emission. Based on cleaner production program, industrial ecology, and eco-efficiency concepts, it was analyzed the correlation between these concepts and strategies of environmental responsibility in lime consumption in steelmaking processes. Analyzing the literature it was evaluated actions related to steelmaking process with the aim of increasing the life time of its products, and reducing the CO<sub>2</sub> emission. Based on new technologies (classified as cleaner production opportunities), the practical results of lime use minimization showed important environmental benefits related to the decreasing of CO<sub>2</sub> emission during the lime productive cycle.

**Key words:** Electric arc furnace steelmaking; Cleaner production; Lime consumption; CO<sub>2</sub> emission.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 40º Seminário de Aciaria – Internacional, 24 a 27 de maio de 2009, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>2</sup> Membro da ABM, Prof. Dr. - Engenharia Mecânica - Núcleo de Caracterização de Materiais (NucMat) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS. Av. Unisinos, 950 São Leopoldo – RS, Brasil, CEP 93022-000.

<sup>3</sup> Gestora Ambiental, pesquisadora do NucMat - UNISINOS.

<sup>4</sup> Graduanda em Biologia, Bolsista do Núcleo de Caracterização de Materiais - Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS. Av. Unisinos, 950 São Leopoldo – RS, Brasil, CEP 93022-000.

<sup>5</sup> Graduando em Biologia, Bolsista do Núcleo de Caracterização de Materiais - Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS. Av. Unisinos, 950 São Leopoldo – RS, Brasil, CEP 93022-000.

<sup>6</sup> Dr. Eng. Metalúrgico, pesquisador do NucMat - UNISINOS.

<sup>7</sup> Graduando em Gestão Ambiental, Bolsista do NucMat - UNISINOS

## 1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais ganha força a discussão sobre o papel das empresas como agentes sociais no processo de desenvolvimento. Com a pressão para adotar políticas ambientalistas e incorporá-las ao seu planejamento estratégico como uma matéria de rotina, as empresas estão assumindo esta responsabilidade de diversas formas, que, segundo Donaire *apud* Kraemer,<sup>(1)</sup> podem ser: proteção ambiental, projetos filantrópicos e educacionais, planejamento da comunidade, equidade nas oportunidades de emprego, serviços sociais em geral, de conformidade com o interesse público.

Com os clientes se tornando mais exigentes a cada dia, e buscando produtos que agridam menos o meio ambiente; por sua vez, as restrições legais tornam-se mais rigorosas tentando evitar a exaustão dos recursos naturais, as empresas assumem uma importância fundamental, devendo substituir qualquer postura reativa, em relação às questões ambientais, por uma postura pró-ativa.

Estratégias inovadoras, nas quais a integração entre as estratégias ambientais e de negócio são fundamentais. Assim, as empresas visando as vantagens competitivas de uma postura ambiental responsável, vão além das exigências da legislação, adotando instrumentos voluntários de conduta para um bom posicionamento no mercado.

O agravamento dos problemas ambientais provocados pelo aumento da emissão de gases de efeito estufa, especialmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), reflete a crise estrutural do modelo desenvolvimentista adotado até agora em todo o mundo.

