

**A INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL AUXILIAR EM ALTO FORNO
COMO MEDIDA DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ DO
SEGMENTO SIDERÚRGICO NACIONAL:
ESTUDO DE CASOS NA ACESITA E COSIPA ⁽⁰¹⁾**

**Carla Kazue Nakao Cavaliero⁽⁰²⁾
Gilberto De Martino Jannuzzi⁽⁰³⁾**

RESUMO

As mudanças climáticas vividas nas últimas décadas têm sido associadas ao aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera, especialmente de dióxido de carbono (CO₂). Sua emissão é decorrente principalmente do consumo de combustíveis fósseis para atender os diversos setores de atividades. No Brasil, o segmento siderúrgico tem relevante participação na emissão de CO₂, em função da intensa utilização de combustíveis fósseis. Assim, o presente trabalho visa verificar a possível contribuição da tecnologia de injeção de combustível auxiliar na etapa de redução em alto forno, responsável pela maior parte do consumo energético de uma usina, como uma alternativa para reduzir as emissões de carbono do segmento siderúrgico. Para tanto, é realizado um estudo de casos nas usinas siderúrgicas ACESITA (Cia. Aços Especiais Itabira) e COSIPA (Cia. Siderúrgica Paulista), onde ficou constatada, através da análise dos respectivos balanços energéticos e outras informações, a redução das emissões de CO₂ com a aplicação de tal medida. Para finalizar o estudo, é apresentada a estimativa da análise de viabilidade econômica da injeção de gás natural em alto forno baseada em hipóteses e na literatura disponível.

Palavras-chaves: emissão de CO₂, injeção de combustível auxiliar em alto forno.

⁽⁰¹⁾ Trabalho a ser apresentado no Seminário de Energia, XXI Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades - Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Vitória, ES 16 a 18/06/99.

⁽⁰²⁾ Engenheira Química, Doutoranda da Área Interdisciplinar de Pós-Graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos, Departamento de Energia da Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP.

⁽⁰³⁾ Prof. Dr. do Departamento de Energia da Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP.

1. INTRODUÇÃO

O risco de aquecimento global em função do aumento da concentração de gases do “efeito estufa” vem sendo afirmado por milhares de cientistas, tornando cada vez maior a preocupação com as mudanças climáticas vividas nas últimas décadas (World Bank, 1998). Dentre os gases que contribuem para o “efeito estufa” destaca-se o dióxido de carbono (CO₂), cujas altas taxas de emissão são decorrentes principalmente da utilização (queima) de combustíveis fósseis e da perda da cobertura vegetal nos diversos setores de atividades (Barker et al, 1995), principalmente na geração de energia elétrica e nos setores de transportes e industrial.

Ao analisar as emissões do sistema energético nacional observou-se a importante participação do segmento siderúrgico do setor industrial nacional (Cavaliero & Jannuzzi, 1998), decorrente do alto consumo de coque de carvão metalúrgico no balanço energético siderúrgico, mostrando o predomínio de usinas integradas a coque.

A etapa de redução é responsável pela maior parte do consumo energético de uma usina siderúrgica e, por isso, é nesta etapa que se concentram as medidas de conservação de energia. Dentre elas, destaca-se a injeção de combustível auxiliar em alto forno que já vem sendo adotada pelas principais usinas siderúrgicas nacionais (Araújo, 1997).

O presente trabalho pretende analisar a redução de emissões de CO₂ com a aplicação de tal medida através de dados levantados junto a ACESITA e COSIPA. Para finalizar o estudo, é apresentada a estimativa da análise de viabilidade econômica da injeção de gás natural em alto forno baseada em hipóteses e na literatura disponível.

2. A INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL AUXILIAR EM ALTO FORNO

Dentre as muitas medidas aplicadas na etapa de redução, responsável por cerca de 65% do consumo energético de uma usina, destaca-se a injeção de combustível auxiliar em alto forno. Esta medida já vem sendo adotada pelas principais usinas siderúrgicas pois proporciona não apenas redução do consumo específico de coque (ou de carvão vegetal), como também aumento de produtividade e diminuição do custo final de ferro gusa.

