



Encontro Internacional sobre Gestão  
Empresarial e Meio Ambiente

## **Medidas estratégicas para a redução da poluição oriunda do consumo de energia na indústria brasileira**

**ELISSANDRA RUBIM DE CARVALHO**

Universidade Federal do Amazonas  
elissandrarubim@hotmail.com

**MARIANA SARMANHO DE OLIVEIRA LIMA**

Universidade Federal do Amazonas  
marianasarmanho@hotmail.com

## **Medidas estratégicas para a redução da poluição oriunda do consumo de energia na indústria brasileira**

**Resumo:** *As mudanças climáticas globais têm sido motivo de grande preocupação para todos os governos e nações há muitos anos. Muitos cientistas apontam o incremento nas concentrações de gases de efeito estufa (GEE) como responsável por essas mudanças climáticas. Diante desta problemática, este trabalho propõe apresentar estratégias para a mitigação dos impactos relacionados com a poluição da indústria brasileira. As estratégias aqui apresentadas estão focadas em propostas para substituição de combustíveis fósseis, intensivos em carbono, por fontes renováveis. Para isso, buscou-se uma análise da estrutura de consumo de energia e do balanço de emissão de CO<sub>2</sub> de todo setor industrial brasileiro, identificando os segmentos industriais com maior potencial para redução de emissão e, assim, propor medidas de mitigação eficazes. O método de pesquisa utiliza, também, a metodologia top-down do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) para mensurar a emissão atual de CO<sub>2</sub> e prever a emissão futura desse poluente com a substituição de energéticos. Como conclusão, destacou-se a importância de se trabalhar com medidas de mitigação no setor industrial de Ferro-gusa e Aço, devido ao alto consumo de combustíveis fósseis, fontes de energia não-renováveis que contribuem com alta concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera.*

**Palavras-chave:** *Mitigação. Emissão. Poluição. Indústria Brasileira.*

## **Strategic measures to reduce pollution from energy consumption in the Brazilian industry**

**Abstract:** *Global climate changes have been of great concern to all governments and nations for many years. Many scientists point to the increase in concentrations of greenhouse gases (GHG) as responsible for these climate changes. Faced with this problem, this paper proposes to present strategies for the mitigation of impacts related to the pollution of the Brazilian industry. The strategies presented here they are focused on proposals to replace fossil fuels, carbon intensive, for renewable sources. For this, we sought an analysis of the energy consumption structure and the issue of balance of CO<sub>2</sub> every Brazilian industrial sector, identifying the industries with the greatest potential to reduce emissions and thus identify effective mitigation measures. The research method also uses the top-down methodology of the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) to measure the current CO<sub>2</sub> emissions and predict future emissions of this pollutant by replacing energy. In conclusion, emphasized the importance of working with mitigation measures in the industrial sector of Pig iron and steel, due to the high consumption of fossil fuels, non-renewable energy sources that contribute to high concentration of CO<sub>2</sub> in the atmosphere.*

**Key Words:** *Mitigation. Emission. Pollution. Brazilian industry.*

## 1 Introdução

As mudanças climáticas têm sido alvo de diversas discussões e pesquisas científicas e as previsões de alteração no clima em um futuro próximo chamam cada vez mais a atenção de estudiosos e de governantes, bem como de órgãos e instituições internacionais, que em conjunto, tentam propor medidas para amenizar e diminuir os impactos atuais e futuros.

Esse aumento da temperatura, fenômeno conhecido como aquecimento global, originado pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEEs), principalmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), provenientes das atividades industriais, agrícolas e de transportes, podem ter consequências sérias para o planeta e para sua população. Segundo a contribuição do GT3 do IPCC ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas - RAN (2014), se as emissões de gases continuarem aumentando de acordo com as tendências atuais, estima-se que a temperatura da superfície do planeta cresça de 2°C a 4,5°C no final deste século.

Dentre os diferentes setores das atividades humanas que contribuem para as emissões de GEE, os setores de energia e industrial são os mais significativos. O valor das emissões globais atuais dos setores de energia e industrial de um único ano atingiram as maiores contribuições para o aquecimento global ao longo de uma escala de tempo de 100 anos, de acordo com a Contribuição do Grupo de Trabalho I do IPCC (MYHRE *et al.*, 2013).

O século XXI traz um comprometimento real com a sustentabilidade ambiental por parte do setor industrial, que começa a reprojeter seus processos. A indústria passa a tratar o tema não mais como custo, que onera o produto final, mas como investimento que cria um diferencial no mercado competitivo. Assim, a indústria vem procurando ao longo dos anos desenvolver tecnologias e medidas de controle e mitigação destas emissões, seja de forma voluntária, ou de forma obrigatória, através de leis e regulamentos (Henriques Jr., 2010).

As primeiras abordagens sobre mitigação de problemas ambientais foram propostas em caráter emergencial e apresentaram soluções pontuais e locais. Tratava-se de medidas para neutralizar o efeito indesejável das atividades humanas sem atuar em suas causas – medidas de fim-de-tubo. Progressivamente, o foco dessas intervenções, foi sendo modificado para outras formas de enfrentar o problema, buscando-se atacar suas causas (MANZINI; VEZZOLI, 2005, p.76). O modo como o setor produtivo vem lidando com a poluição industrial acompanhou as discussões internacionais e a ampliação do foco das intervenções.

No setor industrial, diversas são as possibilidades de mitigação de GEEs, o que torna conveniente categorizar os conjuntos de medidas quanto a seus respectivos potenciais de redução total de emissões. Para realizar esse mapeamento, a abordagem parte da estimativa dos usos finais energéticos na indústria brasileira, identificando aqueles onde residem as maiores possibilidades de eficiência energética e de substituição de combustíveis (RAN 2014).

A relevância do setor industrial brasileiro nas emissões nacionais de gases de efeito estufa pode ser compreendida, então, por seu porte tanto na economia quanto no consumo energético brasileiro. Segundo o Balanço Energético Nacional 2015, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o setor industrial foi o maior consumidor de energia, consumindo 87.502 x 10<sup>3</sup> tep/ano, equivalente a 32,9% do consumo total do país, e o segundo maior emissor de GEE, sendo responsável pela emissão de 36,1% do total emitido pelo Brasil.

Diante da problemática relacionada com a emissão de CO<sub>2</sub> (principal gás de efeito estufa) pelo setor industrial brasileiro, o trabalho irá focar em medidas de mitigação que podem ser

adotadas para amenizar os impactos relacionados com a poluição oriunda da emissão de dióxido de carbono pelo setor industrial brasileiro.

As medidas para mitigação da poluição industrial estão focadas em propostas para substituição de combustíveis fósseis, intensivos em carbono, por fontes renováveis. Para que os objetivos pudessem ser alcançados, buscou-se uma análise da estrutura de consumo de energia e do balanço de emissão de CO<sub>2</sub> de todo setor industrial brasileiro, identificando os segmentos da atividade industrial com maior potencial para redução de emissão e propor medidas de mitigação.

Para tanto foi realizado uma pesquisa bibliográfica utilizando como fonte de dados o Balanço Energético Nacional (BEN 2015), uma vez que fornece uma retrospectiva da dinâmica e das transformações sofridas pela matriz energética nacional, o que permite análises que direcionam propostas para o desenvolvimento sustentável. Além dessa importante fonte de pesquisa, serão utilizados relatórios do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) para aplicação da metodologia *top-down*, a fim de mensurar a emissão atual de CO<sub>2</sub> e prever a emissão futura desse poluente com a substituição de energéticos.