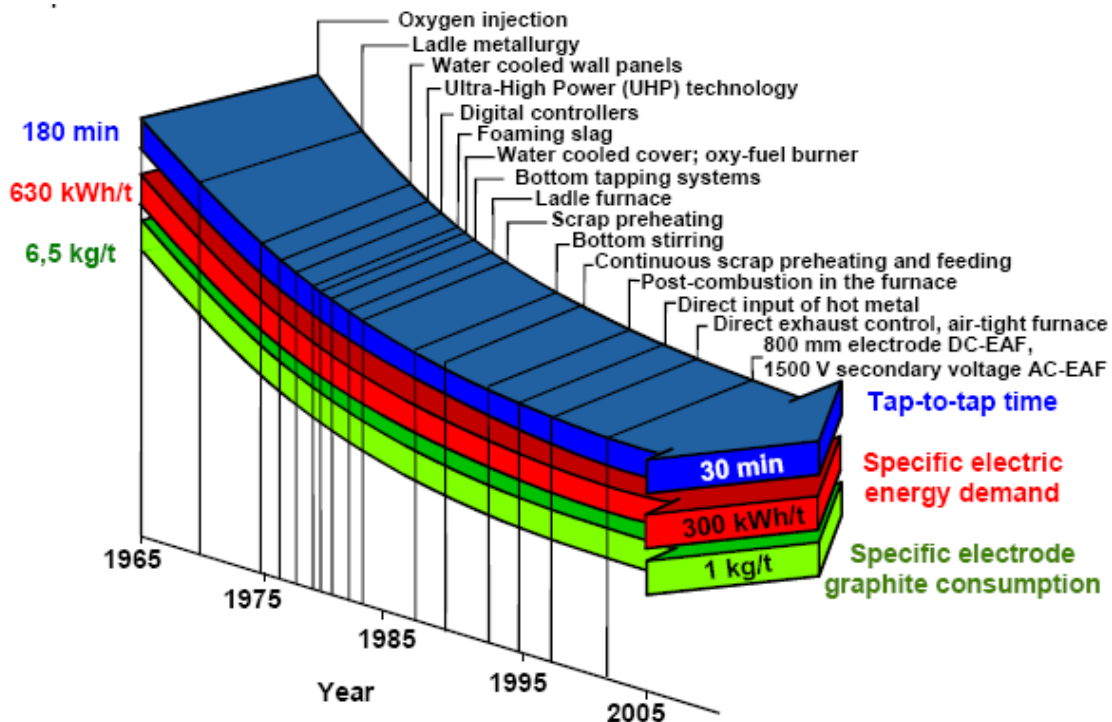
As atividades industriais têm contribuído significativamente para o aumento da concentração de gases que causam o efeito estufa. A dependência de fontes não renováveis de energia tem acarretado um aumento na emissão de grandes quantidades de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Os problemas ambientais demonstram que a interferência do ser humano no ecossistema levou a um desequilíbrio que ultrapassa a sua força de recuperação. Com frequência não são tratados como problemas sistêmicos, o que leva a soluções que resolvem um problema e causam outros.<sup>(2)</sup>

A produção de aço, por suas características e grande volume de produção, está associada a um consumo intensivo de energia e materiais e a significativas emissões de poluentes e resíduos. Caso sejam incluídas etapas de produção de insumos para a indústria siderúrgica, o quadro de degradação ambiental se torna ainda mais acentuado.<sup>(3)</sup>

Segundo o Instituto Brasileiro de Siderurgia,<sup>(4)</sup> existem poucas alternativas viáveis para substituição de materiais no processo produtivo do aço. Como o uso de determinados insumos, como a cal, geram-se emissões de CO<sub>2</sub>, um dos gases do efeito estufa, e que existe limitações para reduções substancial das emissões de CO<sub>2</sub>. Atualmente, a indústria siderúrgica está se deparando com uma necessidade cada vez maior de aumentar a eficiência energética de seus processos. Neste sentido, os processos de fabricação de aço via Forno Elétrico a Arco (FEA) têm que ter como um dos focos de melhoria esta eficiência, em função do crescimento da geração de sucata de aço e, conseqüentemente, deste processo. Além disso, de acordo com Worrel, Price e Martin<sup>(5)</sup> aumentam as oportunidades também para redução das emissões de dióxido de carbono.

A Figura 1 apresenta a influência de várias mudanças tecnológicas realizadas no processo via FEA nos últimos 40 anos sobre parâmetros característicos deste

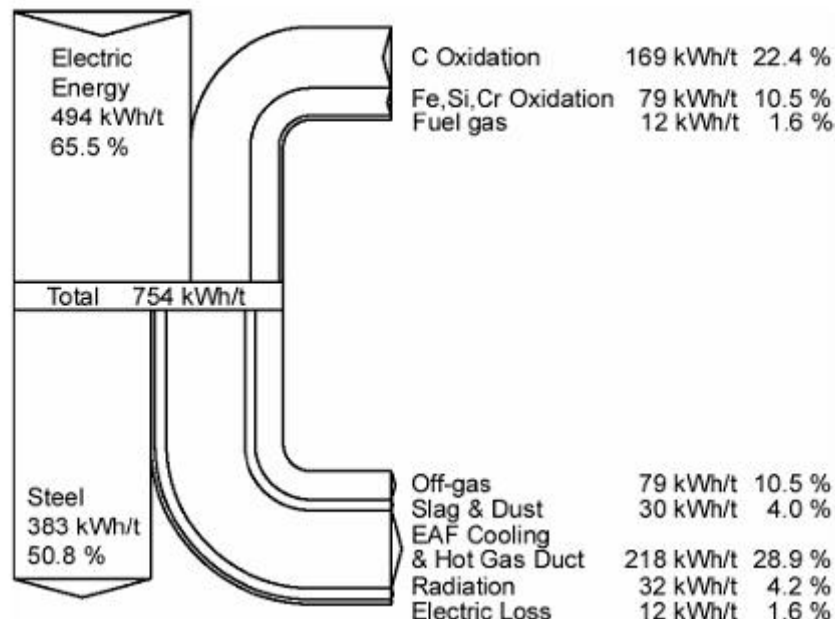
processo: tempo de *Tap-To-Tap*, demanda de energia elétrica e consumo de eletrodo de grafita.<sup>(6)</sup>



