

Neutralização compensatória de carbono - estudo de caso: indústria do setor metal mecânico, Rio de Janeiro (RJ)

Carbon compensatory neutralization - case study: mechanic metal industry, Rio de Janeiro (RJ), Brazil

Lídia Vaz Aguiar¹, Julio Domingos Nunes Fortes², Eduardo Martins³

RESUMO

Este trabalho visa quantificar as emissões de gases do efeito estufa por uma empresa do setor metal-mecânico, situada no Rio de Janeiro (RJ). Foi feito um levantamento das atividades que influenciam as emissões dos GEE da empresa Metal Master. O cálculo das emissões de gases do efeito estufa foi através das metodologias desenvolvidas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) para o consumo de combustíveis, consumo de energia elétrica, resíduos dispostos em aterros, esgotos domésticos e efluentes industriais. Do total de emissões lançadas na atmosfera pela empresa em estudo, foi obtido um valor de 439 toneladas de CO₂ equivalente, sendo 76,3 toneladas pelo consumo de combustíveis dos meios de transporte, 89 toneladas pelos resíduos gerados, 2,2 toneladas pelos efluentes gerados, 8,8 toneladas por consumo de energia elétrica e 148 toneladas por processos industriais internos. No cenário onde se contempla as medidas mitigadoras, tais emissões são reduzidas a 397 toneladas de CO₂ equivalente. Caso seja empregado o reflorestamento como única forma de neutralização total de emissões da empresa em estudo, faz-se necessária a recuperação vegetal de uma área com 1,37 hectares de extensão.

Palavras-chave: aquecimento global; efeito estufa; emissões de CO₂; reflorestamento.

ABSTRACT

This research aims to quantify the contribution of emissions of greenhouse gases, released by a company in the metal-mechanic, in Rio de Janeiro (RJ). A survey of the activities that influence the GHG emissions of the Metal Master company was done. The calculation of greenhouse gas emissions was through the methodologies developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) to fuel consumption, energy consumption, waste disposed in landfills, domestic sewage and industrial effluents. Of the total emissions into the atmosphere by the company under study, was obtained a value of 439 tons of CO₂ equivalent, with 76.3 tons from fuel consumption by transport, 89 tons from the waste generated, 2.2 tons from effluents generates, 8.8 tons from consumption of electricity and 148 tons from domestic industrial processes. In the scenario where we contemplate the mitigation measures, such emissions are reduced to 397 tons of CO₂ equivalent. If employee reforestation as the only way to neutralize the emissions of the company, it is necessary to restore plant to an area of 1.37 hectares.

Keywords: global warming; greenhouse effect; CO₂ emissions; reforestation.

INTRODUÇÃO

A mudança do clima tornou-se nos últimos tempos uma questão de grande relevância para a sociedade, estando cada vez mais presente nos discursos políticos, sociais e econômicos (OJIMA, 2011). O interesse sobre esse assunto vem crescendo com o decorrer dos anos, especialmente a partir de 2007, quando o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), divulgou seu quarto relatório que reduziu a incerteza das previsões relacionadas ao aquecimento global e fez

surgir um novo patamar de discussões (CARVALHO; MACHADO; MEIRELLES, 2011).

Dentre as conclusões do relatório, foi ressaltado que há 90% de certeza de que são as atividades humanas as responsáveis pelo aumento da temperatura média do planeta; que entre os últimos doze anos (1995-2006), onze estão entre os mais quentes desde 1950; que as comunidades pobres são as mais atingidas, especialmente as localizadas em áreas de risco; e que, na metade deste século, o aumento da

¹Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) - Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

²Professor Visitante do Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia da UERJ - Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

³Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia da UERJ - Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

Endereço para correspondência: Lídia Vaz Aguiar - Rua São Francisco Xavier 524 - Pav. João Lyra Filho - 5º andar, bloco E - Maracanã - 20550-013 - Rio de Janeiro (RJ), Brasil - E-mail: lidia.aguiar@uol.com.br

Recebido: 29/04/13 - **Aceito:** 22/07/15 - **Reg. ABES:** 116414

temperatura associado à redução da umidade do solo poderá substituir gradualmente a floresta tropical Amazônica por savanas, assim como a vegetação do semiárido por vegetação de terras áridas.

Neste contexto, torna-se primordial a postura pró-ativa por parte do setor industrial, assim como de toda a sociedade, em relação à diminuição das emissões dos gases de efeito estufa (GEEs) e à intensificação das propostas de medidas mitigadoras. E em um momento em que a humanidade discute massivamente tais questões, uma indústria do setor metal-mecânico, responsável por fornecer os dados para que esta pesquisa, demonstrou seu interesse por atitudes práticas, que pudessem nortear uma nova forma de atuação.

Práticas e estratégias relacionadas ao combate à mudança do clima têm sido adotadas por empresas não apenas como forma de atender às demandas impostas pela legislação, mas também como ferramentas na busca pela vantagem competitiva (FUCHS; MACEDO-SOARES; RUSSO, 2009). Muitas instituições vêm contabilizando, através de inventários, as emissões de GEEs provenientes de suas mais diversas fontes, de modo a permitir que, através do mapeamento de seus processos, sejam identificadas oportunidades de mitigação. Assim, com os números em mãos, as instituições tornam-se aptas a estabelecer metas para compensação de suas emissões. Neste contexto, este trabalho procura mostrar que, através da inserção da variável ambiental no meio corporativo/ industrial, é possível planejar, além de estabelecer objetivos e metas de modo a permitir que os meios de produção diminuam de maneira significativa ou até mesmo não contribuam com a mudança do clima. Utiliza, para isto, os recursos disponíveis para avaliação das contribuições de emissão de GEEs para a atmosfera. Além disso, divulga ferramentas para cálculo de emissões e neutralização compensatória de carbono de modo a permitir que modificações na rotina da empresa alvo deste estudo contribuam para a mitigação da intensificação do efeito estufa.