Este artigo é organizado em seis seções: introdução apresentando uma contextualização do tema do artigo, a problemática, justificativas e objetivos; revisão de literatura que descreve o cenário atual do consumo de energia no Brasil e, em particular, do setor industrial; a metodologia da pesquisa; os resultados da pesquisa que são apresentados e discutidos, respectivamente; as conclusões e recomendações para investigações futuras.

## **2 Revisão Bibliográfica**

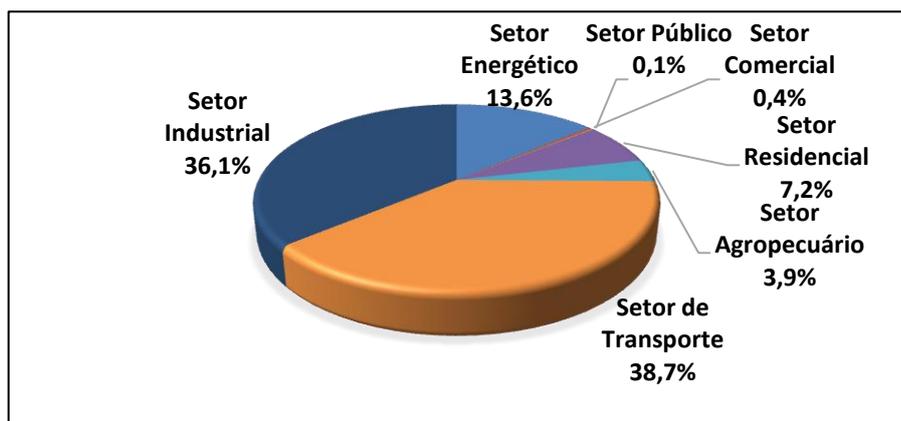
Na atualidade, uma das maiores preocupações é com o nível de emissão de gases poluentes que ocasionam o efeito estufa. Dentre os gases de efeito estufa (GEE), o principal deles é o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), pois apresenta uma maior concentração na atmosfera. Portanto, o foco desta pesquisa está no nível de emissão de CO<sub>2</sub> pelo setor industrial brasileiro.

Para que haja redução do nível de emissão desses poluentes na atmosfera, são propostas medidas de mitigação nas empresas do setor industrial brasileiro por meio da execução de projetos de eficiência energética e substituição de energéticos para ampliação do uso de fontes renováveis nos processos produtivos. Para tanto, se faz necessário analisar o consumo de energia no Brasil, e dos diversos setores que compõe a sua matriz energética, em especial do setor industrial que é o maior consumidor e foco deste trabalho.

De acordo com o Balanço Energético Nacional 2015, o consumo de energia no Brasil em 2014 foi de  $265.864 \times 10^3$  tonelada equivalente de petróleo (tep). Vale destacar que o setor industrial constitui 32,9% do consumo total, com  $87.502 \times 10^3$  (tep), seguido pelo setor de transportes com 32,5% do consumo total, correspondendo a  $86.312 \times 10^3$  tep. e do setor energético com um consumo de  $27.453 \times 10^3$  tep., ou seja, 10,3% do consumo total.

A partir dos dados divulgados no BEN 2015 e do uso da metodologia *top-down* do IPCC, foi possível mensurar o nível de emissão de dióxido de carbono no Brasil e em seus respectivos setores. A Figura 1 apresenta a emissão de CO<sub>2</sub> dos diversos setores brasileiros em relação ao total emitido pelo Brasil.

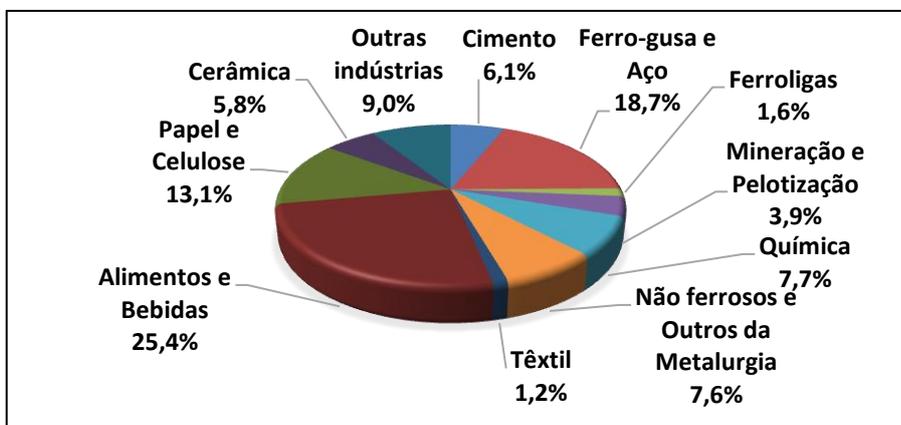
Figura 1 – Percentual de emissão de CO<sub>2</sub> por setor no Brasil



Fonte: Dados obtidos do BEN (2015)

As emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 666,0 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO<sub>2</sub>-eq) em 2014. Desse total, o setor de transporte é o maior emissor, sendo responsável por 38,7% da emissão, correspondente a 257,6 Mt CO<sub>2</sub>-eq, o segundo maior emissor é o setor industrial representando 36,1%, equivalente a 240,4 Mt CO<sub>2</sub>-eq, seguido pelo setor energético com 13,6% da emissão total, correspondendo 90,7 Mt CO<sub>2</sub>-eq. Vale ressaltar que o maior consumidor de energia não necessariamente seja o maior emissor de CO<sub>2</sub>. O nível de emissão também depende dos energéticos consumidos e, não somente, do volume de energia consumido em tep. A Figura 2 apresenta o percentual de consumo de energia por tipo de indústria no Brasil em 2014, o que nos permite identificar os maiores consumidores de energia.

Figura 2 – Percentual de consumo de energia por tipo de indústria no Brasil

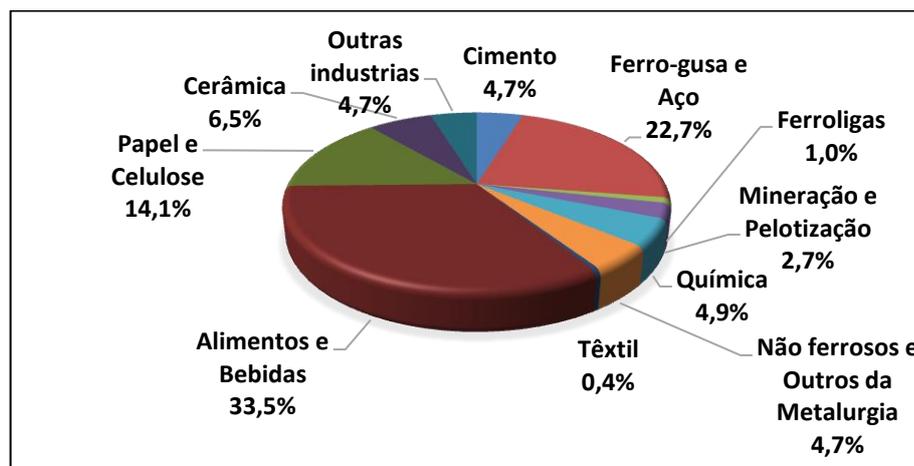


Fonte: Dados obtidos do BEN (2015)

De acordo com a Figura 2, é possível observar que a indústria de alimentos e bebidas é a maior consumidora dentro do setor industrial, representando 25,4% do consumo de energia ( $22.208 \times 10^3$  tep. do consumo total). Em seguida, destaca-se a indústria de ferro-gusa e aço com 18,7%, equivalente ao consumo de  $16.354 \times 10^3$  tep e a indústria de papel e celulose representando 13,1% do total de energia consumida no Brasil, correspondendo a  $11.423 \times 10^3$  tep.