**Figura 1:** Influência de várias melhorias no processo FEA sobre parâmetros-chave característicos: tempo tap-to-tap, demanda de energia elétrica, e consumo de eletrodo de grafita.<sup>(6)</sup>

Pfeifer, Kirschen e Simões,<sup>(6)</sup> estudaram a influência de vários materiais de entrada (sucata, shredder, escorificantes, DRI, HBI hot metal) e de parâmetros de processo (injeção de oxigênio, tempo de *tap-to-tap*, temperatura de vazamento) sobre a demanda específica de energia elétrica baseado em balanços completos de massa e energia do processo de fabricação de aço via FEA e em dados da literatura. Estas mudanças levaram também a redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE), em especial CO<sub>2</sub>, apesar de não ser incluído na Figura 1. Melhorias que têm influência nesta diminuição estão o uso de sucata shredder, a pós-combustão, escória espumante. O controle adequado e a implementação de iniciativas que promovam a redução gradual da energia para fabricação do aço no forno elétrico, levará também a redução das emissões, o que tem recebido especial atenção do setor.

A Figura 2 mostra esquematicamente as entradas e saídas em termos de energia elétrica e química no processo de fabricação de aço inoxidável via forno elétrico a arco. Parte da energia gerada é aproveitada no processo e parte é perdida como mostra a Figura 2.



**Figura 2:** Balanço de energia de um forno elétrico a arco de 75t baseado em 24 corridas de aço inoxidável austenítico.<sup>(6)</sup>

A Tabela 1 mostra, no sentido de exemplificar, as reações exotérmicas na descarburização e refino do banho metálico no FEA. Elas são reações que liberam calor, contribuindo com uma maior eficiência energética para a produção do aço. Porém, a composição química inadequada, por exemplo, tanto da sucata de aço como outros insumos pode gerar grandes quantidades de resíduos sólidos e emissões de gases de efeito estufa (GEE). Este é um grande desafio para os aciaristas já que o controle da composição química depende de muitos fatores, sejam eles internos (etapas de processo, colaboradores, equipamentos, novas tecnologias, preparação da sucata), como externos (fornecedores de sucata e insumos).

Marukawa e Edwards<sup>(7)</sup> colocam que a indústria do ferro e aço podem contribuir para a conservação de energia e redução das emissões de CO<sub>2</sub> sobre parte dos usuários melhorando a qualidade, propriedades e aplicação dos produtos de aço somado a economia de energia nos processos de fabricação. Os autores mostram alguns casos exemplares na Tabela 1.

