

# Redução das emissões de gases de efeito estufa através do uso de hidrogênio na siderurgia

## RESUMO

Atualmente, novos processos que emitem menor quantidade de CO<sub>2</sub> e que geram menos resíduos são necessários. A comunidade internacional do aço está confrontada com o desafio de desenvolver processos que tornam a produção de aço mais sustentável no futuro. Este artigo descreve a análise de gases a partir da redução de pelotas de minério de ferro utilizando uma mistura de gás inerte e hidrogênio como gás redutor. Foi utilizada uma balança termogravimétrica acoplada a um espectrômetro de massa para realização dos experimentos. Pode-se concluir que a utilização de hidrogênio na redução de minério de ferro é uma alternativa na tentativa de minimizar a emissão de gases causadores do efeito estufa.

**PALAVRAS-CHAVE:** hidrogênio, redução de CO<sub>2</sub>, siderurgia.

## ABSTRACT

Nowadays, new processes that emit less CO<sub>2</sub> and generate less waste are necessary. The international steel community is faced with the challenge of developing processes that make steel production more sustainable in the future. Thus, this paper describes the analysis of gases from the reduction of iron ore pellets using a mixture of inert gas and hydrogen as reducing gas. It was used a thermogravimetric balance coupled to a mass spectrometer for the experiments. It can be concluded that the use of hydrogen in the reduction of iron ore is an alternative in the attempt to minimize the emission of greenhouse gases.

**KEYWORDS:** hydrogen, CO<sub>2</sub> reduction, steel mill.

## Girley Ferreira Rodrigues

Doutorando em Eng. Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo.

E-mail: girleyf@gmail.com

## Eduardo Junca

Doutorando em Eng. Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo.

## Victor Bridi Telles

Doutorando em Eng. Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo.

## Denise Croce Romano Espinosa

Professora Associada do Departamento de Eng. Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo.

## INTRODUÇÃO

A indústria siderúrgica é responsável por uma parcela significativa das emissões de CO<sub>2</sub> no mundo (ARVOLA; HARKONEN; MOTTONEN; HAAPASALO; TERVONEN, 2011). Os valores de emissões totais de CO<sub>2</sub> utilizando carvão ou gás natural são superiores a 2.000 kg de CO<sub>2</sub>/t de aço. Deste modo, a siderurgia emite cerca de 650 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano, sendo o quarto maior setor que utiliza combustível fóssil, e, portanto, responsável por 10% das emissões de CO<sub>2</sub> no mundo (ORTH; ANASTASIJEVIC; EICHBERGER, 2007, n.20, p.854–861; GRETZ; KORF; LYONS, 2003).

As indústrias siderúrgicas são responsáveis pela liberação de 7% dos gases causadores do efeito estufa. Considerando a mineração de coque e de minério de ferro, a quantidade de gases causadores de efeito estufa pode chegar a 10% (STREZOV, 2006).

Em 1997, foi realizada a Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, onde foi proposto o Protocolo de Kyoto, que estabelece metas para reduzir a emissão de gases de efeito estufa pelos países desenvolvidos para, no mínimo, 5,2% em relação aos níveis de 1990 no período entre 2008 a 2012. O Protocolo de Kyoto pode ser visto como o primeiro passo para estabilizar as concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa (UNFCCC, 1998). Este tem sido um tema recorrente na literatura (PIELKE; WIGLEY; GREEN, 2008; FRIEDLINGSTEIN, 2008).

De acordo com o Instituto Aço Brasil (AÇO BRASIL, 2009), até o ano de 2020 o Brasil tem por objetivo reduzir a emissão de 8 a 10 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> na siderurgia.

Assim, estão sendo desenvolvidos processos em diversos países que visam à redução destas emissões (FRUEHAN, 2009).

Dentre os quais se destacam o uso de gás natural, de carvão vegetal e de biomassa como redutor, além dos processos eletrolíticos.

Portanto, existe um potencial estratégico para o desenvolvimento de estudos fundamentais e inovações na substituição de carvão coqueificável por gás natural, visando principalmente à diminuição das emissões de gases de efeito estufa. Para que haja a redução da emissão de CO<sub>2</sub> na indústria siderúrgica é necessário a implementação de novas tecnologias que permitam a obtenção do ferro metálico e conseqüentemente do aço.