A pesquisa possui como objetivo geral propor políticas e estratégias para neutralização compensatória dos GEEs emitidos pela empresa. E como objetivos específicos, visa elaborar um diagnóstico quanto à contribuição da empresa para emissão de GEEs; quantificar o nível de contribuição de emissões para a atmosfera; avaliar as possibilidades de compensar essas emissões; definir políticas e propor ações viáveis relacionadas à empresa para neutralização das emissões de GEEs.

METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado em uma indústria de médio porte do setor metal-mecânico, responsável pela produção de equipamentos para abastecimento de derivados do petróleo, situada no município do Rio de Janeiro (RJ). No intuito de preservar sua identidade, a empresa será identificada por Metal Master, ao longo deste trabalho.

A chegada da Metal Master ao Brasil está diretamente ligada a um momento de grande desenvolvimento industrial, na década de 1930.

Trata-se de uma indústria multinacional, localizada no Estado do Rio de Janeiro, a qual se destaca no mercado nacional, com posição marcante nas exportações atendendo a mais de oitenta países da América Latina, África, Oriente Médio e Ásia.

A Metal Master possui área total de 11.375 m² e área construída de 10.295 m². A empresa é limitada ao Norte por um supermercado, ao Sul por uma indústria de cosméticos e a Leste e Oeste com residências locais. O total de funcionários é de 319, onde 256 são diretos e 63 são indiretos.

Os dados necessários para a realização deste trabalho referentes às fontes de emissão de GEEs da empresa foram obtidos através de informações coletadas no local com apoio do setor de meio ambiente e qualidade da própria empresa. Para atingir os objetivos propostos, as seguintes questões foram utilizadas como norte da pesquisa:

1. Como a Metal Master pode contribuir para a mitigação da intensificação do efeito estufa?
2. A utilização do reflorestamento como única ferramenta de neutralização compensatória de carbono pode ser considerada suficiente?
3. As ações mitigadoras referentes a emissões de gases do efeito estufa, aquecimento global e mudanças climáticas podem contribuir para a imagem da empresa?

Inicialmente, foi feita uma coleta qualitativa e quantitativa de dados para obter informações do consumo de combustíveis, consumo de energia, geração de resíduos e geração de efluentes, a fim de se delinear as fontes de emissão de GEE no estabelecimento, assim como descobrir a quantidade de tais gases emitidos por cada fonte.

Dentre as fontes de emissão de GEEs da Metal Master, encontram-se o consumo de combustíveis em processos industriais, por frota interna e de terceiros, consumo de energia elétrica, produção de resíduos e geração de efluentes líquidos domésticos e industriais.

Depois de identificadas as fontes de emissão de gases do efeito estufa presentes na indústria, foram feitas visitas exploratórias à indústria pesquisada. Com base nestas visitas, foram preparados questionários a serem respondidos pelo funcionário da indústria responsável pela gestão de meio ambiente e qualidade de produção da própria empresa, bem como conhecedor das dificuldades inerentes à gestão dos processos.

O segundo passo se deu através da identificação e quantificação das emissões em função de cada fonte. O cálculo das emissões de gases do efeito estufa resultou da aplicação das metodologias desenvolvidas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC).

Metodologia Top-Down – Para cálculo de emissões provenientes do consumo de combustíveis

A contabilização das emissões de CO₂ pela queima de combustíveis foi feita através da metodologia *Top-down*, que considera apenas as emissões de dióxido de carbono (CO₂) a partir dos dados de produção e

consumo de energia, sem detalhamento de como essa energia é consumida (LA ROVERE, 2005), conforme Equação 1:

$$CC = CA \times F_{Conv} \times 45,2 \times 10^{-3} \times F_{corr} \quad (1)$$

onde, CC = Consumo de Energia (TJ); CA = Consumo Aparente do Combustível; FConv = Fator de Conversão (Tep/Unidade Física) da Unidade Física para Tep médio; Fcorr = fator de correção de poder calorífico superior (PCS) para Poder calorífico inferior (PCI).

Entretanto, para Mattos (2001), esses valores em tep não podem ser convertidos diretamente em terajoules (TJ), pois, no Balanço Energético Nacional, o conteúdo energético dos combustíveis tem como base seu poder calorífico superior (PCS). Para o IPCC, a conversão para uma unidade comum de energia deve ser feita multiplicando-se o consumo de combustível pelo seu poder calorífico inferior (PCI). A justificativa é que os fatores de emissão de carbono recomendados pelo IPCC (2006), em quantidade de carbono por unidade de energia, são definidos com base na energia efetivamente aproveitável do combustível. Os fatores de correção para transformar o PCS em PCI, usados pela Comunicação Nacional, são 0,95 para os combustíveis sólidos e líquidos e 0,90 para os combustíveis gasosos.

