



INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA PARA FUNDIÇÕES DE AÇO

Rafael Correa Castro

rafael.safety@gmail.com
Universidade de Sorocaba,
Sorocaba, São Paulo, Brasil

**Fabio Vinicius do Pinho
e Pereira**

fabio.v.pereira@gmail.com
Universidade de Sorocaba,
Sorocaba, São Paulo, Brasil

Nobel Penteado de Freitas

nobel.freitas@prof.uniso.br
Universidade de Sorocaba,
Sorocaba, São Paulo, Brasil

RESUMO

A preocupação com os gases de efeito estufa tem sido uma temática bastante difundida entre as comunidades científicas em relação aos impactos causados ao meio ambiente ao longo dos anos. As políticas públicas, cada vez mais, estreitam suas ações para mitigação dos danos que o homem provoca ao planeta, desenvolvendo mecanismos de controle e monitoramento. As empresas, por sua vez, começam a desenvolver um olhar para a questão, não só para a melhoria de qualidade de vida e sustentação das estruturas biológicas, mas também como forma de garantir seus negócios de forma estratégica. A partir do estudo realizado em uma fundição de aço na cidade de Sorocaba, foram mapeadas as fontes de emissões, cujos dados relacionados foram analisados de acordo com os parâmetros estabelecidos pelo Greenhouse Gases Protocol. Foram observadas as emissões dos anos de 2013 e 2014, estabelecendo uma análise comparativa e pontuando as principais ações de maior relevância no processo de redução destas fontes.

Palavras-chave: Fundição de aço; gases de efeito estufa; inventário.



1. INTRODUÇÃO

Verifica-se que, em um período de 100 anos entre os séculos XX e os primeiros anos do século XXI, houve um aumento na temperatura mundial entre 0,6 a 0,7°C. Atualmente, esta década apresentou, em três anos consecutivos, os anos mais quentes dos últimos 1000 anos da história recente do planeta Terra (NAE, 2005a).

Por meio do Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC), observou-se um aumento dos gases do efeito estufa (GEE), especificamente os aerossóis. Estas emissões consistem em caráter acumulativo, sendo observado que o dióxido de carbono (CO₂), oriundo da queima de combustíveis fósseis, tais como carvão mineral, petróleo e gás natural, é o principal gás causador. Este histórico perdura desde a revolução industrial, atrelado, também, em menor escala, ao desmatamento da cobertura vegetal.

Deste modo, a alteração do clima vem se manifestando de diversas formas, destacando-se o aquecimento global, alterações climáticas extremas, índices pluviométricos alterados, elevações dos níveis dos oceanos e a diminuição das geleiras. Caso não sejam adotadas ações efetivas nas próximas décadas, poderemos agravar a situação atual (Sant'Anna Neto, 2000).

A partir dessa premissa surgiu a Convenção do Clima, com objetivo de mitigar os aumentos nas emissões atmosféricas, entender os problemas das mudanças climáticas e os ecossistemas do planeta. Esta convenção foi de caráter universal, firmada e ratificada por todos os países objetivando a minimização da magnitude da mudança climática. Em 1997, na cidade de Quioto no Japão, foi realizada a terceira Conferência das Partes (COP 3), que culminou na adoção, por consenso, do Protocolo de Quioto, (NAE, 2005b).

O Protocolo de Quioto definiu que os países industrializados tinham como meta a redução de pelo menos 5,2% de suas emissões combinadas de gases de efeito estufa em relação aos níveis de 1990. Para que o protocolo sediado no Japão entrasse em vigor, seria necessária a ratificação de pelo menos 55 países, que juntos deveriam corresponder por pelo menos 55% das emissões globais de GEE (Oliveira, 2008).

O protocolo entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005, constituindo um compromisso legal que vincula todas as partes envolvidas, e a não observação de alguma parte estará sujeita a penalidades dentro do escopo do protocolo. Este fato reforça a necessidade dos países emergentes com economia em expansão, tais como China, Índia e Brasil, a se inserirem no grupo e reduzirem seus passivos ambientais, entre eles as emissões atmosféricas. Esta atenção foi observada, em razão dos países em desenvolvimento não terem

obrigatoriedade de metas anexadas para redução das emissões. Do ponto de vista econômico, estes países podem contribuir com o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Sendo assim, receberiam apoio financeiro para projetos com desenvolvimento sustentável, conhecimento científico e adoção de inovações tecnológicas (NAE, 2005a).

Com esta diretriz, o Brasil analisou e colocou em debate que a emissão em caráter anual não evidencia boa aproximação das responsabilidades comuns na mudança do clima. Deste modo, é permeada a política do poluidor pagador, estabelecendo limites para emissão dos GEE. Outra condição destacada é a utilização de “emissões acumulativas” ao invés de “aumento de temperatura”, visando e simplificando o índice acumulativo e aproximando o número do aumento de temperatura. Deste modo, será possível a verificação de responsabilidades de cada país no aumento ou diminuição da concentração de gases limitados e fixados em Quioto (NAE, 2005a).

No mundo estão ocorrendo discussões relevantes vinculadas a emissões atmosféricas. No Brasil, este tema está sendo discutido também, porém de forma mais morosa (Pikman et al., 2015).

Nos cenários corporativos, existe um compromisso entre as nações unidas em reduzir as emissões desde o protocolo de Quioto. A Europa vem encabeçando o processo de descarbonificação em suas emissões. As mudanças de formas mais simplificadas já ocorreram, e, no presente momento, restam os ônus que envolvem um maior investimento.

Já existe uma mobilização acerca da problemática envolvendo os processos de geração de energia com maior emissão de carbono para processos de emissões mais limpas. Um exemplo evidente está na troca do processo termoeletrônico por utilização de gás natural, em seguida, trocar a energia a gás pela energia solar, objetivando a redução de emissões de GEE na atmosfera.

Este tipo de conceito vem sendo absorvido pelas empresas não somente pela sustentabilidade, mas, também, para promover competitividade de mercado.

