

CONTROLE E MONITORAMENTO DAS EMISSÕES DE CO₂ NAS ÁREAS DOS ALTOS FORNOS, SINTERIZAÇÃO, COQUERIA E ENERGIA DA ARCELORMITTAL TUBARÃO¹

Luciano Torres de Carvalho²
Luciana Correa Magalhaes³
Walmir Venturini Junior⁴
Leonardo Passos Perdigão⁵
Ricardo Jose da Silva⁵
Rinaldo Henrique Pedrini⁵

Resumo

A ArcelorMittal Tubarão dentro do seu planejamento estratégico, desenvolve ações para redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), especialmente do dióxido de carbono (CO₂). Dentro desta, a grande responsável pela emissão de CO₂ é a área de Redução, onde os esforços se concentram. Seu processo de produção baseia-se no coque, carvão metalúrgico, antracito, gás de alto forno (BFG) e gás de coqueria (COG) como fonte energética contendo carbono. Assim, o presente trabalho visa avaliar o controle e monitoramento das emissões de CO₂ nas áreas dos altos fornos, sinterização, coqueria e energia, identificando as principais fontes de emissão de CO₂. O cálculo de emissão de GEE foi realizado pelo um produto de um dado de atividade por um fator de emissão adequado, resultando na taxa de emissão de um dado GEE. As emissões das áreas em estudo foram calculadas pelo método de balanço de entrada e saída de CO₂, ou seja, quantidade de CO₂ das entradas via insumos pela subtração da quantidade de CO₂ das saídas via produtos. A intensidade de emissão de CO₂ em 2009 na coqueria, sinterização, altos fornos e energia totalizaram 926 ktCO₂, 1.473 ktCO₂, 2.210 ktCO₂ e 5.268 ktCO₂ respectivamente. Com isso, verificamos que a energia é a principal fonte de emissão representando aproximadamente 54% das emissões de CO₂ da área de redução.

Palavras-chave: Gusa; Emissões de CO₂; Sustentabilidade.

THE CONTROLLING AND MONITORING OF CO₂ EMISSIONS IN AREAS OF BLASTS FURNACES, SINTERING, COKE AND ENERGY OF ARCELORMITTAL TUBARÃO

Abstract

The ArcelorMittal Tubarão seeks to reduce its CO₂ emissions by analyzing and restructuring industrial processes and may or may not generate carbon credits. Within this, largely responsible for CO₂ emission reduction is the area where the efforts are concentrated. Its production process is based on coke, coking coal, anthracite, blast furnace gas (BFG) and coke oven gas (COG) as energy source containing carbon. Thus, this study aims to evaluate the control and monitoring of CO₂ emissions in the areas of blast furnaces, sinter plant, coke plant and poer plant, identifying the main sources of CO₂ emissions. The calculation of GHG emissions was carried out by a product of a given activity by an appropriate emission factor, resulting in the emission rate of a given GHG. Emissions from areas under study were calculated on the balance of input and output of CO₂, the amount of CO₂ inputs via input by subtracting the amount of CO₂ exits via products. The intensity of CO₂ emissions in 2009 in the coking plant, sinter plant, blast furnaces and power plant totaled 926 ktCO₂, 1.473 ktCO₂, 2.21 ktCO₂ and 5.268 ktCO₂ respectively. Thus, we see that energy is the main source of emissions representing approximately 54% CO₂ emissions GHG.

Key words: Hot metal; CO₂ emissions; Sustainability.

¹ Contribuição técnica ao 40º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 11º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 19 a 22 de setembro de 2010, Belo Horizonte, MG.

² Executivo de Abastecimento de Matérias-Primas, ArcelorMittal Tubarão.

³ Especialista de Meio Ambiente, ArcelorMittal Tubarão.

⁴ Especialista de Energia, ArcelorMittal Tubarão.

⁵ Especialista de Controle Técnico da Área de Gusa e Energia, ArcelorMittal Tubarão.

1 INTRODUÇÃO

A ArcelorMittal Tubarão é uma indústria siderúrgica integrada à coque, destinada à produção de placas (mercado externo) e bobinas de aço (mercados externo e interno). A capacidade instalada da ArcelorMittal Tubarão é de 7,5 Mt/ano. Seu processo de produção de aço baseia-se no carvão mineral como fonte energética e, como principais processos estão: a Coqueria, a Sinterização, dois Altos fornos, Dessulfuração de Gusa, Calcinação, Aciaria, Refino do aço, Lingotamento Contínuos, e Laminação de Tiras à Quente. A Figura 1 mostra a vista parcial da área de redução da ArcelorMittal Tubarão.



Figura 1. Vista parcial da ArcelorMittal Tubarão.

ArcelorMittal Tubarão possui uma orientação estratégica de reforçar seu compromisso com os princípios de melhores práticas de sustentabilidade como diferencial competitivo. Aliada a esse conceito, a ArcelorMittal Tubarão busca o desenvolvimento de ações que empregam tecnologias voltadas para a redução das emissões de CO₂, participando do esforço mundial de minimizar a tendência de aquecimento global decorrente do aumento do efeito estufa. O controle e monitoramento das emissões de CO₂ da ArcelorMittal Tubarão foi estabelecido como um processo contínuo, permitindo identificar o ponto de partida e a evolução dos esforços de redução de emissões como também aprimorar essas medidas progressivamente.

Desde 2005, o Departamento de Produção de Gusa e Energia, com o apoio da área de Meio Ambiente, tem se comprometido com o controle e monitoramento dos índices de emissões de CO₂. O controle e monitoramento das emissões de CO₂ é baseado na contabilização da emissão de todas as fontes definidas em grupos de atividades associadas a cada processo produtivo.