As emissões de dióxido de carbono em cada ramo do setor industrial brasileiro podem ser visualizadas na Figura 3.

Figura 3 – Percentual de emissão de CO<sub>2</sub> em cada ramo do setor industrial Brasileiro



Fonte: Dados obtidos do BEN (2015)

Verificou-se a partir da Figura 3, que os maiores consumidores de energia também são os maiores emissores de dióxido de carbono. Sendo, portanto, o maior emissor o setor de alimentos e bebidas, com 33,5% do total de emissão pelo setor, correspondendo por 88,8 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO<sub>2</sub>-eq) em 2014, seguido pelos setores de ferro-gusa e aço, correspondendo a 22,7% das emissões o equivalente a 60,1 Mt CO<sub>2</sub>-eq e o setor de papel e celulose, responsável pela emissão de 14,2% do total emitido pelo setor industrial, equivalente a 37,4 Mt CO<sub>2</sub>-eq.

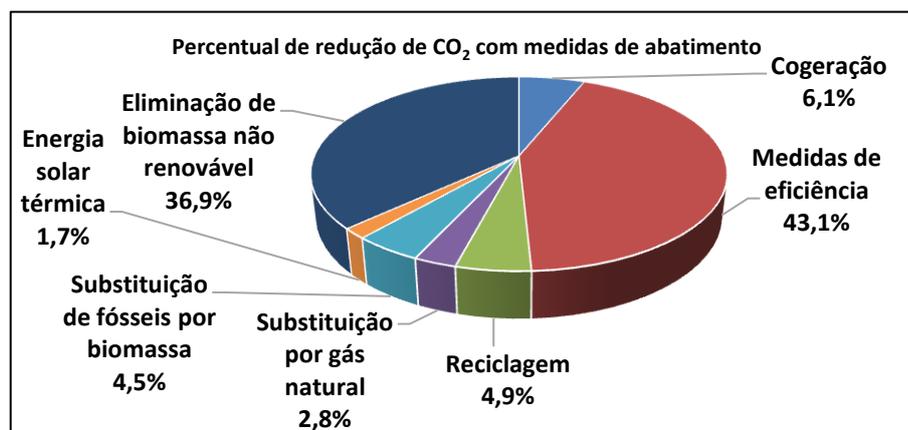
Verificou-se que, ao longo dos últimos 5 anos a participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira vem diminuindo, enquanto que o uso dos combustíveis fósseis vem sendo intensificado. O mesmo fato pode ser observado com a participação das fontes renováveis na indústria brasileira (BEN 2015). É importante lembrar que os combustíveis fósseis poderão acabar em poucos anos, e que Segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2014), se manter o nível atual de produção e de reservas de petróleo, o mesmo terá vida útil de, aproximadamente, 35 anos.

Cabe enfatizar que muitas das atividades industriais são dependentes dos combustíveis fósseis, e estes, são fontes de energia esgotáveis e altamente poluentes, portanto é indispensável investimentos em fontes renováveis de energia, pois, dessa forma, os consumidores não correrão tantos riscos de interrupção de suas atividades por falta de insumos energéticos e reduzirão prejuízos oriundos de autuações pelos órgãos de controle.

As fontes renováveis de energia têm sido a solução escolhida por diversos países, tanto para minimizar os problemas ambientais como para aumentar a segurança no suprimento de energia, uma vez que elas podem, em muitos casos, substituir as fontes convencionais de origem fóssil. Goldemberg e Villanueva (2003) destacam o uso de combustíveis alternativos entre as soluções técnicas para reduzir a emissão de poluentes no setor industrial.

Constatou-se que existem poucos estudos nacionais cobrindo a potencialidade de aplicação de medidas de mitigação de emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil. Um dos estudos foi realizado por Henriques Jr. (2010), onde estimou as medidas de mitigação que podem ser adotadas na indústria brasileira e o total de abatimento de dióxido de carbono entre 2010-2030. A Figura 4 apresenta as propostas de mitigação no setor industrial brasileiro.

Figura 4 - Contribuição das medidas no abatimento de emissão de CO<sub>2</sub> na indústria brasileira: acumulado entre 2010-2030

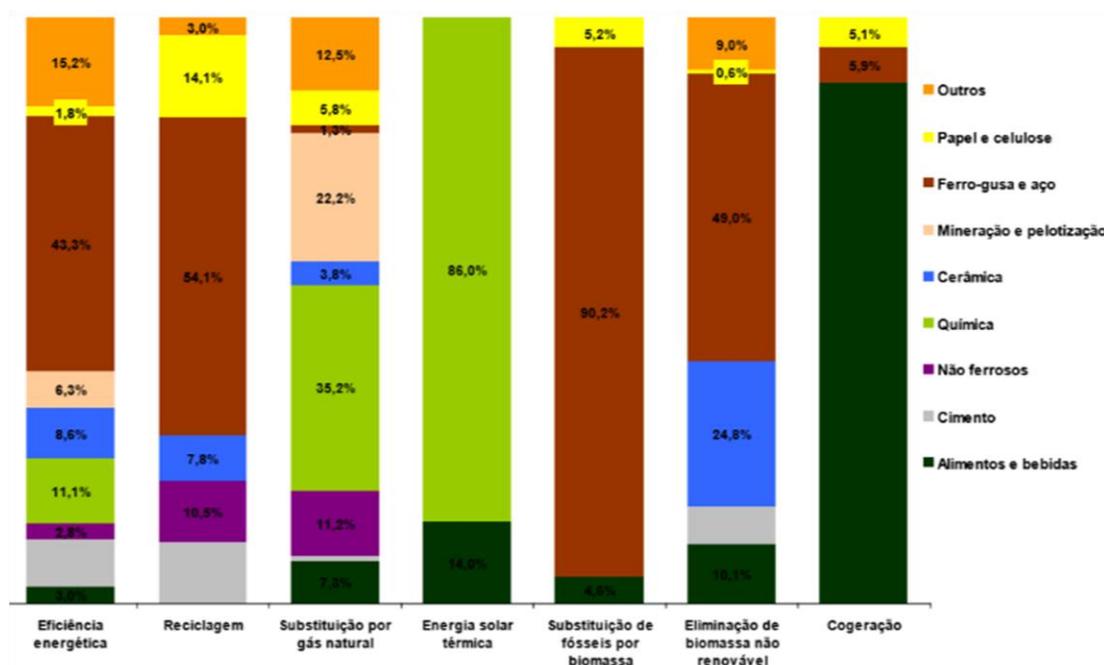


Fonte: Adaptado de Henriques Jr. (2010)

As medidas de eficiência energética e substituição de fósseis por biomassa correspondem, respectivamente 43,1% e 4,5% do total para a mitigação de emissões de GEEs. Ainda segundo, Henriques Jr. (2010), essas medidas de mitigação podem promover um abatimento de 1.535.844 mil tCO<sub>2</sub>, no período de 2010 a 2030.