Muitos combustíveis como: gás natural, gás de coqueria, alcatrão, óleo combustível e carvão pulverizado, podem ser injetados através das ventaneiras do alto forno. A injeção de gás natural permite que, além do carbono contido no gás substituindo o da carga de coque, seja aproveitado também o hidrogênio dissociado como redutor (Araújo, 1997).

A injeção de finos de carvão é uma realidade e atualmente pode-se encontrar, em algumas usinas, taxas de injeção da ordem de 150 kg/t gusa (Sampaio, 1993 a). Uma das vantagens desse combustível é que o carvão usado não precisa ter características de qualidade como as exigidas para a produção de coque. Isto torna o carvão pulverizado um excelente substituto a outros mais caros, como óleo combustível e gás natural. Os inconvenientes da injeção de finos de carvão são o maior custo da moagem e secagem desse combustível, a abrasão nas tubulações e a necessidade de ar seco para transportar o carvão (Araújo, 1997).

Entretanto, a injeção de combustível auxiliar influencia uma série de parâmetros técnicos, no interior do alto forno, cujos efeitos devem ser bem conhecidos para que se possa extrair o máximo de benefício dessa medida de conservação de energia.

3. ESTUDO DE CASOS

Para analisar a redução da emissão de CO₂ é necessário saber mais detalhes sobre a injeção e o tipo de combustível auxiliar a ser utilizado. Então, decidiu-se realizar uma pesquisa de campo onde foram colhidas informações sobre taxa de injeção, taxa de substituição, consumo específico de redutor, produção anual de aço e outras informações necessárias para o cálculo. Para tanto, foram visitadas duas usinas siderúrgicas de grande representatividade na produção nacional de aço: a ACESITA (Cia. Aços Especiais Itabira), à carvão vegetal, e a COSIPA (Cia. Siderúrgica Paulista), à coque de carvão metalúrgico. Todas as informações apresentadas foram obtidas nas próprias usinas.

3.1. ACESITA

A ACESITA é a única siderúrgica da América do Sul produtora de aços planos especiais (inoxidável e silício) (ABM, 1998). A usina se localiza em Timóteo, MG, e opera utilizando dois altos fornos, um a carvão vegetal e outro a coque de carvão metalúrgico, injetando em ambos carvão vegetal pulverizado. Inicialmente analisa-se a injeção de carvão vegetal pulverizado nos dois altos fornos. Em seguida é realizado o cálculo das emissões de CO₂, a partir do consumo energético da usina, e da emissão evitada com a ICP em 1997.

3.1.1. Altos Fornos a Carvão Vegetal e a Coque de Carvão Metalúrgico

A injeção de carvão vegetal pulverizado proporciona a redução do consumo de carvão vegetal (ou de coque de carvão metalúrgico) enforado e o aumento da produtividade da usina. Para calcular a redução do consumo específico de carvão vegetal (ou de coque) através das equações apresentadas a seguir (Cavaliero, 1998), foram utilizadas as informações da Tabela 1, obtidas na própria usina.

Tabela 1: Informações sobre a injeção de carvão vegetal pulverizado nos dois altos fornos, a carvão vegetal e a coque de carvão metalúrgico, da ACESITA em 1997.

| Dados | Alto forno 1 (carvão vegetal) | Alto Forno 2 (coque) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| Produção de ferro gusa com injeção (tgusa) - P _{c/inj.} | 185.000 | 377.600 |
| Consumo específico da carga redutora (carvão vegetal - CV - ou coque) enforada com injeção e aumento de produtividade (t/tgusa) - C _{c/inj+Ptv.} | 0,418 | 0,458 |
| Taxa de injeção (tCVfino/tgusa) - T _{inj.} | 0,154 | 0,120 |
| Taxa de substituição (tcarga redutora enforada/tCVfino) - T _{subst.} | 0,90 | 0,75 |
| Aumento de produtividade - Ptv | 0,20 (máx.) | 0,20 (máx) |

Fonte: ACESITA.