A aplicação de premissas é fundamental para garantir que a informação relacionada a emissões de CO₂ seja resultado de um cálculo seguro. Os princípios (ou premissas) formam a base que sustenta a uniformidade de métodos no inventário e entre inventários de diferentes empresas. Os princípios são: abrangência consistência precisão transparência relevância e conservação que correspondem às premissas apresentadas pelo GHG Corporate Protocol⁽¹⁾ e previstos pela Norma ISO 14064.⁽²⁾

O objetivo deste trabalho é avaliar o controle e monitoramento das emissões de CO₂ nas áreas dos altos fornos, sinterização, coqueria e energia, identificando as principais fontes de emissão de CO₂, as emissões específicas por área, dando

Esses fatores condicionam, essencialmente, a intensidade da emissão de gases de efeito estufa (GEE). Desse modo, as emissões identificadas neste trabalho se restringem às instalações de coqueria, sinterização, alto forno e energia e do tipo de insumo utilizado nos processos, bem como dos próprios processos.

2.4 Elaboração dos Mapas de Variáveis de cada Instalação

Os mapas constituem num mapeamento gráfico dos fluxos contendo as variáveis a serem coletadas para entendimento dos processos de cada instalação. Essa etapa é de extrema importância na abordagem *bottom up* e visa a Identificação dos “fluxos de carbono no processo” das fontes geradoras de GEE, de cada instalação. As Figuras 3, 4, 5 e 6 ilustram os mapas de variáveis da coqueria, sinterização, alto forno e energia respectivamente.

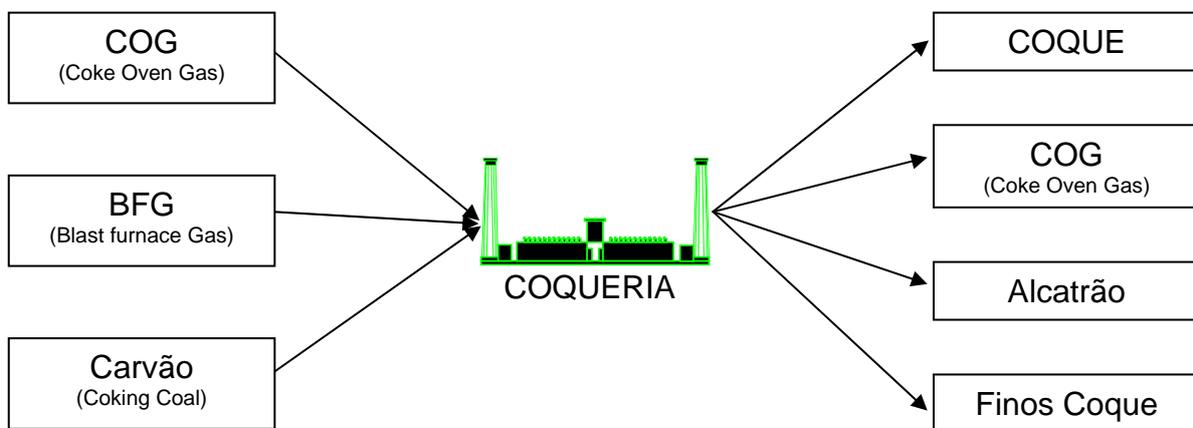


Figura 3. Mapa de variáveis da coqueria.

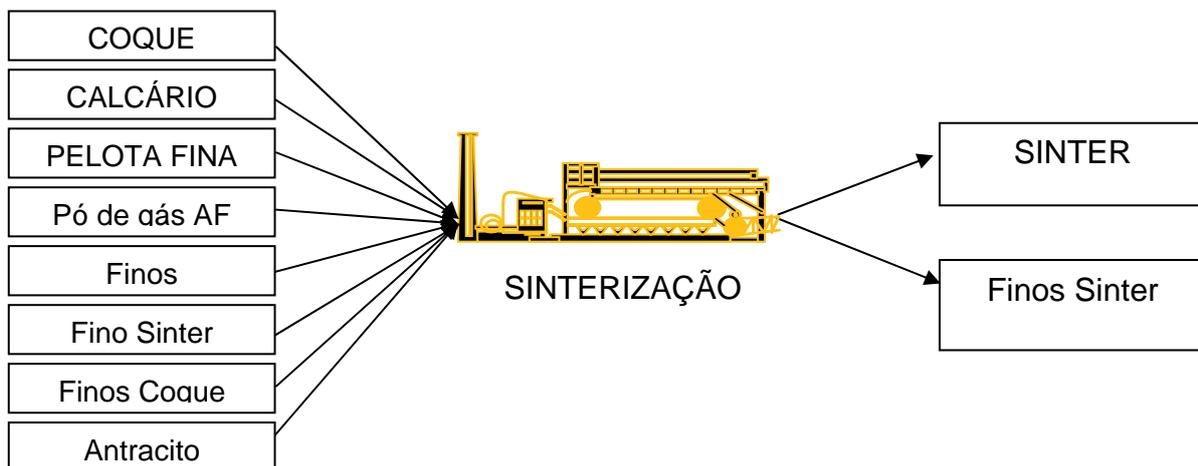


Figura 4. Mapa de variáveis da sinterização.



Figura 5. Mapa de variáveis do alto forno.

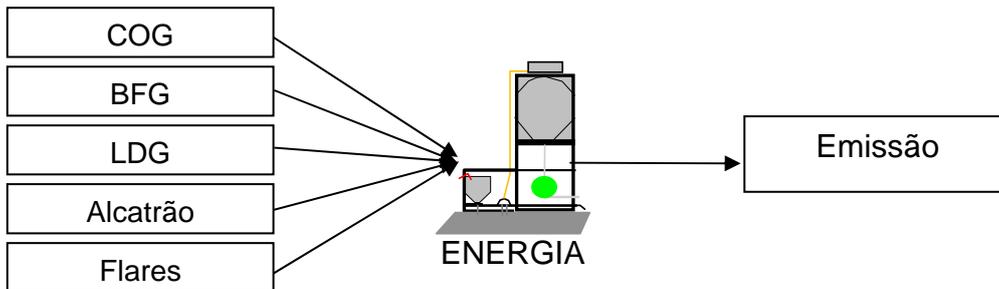


Figura 6. Mapa de variáveis da energia.