No entanto, a partir da edição de 2003, o Balanço Energético Nacional (BEN) passou a adotar os critérios internacionais mais usuais para a conversão das unidades comerciais de energia em uma unidade comum de referência. Assim, todos os fatores de conversões passam a ser determinados com base nos poderes caloríficos inferiores das fontes de energia (MME, 2009). Desta forma, não mais se utiliza o fator de correção proposto anteriormente, de modo que a equação 1 pode ser representada da seguinte forma, conforme Equação 1a:

$$CC = CA \times F_{Conv} \times 45,2 \times 10^{-3} \quad (1a)$$

Assim como o conteúdo energético, os combustíveis possuem diferentes quantidades de carbono (MATTOS, 2001). Os fatores de emissão (Femiss) utilizados neste trabalho foram fornecidos pelo IPCC, exceto para energia hidráulica/energia elétrica, que foram obtidos através do Ministério de Ciência e Tecnologia. Na ausência de fatores de emissão locais, aqueles recomendados no IPCC (2006) podem ser utilizados como referência (ÁLVARES & LINKE, 2001).

Dando continuidade à aplicação de fórmulas referentes à metodologia *Top-down*, a quantidade de carbono emitida na queima do combustível deve ser calculada conforme a Equação 2:

$$QC = CC \times Femiss \times 10^{-3}, \quad (2)$$

onde: QC = Quantidade de carbono (GgC); CC = Consumo de energia (TJ); Femiss = Fator de emissão de carbono (tC/ TJ); 10^{-3} =

para transformar toneladas de carbono (tC) em gigagramas de carbono (GgC).

Em alguns combustíveis, parte do carbono fica estocada, fixada, o que se denomina fração de carbono aprisionada. Ou seja, nem toda a quantidade de carbono acaba sendo emitida para a atmosfera. Em determinados procedimentos metodológicos, esta fração de carbono fixada é considerada, o que resulta em uma parcela menor de carbono emitido. Contudo, na presente pesquisa, foi considerado todo o conteúdo de carbono dos combustíveis, uma vez que, em média, 99% do carbono contido nos combustíveis é oxidado durante o processo de combustão (MATTOS, 2001).

Assim, o conteúdo de carbono obtido através da Equação 2 foi considerado como emissão de carbono na Equação 3, conforme segue:

$$ECO_2 \text{ (Gg)} = EC \text{ (Gg)} \times 44/12 \quad (3)$$

onde: ECO_2 = emissão de CO_2 ; EC = emissão de C; Em função dos respectivos pesos moleculares, 44 t de CO_2 corresponde a 12 t de C ou $1 \text{ t } CO_2 = 3,666 \text{ t C}$.

A metodologia *Top-down* foi utilizada para a contabilização de emissões de GEEs provenientes nas seguintes atividades: combustão de gás natural para geração de energia nos processos industriais internos, consumo de combustíveis na frota da indústria, consumo de combustíveis no transporte de resíduos, consumo de combustíveis na frota utilizada pelos funcionários (trajeto casa-indústria/indústria-casa) e co-processamento de resíduos.

Metodologia *Bottom-Up* – Para o cálculo de emissões de gases do efeito estufa provenientes do consumo de energia elétrica

A metodologia *Bottom-Up* foi utilizada para o cálculo das emissões provenientes do consumo de energia elétrica na Metal Master. Os fatores de emissão utilizados na metodologia *Bottom-Up* variam amplamente de acordo com o país e com a tecnologia do processo em análise. As características industriais, econômicas e socioculturais devem ser levadas em consideração para a realização do cálculo do fator de emissão. Para o cálculo das emissões provenientes da utilização de energia elétrica através da Equação 4, foi utilizado o fator de emissão de CO_2 fornecido pelo Ministério de Ciência e Tecnologia referente ao ano de 2008.

$$\text{Emissões } (CO_2) = \text{Fator de emissão } (CO_2) \times \text{Consumo de energia (tep)} \quad (4)$$

onde, Emissões (CO_2) = Emissões de dióxido de carbono; Fator de emissão = Fator de emissão para dióxido de carbono; Consumo de energia = Energia consumida mensalmente (em tep).

Método de Decaimento de Primeira Ordem – Para cálculo de emissões de gases do efeito estufa para resíduos dispostos em aterro Sanitário

A metodologia desenvolvida pelo IPCC (2006) para estimar as emissões de metano pela disposição de resíduos sólidos em aterro é baseada no método de Decaimento de Primeira Ordem (DPO) e foi utilizada neste trabalho. Este método considera que o orgânico degradável nos resíduos decai lentamente ao longo de algumas décadas, durante as quais o metano (CH₄) e o dióxido de carbono (CO₂) são produzidos. Se as condições são constantes, a taxa de produção de metano ocorre somente em função da quantidade de carbono remanescente do resíduo. Assim, as emissões provenientes da disposição de resíduos em aterro sanitário são maiores nos primeiros anos e, então, declinam gradualmente enquanto o carbono degradável no resíduo é consumido pelas bactérias responsáveis pelo decaimento (IPCC, 2006). Este cálculo é realizado através da Equação 5:

$$\text{Emissões de metano} = \Sigma(\text{RSUD} \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{CODR} \times \text{FEM} \times 16/12 - \text{R}) (1-\text{OX}) \quad (5)$$

onde: RSUD = Quantidade total anual de Resíduos Sólidos Urbanos Dispostos em aterro sanitário, expresso em milhares de toneladas por ano, FCM = Fator de Correção do Metano. No caso de aterros sanitário, este fator é igual a 1, COD = Carbono Organicamente Degradável, CODR = Fração do COD que realmente degrada, FEM = Fração de Carbono Emitida como Metano, 16/12 = Taxa de conversão, de acordo com o peso molecular do carbono e do metano, R = Metano Recuperado, OX = Fator de oxidação.