Observa-se que as emissões nos Estados Unidos vêm em um declínio de 28% desde o ano de 2012, enquanto a produção obteve um crescimento de 1,8% devido à utilização do gás de xisto como energia alternativa em processos industriais e domésticos. Este gás tem sido uma das opções de energia com menor emissão de CO₂ em relação aos combustíveis fósseis e de baixo custo de venda, sendo indicado na pauta de assuntos e discutido na conferência de Paris COP 21. Refere-se, nesta questão, o desconhecimento de captura deste gás, pois qualquer desvio no processo pode acarretar problemas, gerando impacto ambiental, o que pode inviabilizar



lizar a utilização deste recurso. Os estudos sobre este gás são recentes, e nem todos os países aderem a esta solução com otimismo (Pikman et al., 2015).

Para a indústria, os modelos climáticos podem gerar impactos, como elevação do nível do mar, eventos como incidência de raios, aumento de doenças epidemiológicas ou até mesmo aumento ou diminuição do nível pluviométrico das chuvas nas regiões onde as empresas estão instaladas.

As empresas vêm se antecipando em relação à mudança climática e se planejando de forma pontual para este problema. No caso das indústrias de mineração, elas são instaladas em locais pré-definidos, ou seja, nos locais onde os minérios se localizam (Pikman et al., 2015).

Estudos realizados com estimativas de 40 anos observam sempre o pior cenário, destacando como a empresa lidaria com essas dificuldades mantendo o desempenho produtivo. Nessa oportunidade, ocorre uma avaliação minuciosa envolvendo os riscos financeiros, os processos, a exposição do nome da empresa e, então, acontece a decisão de investimentos para os controles futuros (Pikman et al., 2015).

O Estado de São Paulo, assumindo o seu papel mediante as alterações climáticas, por meio da Lei nº 12.187 de dezembro de 2009, implementou critérios para redução dos gases do efeito estufa, indicando condições, processos ou atividades que emitam gases caracterizados como GEE, buscando alternativas mais limpas. De modo semelhante, o Decreto estadual nº 54.487 de 26 junho de 2009 em seu artigo 4º remete-se aos pontos de emissões de tais gases, onde é necessário realizar um levantamento e cadastro, inventariando as emissões primárias, fixas e móveis de poluição, sendo as empresas obrigadas a submeter à Cetesb, quando solicitado, um plano completo de lançamento dos resíduos, líquidos, sólidos e gasosos.

Este decreto, em seu artigo 2º, deixa evidente quais os gases geram a necessidade do inventário dos GEE: o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hexafluoreto de enxofre (SF₆), os hidrofluorcarbonetos (HFC) e os perfluorcarbonetos (PFC). Caracterizando a relação dos gases mencionados acima, o artigo 3º indica quais os possíveis processos poderão emitir gases do efeito estufa. Para isso, existe uma relação de atividades produtivas que, em caráter obrigatório, necessitarão deste inventário e medidas ambientalmente corretas. Especificamente em seu inciso VI, estabelece que “fundições de ferrosos com capacidade de produção superior a 7500 t/ano” necessitam entregar o inventário e propor melhorias em seu processo.

Com base estabelecida pelo órgão ambiental no estado de São Paulo e na necessidade de fundições emitirem o relatório estabelecido, direcionamos nossos estudos a uma fun-

dição de aço manganês que atua há 30 anos no município de Sorocaba, no estado de São Paulo, com capacidade produtiva de aproximadamente 18000 t/ano para peças para britagem e desgaste de minérios.

2. DESENVOLVIMENTO

O Inventário de gases de efeito estufa no Brasil

Argumenta-se que a elaboração de inventários é um dos passos para que uma instituição ou empresa possa contribuir para o combate às mudanças climáticas, fenômeno crítico que aflige a humanidade. Conhecendo o perfil das emissões, a partir do diagnóstico garantido pelo inventário, podem-se estabelecer estratégias, planos e metas para redução e gestão das emissões de gases de efeito estufa, engajando-se na solução desse enorme desafio para a sustentabilidade global. A realização de inventários de GEE também permite às organizações visualizar oportunidades de novos negócios no mercado de carbono, atrair novos investimentos, ou, ainda, planejar processos que garantam eficiência econômica, energética ou operacional. Também demonstra a responsabilidade da empresa com a resolução de problemas que afligem a sociedade como um todo e torna transparente e público seu compromisso.

O Programa Brasileiro GHG Protocol, iniciado em maio de 2008, tem por objetivo apoiar e estimular uma “cultura de inventário” no País, permitindo às organizações brasileiras estabelecerem processos de gestão de emissões de GEE e colocarem-se em patamares competitivos no mercado internacional, posicionando-se ativamente em prol da sustentabilidade. As informações relatadas ao programa observam os objetivos acima descritos e são consistentes com princípios internacionalmente aceitos para contabilização e elaboração de inventários de GEE (Programa Brasileiro GHG Protocol, 2008).

Além disso, as especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol (2008) explicitam o que é requerido dos participantes em caráter obrigatório, bem como o que é opcional para a elaboração e publicação dessas informações. O Programa poderá desenvolver novos padrões complementares, visando promover alterações periódicas nas especificações, de modo a acompanhar a evolução das práticas nacionais e internacionais de contabilização de emissões de GEE, garantindo a melhoria contínua de suas ações. Qualquer complementação ou alteração ao conteúdo é disponibilizada no site do Programa Brasileiro GHG.

Entre as diversas metodologias existentes para a realização de inventários de gases de efeito estufa, o The Greenhouse Gas Protocol – A Corporate Accounting and Repor-



ting Standard (O Protocolo de Gases de Efeito Estufa – Um Padrão Corporativo de Contabilização e Reporte), ou simplesmente GHG Protocol, lançado em 1998 e revisado em 2004, é hoje a ferramenta mais utilizada mundialmente pelas empresas e governos para entender, quantificar e gerenciar suas emissões. O GHG Protocol foi desenvolvido pelo World Resources Institute (WRI) em associação com o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Entre as características da ferramenta, destacam-se o fato de oferecer uma estrutura para contabilização de GEE, o caráter modular e flexível, a neutralidade em termos de políticas ou programas e a questão de ser baseada em um amplo processo de consulta pública. A metodologia do GHG Protocol é compatível com as normas da International Organization for Standardization (ISO) e com as metodologias de quantificação do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC 2006), e sua aplicação no Brasil, a partir do início do Programa Brasileiro GHG Protocol em 2008, acontece de modo adaptado ao contexto nacional. As informações geradas podem ser aplicadas aos relatórios e questionários de iniciativas como Carbon Disclosure Project, Índice Bovespa de Sustentabilidade Empresarial (ISE) e Global Reporting Initiative (GRI) (Programa Brasileiro GHG Protocol, 2008).