**Tabela 1:** Reações de oxidação exotérmicas na descarburização e refino do banho metálico no FEA<sup>(6)</sup>

Chemical reactions in the steel melt				Reaction enthalpy	
Si	+	O <sub>2</sub>	→	SiO <sub>2</sub>	- 8.94 kWh/kg <sub>Si</sub> - 11.20 kWh/m <sup>3</sup> O <sub>2</sub>
Mn	+	0.5 O <sub>2</sub>	→	MnO	- 1.93 kWh/kg <sub>Mn</sub> - 9.48 kWh/m <sup>3</sup> O <sub>2</sub>
2 Cr	+	1.5 O <sub>2</sub>	→	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	- 3.05 kWh/kg <sub>Cr</sub> - 9.42 kWh/m <sup>3</sup> O <sub>2</sub>
2 Fe	+	1.5 O <sub>2</sub>	→	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	- 2.05 kWh/kg <sub>Fe</sub> - 6.80 kWh/m <sup>3</sup> O <sub>2</sub>
Fe	+	0.5 O <sub>2</sub>	→	FeO	- 1.32 kWh/kg <sub>Fe</sub> - 6.58 kWh/m <sup>3</sup> O <sub>2</sub>
C	+	0.5 O <sub>2</sub>	→	CO	- 2.55 kWh/kg <sub>C</sub> - 2.73 kWh/m <sup>3</sup> O <sub>2</sub>
2 Al	+	1.5 O <sub>2</sub>	→	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	- 5.29 kWh/kg <sub>Al</sub> - 13.84 kWh/m <sup>3</sup> O <sub>2</sub>
Mo	+	O <sub>2</sub>	→	MoO <sub>2</sub>	- 1.70 kWh/kg <sub>Mo</sub> - 7.29 kWh/m <sup>3</sup> O <sub>2</sub>
S	+	O <sub>2</sub>	→	SO <sub>2</sub>	- 2.75 kWh/kg <sub>S</sub> - 3.94 kWh/m <sup>3</sup> O <sub>2</sub>
2 P	+	2.5 O <sub>2</sub>	→	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	- 5.54 kWh/kg <sub>P</sub> - 8.58 kWh/m <sup>3</sup> O <sub>2</sub>
Chemical reactions in the gas phase				Reaction enthalpy	
C	+	O <sub>2</sub>	→	CO <sub>2</sub>	- 9.10 kWh/kg <sub>C</sub> - 4.88 kWh/m <sup>3</sup> O <sub>2</sub>
CO	+	0.5 O <sub>2</sub>	→	CO <sub>2</sub>	- 7.01 kWh/m <sup>3</sup> O <sub>2</sub>
H <sub>2</sub>	+	0.5 O <sub>2</sub>	→	H <sub>2</sub> O	- 5.99 kWh/m <sup>3</sup> O <sub>2</sub>

**Tabela 2:** Relação entre propriedades dos aços, seus produtos e a contribuição social em termos de economia de energia<sup>(7)</sup>

Propriedades do aço	Produto	Contribuição social para economia de energia
Redução da densidade	Produtos/chapas de aço de alta resistência Aço de baixa espessura para enlatados	Maior economia de combustível em automóveis; Redução no consumo de aço para uso automobilístico; Maior economia em combustível para transporte marítimo; Redução no consumo de aço em navios;
Alta vida em serviço	Chapas de aço com tratamento superficial	Economia de material na fabricação de enlatados em aço.
Melhorias na resistência a altas temperaturas e nas propriedades térmicas	Tubulações de aço para aquecedores a alta temperatura e aço resistente ao fogo	Aumento da eficiência de geração de energia
Propriedades eletromagnéticas	Chapas de aço magnético laminado altamente orientado	Não necessidade do processo de revestimento para resistência ao fogo Redução de perdas de energia elétrica

Os autores Marukawa e Edwards<sup>(7)</sup> consideram que embora produtos de aço de valor agregado maior (Tabela 1) que os produtos convencionais consumam mais energia na sua fabricação, eles podem contribuir mais para a conservação de energia. Uma maior quantidade de CO<sub>2</sub> é gerada, mas a análise de ciclo de vida (ACV) para toda a sociedade é melhorada, contribuindo para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> para toda a sociedade. Esta análise considera que a produção de

aços com melhores propriedades acarretarão em um aumento de vida útil dos mesmos trazendo vantagens quando se compara os processos de fabricação e aplicação destes produtos em termos de emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Para exemplificar o tempo de vida de diferentes produtos de aço é mostrado o levantamento feito por Michaelis e Jackson<sup>(8)</sup> na Inglaterra na década de 90 (Tabela 3). Eles analisaram o fluxo de matérias primas, aço, produtos de aço e sucata de aço no período de 1954 a 1994.

**Tabela 3:** Vida útil média de produtos de aço sobre o tipo de aço produzido no Reino Unido<sup>(8)</sup>

<b>Tipo de produto</b>	<b>% em massa do total</b>	<b>Vida útil estimada</b>
Fabricação de arames	24,9	10
Forjados	7,3	25
Enlatados	12,5	2
Outros produtos pequenos de metal	5	15
Produtos eletrônicos e eletrodomésticos	3,8	7
Equipamentos de engenharia mecânica	5,3	10
Construção	14,9	30
Veículos motorizados	10,9	7
Indústrias de gás, carvão, e água	3,8	25
outros	11,6	10
total	100	Vida útil média = 14 anos

Mesmo com as constatações anteriores, a indústria siderúrgica vem trabalhando para a redução da geração de seus resíduos sólidos e GEE na fonte. Neste contexto, a Produção mais Limpa (P+L) pode ser um meio para se alcançar desempenho ambiental maior para este setor. Ela é definida no manual do Centro Nacional de Tecnologias Limpas, como a aplicação de uma estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas, com benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômicos.<sup>(9)</sup>

Da mesma forma que a P+L visa a não geração, minimização e reciclagem de materiais, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), tem objetivos semelhantes em relação a melhorias ambientais.