2.5 Fator de Emissão

O fator de emissão é uma expressão da emissão associada a uma unidade de atividade da fonte. Os fatores de emissão reportam a quantidade de C equivalente emitida por unidade de atividade. Assim, expressam o quão intensiva é uma dada atividade em emissão de CO₂, ou seja, é uma medida da taxa de emissão.

Muitas análises químicas foram realizadas na AMT propiciando a determinação dos fatores de emissão. O elemento básico é o teor de carbono presente nos materiais. Uma metodologia de determinação dessas quantidades em inventários corporativos é apresentada em Brasil, Silva e Campana⁽⁴⁾ e Carvalho, Brasil e Souza.⁽⁵⁾

Os valores dos conteúdos de carbono nos materiais usados no site foram extraídos das planilhas CO₂ Tool Site Version 103, desenvolvidas pelo IISI atual World Steel. A Tabela 1 apresenta o fator de emissão considerado para o cálculo de cada fonte de emissão do site da ArcelorMittal Tubarão e os valores dos fatores de emissão adotados pelo World Steel.

Tabela 1. Fator de emissão do site da ArcelorMittal Tubarão e adotados pelo World Steel (IISI)

Fonte	Unid.	Fator de Emissão site (tC/unid. da fonte)	Fator de emissão IISI (tC/unid. da fonte)
Gás de Coqueria (COG)	GJ	0,0120	0,0113
Gás de Alto Forno (BFG)	GJ	0,0751	0,0698
Gás da Aciaria (LDG)	GJ	0,0475	0,0495
Carvão Metalúrgico	t	0,8200	0,8194
Carvão de PCI	t	0,8200	0,8140
Antracito	t	0,7899	0,8500
Coque	t	0,8800	0,8786
Coque fino e finos de coque	t	0,8500	0,8786
Gusa	t	0,0480	0,0470
Gás Natural	GJ	0,0152	0,0141
Calcário	t	0,1185	0,1189
Finos de sinter	t	0,0008	0,0008
Finos de gás de Alto Forno	t	0,4000	0,3444

2.6 Cálculo da Emissão de CO₂

Toda emissão de CO₂, de acordo com as recomendações do IPCC,⁽⁶⁻⁸⁾ deve ser calculada como um produto de um dado de atividade por exemplo, a quantidade de energia elétrica consumida (MWh), combustíveis utilizados (litros), materiais produzidos (toneladas por ano) por um fator de emissão adequado, resultando na média estimada da taxa de emissão de um dado GEE para uma data fonte, relativa a unidades de atividade.

Conhecido um dado de atividade e o fator de emissão correspondente pode-se calcular a emissão pelo produto dessas grandezas.

Assim, a abordagem utiliza, simplificada, para estimar as emissões dos GEE específicos (i.e., CO₂), a relação geral:

$$\text{Emissão} = Q_{ab} \times FE_{ab}$$

Onde:

a = Tipo de "insumo contendo carbono";

b = Setor ou fonte de atividade;

Q_{ab} = Quantidade utilizada de "insumo contendo carbono", do tipo "a" na fonte "b";

FE_{ab} = Fator de emissão da tabela 1 x 3,664142, onde 3,664142 é conversão de tC em tCO₂

As emissões das áreas em estudo foram calculadas pelo método de balanço de entrada e saída de CO₂, ou seja, quantidade de CO₂ das entradas via insumos pela subtração da quantidade de CO₂ das saídas via produtos.

Para a maioria dos processos industriais, o método utilizando balanço de entrada e saída é preferível uma vez que ele não requer a determinação de perfis de velocidade nas chaminés.

Um detalhamento de uso dessa metodologia para quantificação das emissões das unidades de atividade encontra-se a seguir.

Cálculo das emissões de CO₂ na coqueria

$$E_{CO_2-coq} = [CC * FE_{CC} + COGR * FE_{COGR} + BFG * FE_{BFG}] - [CO * FE_{CO} + COGT * FE_{COGT} + CB * FE_{CB} + AL * FE_{AL}]$$

Onde:

FE_x = fator de emissão do material de entrada ou saída x, [tCO₂/unidade do material x] = [FE_{CC}, FE_{COGR}, FE_{BFG}, FE_{CO}, FE_{COGT}, FE_{CB}, FE_{AL}];

•E_{CO₂-coq} = emissões de CO₂ na coqueria, toneladas;

•CC = quantidade de carvão coqueificável consumida para a produção de coque, toneladas;

•COGR = quantidade de COG gerado na coqueria e recirculado, GJ;

•BFG = quantidade de BFG consumida na coqueria, GJ;

•CO = quantidade de coque bruto produzido, toneladas.

•COGT = quantidade de COG (coke oven gas) transferida para fora da coqueria, GJ.