Em sua pesquisa, Henriques Jr. (2010), também apresenta a contribuição por segmento industrial de cada uma dessas medidas de mitigação de emissões de GEEs, como podemos observar na Figura 5.

Figura 5 - Contribuição das medidas no abatimento das emissões de CO<sub>2</sub> em cada setor industrial: acumulado entre 2010-2030



Fonte: Henriques Jr. (2010)

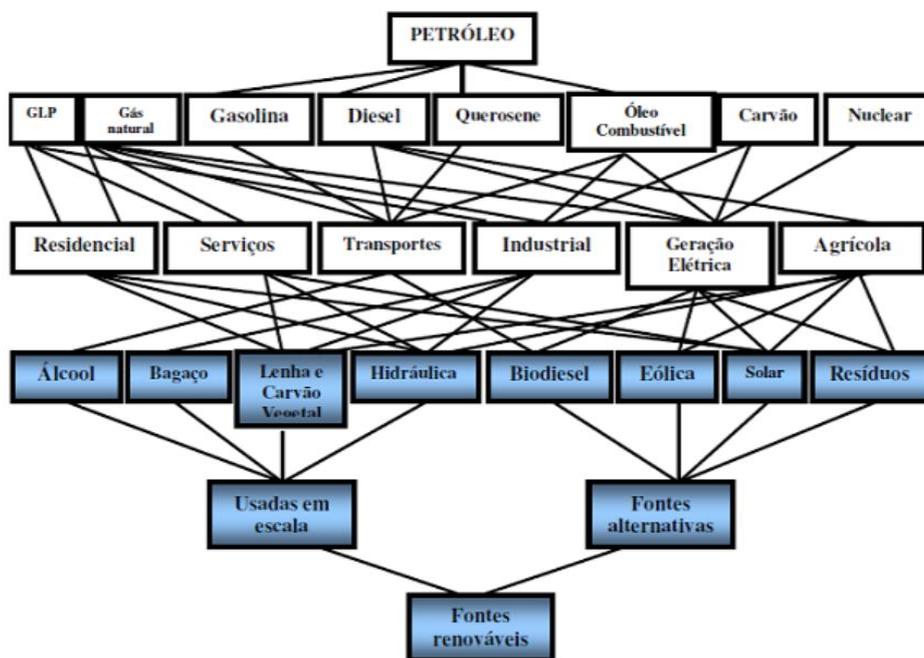
Estima-se, por exemplo que o setor industrial brasileiro possui um grande potencial de redução de emissões, a partir das diversas medidas de mitigação, como ilustra a Figura 5.

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2006), a entrada de novas fontes renováveis evitará a emissão de 2,5 milhões de toneladas de gás carbônico/ano.

De acordo com o BEN (2015), a participação das fontes renováveis na estrutura de consumo de energia no setor industrial brasileiro é pouco maior que a dos combustíveis fósseis. Apesar disso, verificou-se que a participação das fontes renováveis está diminuindo ao longo dos anos e vem aumentando a participação de coque de carvão mineral e carvão mineral, fontes de energia altamente poluentes.

A Figura 6 ilustra as múltiplas possibilidades de substituição de energia nos diversos setores consumidores de energia (industrial, transporte, energético, residencial, serviços e agrícola).

Figura 6 - Múltiplas possibilidades de substituição de energia nos diversos consumidores de energia do Brasil



Fonte: Adaptado de Rosa (2005)

Na linha superior estão os combustíveis fósseis que emitem gases do efeito estufa, com exceção da energia nuclear e na linha inferior as fontes renováveis de energia, que não emitem gases ou emitem pouco. Foram desconsideradas na Figura 6 algumas aplicações, por não estarem difundidas no mercado brasileiro, como por exemplo o uso de energia solar e do hidrogênio (célula combustível) nos transportes.

Apesar das fontes renováveis serem favoráveis ao meio ambiente, essas apresentam aspectos negativos em relação às outras fontes já consolidadas no mercado, podendo ser citado: o investimento para introduzir o novo equipamento, riscos de suprimento por não possuir tantos fornecedores, a falta de pessoal qualificado para operar com o novo energético e o novo equipamento e a falta de empresas de prestação de serviços para fazer a manutenção dos equipamentos, entre outros. Todos esses fatores negativos estão sendo resolvidos, pois à medida que a produção desses equipamentos aumenta, o valor do produto diminui. Além disso, mais empresas de assistência técnica e mais fornecedores do combustível entram no mercado garantindo a melhor operacionalização dessas novas tecnologias. Ademais, os aspectos positivos relacionados com o uso dessas tecnologias vão além de benefícios econômicos, pois existem benefícios ambientais e sociais que não são mensurados e, por isso, acabam deixando de serem inseridos em estudos de análise de viabilidade.

### 3 Metodologia

Neste trabalho foi desenvolvida uma pesquisa bibliográfica aprofundada no Balanço Energético Nacional de 2015 (BEN), pois fornece uma retrospectiva da dinâmica e das transformações sofridas pela matriz energética nacional, o que permite análises que orientam propostas para o desenvolvimento sustentável. O relatório divulga anualmente dados relativos à oferta e consumo de energia no Brasil. Com o BEN (2015), foi realizado um estudo da estrutura de consumo de energia nos diversos segmentos industriais brasileiros, a fim de selecionar o segmento a ser utilizado como referência para traçar propostas de mitigação da poluição. Para isso, seguiram-se os seguintes passos:

- a) Identificação dos maiores consumidores de energéticos;
- b) Análise da estrutura de consumo de energia dos maiores consumidores;
- c) Análise do balanço de emissões de CO<sub>2</sub> do setor industrial e identificação dos seus principais emissores de CO<sub>2</sub>;
- d) Identificação de um setor com potencial de redução de emissão a partir da mudança da estrutura de consumo de energia.

A metodologia *top-down* foi selecionada devido a menor complexidade de obtenção dos dados e por sua confiabilidade. É importante destacar que essa metodologia do IPCC propõe uma quantificação do volume de emissão sem considerar a propriedade de captura do CO<sub>2</sub> durante o estágio de desenvolvimento dos energéticos de caráter renovável. Portanto, os resultados deverão ser interpretados com moderação para que não haja conclusões precipitadas.

Além disso, a metodologia supõe que, uma vez introduzido na economia nacional, em um determinado ano, o carbono contido num combustível ou é liberado para a atmosfera ou é retido de alguma forma (como, por exemplos, por meio do aumento do estoque do combustível, da incorporação a produtos não energéticos ou da retenção parcialmente inoxidado).

A grande vantagem da metodologia utilizada, portanto, é não necessitar de informações detalhadas de como o combustível é utilizado pelo usuário final ou por quais transformações intermediárias ele passa antes de ser consumido. Após o uso da metodologia *top-down* do IPCC para identificação do consumidor industrial com potencial redução de emissão, foram propostas medidas de mitigação baseadas em mudanças na matriz energética do setor industrial brasileiro.