O MDL tem dois enfoques: diminuir o custo global de redução de emissões de gases lançados na atmosfera e que produzem o efeito estufa (GEE) e, ao mesmo tempo, também apoiar iniciativas que promovam o desenvolvimento sustentável em países em desenvolvimento. Mais genericamente, o objetivo do MDL de promover iniciativas para o desenvolvimento em países em desenvolvimento reconhece que apenas por meio do desenvolvimento em longo prazo será possível a participação de todos os países na proteção ao clima.<sup>(3)</sup>

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a contribuição da abordagem de Produção mais Limpa (P+L), sobre a minimização do uso de cal calcítico no processo de produção de ferro-ligas e suas possíveis inferências sobre a redução de TCO<sub>2</sub> (Taxa de CO<sub>2</sub> Equivalente), em aciaria a arco elétrico, como uma contribuição para a construção de um projeto de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL).

## **2 A PRODUÇÃO MAIS LIMPA E OS NOVOS CONCEITOS AMBIENTAIS**

Com a constatação de que os recursos não são inesgotáveis e conscientes de que não é possível continuar com o crescimento econômico sem considerar a variável do meio ambiente e da sociedade, se abrem frentes para a busca de novas soluções alternativas para o sistema produtivo, como os mecanismos de desenvolvimento limpo, as técnicas de produção mais limpa, a ISO 14001 e os Sistemas de Gestão Ambiental.

Partindo desses fatos, problemas relacionados à poluição e à industrialização tem sido tema de conferências, que propõem o estabelecimento de algumas regras para que esse desenvolvimento seja conduzido de forma sustentável.

De acordo com o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável – CEBDS,<sup>(10)</sup> o princípio básico da metodologia de Produção mais Limpa é eliminar a poluição durante o processo de produção, não no final dela. Isso porque todos os resíduos que a empresa gera custaram dinheiro, pois foram comprados a preço de matéria-prima e consumiram insumos como água e energia. Uma vez gerados, continuam a consumir dinheiro, seja sob a forma de gastos de tratamento e armazenamento, seja sob a forma de multas pela falta desses cuidados, ou ainda pelos danos à imagem e à reputação da empresa.

Os resíduos gerados nos processos produtivos afetam muito o meio ambiente, conseqüentemente as condições de sobrevivência. Técnicas como a Produção mais Limpa tem como objetivo diminuir a geração de resíduos e o consumo de insumos durante o processo produtivo, e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo tem como objetivo diminuir a emissão de CO<sub>2</sub>. Desta forma, o objetivo deste artigo é divulgar pesquisa realizada e apresentar os pontos de convergência destas duas técnicas explicitando-as e a analisar a possibilidade de serem implantadas conjuntamente.

## **3 A PRODUÇÃO E APLICAÇÕES DE CALCÁRIO E CAL**

### **3.1 Calcário e Dolomito**

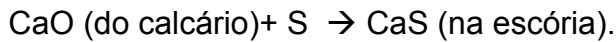
A fabricação de cal compreende três etapas: preparação da amostra, calcinação e hidratação. Embora a hidratação seja necessária apenas em alguns casos, deve ocorrer em conformidade com o uso do produto final. A etapa de preparação da rocha calcária, para alimentar o forno de calcinação, implica nas operações de lavra, britagem, peneiramento e algumas vezes lavagem, visando obter um produto final com menores índices de impurezas. Os procedimentos comuns são adotados para remoção da sílica, alumina e óxidos de ferro.

Outras impurezas silicosas, que não argilominerais, comprometem o aproveitamento econômico do calcário. Assim, a sílica que ocorre como areia, fragmentos de quartzo e, em estado combinado, como feldspato, mica, talco e serpentinito, produz efeitos nocivos ao calcário. Basta lembrar que os calcários para fins metalúrgicos e químicos devem conter menos que 1% de alumina e 2% de sílica.