Padrões e metodologia de cálculo

As emissões de gases de efeito estufa devem seguir as recomendações do IPCC 2006. O cálculo é realizado a partir do produto de um dado de atividade por um fator de emissão adequado. Ou seja, a quantidade de combustível utilizado, considerando a maneira como ele é utilizado.

O dado de atividade é uma medida que expressa a intensidade de uma determinada fonte emissora. São exemplos de dados de atividade o consumo de combustível em uma frota de veículos de uma empresa, o consumo de óleo diesel em geradores de energia elétrica, o número de horas de trabalho de uma bomba d'água, a quantidade (i.e., massa) de eletrodos de grafite utilizados em soldas, a quantidade de gás natural utilizado em fornos de tratamento térmico, e assim por diante. Na medida de atividade, se trata de uma análise quantitativa e não qualitativa.

Fator de emissão

O fator de emissão está diretamente associado à fonte (atividade). Os fatores de emissão demonstram a quantidade de CO₂ equivalente emitida por unidade de atividade. Desta forma, é possível demonstrar o quanto uma atividade pode contribuir com a emissão de gases de efeito estufa, ou seja, é uma medida da taxa de emissão. Por exemplo, um fator de emissão médio resultante da combustão da gasolina é 2,135 kg CO₂/m³ gasolina. Este fator de emissão depende da

composição do combustível, o teor de álcool etílico anidro na gasolina varia de 20 a 25%, e também das condições do motor (IBAMA, 2011).

O cálculo do fator de emissão da gasolina é um exemplo, ela possui concentrações distintas de álcool. No Brasil varia de região para região e da época do ano. Estes fatores trazem incertezas para a estimativa do fator de emissão e, por consequência, para a emissão das fontes poluidoras.

Na falta de informações detalhadas, existe a opção de se utilizar fatores de emissão disponíveis na literatura. É importante que se tenha cuidado para empregar fatores os mais próximos da realidade e, se possível, conservadores. São fatores conservadores aqueles que superestimem alguma emissão em razão do desconhecimento de alguma informação. Por exemplo, se não se conhece o teor de álcool na gasolina deverá ser adotado o menor valor possível, pois este resulta na maior emissão de GEE.

Inventários de emissão de gases de efeito estufa

Em um inventário de gases de efeito estufa contabiliza-se as emissões de todas as fontes definidas em grupos de atividades associadas a uma empresa. Entende-se que os limites de atividades são fundamentais na realização de um bom inventário. Um inventário de gases de efeito estufa deve considerar premissas amplamente aplicadas, e as fontes devem também ser agrupadas sobre algum critério geral. Um agrupamento ou escopo típico é classificar as fontes que sejam de emissões diretas, indiretas ou associadas à geração de energia elétrica (incluindo calor e vapor). Define-se seguir como as fontes agrupadas e que premissas se devem utilizar no cálculo de emissões (Brasil et al., 2008).

A aplicação de premissas é fundamental para garantir que a informação relacionada GEE 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 aqui apresentados correspondem às premissas apresentadas pelo GHG Corporate Protocol (Damassa et Elsayed, 2013) e previstos pela Norma ISO 14064.

3. METODOLOGIA

A metodologia apresentada no Programa Brasileiro GHG Protocol, divide as emissões em três grandes escopos mais emissões de biomassa. São eles:

- **Escopo 1:** Emissões Diretas de GEE – São aquelas provenientes de fontes que pertencem ou são controladas pela Organização, que devem ser divididas



em: combustão estacionária, combustão móvel, emissões de processos físicos e químicos, emissões fugitivas e emissões agrícolas. As emissões de GEE e gases precursores destes que não estejam cobertas pelo Protocolo de Quioto, como, por exemplo, CFCs, HCFCs, NOx e etc., não deverão ser incluídas no Escopo 1, mas podem ser comunicadas em separado conforme o GHG Protocol Corporate 2014.

- **Escopo 2:** Emissões Indiretas de GEE – São emissões atribuídas à compra de eletricidade, calor ou vapor, que são emitidas no local de sua geração. Podem ser divididas em: compra de energia elétrica e compra de calor ou vapor. Para muitas organizações, a energia adquirida representa uma das principais fontes de emissões de GEE e a oportunidade mais significativa de reduzir tais emissões. Contabilizar emissões de Escopo 2 permite avaliar oportunidades e riscos associados à mudança nos custos da energia e das emissões de GEE. “Outra razão importante para contabilização dessas emissões é que a informação pode ser obrigatória para alguns programas de gestão de GEE”, (Programa Brasileiro GHG Protocol, 2008).
- **Escopo 3** (opcional): outras emissões indiretas de GEE – Emissões indiretas relacionadas à atividade da organização, mas que ocorrem em fontes que não pertencem ou não são controladas, como por exemplo, terceirização de serviços, transporte de matérias-primas, produtos acabados e descartáveis, uso de combustível pelos funcionários para sua locomoção até a empresa ou em outras atividades. A contabilização das emissões de Escopo 3 não precisa envolver uma análise completa do ciclo de vida de GEE de todos os produtos e operações. Normalmente, é útil concentrar-se em uma ou duas das maiores atividades geradoras de GEE. (Programa Brasileiro GHG Protocol, 2008).

3.1 Metodologia de cálculos de emissões

Aço Manganês

Verificando os escopos apresentados, por meio de dados obtidos em uma fundição de aço manganês, foram selecionados àqueles referentes ao processo “in loco”, no setor da Aciaria.

Mediante o sistema integrado de emissões fiscais e tributárias e controle de estoque, utilizamos o sistema S.A.P para retermos os dados apresentados. Sendo assim, nosso escopo, extraindo os dados, remete-se aos dias entre 1º de janeiro de 2014 a 31 de dezembro de 2014.