Se não existe injeção no processo o consumo específico de carvão vegetal (ou de coque) seria C_{s/inj.} para uma produção P. A partir do momento que se introduz a injeção, o novo consumo específico pode ser calculado pela Equação 1:

$$C_{c/inj.} = C_{s/inj.} - (T_{subst.} * T_{inj.}) \quad (\text{Equação 1})$$

Esse novo consumo específico $C_{c/inj.}$ permite calcular o consumo total de carvão vegetal (ou de coque) enornado (C) com a ICP para a produção (P). A Equação 2 mostra esse consumo:

$$C = C_{c/inj.} * P \quad (\text{Equação 2})$$

Entretanto, a ICP promove aumento de produtividade, que é calculado pela Equação 3:

$$P_{c/inj.} = P * (1 + Ptv) \quad (\text{Equação 3})$$

É importante notar que o aumento de produtividade ocorre sem alterar o consumo total de carvão vegetal (ou de coque) enornado (C). Assim, o consumo específico vai ser modificado e poderá ser encontrado através da Equação 4:

$$C_{c/inj.+Ptv} = \frac{C}{P_{c/inj.}} \quad (\text{Equação 4})$$

O novo consumo específico, que acaba de ser encontrado, inclui a ICP e o aumento de produtividade e corresponde ao valor apresentado na Tabela 1. Para determinar a economia de carvão vegetal (ou de coque) enornado com a ICP (e o respectivo aumento de produtividade), é necessário encontrar o consumo específico sem ICP ($C_{s/inj.}$), ou seja, aquele no início de nossa explicação. Assim, terá que ser feito exatamente o cálculo inverso que o apresentado.

Inicia-se calculando o consumo total de carvão vegetal (ou de coque) enornado com a ICP (C), que pode ser obtido pela Equação 5:

$$C = C_{c/inj.+Ptv} * P_{c/inj.} \quad (\text{Equação 5})$$

Em seguida, determina-se a produção sem aumento de produtividade (P) pela Equação 6:

$$P = \frac{C}{P_{c/inj.} * (1 + Ptv)} \quad (\text{Equação 6})$$

Para encontrar o consumo específico de carvão vegetal (ou de coque) considerando apenas a injeção ($C_{c/inj.}$), utiliza-se a Equação 7:

$$C_{c/inj.} = \frac{C}{P} \quad (\text{Equação 7})$$

Com o consumo específico que acaba de ser encontrado, pode ser calculado o consumo específico sem a ICP ($C_{s/inj.}$), através da Equação 8:

$$C_{s/inj.} = C_{c/inj.} + (T_{subst.} * T_{inj.}) \quad (\text{Equação 8})$$

O consumo específico sem ICP encontrado é constante, ou seja, deve ser utilizado para qualquer produção, uma vez que só depende do consumo de carvão vegetal (ou coque) enornado e da produção de gusa (não sofrendo interferência da ICP). A partir desse valor, pode-se determinar a economia de carvão vegetal (ou coque) enornado através da Equação 9:

$$E = P_{c/inj.} * (C_{s/inj.} - C_{c/inj.+Ptv}) \quad (\text{Equação 9})$$

Substituindo os valores encontrados na Tabela 1 nas equações apresentadas, conclui-se que a economia de carvão vegetal (1) e de coque (2), enornados nos respectivos altos fornos, com a ICP em 1997 na ACESITA é:

$$E_1 = 41.255 \text{ t CV enornado}$$

$$E_2 = 68.723 \text{ t coque}$$

A economia de carvão vegetal representa cerca de 35% do consumo total de carvão vegetal enornado pela usina caso não houvesse ICP (que seria de 118.585 t CV para produzir 185.000 t gusa) em 1997.

No alto forno 2, a ICP proporcionou uma economia que representa 28% do consumo total de coque de carvão metalúrgico na ACESITA caso não houvesse injeção (que seria 241.664 t coque para produzir 377.600 t gusa) em 1997.

3.1.2 Emissão Evitada de CO₂ na ACESITA com a ICP em 1997

A partir de informações, tomadas na própria ACESITA, sobre seu consumo energético em 1997, foi possível calcular as emissões de CO₂ da usina. Utiliza-se a mesma metodologia adotada para calcular as emissões setoriais do Estado de São Paulo (SMA, 1997), com os fatores de emissão sugeridos pelo IPCC e o poder calorífico inferior fornecido pelo Balanço Energético do Estado de São Paulo (BEESP, 1997). Os resultados obtidos (Cavaliero, 1998) estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Emissão de CO₂ da ACESITA em 1997.