Basicamente, existem quatro maneiras de diminuir a quantidade de CO<sub>2</sub>: reduzindo a quantidade de CO<sub>2</sub> nos processos, utilizando fontes de energia renováveis como madeira, utilizando hidrogênio e sequestrando ou capturando o CO<sub>2</sub> (FRUEHAN, 2009).

Hu et al. (HU; CHEN; ZHANG; QI; YIN, 2006) complementam dizendo que uma medida chave para a diminuição do CO<sub>2</sub> gerado nas indústrias siderúrgicas é o controle de CO<sub>2</sub> emitido na produção de energia, ou seja, durante a queima de combustíveis fósseis.

Para estabilizar o CO<sub>2</sub> atmosférico na concentração atual, as emissões teriam de ser reduzidas para a quantidade que é absorvida pelo oceano e pela terra, que representa cerca de 5,5 bilhões de toneladas, o que equivale a uma redução imediata de 45% nas emissões globais de CO<sub>2</sub> (FRIEDLINGSTEIN, 2008; BIRAT, 2003).

Sobre este ponto de vista, o hidrogênio (H<sub>2</sub>) é um potencial agente redutor para o minério de ferro, sendo que os produtos desta reação de redução serão o ferro metálico e vapor d'água. Desta maneira, a substituição de parte do redutor convencional (coque) por hidrogênio acarretaria numa redução das emissões de CO<sub>2</sub> na obtenção de ferro.

O hidrogênio é um elemento comum encontrado em todos os combustíveis fósseis e em toda matéria orgânica. Na sua forma molecular, o hidrogênio (H<sub>2</sub>) é um gás incolor, inodoro e não tóxico. Como o petróleo e o gás natural, o hidrogênio pode ser transportado através de gasodutos ou em cilindros. Quando queimado, o hidrogênio produz basicamente vapor de água e emissão zero de CO<sub>2</sub>, isto o torna um combustível limpo. (FCHEA, 2011).

O hidrogênio é o gás mais leve e também o mais denso em energia por massa. O gás hidrogênio não ocorre naturalmente na Terra, mas pode ser produzido através de várias maneiras (CHAN; YANG; LEE; HONG, 2010).

Este trabalho descreve a evolução de gases a partir da redução de pelotas de minério de ferro, utilizando como fonte redutora uma mistura contendo 10% de hidrogênio com 90% de argônio.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizadas pelotas de minério de ferro para redução direta. Em uma balança termogravimétrica, foram realizados quatro ensaios em isotermas de 800 °C, com quatro fluxos diferentes de gás redutor (50, 100, 150 e 200 mL/min). O gás resultante do processo (oriundo da balança termogravimétrica após o contato com a amostra) foi analisado em um espectrômetro de massa. A Figura 1 mostra um fluxograma do aparato experimental utilizado neste estudo.

Inicialmente, a amostra (pelota) foi aquecida no próprio equipamento da temperatura ambiente, por volta de 25 °C, até atingir 800 °C. Esta etapa foi realizada com fluxo de nitrogênio de 20 mL/min. Ao atingir a temperatura desejada, o fluxo de gás inerte foi substituído pelo fluxo de gás redutor (mistura de 10% de hidrogênio e 90% de argônio). Manteve-se a amostra por uma hora na temperatura de 800 °C com atmosfera composta por gás redutor. Ao final do experimento, a amostra foi resfriada até a temperatura ambiente em atmosfera inerte (com uso de nitrogênio) para evitar a oxidação da amostra.

O espectrômetro de massa utilizado neste trabalho foi o modelo Netzsch, QMS 403C. Este equipamento foi acoplado à saída do gás, no topo da balança termogravimétrica, através de um capilar de quartzo aquecido a 300 °C. Este procedimento tem por finalidade evitar a condensação dos gases desde a saída da termobalança até o sensor quadripolar do espectrômetro. O equipamento possui duas formas de medição: varredura de massas moleculares em intervalos de tempo e medição dos teores de gases evoluídos, previamente selecionados em intervalos de tempo. Para o desenvolvimento deste trabalho, foi utilizado na forma de varredura das massas moleculares.