Além da análise do sistema produtivo, que podemos mensurar pela preparação e transformação do aço, tendo em consideração que a quantidade de materiais em cada processo pode modificar em função da característica da peça a ser fundida, também inventariamos em planilha a quantidade de materiais e a quantidade de CO₂ em base de cálculos, confrontando com a literatura do GHG Protocol atribuído como escopo 1. Foi utilizada como base de cálculo para emissões de CO₂ GHG Protocol, a equação 4.9 encontrada em Vol. 3, Cap. 4 do IPCC Guidelines (2006).

Para definição da quantidade de dióxido de carbono equivalente nas emissões do processo, observa-se o seguinte modelo:

$$\frac{\sum C_{iu}}{\sum C_{pp}} = EC(kg) \rightarrow \frac{EC}{1000} = EC(t) \quad (1)$$

Em que:

C_{iu}= somatório de carbono dos insumos utilizados (kg)

C_{pp}= Somatório do carbono dos produtos produzidos (kg)

EC= Emissão de carbono (kg)

Temos:

$$\begin{aligned} I.Fc &= QCI \\ I.Fc &= QCP \end{aligned} \quad (2)$$

Em que:

I = Insumos (kg)

Fc = Fração de carbono (J/cal)

QCI = Quantidade de carbonos do insumo (kg)

QCP = Quantidade de carbonos do produzido (kg)

Portanto teremos:

$$EC.Ft = te \quad (3)$$

Em que:

EC = Emissão de carbono (t)

Ft = Fator de conversão de carbono/dióxido de carbono (kg CO₂/m³)

te = Taxa de dióxido de carbono equivalente (t)



Nos processos de fundição de aço é fixado o valor de 3,666666666666667 como fator de conversão para execução dos cálculos de emissão de dióxido de carbono.

Acetileno

Na etapa de transformação do aço, foram obtidos os dados resultantes do processo final das peças fundidas que passam pelo corte de rebarbas após tratamento térmico, nos setores de Rebarbação e Solda.

Assim como para o manganês, inventariou-se em planilha a quantidade de acetileno e convertemos em CO₂ segundo a base de cálculos do GHG Protocol prevista para o escopo 1.

Foi calculado o fator de emissão conforme equação abaixo, este cálculo tem base própria, devido não ter especificação para este componente, determinado conforme DD 254 da da CETESB (2012).

$$\frac{Fm.CA}{1000} = ECe \quad (4)$$

Em que:

Fm = Fator mássico (kg CO₂/Kg Acetileno)

CA = Consumo de acetileno (kg)

ECe = Emissão de carbono (emissão de dióxido de carbono equivalente) (t)

Gás Natural

O gás natural é utilizado nos processos de corte de peças, aquecimento de painéis e revenimento, que faz parte do processo produtivo.

Foi inventariada em planilha a quantidade de gás natural e convertemos em CO₂ segundo base de cálculos do GHG Protocol atribuída para o escopo 1 (Base de cálculos para emissões de CO₂ GHG Protocol para o gás natural conforme Tabela 2.3, Cap. 2, Vol. 2, IPCC Guidelines 2006).

$$\frac{(P.FC).((EC) + (Ea.Ga) + (Eb.Gb))}{1000000000} = FEE \quad (5)$$

Em que:

P = Poder calorífico inferior (kcal/m³)

FC = Fator de conversão (J/cal)

EC = Emissão do dióxido de carbono (kg/Tj)

Ea = Emissão do metano (kg/Tj)

Eb = Emissão do óxido nitroso (kg/Tj)

(Ga) = Poder de aquecimento global do metano (tCO₂e/t)

(Gb) = Poder de aquecimento global do óxido nitroso (tCO₂e/t)

FEE = Fator de emissão de GEE equivalente CO₂ + CH₄ + N₂O (kgCO₂e/m³)

Assim temos:

$$\frac{\sum Cgn.FEe}{1000} = ECe \quad (6)$$

Em que:

Cgn = Consumo de gás natural em (m³)

FEE = Fator de emissão de GEE equivalente CO₂ + CH₄ + N₂O (kgCO₂e/m³)

ECe = Emissão de carbono (Emissão de dióxido de carbono equivalente) (t)

Óleo Diesel

Para que o processo seja colocado em uma cadeia de engrenagens, existe a utilização de transporte interno realizado por caminhões, guindautos, tratores, e algumas empilhadeiras de grande porte. Eles realizam toda a etapa de logística interna, movimentando aros ou caixas metálicas, modelos de madeira, peças acabadas ou semiacabadas para armazenamento em estoque.

Calculou-se segundo a base de cálculos para emissões de CO₂ do GHG Protocol para o diesel em equipamentos pesados, conforme Tabela 3.3.1, Cap. 3, Vol. 2, IPCC Guidelines 2006.

Calculando o fator de emissão de GEE equivalente:

$$\frac{(Fe.l) + (Fa.Ga) + (Fb.Gb)}{1000} = FEE \quad (7)$$

Em que temos:



Fe = Fator de emissão do dióxido de carbono (tCO₂/t)

Fa = Fator de emissão do metano (tCH₄/t)

Fb = Fator de emissão do óxido nitroso (tN₂O/t)

(Ga) = Poder de aquecimento global do metano (tCO₂e/t)

(Gb) = Poder de aquecimento global do óxido nitroso (tCO₂e/t)

FECe = Fator de emissão de carbono (Emissão de dióxido de carbono equivalente) (t)

Assim temos:

$$\frac{\sum CD(l).(BDS).(DD).(FECe)}{1000} = ECe \quad (8)$$

CD(l) = Consumo de diesel em litros (L)

BDS = Volume do biodiesel nacional (5%)

Dd = Densidade do diesel (kg/L)

FECe = Fator de emissão de carbono (Emissão de dióxido de carbono equivalente) (t)

ECe = Emissão de carbono (Emissão de dióxido de carbono equivalente) (t)

Etanol para Frota Cativa

A frota cativa é utilizada pelos colaboradores da empresa para locomoção externa entre clientes e fornecedores. O procedimento consiste no cadastro dos colaboradores em postos de combustíveis, firmado em contrato com a empresa em estudo. A partir do abastecimento é computado e alimentado o sistema integrado de postos, firmando valores e a quantidade de combustível abastecido por todos os carros utilizados pela empresa.