Para determinação do Carbono Organicamente Degradável (COD), é aplicado o fator correspondente à participação percentual do peso de cada componente do lixo, conforme a Equação 6:

onde: COD = (0,4 x % do peso de papel e papelão) + (0,17 x % do peso de folhas) + (0,15 x % do peso de restos alimentares) + (0,3 x % do peso de madeira).

Assim, a metodologia citada foi utilizada para o cálculo das emissões provenientes da disposição de resíduos sólidos da empresa Metal Master no aterro sanitário de Nova Iguaçu (RJ).

Metodologia para cálculo de emissões de gases do efeito estufa de esgotos domésticos

As equações utilizadas pelo IPCC para o cálculo de emissões anuais provenientes de efluentes domésticos são descritas a seguir, conforme Equações 6 a 9.

$$\text{COT} = \text{Pop} \times \text{COD} \times 265 \times \text{I} \quad (6)$$

onde: COT = Carga orgânica total; Pop = População; COD = Componente orgânico de degradação; I = Fator de correção para a DBO adicional

proveniente de indústrias despejada no sistema de coleta. 265 = Dias trabalhados na Metal Master no ano de 2008.

$$\text{FE} = \text{B0} \times \text{MCF} \quad (7)$$

onde: FE = Fator de emissão; B0 = Capacidade máxima de produção de metano; MCF = Fator de correção do metano (adimensional).

$$\text{CH}_4 = \text{COT} \times \text{FE} \quad (8)$$

EmCH₄ = Produção de metano; COT = Carga orgânica total; FE = Fator de emissão.

$$\text{ELM} = \text{EmCH}_4 - \text{MR} \quad (9)$$

onde: ELM = Emissões líquidas de metano; EmCH₄ = Produção de metano; MR = Metano recuperado

Metodologia para cálculo de emissões de gases do efeito estufa de efluentes industriais

As emissões de gases do efeito estufa provenientes da Estação de Tratamento de Dejetos Industriais são calculadas com auxílio da metodologia *Top-Down* em função dos resíduos co-processáveis gerados.

Os resultados foram classificados em 3 escopos:

- Escopo 1 – emissões diretas a partir de fontes que pertencem à instituição ou que podem ser controladas por ela;
- Escopo 2 – emissões indiretas advindas da aquisição de energia elétrica por parte da instituição — são as emissões que ocorrem no local onde a energia é produzida, e não nos limites organizacionais da instituição, onde é consumida; e
- Escopo 3 – emissões que ocorrem em função das atividades da instituição, mas que não pertencem/não podem ser controladas por esta (GHG, 2013).

Após a quantificação das emissões de GEE pelas atividades da Metal Master, foram realizados estudos com a finalidade de propor medidas efetivas para neutralização compensatória dessas emissões.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Classificadas no Escopo 1, encontram-se as emissões provenientes da frota própria e dos processos industriais internos. Classificadas no Escopo 2, estão as emissões provenientes do consumo de energia elétrica. E, classificadas no Escopo 3, estão as emissões provenientes dos resíduos, dos efluentes domésticos e industriais gerados e do transporte dos funcionários. Os resultados foram calculados com base nos dados obtidos através da aplicação do questionário.

Com este levantamento, foi possível obter informações referentes a fontes de energia, como o consumo de energia elétrica e dados da quantidade de MWh consumidos, sobre o deslocamento dos funcionários de casa para o trabalho e do trabalho para casa, geração dos resíduos sólidos, efluentes e outras informações importantes sobre a dinâmica de funcionamento da empresa Metal Master.

Escopo 1

Frota própria

O cálculo de emissões de GEE com origem no consumo de combustíveis pela frota própria se deu em função do tipo de combustível utilizado. Assim, modificações nos combustíveis utilizados pela frota própria da Metal Master são suficientes para gerar uma diminuição nas emissões de GEE. A frota da Metal Master é formada por um carro movido a gasolina, um caminhão movido a diesel e uma empilhadeira movida por Gás de Petróleo Liquefeito (GLP).

As emissões anuais de CO₂ ocasionadas por combustão de gasolina no carro da Metal Master são de 1,28x10⁻³ Gg. Com a troca de combustível, para etanol ou gás natural, considerando as mesmas condições de uso, as emissões seriam de respectivamente 8,57x10⁻⁴ Gg de CO₂ e 6,35x10⁻⁴ Gg de CO₂. Isso representa uma redução de 49,7%, no caso do Gás Natural Veicular (GNV). Para o etanol, em função da procedência do combustível pode ser considerada uma redução de 100% nas emissões.

Para o caminhão da Metal Master, a modificação do combustível de óleo diesel para o GNV seria suficiente para reduzir as emissões CO₂ em aproximadamente 73%, caindo de 0,052 Gg de CO₂ para 0,038 Gg de CO₂.

Em relação à empilhadeira, a GLP da Metal Master, são emitidos 2,31x10⁻² Gg de CO₂. No entanto, caso fosse realizada a conversão da empilhadeira a GLP da Metal Master para GNV, as emissões seriam de 2,19x10⁻² Gg de CO₂ (redução de 5,2%).