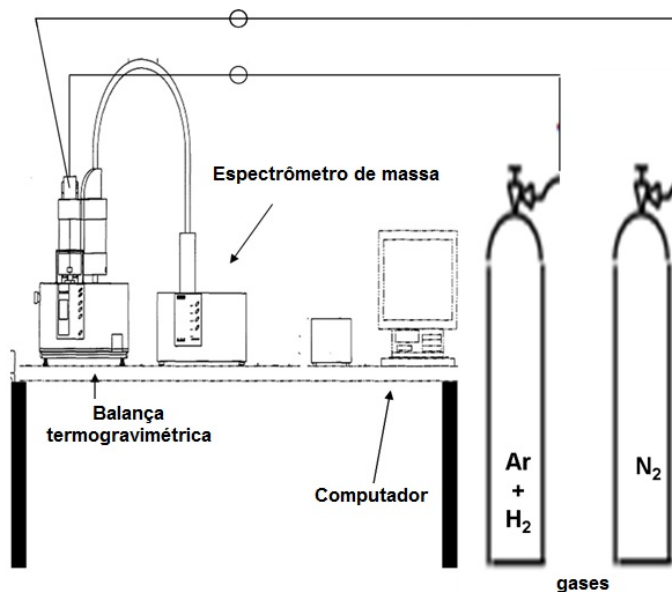


Figura 1: Fluxograma do aparato experimental.

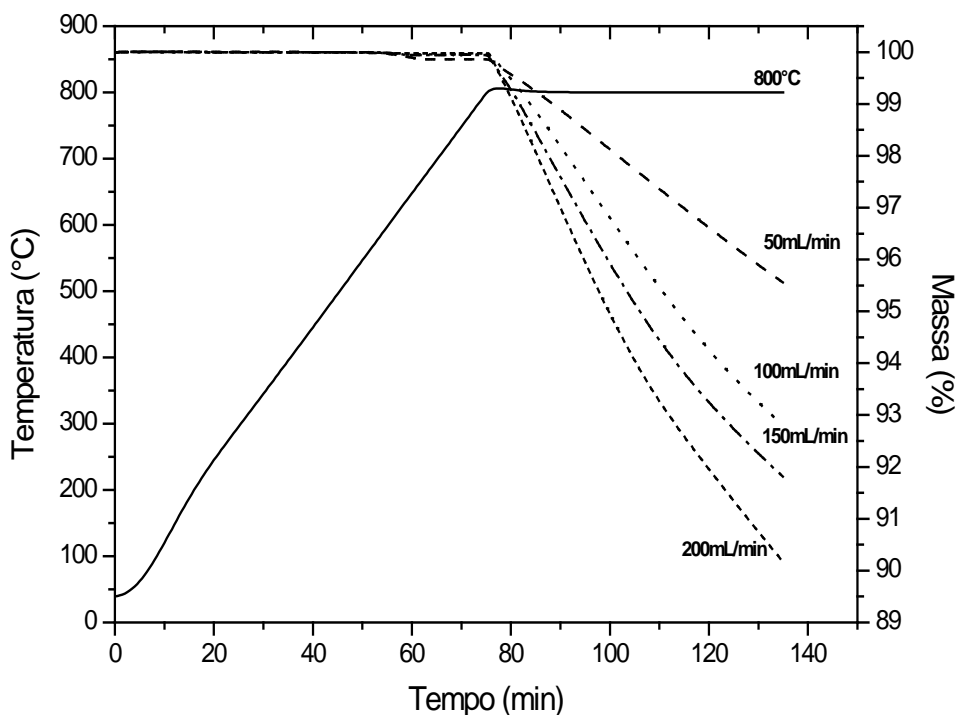


Figura 2: Curvas de análise termogravimétrica com isoterma de 800 °C, durante 1h em diferentes fluxos.