Igualmente, os compostos de enxofre e fósforo (sulfetos, sulfatos e fosfatos) são impurezas prejudiciais aos calcários. Nas indústrias metalúrgicas são exigidos calcários puros para uso, em geral, como fluxantes e os teores de enxofre e fósforo não devem ultrapassar os valores de 0,03% e 0,02%, respectivamente.

### 3.2 Uso do Carbonato de Cálcio na Indústria Metalúrgica

O óxido de cálcio reage prontamente com as impurezas, entre outras aquelas com enxofre, segundo a reação:



Reações desse tipo são importantes nos processos pirometalúrgicos de altas temperaturas, nos quais o CaO produzido pela decomposição do CaCO<sub>3</sub> reage com as impurezas ácidas, por exemplo, nos fornos de fabricação de ferro gusa. Várias são as funções do calcário na indústria do aço, dentre outras:

- escorificar as impurezas da carga, por meio do mecanismo acima;
- diminuir a temperatura de fusão da carga e a viscosidade da escória facilitando o seu escoamento.

O calcário calcítico utilizado na siderurgia tem a dupla função, fundente e fluxante. Esses calcários devem conter no mínimo 49% de CaO ; entre 2% e 4% de MgO e entre 2% e 5% de SiO<sub>2</sub>. A granulometria deve ser entre 20 e 49 mm. A perda ao fogo deve ser em torno de 40%.

A Figura 3 mostra o gráfico da distribuição do produto por setores de consumo.

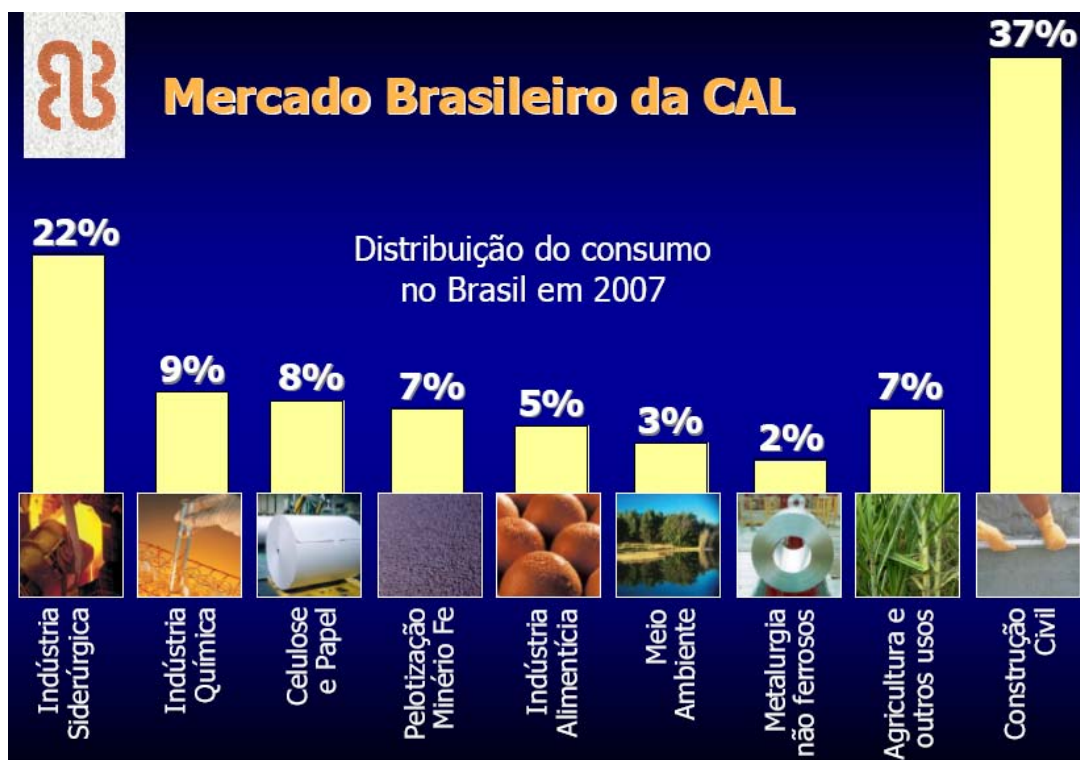


Figura 3: Aplicação de cal em diferentes setores no Brasil no ano de 2007.<sup>(11)</sup>