Sendo assim, extraímos os dados da quantidade de combustível etanol consumido do dia 1º de janeiro de 2014 a 31 de dezembro de 2014.

Além da análise, inventariamos em planilha a quantidade de etanol e convertemos em CO₂ segundo base de cálculos do GHG Protocol atribuída para o escopo 1 (Base de cálculos para emissões de CO₂ GHG Protocol para o etanol, conforme Tabela 6 - Inventário Nacional de Emissões por Veículos Rodoviários, MMA, 2011):

Calculando o fator de emissão de GEE equivalente:

$$P.Ea.Ga.FC.0,000000001 = FEE \quad (9)$$

Onde temos:

P = Poder calorífico inferior (Kcal/m³)

Ea = Emissão do metano (kg/TJ)

(Ga) = Poder de aquecimento global do metano (tCO₂e/t)

FC = Fração de carbono (J/cal)

FEE = Fator de emissão de GEE equivalente CO₂ + CH₄ + N₂O (kgCO₂e/m³)

Assim temos:

$$\frac{\sum CE.d.FEE}{1000} = ECe \quad (10)$$

Em que:

CE = Consumo de etanol (L)

d = Densidade do álcool etílico (kg/L)

FEE = Fator de emissão de GEE equivalente (CH₄ + N₂O) (tCO₂e/t)

ECe = Emissão de carbono (Emissão de dióxido de carbono equivalente) (t)

Gasolina

A partir das informações da frota cativa, extraímos os dados da quantidade de combustível gasolina consumido do dia 1º de janeiro de 2014 a 31 de dezembro de 2014.

Além da análise, inventariamos em planilha a quantidade de gasolina e convertemos em CO₂ segundo base de cálculos do GHG Protocol atribuída para o escopo 1 (Base de cálculos para emissões de CO₂ GHG Protocol para a gasolina, conforme Tabela 3.2.1, Cap. 3, Vol 2, IPCC Guidelines, 2006).

Calculando o fator de emissão de GEE equivalente:

$$\frac{P.(ECO_2 + (Ea.Ga) + (Eb.Gb)).FC}{1000000000} = FEE \quad (11)$$

Sendo que:

P = Poder calorífico inferior (Kcal/m³)



ECO_2 = Emissão de dióxido de carbono (kg/TJ)

Ea = Emissão do metano (kg/TJ)

(Ga) = Poder de aquecimento global do metano (tCO_2e/t)

(Gb) = Poder de aquecimento global do óxido nítrico (tCO_2e/t)

Eb = Emissão do óxido nítrico (kg/Tj)

FC = Fração de carbono (J/cal)

FEe = Fator de emissão de GEE equivalente $CO_2 + CH_4 + N_2O$ ($kgCO_2e/m^3$)

Assim temos:

$$\frac{\sum (CG.0,8.dA.FEeG) + (CG.0,2.FEeA)}{1000} = ECe \quad (12)$$

Em que:

CG : Consumo da gasolina (L)

dA : Densidade do álcool etílico anidro (kg/L)

ECe : Emissão de carbono (Emissão de dióxido de carbono equivalente) (t)

$FEeG$: Fator de emissão da gasolina (tCO_2e/t)

$FEeA$: Fator de emissão do álcool (tCO_2e/t)

Gás GLP

Utiliza-se o gás GLP impreterivelmente no processo de logística interna da empresa, desde o recebimento dos materiais para produção, processo de transformação, acabamento e entrega dos pedidos, que são realizadas com o uso de empilhadeiras.

O processo de abastecimento tem a sua funcionalidade no almoxarifado de matéria prima. Geralmente, as empilhadeiras acondicionam dois cilindros de GLP de aproximadamente 50 KG, o sistema de abastecimento interliga o cilindro por meio de alimentação por uma mangueira ao motor da empilhadeira. Quando o cilindro acaba, operador de empilhadeira realiza a troca da conexão no cilindro reserva e posteriormente, realiza a troca do cilindro vazio na central de abastecimento.

Sendo assim, inventariamos em planilha a quantidade de gás natural e convertemos em CO_2 segundo base de cálculos do GHG Protocol atribuída como escopo 1 (Base de cálculos

para emissões de CO_2 GHG Protocol para o GLP em empilhadeiras, conforme Tabela 3.2.1, Cap. 3, Vol 2, IPCC Guidelines, 2006):

Calculando o fator de emissão de GEE equivalente:

$$Fe + (Fa.Ga) + (Fb.Gb) = FEe \quad (13)$$

Em que:

Fe = Fator de emissão do dióxido de carbono (tCO_2/t)

Fa = Fator de emissão do metano (tCH_4/t)

Fb =Fator de emissão do óxido nítrico (tN_2O/t)

(Ga) = Poder de aquecimento global do metano (tCO_2e/t)

(Gb) = Poder de aquecimento global do óxido nítrico (tCO_2e/t)

FEe = Fator de emissão de GEE equivalente $CO_2 + CH_4 + N_2O$ ($kgCO_2e/m^3$)

Assim temos:

$$\frac{\sum CGLP.FEe}{1000} = ECe \quad (14)$$

Em que:

$CGLP$: Consumo de gás liquefeito de petróleo (kg)

FEe = Fator de emissão de GEE equivalente $CO_2 + CH_4 + N_2O$ ($kgCO_2e/m^3$)

ECe = Emissão de carbono (Emissão de dióxido de carbono equivalente) (t)

Corte, Solda e Extintores

Na transformação do aço, contempla-se o processo de acabamento da peça fundida. Para isso, após o estágio bruto de fusão, é realizada a remoção das rebarbas de aço. Após esta extração, as peças são enviadas ao setor de tratamento térmico. Após o tratamento da peça para obtenção da dureza especificada no projeto, são encaminhadas aos processos de corte e solda.

Indiferente de ambas as condições, o processo de corte é o mesmo, sendo realizada a remoção de rebarbas com uso de maçarico e goivagem caso necessário. No processo de soldagem, é utilizado CO_2 gás Tub.