### 4 Apresentação e Análise dos Resultados

A partir dos dados publicados no Balanço Energético Nacional de 2015, foram realizadas algumas investigações que serão apresentadas a seguir:

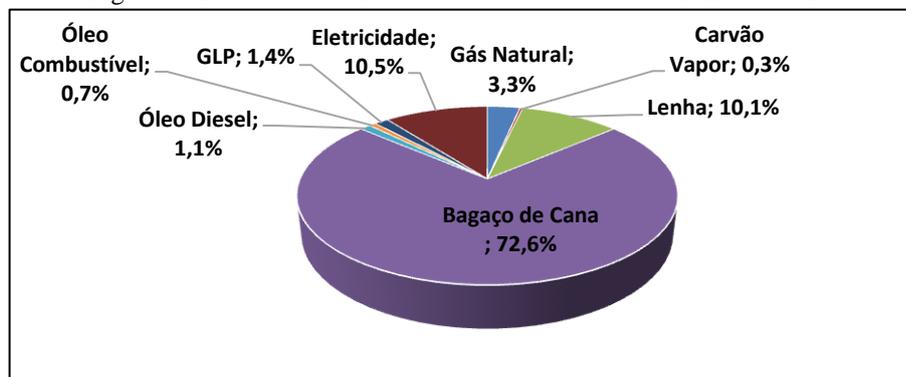
#### a) Identificação dos maiores consumidores industriais de energia no Brasil

Conforme publicado pelo BEN (2015), os maiores consumidores de energia no setor industrial são: o de alimentos e bebidas, que aparece em primeiro lugar, com um consumo de 25,4% do total de energia consumida pela indústria; em seguida, vem o setor de Ferro – gusa e aço que consome o equivalente a 18,7%; seguido pelo setor de papel e celulose, que consome 13,1%. É necessário destacar que essas porcentagens correspondem à proporção do consumo de energia do setor mencionado em relação à parcela total consumida por toda a indústria.

#### b) Análise da estrutura de consumo dos maiores consumidores industriais

Como mencionado, foi detectado que os maiores consumidores industriais de energéticos são: Alimentos e bebidas, ferro-gusa e aço e papel e celulose. A seguir, são apresentadas as estruturas de consumo de cada um dos setores citados. A Figura 7 mostra a participação (em %) de cada energético na estrutura de consumo no setor de alimentos e bebidas:

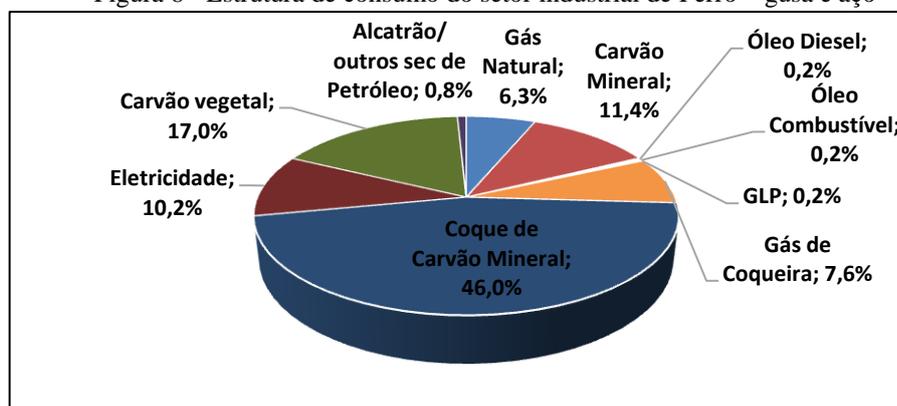
Figura7 - Estrutura de consumo do setor industrial de Alimentos e Bebidas



Fonte: Dados obtidos do BEN (2015)

De acordo com a Figura 7, percebemos que o setor industrial de alimentos e bebidas utiliza, principalmente, o bagaço de cana com uma participação de 72,6% na estrutura de consumo do ano de 2014. Como esse energético é considerado uma fonte de energia renovável, o setor não possui grande potencial de mitigação da emissão de GEE, pois o replantio da cana pode compensar o CO<sub>2</sub> emitido durante a queima do energético. Além do bagaço de cana, há uma grande participação da eletricidade (10,5% do total do consumo), e da lenha (com 10,1% do total do consumo). Vale destacar que 93,2% do consumo nesse setor representa uso de fontes renováveis de energia. A Figura 8 apresenta a participação, em percentual, de cada energético na estrutura de consumo do setor industrial de ferro – gusa e aço.

Figura 8 - Estrutura de consumo do setor industrial de Ferro – gusa e aço



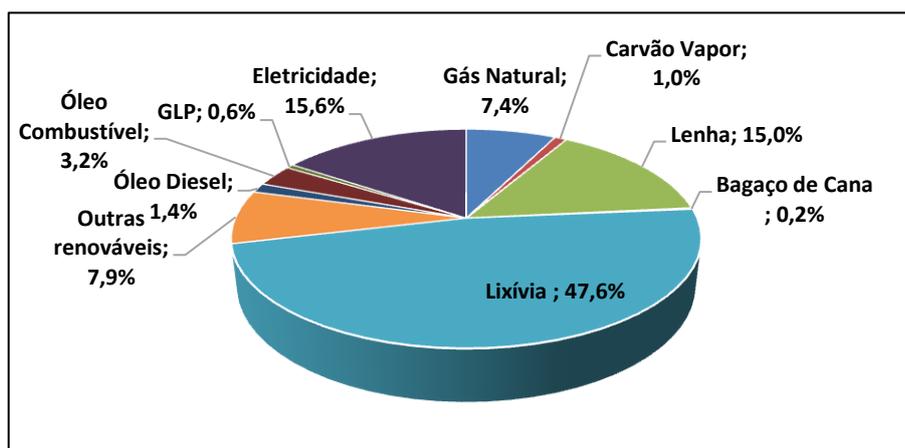
Fonte: Dados obtidos do BEN (2015)

Observou-se na Figura 8 que o setor industrial de Ferro–gusa e Aço, utiliza predominantemente em sua estrutura de consumo as fontes não renováveis de energia, representando uma participação de 72,0% do total de energia consumida pelo setor. Sendo o coque de carvão mineral o energético mais consumido, com participação de 46,0% do total do consumo. Vale destacar que o coque vem apresentando um aumento no consumo nos últimos 3 anos com uma variação de 1,1% de 2013 para 2014. Além do coque de carvão mineral, também constatou-se uma grande participação do carvão mineral, representando 11,4% do total do consumo. Como o coque de carvão mineral e o carvão mineral estão entre os três principais energéticos mais consumidos por este setor, é importante ter uma preocupação com

o nível de emissão gerado pelo uso desses energéticos nos processos produtivos. Para evitar um nível de poluição elevada pelo setor, recomenda-se substituir o coque de carvão mineral por fontes mais limpas. De acordo com a Figura 5, o setor de ferro-gusa e aço tem potencial grande de ser beneficiado com medidas de mitigação, sendo, portanto, um potencial redutor, no período de 2010-2030, de emissão de CO<sub>2</sub> através de mitigações por eficiência energética (43,3%), reciclagem (54,1%), substituição de fósseis por biomassa (90,2%) e eliminação de biomassa não renovável (49,0%).

A Figura 9 destaca a participação, em percentual, de cada energético na estrutura de consumo do setor industrial de Papel e Celulose.