| Energéticos | Consumo (TJ) | Fator emissão (tC/TJ) | Emissão "C" (tC) | Emissão "C" (Gg) | Fração "C" Oxidada | Emissão "C" (Gg) | Emissão "CO ₂ " (Gg) |
|-----------------|-----------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Coque | 5.723 | 27,5 | 157.395,6 | 157,4 | 0,99 | 155,82 | 571,35 |
| Ól. Combustível | 682 | 21,1 | 14.393,2 | 14,4 | 0,99 | 14,25 | 52,25 |
| Ól. Diesel | 309 | 20,1 | 6.249,3 | 6,2 | 0,99 | 6,19 | 22,69 |
| GLP | 1.357 | 17,2 | 23.340,4 | 23,3 | 0,99 | 23,11 | 84,73 |
| TOTAL | | | | | | 199,37 | 731,02 |

Fonte: Cavaliero, 1998.

Com a injeção de carvão pulverizado pelas ventaneiras, constata-se o aumento de produtividade e redução do consumo específico de carvão vegetal, no alto forno 1, e de coque, no alto forno 2, já calculados anteriormente. Aplicando a mesma metodologia utilizada para contabilizar as emissões da ACESITA em 1997, pôde ser encontrada a emissão evitada com a adoção da ICP (Cavaliero, 1998), apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Emissão evitada de CO₂ com a ICP adotada na ACESITA em 1997.

| Energéticos | Consumo evitado (TJ) | Fator emissão (tC/TJ) | Emissão "C" (tC) | Emissão "C" (Gg) | Fração "C" Oxidada | Emissão "C" (Gg) | Emissão "CO ₂ " (Gg) |
|----------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Coque | -1.985 | 27,5 | -54.587,5 | -54,6 | 0,99 | -54,04 | -198,15 |
| Carvão vegetal | -1.056 | 29,9 | -31.574,4 | -31,6 | 1,00 | -31,57 | -115,78 |

Fonte: Cavaliero, 1998.

O resultado obtido mostra que a adoção da ICP na ACESITA em 1997 acarretou uma emissão evitada de 198 GgCO₂ (54 GgC) no alto forno 2 (coque), que corresponde a cerca de 27% da emissão total no mesmo ano.

3.2. COSIPA

A COSIPA foi responsável por 14% da produção nacional de aço em 1997 e constitui-se em uma usina integrada a coque de carvão metalúrgico. Em 1994, iniciou-se a injeção de gás natural em seus altos fornos, com o objetivo de reduzir o consumo específico de coque e também a importação desse energético. A partir de junho de 1998, a COSIPA passou a injetar carvão mineral pulverizado, substituindo o gás natural.

3.2.1. Altos Fornos a Coque de Carvão Metalúrgico

A partir das informações obtidas na visita a COSIPA é realizado o cálculo da economia do consumo de coque nos altos fornos 1 e 2 da usina. Esses dados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Informações sobre a injeção de gás natural (GN) nos altos fornos a coque, da COSIPA em 1997.

| Dados | Alto forno 1 | Alto forno 2 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|
| Produção de ferro gusa com injeção (tgusa) - $P_{c/inj}$. | 1.449.580 | 2.206.834 |
| Consumo específico de coque com injeção e aumento de produtividade (tcoque/tgusa) - | 0,484 | 0,467 |
| Taxa de injeção (tGN/tgusa) - T_{inj} . | 0,0231 | 0,0282 |
| Taxa de substituição (tcoque/tGN) - $T_{subst.}$ | 1,20 | 1,20 |
| Aumento de produtividade - P_{tv} | 0,07 | 0,09 |

Fonte: COSIPA.

A metodologia aplicada ao cálculo da redução de consumo de combustível na ACESITA é aplicada também na COSIPA. Assim, de acordo com as equações apresentadas na subseção 3.1.1. e as informações da Tabela 4, conclui-se que a economia de coque nos dois altos fornos da COSIPA é de:

$$E = 257.593 \text{ t coque}$$

Este valor representa 332.378 t carvão metalúrgico economizados e corresponde a 13% do consumo total de carvão metalúrgico na COSIPA caso não houvesse injeção nos dois altos fornos (que seria de 2.567.460 t carvão metalúrgico) em 1997.