•Subprodutos –"coke breeze (CB), Alcatrão (AL),–quantidades transferidas para outras instalações fora da coqueria, toneladas;

Cálculo das emissões de CO₂ na sinterização

$$E_{CO_2-sint} = [CO_S * FE_{CO_S} + CA * FE_{CA} + PF * FE_{PF} + FI * FE_{FI} + PBFG_C * FE_{PBFG_C} + ST_C * FE_{ST} + PST_C * FE_{PST} + CB_C * FE_{CB_C} + AT * FE_{AT}] - [ST_P * FE_{ST} + PST_P * FE_{PST}]$$

Onde:

- FEx = fator de emissão do material de entrada ou saída x , [tCO_2 /unidade do material x] = [FE_{CO_2} , FE_{CA} , FE_{PF} , FE_{FI} , FE_{CPBFGC} , FE_{ST} , FE_{PST} , FE_{BA} , FE_{PD}];
- E_{CO_2-sint} = emissões de CO_2 na sinterização, toneladas;
- CO_S = quantidade de coque consumido para a produção de sinter, toneladas;
- CA = quantidade de calcário consumido para a produção de sinter, toneladas;
- PF = quantidade de pelota fina consumida para produção de sinter, tonelada;
- FI = quantidade de finos consumido para a produção de sinter, toneladas;
- $PBFG_C$ = quantidade de pó de gás de alto forno consumido na produção de sinter, tonelada;
- ST_C = quantidade de sinter consumido para a produção de sinter, toneladas;
- PST_C = quantidade de pó de sinter consumido para produção de sinter, tonelada;
- CB_C = quantidade de "coke breeze" consumido para produção de sinter, tonelada;
- AT = quantidade de antracito consumido para a produção de sinter, toneladas;
- ST_P = quantidade de sinter produzido, toneladas;
- PST_P = quantidade de pó de sinter produzido, tonelada;

Cálculo das emissões de CO_2 no alto forno

$$E_{CO_2-AF} = [CO_G * FE_{COG} + CPCI * FE_{CPCI} + COG * FE_{COG} + BFG * FE_{BFG} + GN * FE_{GN}] - [BFG_P * FE_{BFG} + G * FE_G + PBFG_P * FE_{PBFGP}]$$

Onde:

- FEx = fator de emissão do material de entrada ou saída x , [tCO_2 /unidade do material x] = [FE_{COG} , FE_{CPCI} , FE_{COG} , FE_{BFG} , FE_{GN} , FE_G , FE_{PBFGP} , FE_{BA} , FE_{PD}];
- E_{CO_2-AF} = emissões de CO_2 no alto forno, toneladas;
- CO_G = quantidade de coque consumido para a produção de gusa, toneladas;
- $CPCI$ = quantidade de carvão de PCI consumido para a produção de gusa, toneladas;
- COG = quantidade de COG consumido para produção de gusa, GJ;
- BFG = quantidade de BFG consumido para produção de gusa, GJ;
- GN = quantidade de gás natural consumido, GJ.
- BFG_P = quantidade de BFG transferido para fora do alto forno, GJ;
- G = quantidade de gusa produzido no alto forno, toneladas;
- $PBFG_P$ = quantidade de pó de BFG produzido no alto forno, toneladas.

Cálculo das emissões de CO_2 na energia

$$E_{CO_2-util} = [BFG * FE_{BFG} + COG * FE_{COG} + LDG * FE_{LDG} + AL * FE_{AL} + FL * FE_{FL}]$$

Onde:

- FEx = fator de emissão do material de entrada x , [tCO_2 /unidade do material x] = [FE_{BFG} , FE_{COG} , FE_{LDG} , FE_{AL} , FE_{FL}];
- E_{CO_2-util} = emissões de CO_2 na energia, toneladas;
- BFG , COG e LDG = quantidade do gás BFG, COG e LDG consumido na energia, GJ;
- FL = quantidade dos gases COG, BFG e LDG consumidos nos Flares, GJ;
- AL = quantidade de alcatrão consumido na energia, tonelada;

2.7 A Incerteza no Cálculo da Emissão de CO_2

Além das variações naturais do processo produtivo e da qualidade de matérias-primas, há incertezas relacionadas ao método de mensuração e dos instrumentos utilizados em medidas. A equipe que realiza o cálculo dessa natureza trabalha com as áreas de suprimentos, controle de processo, manutenção, laboratórios, vendas, logística, meio ambiente, etc. Todo esse trabalho se resume no levantamento de três informações: quanto de um material é utilizado, o que é o material e como ele é medido. Há incertezas também nos procedimentos realizado no laboratório.

2.8 Indicadores para Avaliação das Emissões de CO₂

- **Indicador 1 (E_P)** – Intensidade de emissão planejada de CO₂ com base no plano produção empresarial. (E_P = Emissão planejada de CO₂, tonelada)
- **Indicador 2 (E_R)** – Intensidade de emissão real de CO₂ com base plano produção realizado. (E_R = Emissão real de CO₂, tonelada)
- **Indicador 3 (EE)** – Intensidade de emissão específica de CO₂
EE = (emissão associada ao material por produção da unidade) = (tCO₂/t coque, t CO₂/t sinter, t CO₂/t gusa e tCO₂/MWh)

2.9 Gestão da Emissão de CO₂ na Área de Redução

Mensalmente, elaboramos um levantamento do quantitativo de emissões GEE de cada área, com detalhamento dos principais pontos que influenciaram nas variações apresentadas, com isso, fornecemos informações para que sejam tomadas decisões visando à redução de emissão. As decisões têm prioridades nas ações onde as maiores reduções de emissões podem ser feitas em menor período de tempo e menor custo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O procedimento metodológico apresentado na seção 2 foi adotado criteriosamente para o cálculo de emissões GEE na redução desde 2005. Os resultados dos balanços das entradas e saídas bem como a intensidade de emissão real e planejada e emissão específica por área estão sumariados nesta seção. As figuras a seguir mostram vários sumários com devidos comentários.

3.1 Balanço de Entradas e Saídas de CO₂ das Áreas na Redução

A Figura 7 mostra o balanço entrada-saída de CO₂ da coqueria. Observe-se que no balanço da coqueria, o carvão é o principal contribuinte de entrada, em torno de 88%, e o coque é o principal contribuinte de saída, em torno de 85%.