Além disso, caso a empilhadeira consumisse energia elétrica, as emissões seriam de 4,28x10⁻⁵ Gg de CO₂ (redução de 99,81%).

Somente com a modificação dos combustíveis utilizados nos veículos da frota própria é possível obter uma redução de 3,8x10⁻² Gg de CO₂ por ano o que representa um percentual de 50,19% de redução nas emissões.

A Tabela 1 mostra a redução total em função da modificação dos combustíveis utilizados na frota própria da Metal Master.

Processos industriais internos

Nos processos de fosfatização, serigrafia, cabine de pintura líquida e cozinha do restaurante, a Metal Master emite não apenas o CO₂, mas também N₂O e CH₄. O potencial de aquecimento global para o metano é 21 e para o óxido nitroso é 310.

Nos processos industriais e na cozinha do restaurante, o combustível utilizado é o gás natural. Para minimizar as emissões de carbono equivalente, é válido realizar a combustão do metano a fim de emitir somente CO₂. Esta queima pode se dar através de equipamentos denominados “*flares*”, onde ocorre a oxidação do metano em dióxido de carbono, sendo essa uma reação estequiométrica. (MARCHEZI, 2009).

Assim, considerando tais valores de potencial de aquecimento global, é possível calcular as toneladas equivalentes em CO₂, conforme pode ser observado na Tabela 2.

As emissões de CH₄ resultam em 5,51x10⁻² toneladas equivalentes de CO₂, anualmente. Com a utilização do “*flare*” seriam emitidas para a atmosfera 2,62x10⁻³ toneladas de CO₂. Tal fato ocasionaria em uma redução de 5,248x10⁻² toneladas de CO₂ equivalentes emitidos para a atmosfera (95,25%).

Tabela 1 - Emissões anuais - Frota Própria.

Veículo	Emissões Anuais (Gg)		% de redução de emissões
	Sem modificações	Com modificações sugeridas	
Carro	0,00128	0	100,00
Caminhão	0,052	0,038	73,00
Empilhadeira	0,0231	0,0000428	99,80
Total	0,07638	0,0380428	50,19

Tabela 2 - Emissões de CO₂ equivalente em função do potencial de aquecimento global dos gases estufa emitidos anualmente.

GEE	Emissões anuais (Gg)	PAG	CO ₂ eq (Gg)	CO ₂ eq (Gg) Com modificações Propostas	% de redução	Observações
CO ₂	0,14686	1	0,147	0,147	0,00	
CH ₄	2,62x10 ⁻⁶	21	0,0000551	0,00000262	95,25	Queima do CH ₄ em flare
N ₂ O	2,62x10 ⁻⁶	310	0,000813	0,000813	0,00	
Total			0,1478681	0,14781562	0,04	

GEE: gases de efeito estufa; PAG: potencial de aquecimento global.

Escopo 2

Consumo de energia elétrica

Considerando o consumo anual de energia elétrica da Metal Master, são emitidas $8,8 \times 10^{-3}$ Gg de CO_2 . Além da energia elétrica fornecida pela rede convencional, a empresa também utiliza sistema de energia solar para aquecimento direto que é utilizado nos chuveiros. Para obter o controle operacional da produção de energia elétrica seria necessário um investimento em fontes alternativas de energia, como energia solar fotovoltaica. Esta modificação seria capaz de reduzir as emissões provenientes do consumo de energia elétrica de forma significativa.

Escopo 3

Em relação às emissões de escopo 3, é importante ressaltar que não é de responsabilidade da empresa reduzi-las, em virtude destas não estarem sob o seu controle operacional. No entanto, algumas alternativas para redução das emissões foram propostas e são apresentadas no decorrer deste trabalho nos tópicos “resíduos, efluentes sanitários e efluentes industriais”, a seguir.

Resíduos

Dentre os resíduos gerados pela Metal Master, estão: papel, papelão, isopor, madeira, plástico, vidro, metais, lâmpadas de mercúrio (que são enviados à reciclagem), assim como resíduos industriais, como substâncias sólidas perigosas (estopa/panos e serragem embebidos em óleo ou solventes, óleo solúvel, solvente de tinta, borra de resina acrílica, lama de estação de tratamento de efluentes industriais). Estes resíduos industriais são enviados ao co-processamento, enquanto o lixo de varrição (fábrica e cozinha) é enviado para o aterro sanitário de Nova Iguaçu e os demais para reciclagem.

Anualmente, são emitidos 5,48 Gg de CH_4 pela deposição de resíduos não-recicláveis/orgânicos em aterro sanitário. Considerando que o potencial de aquecimento global do metano é 21 vezes mais efetivo que o CO_2 , o valor de emissões anuais de CO_2 equivalente refere-se a 0,0011 Gg.

Em relação aos resíduos enviados para a reciclagem pela Metal Master, não foram contabilizadas suas emissões, pois quando reciclados serão utilizados novamente e, assim, não serão dispostos de modo a gerar gases do efeito estufa (em aterros ou lixões). Para tais resíduos, foram contempladas somente as emissões provenientes do transporte dos mesmos até o local de reciclagem.