Outro gás que não está inserido no processo, porém mencionado nesta pesquisa, é o somatório da quantidade total de extintores de CO₂ pressurizados, que são utilizados em caso de emergência, sinistro ou treinamentos da brigada de emergência.

Especificamente para o extintor de CO₂ é analisado e quantificado os recipientes com a capacidade extintora. Sendo assim, por meio do sistema, inventariamos estas variáveis e realizamos a somatória dos materiais utilizados no ano de 2014.

Inventariou-se em planilha a quantidade de CO₂ líquido e gasoso segundo base de cálculos do GHG Protocol atribuída como escopo 1 (Base de cálculos para emissões de CO₂ GHG Protocol para o CO₂ líquido e gasoso). Como não há literatura sobre fatores de emissão e se tratar de emissão “in natura”, o cálculo foi definido da seguinte forma:

$$\frac{\sum CCO_2L + \sum CCO_2E + (\sum CCO_2M \cdot 0,25 \cdot dGM)}{1000} = ECe \quad (15)$$

Em que:

CCO₂L: Consumo de CO₂ líquido (kg)

CCO₂E: Consumo de CO₂ extintores (kg)

CCO₂M: Consumo de CO₂ e mistura de argônio (m³)

d: Densidade (kg/L)

ECe = Emissão de carbono (Emissão de dióxido de carbono equivalente) (t)

Emissões fugitivas de HFC para equipamentos de refrigeração

Este dado foi obtido do fornecedor que executa manutenção dos equipamentos de refrigeração na unidade. Sendo assim, os dados apresentados remetem-se ao período compreendido entre o dia 1º de janeiro de 2014 e 31 de dezembro de 2014.

Foi utilizada a base de cálculos para emissões de CO₂ do GHG Protocol para o HFC escopo 1, conforme Tabela TS.2 - Climate Change 2007: The Physical Science Basis – IPCC.

Assim temos:

$$\frac{\sum CHFC}{1000} \cdot FEHFC = ECe \quad (16)$$

CHFC: Consumo de HFC (kg)

FEHFC: Fuga de emissões do HFC (kg)

ECe = Emissão de carbono (Emissão de dióxido de carbono equivalente) (t)

Consumo de energia elétrica

Mensuramos o consumo de energia elétrica geral da unidade obtido pela Comerc, empresa que realiza a distribuição de energia para unidade.

A partir da conta de energia em MW/h mensuramos o somatório mensal em planilha, retratando o consumo mensal e o somatório anual.

Frisamos que o consumo de energia elétrica tende à taxa elevada em razão do processo de fusão do aço de dois fornos de arco elétrico com capacidade de 10 e 20 toneladas, pontes rolantes, sistemas de exaustão, solda, goivagem, esmerilhadeiras e esmeris pendulares.

Sendo assim, as notas fiscais com o consumo mensal, remetem-se ao período do dia 1º de janeiro de 2014 a 31 de dezembro de 2014. Inventariamos em planilha a quantidade MW/h gerada por mês e convertemos em CO₂ em base de cálculos com a literatura do GHG Protocol atribuído como escopo 2.

Adotou-se a base de cálculos para emissões de CO₂ GHG Protocol conforme Tabela TS.2 – Climate Change 2007: The Physical Science Basis – IPCC.

Assim temos:

$$\sum CEE \cdot \sum FESIN = ECe \quad (17)$$

CEE: Consumo de energia elétrica (MW/h)

FESIN: Fator de emissão do Sistema Interligado Nacional (tCO₂/MW/h)

ECe = Emissão de carbono (Emissão de dióxido de carbono equivalente) (t)

Combustão de etanol hidratado usado na diluição da tinta aplicada às peças da área de Macharia e Moldagem

O processo de utilização do etanol está na junção de duas tintas refratárias, que formam película de proteção entre o aço e areia de moldagem e macharias. Estas tintas



são à base de zircônio e magnésio, tendo a função de não deixar aderir a areia na peça fundida no momento da solidificação do aço.

Para que o processo de secagem rápida ocorra nesta tinta, o álcool é inserido e realizada a queima da parte pintada do molde de areia, antes do processo de vazamento.

Os dados foram adquiridos por meio do sistema integrado de emissões fiscais e tributárias e controle de estoque, utilizamos o sistema S.A.P para retermos os dados apresentados. Sendo assim, nosso escopo extraíndo os dados, remete-se ao período entre os dias 1º de janeiro de 2014 e 31 de dezembro de 2014.

Utilizou-se a base de cálculos para emissões de CO₂ do GHG Protocol para o etanol hidratado Escopo 1, conforme tabela 3.2.1, Cap. 3, Vol 2, IPCC Guidelines, 2006.

Assim temos:

$$\sum \frac{CE.0,96.d.FEEs}{1000} = ECe \quad (18)$$

Em que:

CE: Consumo de etanol (L)

d: Densidade (kg/L)

FEEs: Fator de emissão estequiométrico (CO₂/t de etanol calculado)

ECe = Emissão de carbono (Emissão de dióxido de carbono equivalente) (t)

Combustão de casca de arroz em etapas do processo de fundição

A palha de arroz é utilizada após o basculamento de aço nas painéis de vazamento, objetivando manter a temperatura do aço, formando uma película na superfície da panela, evitando a perda do gradiente térmico no momento do vazamento.

Os dados foram adquiridos da mensuração realizada por meio do sistema integrado de emissões fiscais e tributárias e controle de estoque, utilizando-se o sistema S.A.P para retenção dos dados apresentados, considerando o período compreendido entre 1º de janeiro de 2014 e 31 de dezembro de 2014.

Adotou-se a base de cálculos para emissões de CO₂ do GHG Protocol para o etanol hidratado Escopo 1, conforme tabela 2.4, Cap. 2, Vol. 5, IPCC Guidelines 2006.