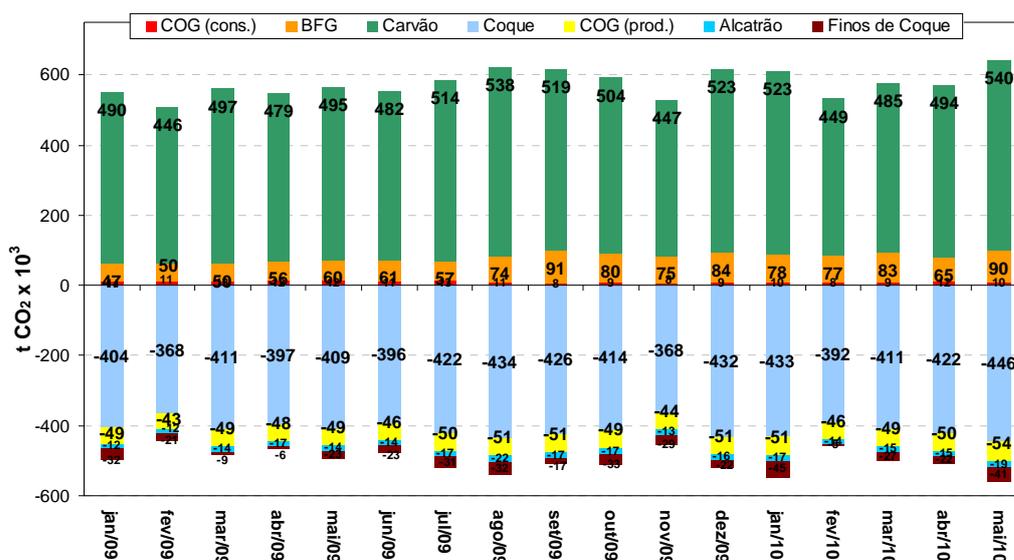


Figura 7. Emissões “Escopo 1” entradas e saídas da coqueria.

A Figura 8 mostra o balanço entrada-saída de CO₂ da sinterização. Observe-se que no balanço da sinterização, o coque e o calcário são os principais contribuintes de entrada, em torno de 54% e 28% respectivamente.

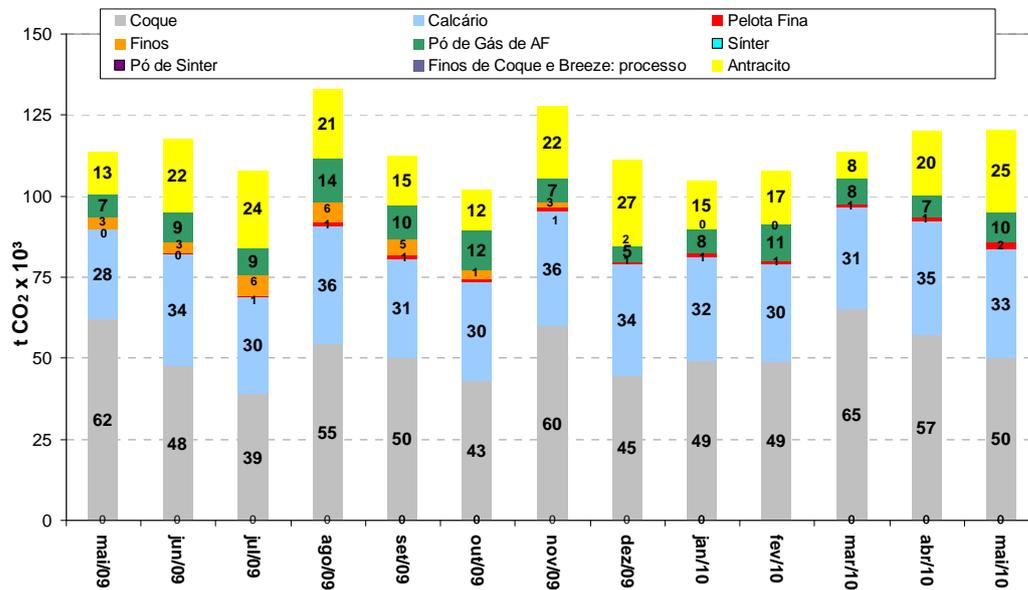


Figura 8. Emissões "Escopo 1" entradas e saídas da sinterização.

A Figura 9 mostra o balanço entrada-saída de CO₂ dos altos fornos. Observe-se que no balanço dos altos fornos, o coque é o principal contribuinte de entrada, em torno de 58%, e o BFG é o principal contribuinte de saída, em torno de 87%.

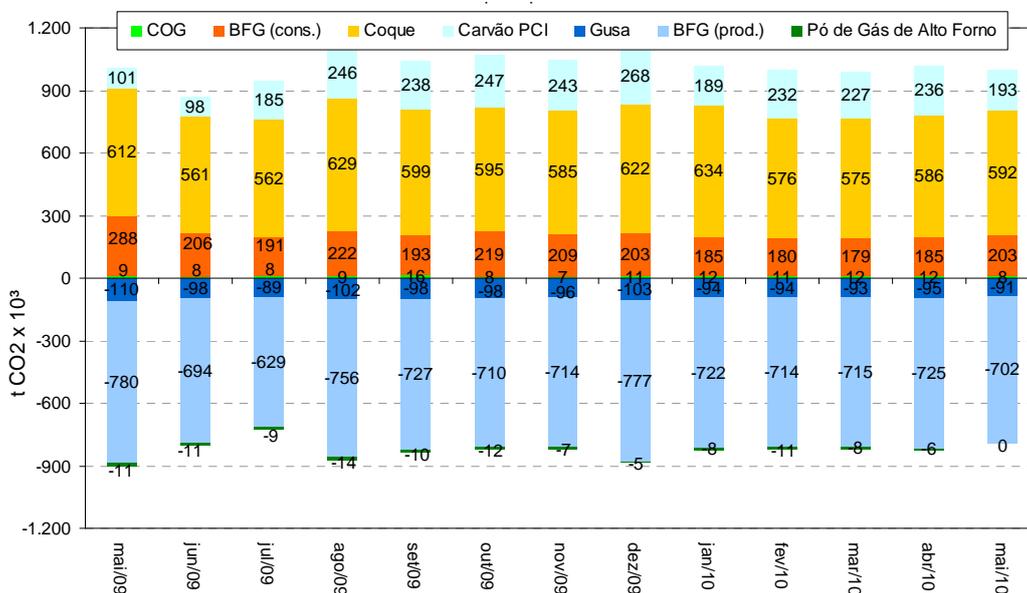


Figura 9. Emissões "Escopo 1" entradas e saídas dos altos fornos.