O controle de emissões ocasionadas pela disposição de resíduos orgânicos não-recicláveis em aterros sanitários pode se dar através do processo de queima/reutilização do biogás produzido pela decomposição destes resíduos, uma vez que, através deste processo, o CH_4 , após a combustão, seria transformado em CO_2 , reduzindo a quantidade de CO_2 equivalente emitidos. É importante ressaltar que, pela biomassa

gerada se tratar de material renovável, é possível considerar que o CO_2 liberado pela mesma fora assimilado em algum momento pelo processo de fotossíntese. É imprescindível ressaltar que a proposta de queima/reutilização de 100% do biogás estaria além do controle e influência da Metal Master a partir do momento que estes resíduos fossem entregues ao aterro sanitário.

Os valores referentes às emissões relacionadas aos resíduos, considerando o transporte (para aterro e local de reciclagem), emissões referentes ao co-processamento e decomposição em aterro sanitário, encontram-se na Tabela 3.

Efluentes domésticos

Para o cálculo das emissões com origem na geração de efluentes domésticos foram levadas em consideração o volume de água fornecida pela Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro (CEDAE) é de 1.800 m^3 por mês, enquanto o volume dos efluentes líquidos gerados diariamente pelos funcionários da Metal Master é de $2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$. Dessa forma as emissões anuais de CH_4 são de $1,0 \times 10^{-4}$ Gg, correspondendo a $2,2 \times 10^{-3}$ Gg de CO_2 equivalente.

As emissões de GEE's provenientes dos efluentes domésticos da Metal Master podem ser reduzidas através da implantação de um sistema de tratamento anaeróbio destes efluentes por meio de biodigestores, que por digestão anaeróbia, produzem biogás. De acordo com Villela Junior (2003), qualquer material orgânico submetido a um processo de biodigestão anaeróbia, com auxílio de um biodigestor, produz biogás, que possui o metano como seu principal componente energético. Após ser purificado, esse gás pode ser utilizado para aquecimento e sistemas de geração de energia elétrica (RIBEIRO LIMA, 2009).

De acordo com Ribeiro Lima (2009), os sistemas de produção de biogás, além de produzirem energia necessária para atividades locais, podem gerar um excedente energético. Quando se opta por sistemas de co-geração, parte da energia elétrica pode ser utilizada nas próprias instalações onde o biodigestor foi instalado e parte pode ser comercializada.

Efluentes industriais

Todo o processo de tratamento de efluentes industriais da Metal Master ocorre aerobiamente, ou seja, na presença de O_2 , não gerando CH_4 . Segundo o IPCC Guidelines (2006), o fator de emissão para instalações de tratamento aeróbio é igual a zero. Logo, não há emissão deste GEE através deste processo. No entanto, os resíduos produzidos ao longo dos processos, tais como lama de hidróxidos de metais pesados (ETDI), solvente de tinta e resina acrílica, geram dióxido de carbono uma vez que são enviados para co-processamento, onde ocorre combustão. Assim sendo, as emissões de CO_2 foram consideradas em função dos resíduos co-processáveis gerados, uma vez que ocorre combustão na destinação final destes resíduos.

Transporte de funcionários

A escolha pelo combustível utilizado em frota de terceiros independe de atitudes por parte de Metal Master. Entretanto, apesar da Metal Master não poder controlar tal questão, ela pode gerar certa influência em determinados aspectos.

De acordo com este ponto de vista, a Metal Master pode adotar políticas para favorecer a contratação de funcionários da comunidade onde atua e/ou contratação de funcionários que residam próximo à empresa. Desta forma, com o percurso reduzido no trajeto casa-empresa/empresa-casa, uma quantidade menor de combustíveis na frota de terceiros poderia ser utilizada, reduzindo o número de emissões, assim como alguns funcionários poderiam se direcionar até a fábrica sem utilizar nenhum tipo de meio de transporte ou através de outras opções não-poluentes como, por exemplo, de bicicleta. As emissões provenientes do transporte de funcionários podem ser observadas na Tabela 3. Conforme pode ser observado na Tabela 3, caso as alternativas propostas para redução de emissões do Escopo 1 da Metal Master fossem adotadas, seria possível obter uma redução de 54,98% das emissões anuais, passando de $9,89 \times 10^{-1}$ para $1,99 \times 10^{-1}$ Gg. É importante ressaltar que as modificações nas demais fontes de emissão, pertencentes aos Escopos 2 e 3, não estão sob o controle operacional da empresa. Também relevante ressaltar que as emissões dos escopos 2 e 3 da Metal Master fazem parte do Escopo 1 de outras instituições que, caso adotassem medidas de redução, também poderiam contribuir de forma significativa para a redução das emissões de GEE para a atmosfera e, assim, combater a mudança do clima.

Dentre as fontes que mais contribuem para a emissão de gases do efeito estufa na Metal Master, estão as emissões diretas CO_2 por processos industriais.

Considerando a redução das emissões através do emprego das alternativas propostas, as emissões da Metal Master poderiam passar de 0,436 gigagramas de CO_2 equivalente para 0,397 gigagramas de CO_2 equivalente. Ou seja, poderia haver uma redução de 8,93% das emissões de CO_2 equivalente.

Além da redução de 8,93%, a empresa também possui a opção de compensar suas emissões através de reflorestamento ou através da utilização de microalgas e cianobactérias.