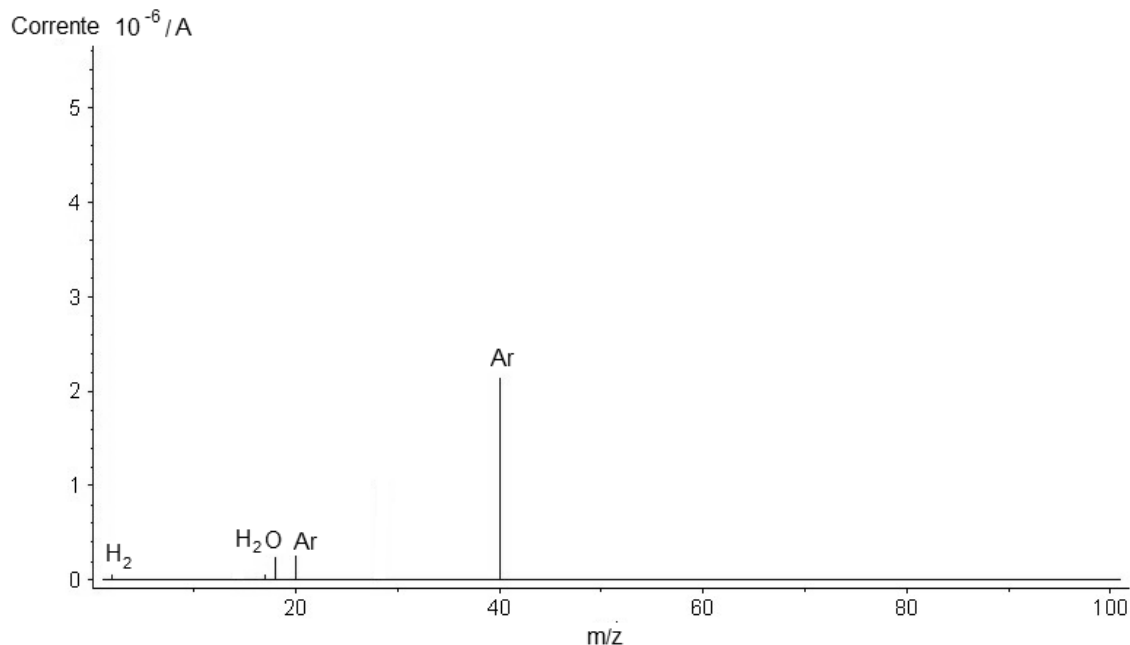


Figura 4: Espectro de massa das espécies da redução no fluxo de 50 ml/min

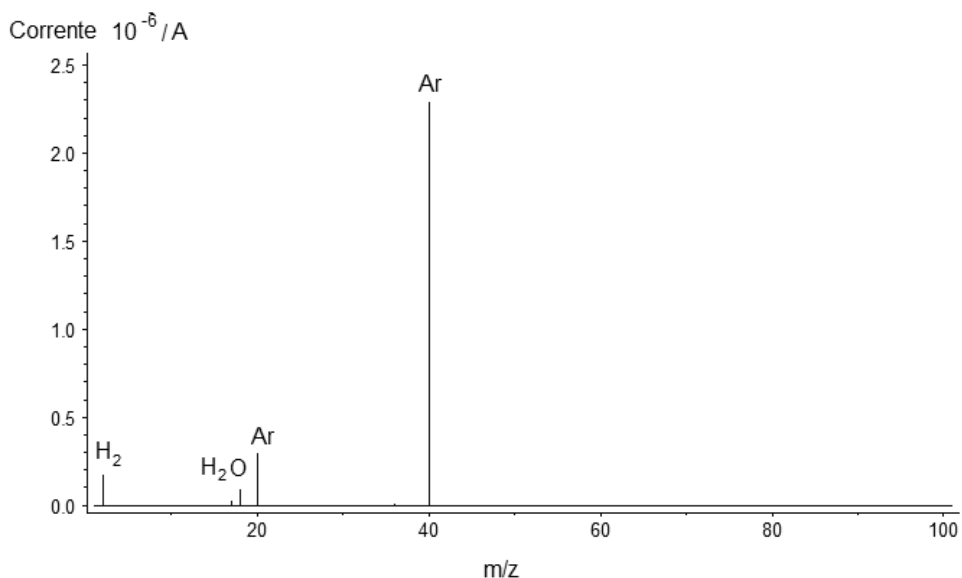


Figura 3: Espectro de massa das espécies da redução no fluxo de 100 ml/min.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra as curvas de perda de massa em função do tempo para amostras de minério de ferro submetidas às isotermas de 800 °C por um tempo de 1h.