A Figura 10 mostra o balanço entrada-saída de CO₂ da energia. Observe-se que no balanço da energia, o BFG é o principal contribuinte de entrada, em torno de 58%. A partir de novembro de 2009, aumentou a intensidade de emissão de CO₂ pelos flares.

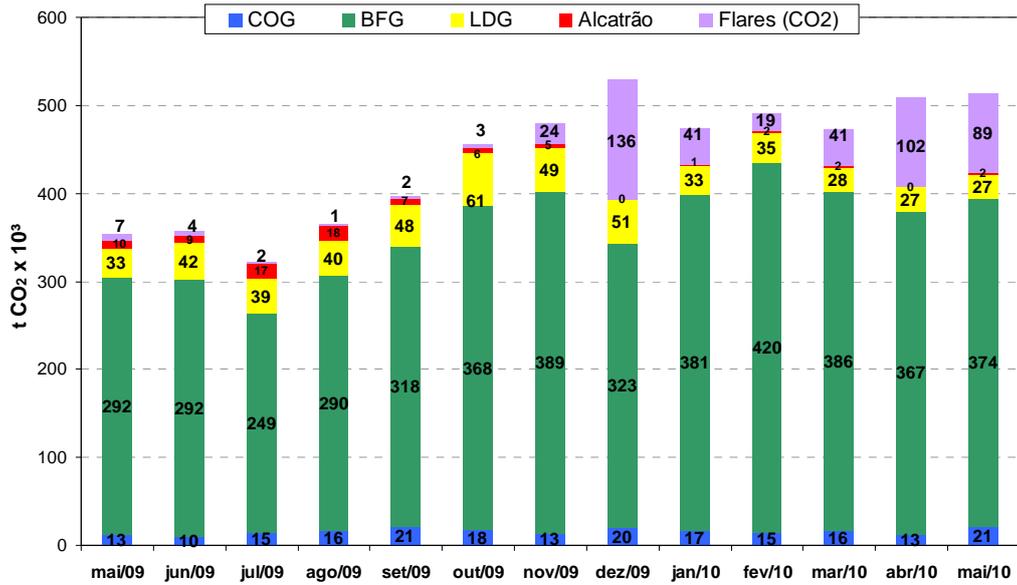


Figura 10. Emissões “Escopo 1” entradas e saídas da energia.

3.2 Intensidade de Emissão Real e Planejada e Emissão Específica por Área

A intensidade de emissão de CO₂ em 2009 na coqueria totalizaram 926.000 tCO₂. Na Figura 11 abaixo são apresentadas as intensidades de emissão planejada, real e específica da coqueria.

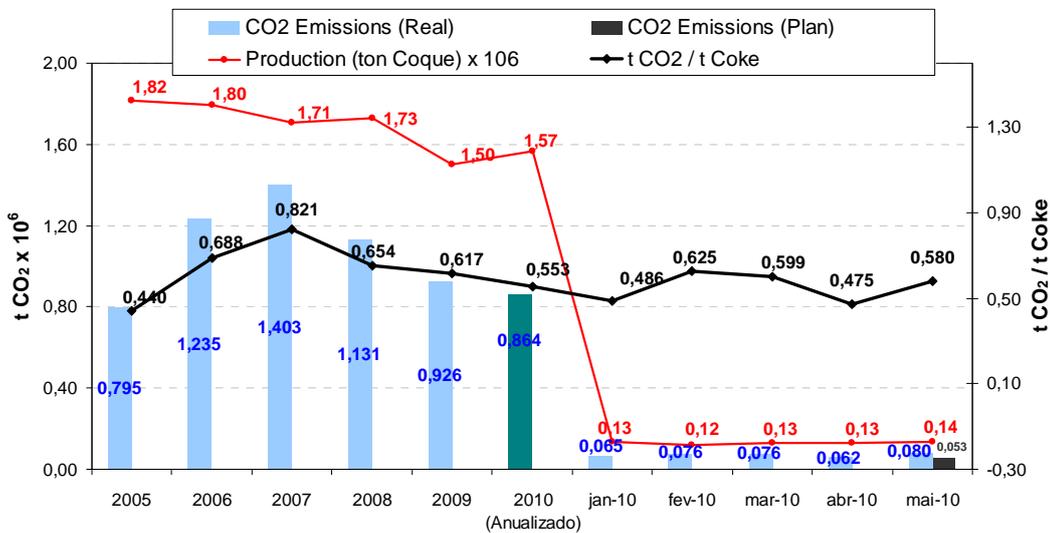


Figura 11. Indicadores de desempenho das emissões de CO2 da coqueria.

A intensidade de emissão de CO₂ em 2009 na sinterização totalizaram 1.473.000 tCO₂. Na Figura 12 abaixo são apresentadas as intensidades de emissão planejada, real e específica da sinterização.