De acordo com Ditt, Rocha e Padua (2007), com base na coleta de dados referentes à altura, circunferência e densidade das árvores no bioma Mata Atlântica, é estimada a biomassa da parte aérea das árvores que formam o dossel da floresta, o que corresponde a 133,4 toneladas de biomassa por hectare. É considerado que metade deste valor corresponda ao carbono estocado nas árvores, 66,7 toneladas por hectare. Assim, a estimativa de carbono estocado, ao final de 30 anos (em média), considerando tanto o dossel da floresta, o sub-bosque e as raízes, é de 86,4 toneladas por hectare, que corresponde a 317,24 toneladas de CO_2 por hectare.

Em função do bioma Mata Atlântica, terceiro maior em extensão territorial do Brasil, “predominar” no Estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2009), os dados referentes à quantidade de carbono estocado e CO_2 sequestrado por hectare foi considerado em relação a este bioma. Assim, em relação às emissões de CO_2 da Metal Master,

Tabela 3 - Emissões e percentual de redução em função das alternativas propostas.

Escopo	Fontes	Emissões Anuais de CO_2 equivalente (Gg)		% de redução de emissões	Observações
		Sem modificações	Com modificações sugeridas		
1	Veículos da empresa	0,0013	0	100,00	Carro - gasolina e álcool
		0,0524	0,0378	27,86	Caminhão - diesel e GNV
		0,0231	0,00004	99,81	Empilhadeira - GLP e energia elétrica
2	Processos Industriais	0,1479	0,14782	0,04	Utilização de Flare para queima de CH_4
2	Energia Elétrica	0,0088	0,0088	0,11	
3	Efluentes Domésticos	0,0022	0,0022	0,00	
	Efluentes Industriais	0	0	0,00	
	Resíduos	0,00115	0,00115		Não Recicláveis e orgânicos (destinação)
		0,0211	0,0211		Não Recicláveis e orgânicos (transporte)
		0,0553	0,0553		Co-processáveis (destinação)
		0,0015	0,0015		Co-processáveis (transporte)
		0,0104	0,0104		Recicláveis (transporte)
Transporte Funcionários	0,1117	0,1117		Transporte residência-empresa-residência	
Total		0,4368	0,39778906	8,93	

uma das alternativas de sequestro de carbono proposta é o florestamento e o reflorestamento a fim de capturar tal quantidade de CO₂ emitidas no ano de 2008.

A Tabela 4 apresenta a estimativa do número de hectares para reflorestamento do Bioma Mata Atlântica necessário para a neutralização compensatória de carbono da Metal Master. De acordo com esta tabela, são necessários o plantio e conservação, ao longo de 30 anos, de 1,33 hectares do bioma Mata Atlântica para compensar as emissões de gases do efeito estufa emitidos na atmosfera no ano de 2008 pela Metal Master.

É válido salientar que o número de hectares poderá ser reduzido caso as propostas para redução de emissão de GEEs sejam implementadas. Caso estas ações sejam aplicadas, as emissões cairiam de 0,436,8 Gg de CO₂ para 0,397 Gg de CO₂, o que corresponde a uma redução de 8,93%. Assim, seria necessário um número menor de hectares plantados do bioma Mata Atlântica para a neutralização compensatória do CO₂, que cairia de 1,37 para 1,25 ha.

Outra opção de compensação das emissões é captura de CO₂ através de microorganismos (microalgas e cianobactérias). Atualmente, muitas empresas e instituições de pesquisa vêm buscando a viabilidade técnica e financeira do uso de microalgas para fins de absorção de CO₂, de modo a contribuir para a mitigação do efeito estufa (DIAS, 2009).

As microalgas possuem capacidade de absorver uma quantidade maior de CO₂ do que os vegetais (DIAS, 2009). De acordo com Moraes e Costa (2008), a microalga *Scenedesmus obliquus*, quando cultivada em fotobiorreatores com KNO₃ e CO₂ atmosférico, podem apresentar uma taxa de remoção de CO₂ igual a 22,97%.

A utilização de microalgas pode apresentar também outros benefícios, como a produção de biocombustível, como o biodiesel e o etanol, a partir da biomassa produzida ao longo do cultivo. Além disso, as culturas podem ser enriquecidas com efluentes domésticos, uma vez que estes apresentam alto teor de Nitrogênio e Fósforo, que são nutrientes essenciais para os organismos (DIAS, 2009).

Tabela 4 - Neutralização compensatória de CO₂ através de florestamento e/ ou reflorestamento em hectares do bioma Mata Atlântica.

Somatório de emissões geradas pela Metal Master em 2008 (Gg CO ₂)	Somatório de emissões geradas pela Metal Master em 2008 (Ton CO ₂)	Ton de CO ₂ sequestrado por hectare no bioma Mata Atlântica ¹	Número de hectares para neutralização de emissões
0,42185	436,8	317,24*	1,37

*Dado retirado de Ditt, Rocha e Padua (2007).

Tanto o reflorestamento quanto a absorção de CO₂ podem ser considerados pela Metal Master para que suas emissões de gases de efeito estufa possam ser compensadas.

CONCLUSÃO

A quantidade de emissões da Metal Master pode reduzir em 39 toneladas equivalentes de CO₂, no período de um ano, caso sejam adotadas as medidas mitigadoras apontadas.

Determinadas fontes de emissões de gases do efeito estufa relacionadas às atividades da Metal Master impõem obstáculos à empresa no que se refere à tentativa de diminuição de emissões por se tratarem de fontes que estão além do controle e/ou influência desta empresa.