Figura 9 - Estrutura de consumo do setor industrial de Papel e Celulose



Fonte: Dados obtidos do BEN (2015)

Analisando a Figura 9, conclui-se que a estrutura de consumo no setor industrial de Papel e Celulose é representada, principalmente, por fontes renováveis de energia, com uma participação de 86,0% do consumo total no ano de 2014. Sendo a lixívia, o energético com maior percentual participativo neste setor, com 47,6% do total do consumo de energético. Além da lixívia, é possível verificar que a eletricidade e a lenha são importantes energéticos para esse setor, pois suas participações são de 15,6% e 15,0%, respectivamente. A partir do uso da lixívia e da lenha, há uma compensação de CO<sub>2</sub> emitido durante a combustão com o absorvido na etapa de plantio, implicando em baixo impacto sobre o aquecimento global. Com isso, esse setor possui pouco potencial de redução de emissão.

Entre os três setores analisados, o Ferro-gusa e Aço é o que mais apresenta possibilidades de redução na emissão de GEE, já que sua matriz energética concentra-se na utilização de coque de carvão mineral, sendo este, combustível fóssil altamente poluente.

### c) Análise do balanço de emissões de CO<sub>2</sub> do setor industrial e identificação dos seus principais emissores de CO<sub>2</sub>

De acordo com a metodologia de mensuração de emissão de CO<sub>2</sub> do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) e de dados do Balanço Energético Nacional (BEN 2015), os três principais setores responsáveis pelas emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil foram: o de transporte (38,7%), o industrial (36,1%) e o energético (13,6%). No setor industrial, destaca-se como maiores emissores de dióxido de carbono: o setor de alimentos e bebidas com 88.798,4 x 10<sup>3</sup> t/ano, correspondendo a 33,5% do total de emissão, seguido do setor de Ferro-gusa e aço com um volume de emissão de 60.158,2 x 10<sup>3</sup> t/ano de CO<sub>2</sub>, correspondendo a 22,7% e em terceiro, vem o setor de papel e celulose 37.404,5 x 10<sup>3</sup> t/ano de emissão de CO<sub>2</sub>, com 14,1% do total emitido por esse setor.

**d) Identificação de um setor com potencial de redução de emissão a partir da mudança da estrutura de consumo de energia**

Para determinar o setor com potencial de redução de emissão, previamente será identificado o setor que utiliza uma significativa quantidade de combustíveis fósseis considerados poluentes e, em seguida, será aplicado a metodologia *top-down* do IPCC para quantificação de emissão de CO<sub>2</sub> oriundos do uso desses combustíveis fósseis. Os valores serão calculados em escala anual para cada fonte energética utilizada pelo setor com maior potencial de mitigação de emissão. Segundo o MCT (2006), o cálculo das emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis pela abordagem *top-down* do IPCC abrange as seguintes etapas:

**i) Determinação do consumo aparente dos combustíveis em tonelada equivalente de petróleo (tep).**

O consumo aparente representa a quantidade de combustível consumida. Esse valor pode ser dado em tep, m<sup>3</sup>, litros, kg, toneladas ou em qualquer outra unidade para representar a quantidade consumida. A tonelada equivalente de petróleo (tep) é uma unidade de energia definida como calor libertado na combustão de uma tonelada de petróleo cru, aproximadamente, 42 gigajoules. Se o consumo não estiver informado em tep, considerar o poder calorífico superior para identificar a quantidade em Mcal (Megacaloria) contida em certa quantidade de combustível. Com essa informação, será possível calcular, por simples regra de três, a quantidade de tep, pois sabe-se que 1tep=10.800 Mcal. A Tabela 1 abaixo ilustra o poder calorífico superior (PCS) de alguns energéticos.

Tabela 1. Poder calorífico superior (PCS) dos energéticos

<b>Energético</b>	<b>PCS em Kcal/unidade</b>
GLP	11800 kcal/kg
Óleo Diesel	10200 kcal/l
GNV	9400 kcal/m <sup>3</sup>
Etanol	6400 kcal/l
Gasolina	11100 kcal/l
Óleo Combustível BPF	9706 kcal/l
Lenha de Eucalipto (40% de unidade)	2770 kcal/kg
Lenha de Eucalipto	859000 kcal/kg
Energia Elétrica	860 kcal/KWh
Cavacos de Pinus	2770 kcal/kg
Cavacos de Pinus	859000 kcal/m <sup>3</sup>
Carvão vegetal	7800 kcal/kg

Fonte: Valores obtidos no MCT (2006)

Para o presente estudo, o consumo aparente será encontrado no BEN (2015) em tep.

**ii) Conversão do consumo aparente para uma unidade de energia comum, terajoules (TJ);**

A obtenção do consumo em TJ, se dará pela multiplicação do consumo em tep pelo fator de conversão. Onde o fator de conversão é obtido multiplicando-se  $45,217 \times 10^{-3}$  pelo fator de correção. Já o fator de correção é igual a 0,95, quando tratar-se de combustíveis sólidos e líquidos e 0,90, quando o combustível é gasoso.

**iii) Transformação do consumo aparente de cada combustível em conteúdo de carbono, mediante a sua multiplicação pelo fator de emissão de carbono do combustível;**

A obtenção do conteúdo de carbono inserido no combustível, é determinada pela multiplicação do consumo aparente dado em TJ pelo fator de emissão de carbono dado em tonelada de carbono por terajoule. A Tabela 2 apresenta o fator de emissão de C e de CO<sub>2</sub> para cada combustível.

Tabela 2: Fator de emissão de C e de CO<sub>2</sub> de cada energético

<b>Energético</b>	<b>(t de C/TJ)</b>	<b>(t de CO<sub>2</sub>/TJ)</b>
Petróleo	20	69,7
Carvão vapor	26,8	93,4
Gás natural	15,3	53,3
Óleo Diesel	20,2	70,4
Óleo Combustível	21,1	73,5
Gasolina	18,9	65,8
GLP	17,2	59,9
Querosene	19,6	68,3
Outros energéticos de petróleo	18,4	64,1
Lenha/Carvão vegetal/Bagaço	29,9	104,2
Álcool etílico	16,8	58,5

Fonte: Valores obtidos no MCT (2006)

#### iv) Correção dos valores para se considerar a combustão incompleta do combustível;

Nem todo carbono será oxidado, uma vez que, na prática, a combustão nunca ocorre de forma completa, deixando inoxidada uma pequena quantidade de carbono contida nas cinzas e outros subprodutos (MCT, 2006). Com o objetivo de computar somente a quantidade de carbono realmente oxidada na combustão, faz-se uma correção dos valores para descontar a combustão incompleta do combustível. Para a obtenção das emissões reais, multiplica-se o carbono disponível para a emissão (nesse estudo, igual ao conteúdo de carbono inserido no combustível) pela fração de carbono oxidada na combustão. A Tabela 3 apresenta a fração de carbono oxidada na combustão para cada energético.