Assim temos:

$$\sum \frac{QP.MS.FC.FO.FCC}{1000} = ECe \quad (19)$$

Em que:

QP: Quantidade da palha queimada (kg)

MS: Massa seca (fração)

FC: Fração do carbono (%C)

FO: Fator de oxidação (fração)

FCC: Fator de dióxido de carbono/carbono (CO₂/C)

ECe = Emissão de carbono (Emissão de dióxido de carbono equivalente) (t)

Análise dos resultados

Após análise dos dados coletados, evidenciamos os resultados do consumo de todas as energias, insumos e demais fontes e suas respectivas emissões de carbono equivalentes conforme demonstrado nas Tabelas 1 e 2.

Os dados obtidos neste estudo, que referem-se ao ano de 2014, foram confrontados com os dados de 2013 e percebeu-se uma diminuição nas emissões relacionadas aos dois períodos. De 2013 para 2014 tivemos uma diferença de emissão de 0,07 tCe/t de aço produzido.

Dentre as principais fontes de emissão, observamos que houve alteração significativa no consumo de gás natural e, também, foram realizadas várias ações com o objetivo de diminuir o consumo de gases, economizar no processo de utilização de recursos e aumentar a competitividade de mercado, o que repercutiu positivamente nas emissões de dióxido de carbono equivalente em comparação ao ano anterior, conforme a Figura 1.

As demais fontes de emissões também apresentaram redução no período utilizado para comparação, com exceção da energia elétrica para a qual foi constatado aumento de 31% em comparação a 2013, devido ao fator de emissão do Sistema Interligado Nacional (SIN), demonstrado na tabela 3.



Tabela 1. Demonstrativo de emissão por fontes de emissão 2014

FONTES DE EMISSÃO	CO2	CH4	N2O	tCO2e	%
Processamento de aço	330,3	-	-	330	3,00%
Acetileno	19,7	-	-	20	0,20%
Gás natural	6.725,40	0,1199	0,012	6.732	60,80%
Diesel (veículos pesados)	66	0,0037	0,0255	74	0,70%
Etanol (frota cativa)	-	0,0003	-	0	0,00%
Gasolina (frota cativa)	10,3	0,001	0,0008	11	0,10%
GLP (empilhadeiras)	137,9	0,1355	0,0004	141	1,30%
(Corte/solda/extintores)	0,6	-	-	1	0,00%
Eletricidade	3.761,60	-	-	3.762	34,00%
Total	11.051,90	0,26	0,039	11.069	

Fonte: Os próprios autores

Tabela 2. Demonstrativo de emissão por fontes de emissão 2013

FONTES DE EMISSÃO	CO2	CH4	N2O	tCO2e	%
Processamento de aço	471,7	-	-	472	3,60%
Acetileno	40,4	-	-	40	0,30%
Gás natural	9.427,60	0,1681	0,0168	9.436	71,70%
Diesel (veículos pesados)	65	0,0036	0,0251	73	0,60%
Etanol (frota cativa)	-	0,0005	-	0	0,00%
Gasolina (frota cativa)	13,1	0,0013	0,0011	14	0,10%
GLP (empilhadeiras)	148,4	0,1458	0,0005	152	1,20%
(Corte/solda/extintores)	101,7	-	-	102	0,80%
Eletricidade	2.879,20	-	-	2.879	21,90%
Total	13.147,20	0,32	0,043	13.167	

Fonte: Os próprios autores

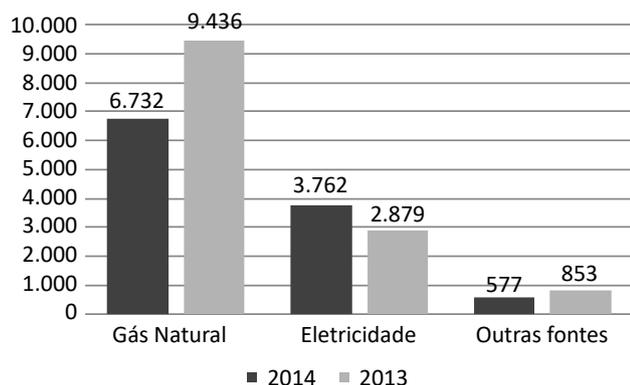


Figura 1. Comparativo de emissões em relação aos anos 2013 e 2014

Fonte: Os próprios autores

Os fatores de emissão de CO₂ resultantes da geração de energia elétrica, fonte integrante do escopo 2, verificada no Sistema Interligado Nacional (SIN) do Brasil, são calculados a partir dos registros de geração das usinas despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e, em especial, nas usinas termoeletricas. O

fator de emissão de 2014 corresponde ao maior de todos os fatores já registrados desde 2006, primeiro ano de publicação dos dados pelo Governo Brasileiro. Esse aumento em relação ao ano anterior se deve à mudança no regime hidrológico e ao consequente aumento de acionamento das usinas termelétricas para garantir o suprimento energético nacional.

4. CONCLUSÃO

Foi verificada, em todos os recursos utilizados, queda nas emissões no escopo 1 no período entre 2013 e 2014, que se deve, principalmente, à manutenção de equipamentos, eliminação de vazamentos e adequação de linha de tubulações dos gases referidos neste estudo, otimização, troca de frota de veículos com motores flex e melhor controle da logística de utilização, melhor controle do processo de fusão e refino, evitando alteração de composição química das ligas e suas respectivas diluições para correção, diminuindo o consumo de matérias primas no processo de Aciaria. Podemos observar estes resultados nas Tabelas 4 e 5 abaixo.