Nota-se que com o

aumento do fluxo do gás redutor houve uma mudança na inclinação das curvas, ou seja, com o aumento do fluxo do gás a perda de massa foi mais rápida. As Figuras 3, 4, 5 e 6 mostram os espectros de massa das espécies presentes nos gases resultantes da redução.

Pode-se observar que em todos os espectros de massa há presença de picos de hidrogênio, argônio e água. A água é resultante da interação entre o gás hidrogênio e o oxigênio contido no óxido de ferro. O argônio é decorrente da mistura gasosa redutora, assim como o hidrogênio.

Nota-se assim, a ausência de CO<sub>2</sub> durante a etapa de redução de minério de ferro, o que torna este processo uma alternativa para o desenvolvimento de novas tecnologias que possam minimizar os problemas de geração de gás causador de efeito estufa na

gerado pelas indústrias do setor siderúrgico.

Outro ponto que pode ser observado é que com o uso de hidrogênio como gás redutor, não ocorre a queima de combustíveis fósseis, que também é sugerida por Hu et al. (HU; CHEN; ZHANG.; QI;

Com os resultados apresentados neste artigo conclui-se que a taxa de redução aumenta com o aumento do fluxo total de gás redutor. Pode-se dizer também que a redução de minério de ferro com hidrogênio é uma alternativa na tentativa de minimizar as emissões de gases causadores do efeito estufa, uma vez que é gerado apenas H<sub>2</sub>O como produto de reação.

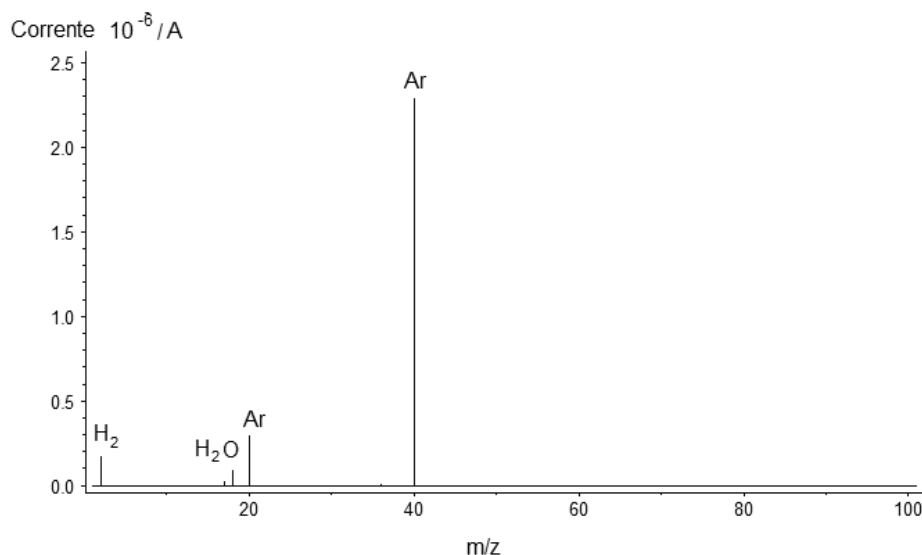


Figura 5: Espectro de massa das espécies da redução no fluxo de 150 ml/min.

indústria siderúrgica.

A técnica de utilização de hidrogênio para a redução foi citada por Fruehan (2009), que sugere esta técnica como uma medida para a diminuição da quantidade de CO<sub>2</sub>

YIN, 2006) como uma medida para minimizar a eliminação de CO<sub>2</sub> pelas indústrias.