É possível afirmar que esta empresa é capaz de reduzir suas emissões de modo significativo, a ponto de compensá-las. Esta redução pode se dar através de medidas mitigadoras, tais como as estratégias de controle específicas para a Metal Master, que evitariam as emissões, e também através de reflorestamento, que possibilitaria o sequestro do CO₂ emitido. Entretanto, caso a empresa decida por não adotar as estratégias de controle específicas, é possível compensar suas emissões apenas com o reflorestamento.

A utilização do reflorestamento como única ferramenta de compensação pode se mostrar vantajosa a curto prazo por não acarretar maiores modificações na rotina dos processos industriais, mas, ao longo dos anos, pode ser necessária uma grande área para o reflorestamento. Este fato denota a importância de modificações no ambiente industrial, de modo a permitir a compensação em longo prazo.

Além do reflorestamento, a empresa pode também optar por projetos de captura de CO₂ através de microorganismos.

A neutralização compensatória de carbono representa uma melhoria nas questões ambientais das instituições e, conseqüentemente, uma contribuição para a melhoria contínua daquelas que possuem um sistema de gestão ambiental.

Os resultados obtidos neste trabalho, somados a futuras pesquisas em outros setores, que não o industrial, tais como os setores de transporte e saneamento poderão diminuir os efeitos negativos das atividades da Metal Master e de outras indústrias. A aplicação de pesquisas semelhantes em instituições diversas poderá acarretar em benefícios em relação à mitigação da intensificação do efeito estufa uma vez que o somatório das emissões evitadas poderá ser elevado. Através destas mudanças em diferentes setores, será possível, em um futuro próximo, estabelecer uma economia de baixo carbono.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, J.L.R.; MACHADO, M.N.M.; MEIRELLES, A.M. (2011) Mudanças climáticas e aquecimento global: implicações na gestão estratégica de empresas do setor siderúrgico de Minas Gerais. *Cadernos EBAPE.BR*, v. 9, n. 2, p. 220-240.
- ÁLVARES Jr., O.M. & LINKE, R.R.A. (2009) *Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frota de veículos no Brasil*. São Paulo: Cetesb, 2009. Disponível em: <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/proclima/PDF/inventario_efeitoestufa.pdf>. Acesso em: 13 de jun. 2009.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. (2009) Balanço Energético Nacional 2008: *Sumário Executivo – ano base 2007*. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia.
- DIAS, F.A.P. *Avaliação técnica-econômica da fixação de CO₂ de fontes estacionárias por microalgas – estudo de caso da usina termelétrica Barbosa Lima Sobrinho*. Em publicação. Rio de Janeiro.
- DITT, E.H.; ROCHA, M.T.; PADUA, C.V. (2007) Estudos de Viabilidade de Projetos de Carbono para Mitigação Climática, Redução da Pobreza e Conservação da Biodiversidade no Pontal do Paranapanema, São Paulo. In: Klink, C. (Org.) *Quanto mais quente melhor?* Desafiando a sociedade civil a entender as mudanças climáticas. São Paulo: Instituto Internacional de Educação do Brasil.
- FUCHS, P.G.; MACEDO-SOARES, T.D.V.A.; RUSSO, G. (2009) Modelo conceitual para avaliação de práticas e estratégias climáticas: resultados de sua aplicação nos setores automotivo e de papel e celulose no Brasil. *Revista de Administração Pública*, v. 43, n. 4, p. 837-74.
- GREENHOUSE GAS PROTOCOL – GHG. *Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol*. Disponível em: <<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/especificacoes-do-programa-brasileiro-ghg-protocol?locale=pt-br>>. Acesso em: 17 fev. 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2004) *IBGE lança o Mapa de Biomas do Brasil e o Mapa de Vegetação do Brasil em comemoração ao Dia Mundial da Biodiversidade*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em: 09 set. 2009.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. [internet] Disponível em <www.ipcc.ch>. Acesso em: 08 de agosto de 2009.
- LA ROVERE, E.L. (Coord.) (2005) *Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa da cidade de São Paulo*. São Paulo: Prefeitura da Cidade de São Paulo.
- MARCHEZI, R.S.M. (2009) *Uso do mecanismo de desenvolvimento limpo: uma visão de negócios para projetos ambientais*. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) – Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- MATTOS, L.B.R. (2001) *A importância do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa – O caso do município do Rio de Janeiro*. Tese (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MORAIS, M.G & COSTA, J.A.V. *Bioprocessos para remoção de dióxido de carbono e óxido de nitrogênio por micro-algas visando a utilização de gases gerados durante a combustão do carvão*. *Química Nova*, São Paulo, v. 31, n. 5, 2008.
- OJIMA, R. (2011) As dimensões demográficas das mudanças climáticas: cenários de mudança do clima e as tendências do crescimento populacional. *Revista Brasileira de Estudos de População*, v. 28, n. 2, p. 389-403
- RIBEIRO LIMA, P.C. (2007) *Biogás na suinocultura: Uma importante fonte de geração de energia*. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br/bd/handle/bdcamara/1724>>. Acesso em: 15 set. 2009.
- VILLELA JUNIOR, L.V.E., ARAUJO, J.A.C., FACTOR, T.L. (2003) Estudo da utilização do efluente de biodigestor no cultivo hidropônico do meloeiro. *Rev Bras Eng Agríc Ambient*. [online], v. 7, n. 1, p. 72-79.