3.2.2. Emissão Evitada de CO₂ na COSIPA com a Injeção de Gás Natural em 1997

Inicialmente são contabilizadas as emissões de CO₂ da COSIPA a partir do seu consumo energético em 1997 (Fernandez et al, 1998). Para tanto, é utilizada a mesma metodologia adotada para calcular as emissões setoriais do Estado de São Paulo e da ACESITA. Os resultados encontrados (Cavaliere, 1998) estão na Tabela 5.

Tabela 5: Emissão de CO₂ da COSIPA em 1997.

| Energéticos | Consumo (TJ) | Fator emissão (tC/TJ) | Emissão "C" (tC) | Emissão "C" (Gg) | Fração "C" Oxidada | Emissão "C" (Gg) | Emissão "CO ₂ " (Gg) |
|--------------------|--------------|-----------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------|---------------------------------|
| Carvão metalúrgico | 67.142 | 25,8 | 1.732.262,0 | 1.732,2 | 0,98 | 1.697,62 | 6.224,59 |
| Coque de petróleo | 2.529 | 20,0 | 50.580,5 | 50,6 | 0,99 | 50,07 | 183,61 |
| Ol. combustível | 2.015 | 21,1 | 42.509,2 | 42,5 | 0,99 | 42,08 | 154,31 |
| Gás natural | 10.063 | 15,3 | 153.963,9 | 154,0 | 1,00 | 154,00 | 564,56 |
| GLP | 70 | 17,2 | 1.204,0 | 1,2 | 0,99 | 1,19 | 4,37 |
| Ól. Diesel | 69 | 20,2 | 1.404,0 | 1,2 | 0,99 | 1,39 | 5,10 |
| Gasolina | 4 | 18,9 | 77,7 | 0,1 | 0,99 | 0,08 | 0,28 |

| | | | | | | | |
|--------------|--|--|--|--|--|----------------|----------------|
| TOTAL | | | | | | 1946,43 | 7136,82 |
|--------------|--|--|--|--|--|----------------|----------------|

Fonte: Cavaliero, 1998.

Como foi observado anteriormente, a injeção de gás natural promove aumento de produtividade, redução do consumo específico de coque e, conseqüentemente, do consumo de carvão metalúrgico. Entretanto, em se tratando de um combustível fóssil, sua utilização acarreta redução da emissão de CO₂ proveniente do consumo de carvão metalúrgico mas, ao mesmo tempo, gera uma emissão de CO₂. Para contabilizar a emissão evitada com tal medida na COSIPA em 1997, é adotada a mesma metodologia aplicada acima e no cálculo da ACESITA e introduzidos os valores encontrados na subseção anterior. A Tabela 6 mostra os resultados obtidos (Cavaliero, 1998).

Tabela 6: Emissão evitada de CO₂ com a injeção de gás natural na COSIPA em 1997.

| Energéticos | Consumo (TJ) | Fator emissão (tC/TJ) | Emissão "C" (tC) | Emissão "C" (Gg) | Fração "C" Oxidada | Emissão "C" (Gg) | Emissão "CO ₂ " (Gg) |
|--------------------|--------------|-----------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------|---------------------------------|
| Carvão metalúrgico | -10.331 | 25,8 | -266.539,8 | -266,5 | 0,98 | -261,17 | -957,62 |
| Gás natural | 4.709 | 15,3 | 72.047,7 | 72,0 | 1,00 | 72,00 | 264,17 |
| TOTAL | | | | | | -189,17 | -693,45 |

Fonte: Cavaliero, 1998.

O resultado apresentado na Tabela 6 mostra que a injeção de gás natural nos altos fornos da COSIPA permitiu uma emissão evitada de 693 GgCO₂ (189 GgC) em 1997. Este valor representa quase 10% da emissão da usina no mesmo ano, vista na Tabela 5.

Assim, analisando o potencial de redução das emissões de CO₂ com a injeção de combustível auxiliar na ACESITA e COSIPA em 1997, conclui-se que é evitada uma emissão de 890 GgCO₂. Este valor representa cerca de 2% da emissão nacional deste segmento em 1994 (que foi de 43.560 GgCO₂).