Tabela 3. Fração de carbono oxidada na combustão

<b>Combustível</b>	<b>IPCC</b>	<b>RTD<sup>1</sup></b>
<b>Combustíveis fósseis líquidos</b>		
<i>Combustíveis primários</i>		
Petróleo	0,990	0,990
Líquidos de Gás Natural	0,990	0,990
<i>Combustíveis secundários</i>		0,990
Gasolina		0,990
Querosene		0,990
Óleo Diesel		0,990
Óleo Combustível		0,990
GLP		0,990
Lubrificantes		0,990
Coque de Petróleo		0,990
Óleos e subprodutos	0,990	
Outros		0,990
<b>Combustíveis fósseis sólidos</b>		
<i>Combustíveis primários</i>		
Carvão Metalúrgico		0,980
Antracito		0,980
Carvão Betuminoso		0,980
<i>Combustíveis secundários</i>		
Coque		0,990
<b>Combustíveis fósseis gasosos</b>		
Gás Natural Seco		0,995
Gás de Refinaria		0,995
<b>Biomassa sólida</b>		
Carvão Vegetal		0,995

Fonte: Valores obtidos no MCT (2006)

#### v) Conversão da quantidade de carbono oxidada em emissões de CO<sub>2</sub>;

A conversão da quantidade de carbono oxidada para quantidade total de dióxido de carbono emitido é realizada por meio da multiplicação do conteúdo de carbono (após a correção) por

44/12. Em que 44 é a massa molecular do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e 12 é a massa molecular do carbono (C). O Quadro 1 é um resumo do passo a passo para obtenção do nível de emissão de CO<sub>2</sub> a partir do consumo de determinado energético.

Quadro 1 - Resumo do passo a passo para obtenção do nível de emissão de CO<sub>2</sub> a partir do consumo de determinado energético

i	ii	iii	iv	v	
Cálculo do consumo em tep (1)	Conversão para TJ (2) = (1) x fator de conversão	Consumo em TJ (2)	Cálculo do conteúdo de carbono (tC) = Fator de emissão de carbono em t de C/TJ x (2)	Correção dos valores p/ considerar combustão incompleta = conteúdo de carbono x fração de carbono oxidado	Cálculo da emissão de CO <sub>2</sub> = conteúdo de carbono (após a correção) x 44/12

Fonte: Elaboração própria

Com a identificação dos maiores consumidores e emissores de CO<sub>2</sub> do setor industrial brasileiro, e com o uso das Tabelas 1, 2, e 3 percebeu-se que o setor de Ferro-gusa e Aço é o 2º maior emissor e o que mais utiliza combustíveis fósseis. Utilizando, em sua matriz energética, bastante coque de carvão mineral e carvão mineral (combustíveis fósseis altamente poluentes, intensivos em carbono e passíveis de troca), portanto, tal setor pode ter um grande potencial de redução de emissão, caso o coque de carvão mineral e os derivados de carvão mineral (fontes não-renováveis) forem substituídos por fontes renováveis. Tal análise, levou a escolha deste setor como foco desta pesquisa. A seguir, mostra-se os energéticos com potencial para substituir o uso do coque de carvão mineral e carvão mineral no setor industrial de Ferro-gusa e Aço.

#### e) Medidas de mitigação baseadas em mudanças na matriz energética do setor industrial de Ferro-gusa e Aço

Com base na Figura 6, foi possível identificar as possibilidades de fontes energéticas renováveis com potencial para substituir o coque de carvão mineral. Analisando esta figura, concluiu-se que o bagaço, a lenha e o carvão vegetal são os energéticos apontados como possíveis substitutos.

Para uma melhor fundamentação da proposta de substituição, será apresentado na Tabela 4 o cálculo de nível de emissão de CO<sub>2</sub> com atual matriz energética do setor industrial de ferro-gusa e aço no ano de 2014.

Tabela 4- Quantificação de emissão de CO<sub>2</sub> no setor industrial brasileiro de Ferro-gusa e Aço

Energéticos	Consumo (10 <sup>3</sup> tep)	%	Conversão para TJ	Conteúdo de Carbono (tC)	Correção dos valores p/ considerar combustão incompleta	Emissão de CO <sub>2</sub>
Gás Natural	1.036	6,3	42.160	645.053	641.827,8	2.353.368,6
Carvão Mineral	1.871	11,4	80.371	2.153.942	2.110.862,8	7.739.830,3
Óleo Diesel	35	0,2	1.503	30.370	30.066,3	110.243,1
Óleo Combustível	35	0,2	1.503	31.723	31.405,9	115.154,9
GLP	26	0,2	1.058	18.199	18.016,9	66.062,1
Gás de Coqueira	1.242	7,6	50.544	1.354.567	1.347.794,6	4.941.913,7
<b>Coque de Carvão Mineral</b>	<b>7.522</b>	<b>46,0</b>	<b>323.116</b>	<b>8.659.513</b>	<b>8.572.918,0</b>	<b>31.434.032,5</b>
Eletricidade	1.671	10,2	0	0	0	0
Carvão vegetal	2.783	17,0	119.547	3.574.454	3.556.582,0	13.040.800,7
Alcatrão/ outros sec de Petróleo	133	0,8	5.713	105.122	104.071,1	381.593,9
<b>Total</b>	<b>16.354</b>	<b>100,0</b>				<b>60.182.999,8</b>

Fonte: Elaboração própria

Observou-se na Tabela 4, que o energético com maior emissão é o coque de carvão mineral. Vale destacar, que o carvão mineral também é bastante utilizado por este setor em estudo, e

que poderia também ser substituído por fontes renováveis. Além do carvão mineral, outros combustíveis fósseis são usados como óleo diesel, óleo combustível e gás liquefeito de petróleo que também poderiam ser substituídos por fontes renováveis, mas o uso desses combustíveis são menos expressivos que o carvão e seus derivados. O gás natural também tem uma participação na atual matriz energética do setor industrial de ferro-gusa e aço, mas esse energético pode ser considerado menos impactante que os outros combustíveis fósseis mencionados. Dessa forma, decidiu-se focar somente na substituição do coque de carvão mineral.

A Tabela 5 apresenta o nível de emissão de dióxido de carbono com a substituição do coque de carvão mineral por bagaço, lenha e carvão vegetal.

Tabela 5 – Quantificação de emissão de CO<sub>2</sub> com a substituição dos energéticos no setor industrial de Ferro-gusa e Aço no Brasil no ano de 2014

Energéticos	Consumo (10 <sup>3</sup> tep)	%	Conversão para TJ	Conteúdo de Carbono (tC)	Correção dos valores p/ considerar combustão incompleta	Emissão de CO <sub>2</sub>
Gás Natural	1.036	6,3	42.160	645.053	641.827,8	2.353.368,6
Carvão Mineral	1.871	11,4	80.371	2.153.942	2.110.862,8	7.739.830,3
Óleo Diesel	35	0,2	1.503	30.370	30.066,3	110.243,1
Óleo Combustível	35	0,2	1.503	31.723	31.405,9	115.154,9
GLP	26	0,2	1.058	18.199	18.016,9	66.062,1
Gás de Coqueira	1.242	7,6	50.544	1.354.567	1.347.794,6	4.941.913,7
<b>Lenha/carvão vegetal/Bagaço</b>	<b>7.522</b>	<b>46,0</b>	<b>323.116</b>	<b>9.661.173</b>	<b>9.612.867,3</b>	<b>35.247.180,2</b>
Eletricidade	1.671	10,2	-	0	0	0
Carvão vegetal	2.783	17,0	119.547	3.574.454	3.556.582,0	13.040.800,7
Alcatrão/ outros sec de Petróleo	133	0,8	5.713	105.122	104.071,1	381.593,9
<b>Total</b>	<b>16.354</b>	<b>100,0</b>				<b>63.996.147,5</b>

Fonte: Elaboração própria

Verificou-se que, para qualquer tipo de biomassa sólida (bagaço, lenha ou carvão vegetal), o nível de emissão de CO<sub>2</sub> é o mesmo, portanto é indiferente, em termos de emissão, usar qualquer um dos 3 (três) energéticos. Isso é devido ao fator de conversão, fator de emissão de carbono e fração de carbono oxidado serem iguais para os três energéticos (bagaço, lenha e carvão vegetal). Constatou-se ainda, que os níveis de emissão de dióxido de carbono relacionados com o uso dos três tipos de biomassa foram maiores que o nível de emissão com o uso do coque de carvão mineral, tal aumento pode ser recompensado com o sequestro de carbono na fotossíntese das plantações dos insumos energéticos renováveis, portanto, é mais vantajoso, em termos ambientais, usar biomassa no setor industrial de ferro-gusa e aço do que fazer uso do coque de carvão mineral.