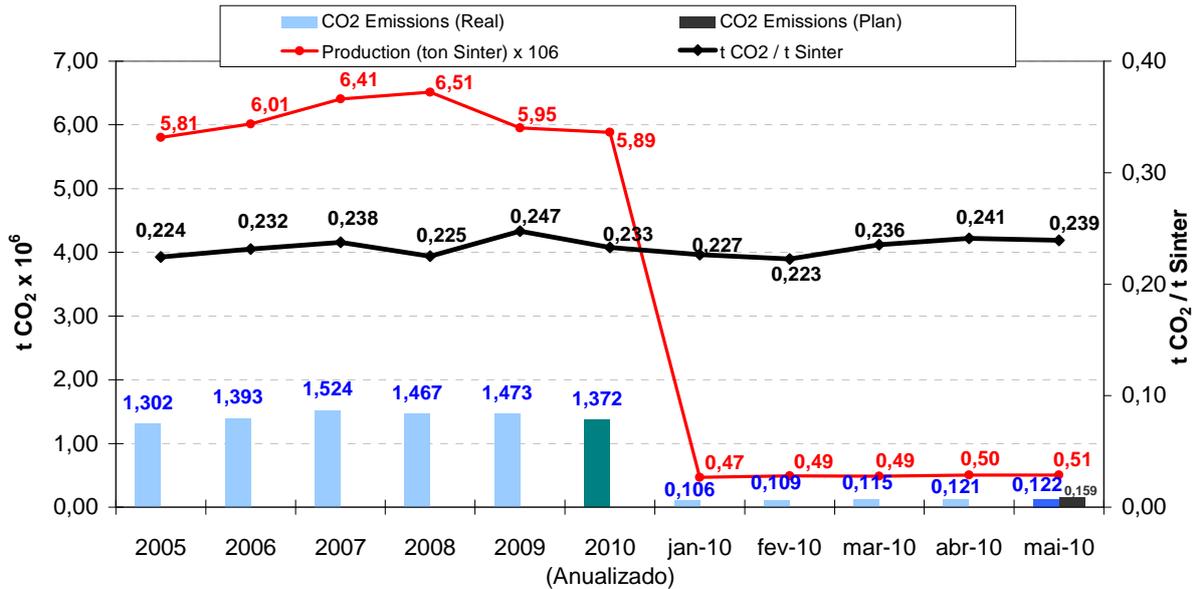


Figura 12. Indicadores de desempenho das emissões de CO₂ da sinterização.

A intensidade de emissão de CO₂ em 2009 nos altos fornos totalizaram 2.210.000 tCO₂. Na Figura 13 abaixo são apresentadas as intensidades de emissão planejada, real e específica dos altos fornos.

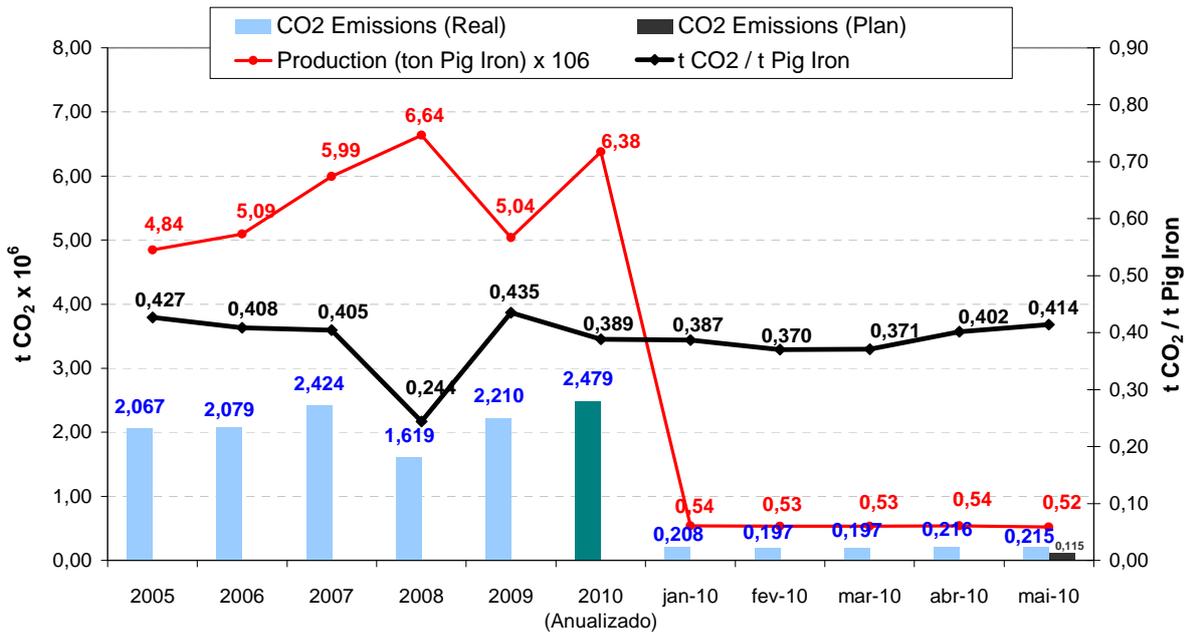


Figura 13. Indicadores de desempenho das emissões de CO₂ dos altos fornos.

A intensidade de emissão de CO₂ em 2009 na energia totalizaram 5.268.000 tCO₂. Na Figura 14 abaixo são apresentadas as intensidades de emissão planejada, real e específica da energia.