3.2.3. Aspectos Econômicos da Injeção de Gás Natural em Alto Forno

Para realizar uma avaliação da viabilidade econômica da injeção de gás natural foram consideradas as condições de injeção de gás natural no alto forno 1 da COSIPA em 1997 (Cavaliero, 1998). O investimento inicial, realizado no ano zero, é o resultado da soma do investimento na participação no ramal do gasoduto e do investimento na construção da rede interna, conversão de equipamentos e aquisição de tecnologia (Sampaio, 1993 b).

A receita engloba a economia do consumo de coque com a injeção de gás natural e o aumento da produtividade; e o ganho de produção de ferro gusa obtido (considerando o alto forno 1 da COSIPA). As despesas compreendem os custos com o consumo de gás natural e oxigênio. Considera-se que não haverá custo de manutenção nem de mão-de-obra, admitindo que a equipe já existente absorverá essas atividades.

A atratividade do projeto será calculada pelo Método do Valor Presente Líquido (VPL), considerando uma vida útil de 15 anos e uma taxa mínima de atratividade de 10%. A Tabela 7 mostra os parâmetros utilizados para o cálculo do Valor Presente Líquido.

Tabela 7: Parâmetros econômicos utilizados para o cálculo do valor presente líquido.

| Parâmetros | Unidades | Valor |
|----------------------------------|----------|---------------|
| Investimento inicial (I) | R\$ | 3.445.076,50 |
| Receita anual | R\$/ano | 21.665.807,00 |
| Despesa anual | R\$/ano | 8.791.196,00 |
| Benefícios futuros (A) A = R - D | R\$/ano | 12.874.611,00 |

| | | |
|---------------------------------|------|------|
| Vida útil (n) | anos | 15 |
| Taxa mínima de atratividade (i) | % | 10,0 |

Fonte: Cavaliero, 1998.

Ao calcular o VPL utilizando os valores da Tabela 7, conclui-se que seu valor é maior que zero, indicando que o empreendimento é considerado atrativo.

A rentabilidade do investimento é determinada pela taxa interna de retorno (TIR). Como a TIR encontrada (374%) é maior que a taxa mínima de atratividade, pode-se dizer que este projeto é rentável.

Foi calculado também o tempo de retorno (TR), ou “pay-back”, adotando-se uma taxa mínima de atratividade de 10%, onde conclui-se que corresponde a 3 meses e 12 dias.

Para verificar a robustez das soluções encontradas, analisa-se o comportamento dos parâmetros econômicos adotados considerando parâmetros extremos que poderiam conduzir a inviabilidade do investimento. Assim, decidiu-se alterar o parâmetro técnico aumento de produtividade (que influencia diretamente a receita anual) de 7% para 4%, mantendo os demais parâmetros inalterados. Os resultados mostram que a análise de viabilidade da injeção de gás natural em alto forno continua sendo atrativa, rentável e robusta (Cavaliero, 1998). É importante frisar que a viabilidade da medida foi determinada mesmo sem considerar o benefício obtido ao se evitar a emissão de CO₂, caso fossem aplicadas taxas de emissão.

4. CONCLUSÕES

A realização da pesquisa de campo proporcionou a obtenção de informações das usinas siderúrgicas ACESITA e COSIPA sobre seus consumos energéticos, taxas de injeção e outras importantes. Em mãos dessas informações, calculam-se as emissões de CO₂ em 1997 e as emissões evitadas com a injeção de combustível auxiliar.

Na ACESITA observa-se que a injeção de carvão vegetal pulverizado proporciona uma economia de coque (no alto forno 2) de 28% do consumo total desse energético (sem injeção), que permite uma emissão evitada de 198 GgCO₂, ou seja, 27% da emissão total da usina no mesmo ano.

Na COSIPA, a injeção de gás natural proporciona a redução do consumo total de carvão metalúrgico, nos dois altos fornos, em cerca de 332.000 toneladas em 1997. A emissão evitada com essa economia de consumo (693 GgCO₂) corresponde a quase 10% da emissão total da usina no mesmo ano. É importante salientar que a substituição do coque enforado é realizada por outro combustível fóssil, o gás natural. Por isso, não se pode esperar uma emissão evitada da mesma proporção que a encontrada na ACESITA, onde injeta-se carvão vegetal pulverizado.

Somando os valores encontrados para a ACESITA e COSIPA, conclui-se que a adoção da medida de injeção de combustível auxiliar nessas usinas permitiu uma emissão evitada de cerca de 890 GgCO₂ em 1997, que representa 2% das emissões do segmento siderúrgico nacional em 1994.