Tabela 3. Comparativo de resultados em relação aos anos 2013 e 2014

ANO BASE	2014		2013		2013/2014
FONTES DE EMISSÃO	tCO ₂ e	tCO ₂ e/t	tCO ₂ e	tCO ₂ e/t	TAXA
Gás natural	6.732	0,35	9.436	0,46	24%
Eletricidade	3.762	0,20	2.879	0,15	-31%
Outras fontes	577	0,03	853	0,04	32%

Fonte: Os próprios autores

Tabela 4. Demonstrativo de emissões totais por escopo 2014

EMISSIONES TOTAIS POR ESCOPO - 2014							
GEE	GWP	t métricas de cada GEE			t métricas de CO ₂ e		
		Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
CO ₂	1	7.290,30	3.761,60	-	7.290,30	3.761,60	-
CH ₄	21	0,3	-	-	5,5	-	-
N ₂ O	310	0,04	-	-	12	-	-
HFC (134a)	1300	0	-	-	-	-	-
PFCs	-	0	-	-	-	-	-
SF ₆	-	0	-	-	-	-	-
Total (tCO ₂ e)					7307,8	3761,6	0

Fonte: Os próprios autores

Tabela 5. Demonstrativo de emissões totais por escopo 2013

EMISSIONES TOTAIS POR ESCOPO - 2013							
GEE	GWP	t métricas de cada GEE			t métricas de CO ₂ e		
		Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
CO ₂	1	10.268,00	2.879,20	-	10.268,00	2.879,20	-
CH ₄	21	0,3	-	-	6,7	-	-
N ₂ O	310	0,04	-	-	13,5	-	-
HFC (134a)	1300	0	-	-	-	-	-
PFCs	-	0	-	-	-	-	-
SF ₆	-	0	-	-	-	-	-
Total (tCO ₂ e)					10288,2	2879,2	0

Fonte: Os próprios autores

Dentre os resultados mais expressivos, destaca-se o gás natural que obteve maior redução de consumo, impactando positivamente na redução de emissões de carbono equivalente no relatório de 2014 em torno de 29% em relação ao ano anterior, este resultado deve-se à adequação do uso dos fornos de tratamento térmico nos processos de revenimento, utilizando estufas que consomem menos gás natural de acordo com a variedade e disponibilidade de peças a serem tratadas (Tabela 6).

Tabela 6. Indicador de emissão

INDICADOR DE EMISSÃO	2014	2013
Total de aço produzido (t)	19.161	20.470
Emissões totais de escopo 1 e 2 (tCO ₂ e)	11.069	13.167
INDICADOR DE EMISSÃO (tCO ₂ e/t aço)	0,58	0,64

Fonte: Os próprios autores

Houve a redução massiva no consumo de gás natural, que contribuiu de forma relevante na queda do índice de 0,07 tCe/t de aço produzido. Para os próximos anos, a empresa estuda uma série de outros investimentos em equipamentos mais eficientes e também no seu programa de eficiência energética, para melhorar cada vez mais seus processos e torná-los cada vez mais limpos.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2007), NBR ISO 14064 – Gases de efeito estufa. Parte 1: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa, Rio de Janeiro.



- Brasil (2009), Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Diário Oficial da União, 30 dez. 2009.
- Brasil, G. et al. (2008), “Inventários corporativos de gases de efeito estufa: métodos e usos”, *Sistemas & Gestão*, Vol. 3, No. 1, disponível em: <http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/SGV3N1A2/48> (acesso em 30 jan. 2018).
- Chan, W. N. (2006), *Quantificação e redução de emissões de gases de efeito estufa em uma refinaria de petróleo*, tese de doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2012), *Decisão de Diretoria nº 254/2012/V/I, de 22-8-2012, dispõe sobre os critérios para a elaboração do inventário de emissões de gases de efeito estufa no Estado de São Paulo e dá outras providências*. disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-empresendimentos/decisao-de-diretoria-no-2542012vi-de-22-8-2012/> (Acesso em 25 de fev. 2018).
- Conti, J. B. (2005), “Considerações sobre mudanças climáticas globais”, *Revista do Departamento de Geografia*, Vol. 16, pp. 18-24.
- Damassa, T.; Elsayed, S. (2013), “From the GHG Measurement Frontline: A Synthesis of Non-Annex I Country National Inventory System Practices and Experiences”, Working Paper, World Resources Institute, Washington, DC, disponível em: <https://www.transparency-partnership.net/documents-tools/ghg-measurement-frontline-synthesis-non-annex-i-country-national-inventory-system> (acesso em 19 fev. 2018).
- Estado de São Paulo (2009), Decreto nº 54.487, de 26 de junho de 2009. Altera a redação e inclui dispositivos e anexos no Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente e dá outras providências, disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2009/decreto%20n.54.487,%20de%2026.06.2009.htm> (acesso em 19 fev. 2018).
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2011), *Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores — Proconve*, 3 ed., Promot/Ibama, Brasília, DF, disponível em: http://www.ibama.gov.br/phoca-download/veiculosautomotores/manual%20proconve%20promot_portugues.pdf (Acesso em 25 de fev de 2018).
- IPCC (2006), *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, disponível em: https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_4_Ch4_Metal_Industry.pdf. (acesso em 19 fev. 2018).
- Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República – NAE (2005a), *Mudança do clima: Volume 1, Cadernos NAE*, No. 3, Brasília, DF: NAE.
- Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República – NAE (2005b), *Mudança do clima: Volume 2, Cadernos NAE*, No. 4, Brasília, DF: NAE.
- Oliveira, S. M. B. (2008), “Base científica para a compreensão do aquecimento global”, em Veiga, J. E. (Org.), *Aquecimento global - frias contendas científicas*, Senac Editora, São Paulo, pp. 17-31.
- Pikman, B. et al. (2015), “Cenários corporativos de risco climático no Brasil e a inovação regulatória da administração Barak Obama”, palestra apresentada na CETESB 2015, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, 23 set. 2015, disponível em: <http://proclima.cetesb.sp.gov.br/palestras-cenarios-corporativos-de-risco-climatico-no-brasil-e-a-inovacao-regulatoria-da-administracao-barak-obama/> (acesso em 30 jan. 2018)
- Programa Brasileiro GHG Protocol (2008), “Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol - Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa”, *GVCES*, 2 ed., disponível em: https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/arquivos.gvces.com.br/arquivos_ghg/152/especificacoes_pb_ghgprotocol.pdf (acesso em 30 jan. 2018)
- Sant’Anna Neto, J. L. (2000), *Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas*, Eduem, Maringá.

Recebido: 27 abr. 2016

Aprovado: 29 jan. 2018

DOI: 10.20985/1980-5160.2018.v13n1.1180

Como citar: Castro, R. V.; Pereira, F. V. P.; Freitas, N. P. (2018), “Inventário de gases de efeito estufa para fundições de aço”, *Sistemas & Gestão*, Vol. 13, No. 1, pp. 55-67, disponível em: <http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/1180> (acesso dia mês abreviado. ano).