### 3.3 O consumo de Cal em Aciarias Elétricas

Em torno de 20% da produção brasileira de aço é realizado em FEA, cuja matéria prima principal é a sucata de aço. Além desta, a carga é composta, nos casos mais freqüentes, por cerca de 30% de gusa líquido ou sólido. O gusa não só atua como um diluidor das impurezas não removíveis presentes na sucata, mas,



principalmente, como fonte de calor, devido à oxidação de Si e C. Tal como no processo LD, adicionam-se fundentes para escorificar os óxidos formados bem como impurezas exógenas que acompanham a carga metálica. O consumo de escorificantes no FEA é fortemente dependente do tipo de aço produzido. Assim, na produção de aços comuns, a quantidade típica de cal consumida no FEA é 25 kg a 30 kg de cal calcítica e 7 kg a 12 kg de cal dolomítica por tonelada de aço líquido. Na produção de aços especiais o consumo é substancialmente maior. Da mesma forma, a composição química da escória depende do tipo de aço. Zanoni,<sup>(12)</sup> no seu trabalho de balanço exergético de um FEA, faz um balanço de massa da fabricação de aço via FEA mostrando suas matérias primas e insumos (Tabela 3), como exemplo da produção de aços especiais.

**Tabela 3:** Resumo do balanço de massa do FEA<sup>(12)</sup>

Entrada do FEA			Saída do FEA		
Elemento	Massa [Kg]	%	Elemento	Massa [Kg]	%
Sucata+ferro-gusa	69.873,85	60,81%	Aço	67.802,32	59,01%
Oxigênio	3.375,42	2,94%	Escória	5.536,01	4,82%
Ar atmosférico	37.337,50	32,49%	Gases	41.569,02	36,18%
Gás Natural	320,40	0,28%			
Cal	3.341,25	2,91%			
Carbono	659,02	0,57%			
<b>Total</b>	<b>114.907,44</b>	<b>100,00%</b>	<b>Total</b>	<b>114.907,36</b>	<b>100,00%</b>

Considerando o consumo de cal, Zanoni chegou a um consumo médio de 47,8 kg de cal por tonelada de aço. A empresa estudada produz aços especiais, corroborando com a necessidade de uso de maior quantidade deste insumo para produzir aços de maior qualidade e, portanto com maior valor agregado, como comentado anteriormente.

A partir de dados obtidos de literatura com relação à instalação de equipamentos como o *shredder* para beneficiamento de sucata de aço observou-se que a redução na utilização de cal calcítico pode ser da ordem de 50% em relação ao utilizado anteriormente, quando o beneficiamento da sucata era realizado com equipamento convencional, por exemplo, tambor rotativo. Considerando o consumo de cal obtido por Zanoni, onde o beneficiamento da sucata era com tambor rotativo, pode-se estimar que com a utilização do *shredder*, este consumo cairia para 23,9 kg por tonelada de aço. Este valor está abaixo da faixa apresentada para produção de aço convencional. Assim, se a produção anual de uma siderúrgica for de 500.000 toneladas de aço, significa que a economia de cal anual poderá atingir, somente considerando o uso do *shredder*, 119.500 toneladas.

Outro dado obtido da literatura apresenta que o consumo de energia para beneficiamento de calcário é de 2,9 kwh/t. Considerando que o processo de decomposição térmica do calcário ocorra na sua totalidade, esta economia representaria aproximadamente 213.393 t de calcário não extraído da natureza, 618.840 kwh de energia economizado na sua fabricação, e aproximadamente 93.893 toneladas de CO<sub>2</sub> deixariam de ser gerados. Estes resultados seriam ainda maiores com menos GEE gerados em função de transporte de cal para as siderúrgicas, além de menos resíduos a serem gerados em função da sucata mais limpa processada utilizando o *shredder*.

A partir deste exemplo pode-se indicar que o setor siderúrgico tem um grande potencial ainda para reduzir a geração de GEE no seu processo tornando-o ainda

mais sustentável. Nesta linha, a Indústria Européia do Aço<sup>(13)</sup> criou um consórcio de indústrias e organizações de pesquisa com a missão de desenvolver processos inovadores, chamado de consórcio ULCOS (fabricação de aço com ultra baixo CO<sub>2</sub>). No Brasil, várias ações já começaram também a ocorrer, com a utilização, por exemplo, de biomassa como combustível para os altos-fornos.