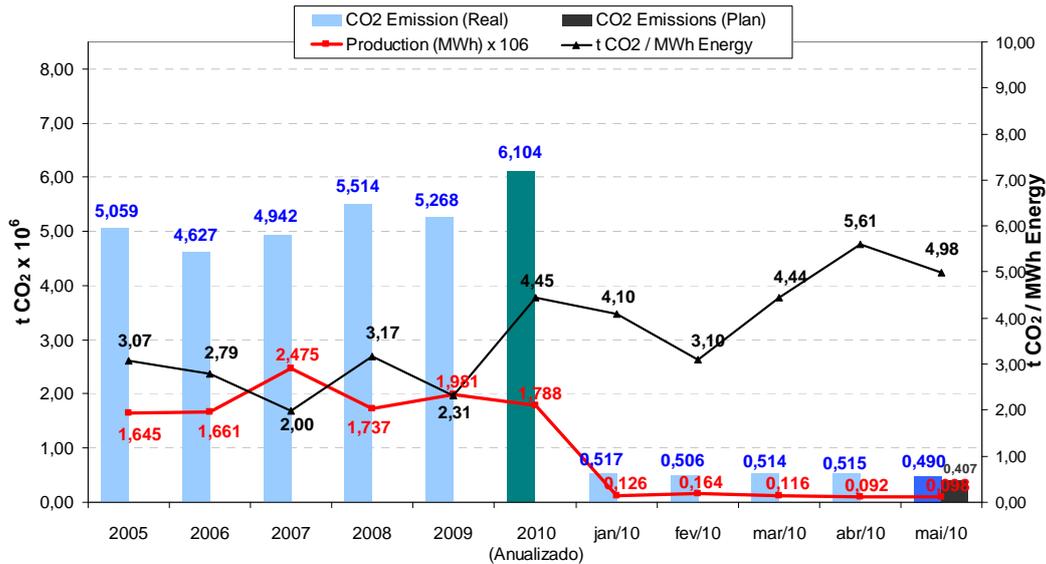


Figura 14. Indicadores de desempenho das emissões de CO₂ da energia.

3.3 Identificando as Principais Fontes de Emissão de CO₂

O indicador E_R não deve ser usado para comparar o desempenho entre diferentes usinas. Isto porque a quantidade de CO₂ emitida pode ser o resultado de diferentes rotas de produção, solução logística, ou níveis de produção.

Por outro lado, este índice é adequado se usados para comparar o desempenho de uma unidade com ela mesma em diferentes anos

O indicador EE já vem sendo utilizado comparativamente ou mesmo como *benchmark*.

Na Figura 15 ilustra as principais fontes de emissão de CO₂ na área de redução, sendo que a área de energia representa aproximadamente 54% das emissões de CO₂.

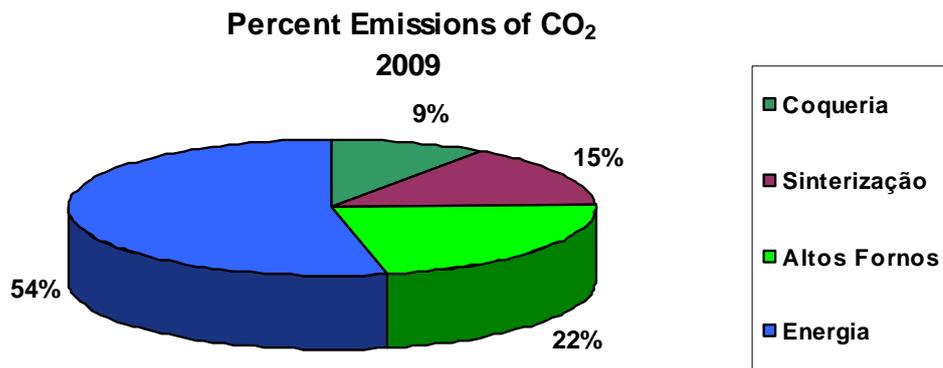


Figura 15. Principais processos de emissão de CO₂ na área de redução.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados e nos comentários da seção 3, algumas conclusões podem ser derivadas, bem como recomendações para gestão das emissões de GEE.

A intensidade de emissão de CO₂ em 2009 na coqueria, sinterização, altos fornos e energia totalizaram 926.000 tCO₂, 1.473.000 tCO₂, 2.210.000 tCO₂ e 5.268.000 tCO₂

respectivamente. Com isso, verificamos que a energia é a principal fonte de emissão representando aproximadamente 54% das emissões de CO₂ da área de redução. O controle e monitoramento de emissões de CO₂ apresenta excelente oportunidade para revisar procedimentos de medida de insumos, produtos e subprodutos. Não raro novas variáveis de controle de processo são intensamente discutidas e empregadas em razão da realização do controle e monitoramento de emissões de CO₂.

Do ponto de vista de redução das emissões de gases de efeito estufa, é importante a verificação da performance das unidades operacionais, no sentido de aprimorar o que já existe, nas tecnologias ou métodos de gerenciamento como a melhoria de eficiência nos processos, co-geração de energia, reuso e reciclagem de subprodutos.

REFERÊNCIAS

- 1 WRI, World Business Council for Sustainable Development e World Resources Institute, Greenhouse Gas Protocol – Corporate Module, Revised Edition, Washington 2004.
- 2 ISO14064/2006 - Part 1: Specification with guidance at the organization level for the quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals; Part 2: Specification with guidance at the project level for the quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions and removal enhancements; Part 3: Specification with guidance for the validation and verification of greenhouse gas assertions, Geneva, 2006.
- 3 IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. 2006.
- 4 Brasil, G. H.; SILVA, A. F. P.; Campana, A. C. M. Inventário das emissões de gases de efeito estufa nas Unidades da Companhia Vale do Rio Doce: Determinação das incertezas, Relatório Técnico não publicado, maio/2007.
- 5 Carvalho, J. A.; Brasil, G. H.; de Souza, P. A. Methodology for Determination of Greenhouse Gas Emission Rates from a Combustion System: Accounting for CO, UHC, PM, and Fugitive Gases, 4th European Congress of Economics and Management of Energy in Industry, Porto, Portugal, cd, 12 pages, november/2007.
- 6 IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (1997), Scientific Basis Report, France, 1997a.
- 7 IPCC, Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 442 p, 2005.
- 8 IPCC, Climate Change: The Physical Science Basis, IPCC Working Group I, 4th Assessment Report, Summary for Policymakers, Paris, 5 février, 2007.