## CONCLUSÕES

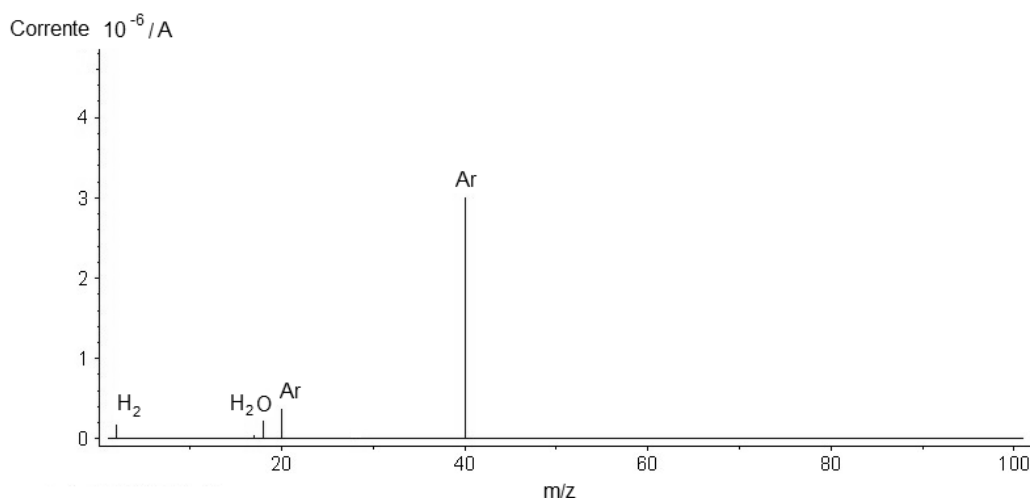


Figura 6: Espectro de massa das espécies da redução no fluxo de 200 ml/min.

## REFERÊNCIAS

ARVOLA, J. HARKONEN, J. MOTTONEN, M. HAAPASALO, H. TERVONEN, P. Combining Steel and Chemical Production to Reduce CO<sub>2</sub> Emissions. *Low Carbon Economy*, 2011, 2, 115-122.

ORTH, A.; ANASTASIJEVIC, N.; EICHBERGER, H. Low CO<sub>2</sub> emission technologies for iron and steelmaking as well as titania slag production. *Minerals Engineering*, n.20, p.854-861, 2007.

GRETZ, J.; KORF, W.; LYONS, R. Hydrogen. in the steel industry. *J. Hydrogen Energy*, v. 16, n. 10, p. 691-693, 2003.

STREZOV, V. Iron ore reduction using sawdust: Experimental analysis and kinetic modelling. *Renewable Energy*, v. 31, p.1892-1905, 2006.

Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations, 1998.

Disponível em  
<<http://unfccc.int/resource/docs/covnpkp/kpeng.pdf>> Acesso em 03/03/2010.

Fuel Cell and Hydrogen Energy Association. Disponível em: <http://www.fchea.org/index.php?id=46>. Acesso em 04/10/2011.

Pielke Jr. R., Wigley, T., Green, C.. Dangerous assumptions. How big is the energy challenge of climate change? The technological advances needed to stabilize carbon dioxide emissions may be greater than we think. *Nature*, Vol 453 April 2008. pág. 531-532.

Chan, D. Y., Yang, K., Lee, J., Hong, G. The case study of furnace use and energy conservation in iron and steel industry. *Energy* 35 (2010), pág. 1665–1670.

Friedlingstein, P. A steep road to climate stabilization. *Nature*, Vol 451, January 2008. pág. 297-298.

INSTITUTO AÇO BRASIL dezembro de 2009. Produzido por Aço Brasil. Disponível em <[http://www.acobrasil.org.br/siderurgiaemfoco%5CAcoBrasilInforma\\_De2009.pdf](http://www.acobrasil.org.br/siderurgiaemfoco%5CAcoBrasilInforma_De2009.pdf)> Acesso em 03/04/2010.

Fruehan, R.J. Research on Sustainable Steelmaking. *Metallurgical and Materials Transactions B* Volume 40B, APRIL 2009—123-133.

HU, C. Q.; CHEN, L Y; ZHANG C. X.; QI, Y. H.; YIN, R. Y. Emission Mitigation of CO<sub>2</sub> in Steel Industry: Current Status and Future Scenarios. **Journal of iron and steel research, international**, v. 13, n. 52, p. 38-42, 2006.

FRIEDLINGSTEIN, P. A. Steep road to climate stabilization. **Nature**, v. 451, p. 297-298, 2008.

BIRAT, J.P. Greenhouse gas emissions of the steel industry - Avenues open for a responsible and sustainable management of emissions. **La Revue de Métallurgie**, n.3, p. 261 – 269, 2003.