## 5 Considerações Finais

Conter o aquecimento global entrou definitivamente na pauta das preocupações dos países. Além das estratégias visando minimizar a vulnerabilidade e aumentar a adaptação às mudanças já em curso, reduzir as emissões de gases de efeito estufa tornou-se crucial de forma a evitar mudanças climáticas. O aquecimento, conforme discorrido neste artigo, representa sério risco, e deve acarretar danos ambientais, econômicos e sociais irreversíveis.

Reduzir o lançamento de GEE na atmosfera seria uma alternativa viável quando se pensa em fontes renováveis de energia. Além disso, parece ser menos custoso do que reparar danos já estabelecidos. Independentemente da capacidade econômica dos países, ações de mitigação de emissão de GEE deverão constar da pauta dos governos, e abrangerão todas as atividades econômicas, compreendendo desde a geração de energia, produção industrial, transporte, agricultura e disposição de resíduos, à preservação de florestas.

O Brasil tem contribuição importante nas emissões globais, já apontado como um dos maiores emissores de CO<sub>2</sub>. Seu maior desafio será conter essas emissões. Diante do exposto a proposta deste artigo foi analisar a estrutura de consumo do setor industrial brasileiro e propor medidas de mitigação, de forma contribuir na elaboração políticas públicas, além de fornecer reflexões sobre sustentabilidade corporativa às empresas que do setor industrial e fornecer informações importantes para o desenvolvimento sustentável do país.

Após analisar o consumo de energia do setor industrial de ferro-gusa e aço e propor mudança em sua matriz energética, pode-se observar que a emissão do coque de carvão mineral é inferior a de seus possíveis substitutos. Apesar disso, é possível refletir que devido à compensação do alto nível de emissão gerado pela queima da biomassa com o sequestro de CO<sub>2</sub> na fotossíntese com o replantio, é viável, em termos ambientais, a retirada do coque de carvão mineral na indústria em estudo, para a inserção do bagaço, lenha ou carvão vegetal.

Vale destacar que os projetos de geração de energia a partir do uso de fontes renováveis e projetos de eficiência energética podem ser difundidos para os demais setores do Brasil, de forma, a garantir uma maior redução da poluição.

Nesse sentido, a principal conclusão é que o Brasil apresenta condições de atender, frente aos demais países, ao aumento na demanda por fontes renováveis, em razão de apresentar condições climáticas favoráveis e pela diversidade da vegetação que fornece matérias-primas que poderiam, de fato, serem fontes de energia substitutas dos combustíveis fósseis. Cabe aqui acrescentar que existem várias pesquisas científicas envolvendo fontes alternativas de energia e o desenvolvimento de tecnologias avançadas para ampliar o uso dessas fontes nos diversos setores consumidores. Para que essas mudanças na estrutura de consumo de energia ocorram, é necessário mais incentivo do governo para reduzir os custos de adaptação aos novos energéticos e maiores exigências por parte dos órgãos de controle ambiental e dos consumidores, a fim de estimular a prática de processos industriais menos poluentes.

Logo, o artigo mostra que uma transição bem sucedida para uma baixa emissão de dióxido de carbono na indústria brasileira exigirá uma combinação de tecnologias de energia renovável e de eficiência energética, bem como um conjunto de políticas para garantir a implementação dessas tecnologias.

## REFERÊNCIAS

ANP (2014), Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Boletim mensal de energia**. Disponível: <http://www.anp.gov.br/?pg=59925&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1404486215925>. Acesso em: 04 de jul. 2015.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e Instrumentos**. 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 2007. 392p.

BEN (2015), **Balanco Energético Nacional 2015** (Ano-base 2014). Divulga relatórios síntese e finais relativos ao binômio oferta-consumo de fontes de energia no Brasil do ano de 2014. Disponível em: < <http://www.ben.epe.gov.br>>. Acesso em: 01 abril 2015.

CETESB. SMA. Relatório sobre Produção mais Limpa e Consumo Sustentável na América Latina e Caribe. São Paulo: PNUMA/CETESB, 2005.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDEMBERG, J; VILLANUEVA, L.D., 2003, **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**, 2.ed. São Paulo: Editora de Universidade de São Paulo, 2003.

HENRIQUES JR., M.F., 2010, **Potencial de Redução de Emissão de Gases de Efeito Estufa pelo Uso de Energia no Setor Industrial Brasileiro**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPP, 2010. Tese (Doutorado) – Programa de Planejamento Energético, 2010, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

IPCC (1996). **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**: Wookbook, revisão de 1996. Apresenta a metodologia top-down para mensurar o nível de emissão de CO<sub>2</sub> a partir do volume energético consumido. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1wb1.pdf>>. Acesso em: 06 de maio de 2015.

\_\_\_\_\_. **Summary for Policymakers**. In: EDENHOFER, O. et. al. (eds.). *Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2014

\_\_\_\_\_. **Summary for Policymakers**. In: STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P.M. (Eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2013. p. 119-158.

LEAL, R. A., 2014, **Ciclos econômicos e emissão de CO<sub>2</sub> NO BRASIL: Análise dinâmica para políticas ambientais ótimas**. Rio Grande do Sul: UFPEL, 2014.

LA ROVERE, E. L. et al. **Brazil beyond 2020: from deforestation to the energy challenge**. *Climate Policy*, v. 13, n. sup01, p. 70–86, mar. 2013.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O Desenvolvimento de produtos Sustentáveis**. 1 ed. São Paulo: Editora da universidade de São Paulo, 2005.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA – MCT (2006). **Relatório de referência sobre emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis: abordagem top-down** elaborado pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) no ano de 2006. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/clima>>. Acesso em: 22 de abril 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME (2006). **Apresentação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA)**. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/programs\\_display.do?prg=5](http://www.mme.gov.br/programs_display.do?prg=5)>. Acessado em 25 jun. 2015.

PBMC, 2014: **Mitigação das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 3 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas** [Bustamante, M. M. C., Rovere E.L.L., (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 463 pp.

Rosa, L.P., 2005, “A importância de uma política climática brasileira”, *Revista Parcerias Estratégicas*, Brasília, n.21, dez. 2005.

SANTOS, E.O., 2006, **Contabilização das emissões líquidas de gases de efeito estufa de hidrelétricas: uma análise comparativa entre ambientes naturais e reservatórios hidrelétricos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2006. 165p. Tese (Doutorado) – Coordenação dos programas de pós graduação de engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.