Neste contexto podem ser inseridos os projetos de MDL, uma vez que as empresas constituam ações inovadoras no sentido de aliar, um aumento na vida útil dos seus produtos com redução significativa na geração de gases de efeito estufa. Pian et al. apud Rocha<sup>(14)</sup> reforçam em seu estudo que num projeto de MDL, dois parâmetros principais devem ser estimados de forma segura: a Linha de base e a Adicionalidade do projeto. A Linha de base representa as emissões de GEE na ausência do projeto. Um projeto pode ser ou não considerado adicional, desde que possa comprovar que suas emissões antrópicas de CO<sub>2</sub> serão menores do que as que ocorreriam na ausência do projeto. Entretanto, independente desta possibilidade, o compromisso com o desenvolvimento sustentável do setor siderúrgico brasileiro estará em andamento.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este ensaio sobre a necessidade de aumento da vida útil dos produtos em aço, e a redução das emissões de CO<sub>2</sub> nos processos de fabricação de aço, com forte influência nos seus *stakeholders* (produção de cal, e gerenciamento de resíduos) traz importantes subsídios no desenvolvimento sustentável do setor.

Além disso, são dadas indicações que ações ambientais, como produção mais limpa, análise de ciclo de vida e de fluxo de materiais podem contribuir para alcançar estes objetivos.

#### REFERÊNCIAS

- 1 KRAEMER, M. E. P.. Contabilidade ambiental: o passaporte para a competitividade. Disponível em: <[http://www.universoambiental.com.br/novo/artigos\\_ler.php?canal=4&canallocal=4&canalsub2=10&id=166](http://www.universoambiental.com.br/novo/artigos_ler.php?canal=4&canallocal=4&canalsub2=10&id=166)>. Acesso em: 15 dez 2008.
- 2 IRVING, P.; MONCRIEFF, I. Managing the environmental impacts of land transport: integrating environmental analysis with urban planning. *Science of the Total Environment*, v. 334-5, n. 1, p. 47-59, Dec. 2004.
- 3 AUSTIN, D.; FAETH, P. *Financing sustainable development with the clean development mechanism*. Washington: World Resource Institute, 2000.
- 4 INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. *Anuário estatístico do setor siderúrgico*. São Paulo, 2008.
- 5 WORRELL, E.; PRICE, L.; MARTIN, M. Energy efficiency and carbon dioxide emissions reduction opportunities in the US iron and steel sector. *Energy*. v. 26, n. 5, p. 513-6, May 2001.
- 6 PFEIFER, H.; KIRSCHEN, M.; SIMÕES, J.P. Thermodynamic analysis of EAF electrical energy demand. In: EUROPEAN ELECTRIC STEELMAKING CONFERENCE, 8., 2005 *Proceedings*... London: Institute of Materials, Minerals and Mining, 2005. p. 1-19.
- 7 MARUKAWA, K.; EDWARDS, K. L. Development of iron and steel into eco-material. *Materials and Design*, n. 22, p. 133-6, 2001.

- 8 MICHAELIS, P.; JACKSON, T. Material and energy flow through the UK iron and steel sector. Part 1: 1954–1994. *Resources, Conservation and Recycling*, n. 29, p. 131-56, 2000.
- 9 CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS - CNTL. Implementação de programas de produção mais limpa. Porto Alegre, 2003.
- 10 Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável – CEBDS. Guia de produção mais limpa: faça você mesmo. Disponível em: <<http://www.fiemg.org.br/admin/BibliotecaDeArquivos/Image.aspx?imgId=9510&tabId=5670&portalid=130&mid=14582>>. Acesso em: 15 dez 2008.
- 11 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CAL - ABPC. Visão geral do mercado da cal no Brasil - 2007. Disponível em: <[http://www.apfac.pt/eventos/seminario\\_argamassas\\_fabris\\_2008/ABPC%20Tektonica08.pdf](http://www.apfac.pt/eventos/seminario_argamassas_fabris_2008/ABPC%20Tektonica08.pdf)>. Acesso em: 20 dez 2008.
- 12 ZANONI, C. Análise exergética de um forno elétrico a arco. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. 161 p.
- 13 IOSIF, A.-M.; HANROT, F.; ABLITZER, D. Process integrated modelling for steelmaking life cycle inventory analysis. *Environmental Impact Assessment Review*, n. 28, p. 429-38, 2008.
- 14 PIAN, L.B.; SCHIRMER, W.N.; BALBINOT, R. Determinação da linha de base e adicionalidade de um projeto de MDL a partir da emissão de poluentes pela frota do transporte coletivo da cidade de Cascavel(PR) utilizando diferentes combustíveis. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, v. 5, n. 1, 2009.