Além dos aspectos técnico e ambiental, são apresentadas estimativas quanto a viabilidade econômica da injeção de gás natural em alto forno. Tomando como base as considerações realizadas para o alto forno 1 da COSIPA e informações disponíveis na literatura, conclui-se que essa medida apresenta-se atrativa, rentável e robusta, mesmo sem

considerar o benefício obtido ao se evitar a emissão de CO₂, caso fossem aplicadas taxas de emissão.

Assim, conclui-se que a injeção de combustível auxiliar em altos fornos deve ser considerada uma importante medida de redução da emissão de CO₂ no segmento siderúrgico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABM. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS (1998) Associação entre ACESITA e USINOR. **Metalurgia & Materiais**, São Paulo, v.54, n. 476, p.214, Maio 1998.
- ARAÚJO, L. A. (1997) **Manual de siderurgia**. São Paulo: Editora Arte & Ciência, 1997, v.1., Cap. 8: Alto forno. p. 195-258.
- BARKER, T.; EKINS, P.; JOHNSTONE, N. (1995) Introduction. In: GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGE PROGRAMME. **Global Warming and Energy Demand**. London: Routledge, 1995. P.1-16.
- BEESP. (1997) **Balço Energético do Estado de São Paulo 1997**. Secretaria de Energia. São Paulo, 1997. 208p.
- CAVALIERO, C.K.N. (1998) **Redução das Emissões de CO₂ do Segmento Siderúrgico Nacional e do Estado de São Paulo Através da Injeção de Combustível Auxiliar em Alto Forno: Estudo de Casos na ACESITA e COSIPA**. Campinas, FEM/UNICAMP, 1998. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1998.
- CAVALIERO, C.K.N., JANNUZZI, G. M. (1998) A Importância do Segmento Siderúrgico nas Emissões de CO₂ Nacional e do Estado de São Paulo. In: SEMINÁRIO DE BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES, 20, 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1998. p. 53-67.
- FERNANDEZ, M.J.F., SAGASETA, M.A.M., MARTINEZ, F.G. (1998) Balço Energético Global da COSIPA. In: SEMINÁRIO DE BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES, 20, 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1998. P.225-270.
- SAMPAIO, R. S. (1993 a) Inovações Técnicas na Produção de Aço e Seus Reflexos na Obtenção de Ferro Primário. **Metalurgia e Materiais - ABM**, São Paulo, v. 49, n. 416, p. 285-294, Abr. 1993.
- _____ (1993 b) **Utilização de Gás Natural na Siderurgia**. Belo Horizonte: Secretaria de Estado e Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Minas Gerais, 1993.
- SMA. (1997) Secretaria do Meio Ambiente. **Inventário de Gases do Efeito Estufa**. São Paulo, 1997. 36p.
- WORLD BANK. (1998) **Climate Change Debate Heats up in Kyoto**. 23/01/1998. Referência disponível na Internet. <http://www.worldbank.org/html/extdr/extcs/w120497e.htm#kyoto>

**THE FUEL INJECTION TECHNOLOGY IN BLAST FURNACES
AS ONE ALTERNATIVE TO REDUCE CO₂ EMISSIONS OF THE
NATIONAL IRON & STEEL INDUSTRY:
CASE STUDIES AT ACESITA AND COSIPA**

ABSTRACT

The global climate change issue is being associated with the increase of Greenhouse Effect gases concentrations in atmosphere, especially carbon dioxide (CO₂). The main source of CO₂ emissions is directly related to the use of fossil fuels. In Brazil, the Iron & Steel industry shows an important contribution towards national CO₂ emissions because of the intensive fossil fuels use. This work has the objective of verifying the possible contribution of fuel injection technology, used in blast furnaces, as one alternative to reduce carbon emissions from this industry. Case studies developed at ACESITA (Cia. Aços Especiais Itabira) and COSIPA (Cia. Siderúrgica Paulista) collected information that allowed to verify the potential reduction of CO₂ emissions with this measure. The work also presents an economic analysis of the use of natural gas injection technology, based on certain hypothesis and related literature.

Key-words: CO₂ emissions, fuel injection technology in blast furnaces.