

EMISSÕES DE CO₂ PELOS SETORES INDUSTRIAIS: UM AUXÍLIO ÀS POLÍTICAS PÚBLICAS ANTE AO DESAFIO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

Flavia de Castro Camioto (EESC-USP)

flaviacamioto@yahoo.com.br

Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto (EESC-USP)

daisy@sc.usp.br



Num período de mudanças climáticas e restrições a emissões cada vez maiores, é importante focar o desenvolvimento das nações na direção de uma economia de baixo carbono. Diante desse contexto, surgiram iniciativas governamentais que culminaram com a redução da emissão de poluentes na atmosfera por meio do incentivo ao uso de fontes alternativas de energia ou através da melhoria da eficiência energética. O presente artigo tem como objetivo apresentar uma pesquisa, em andamento, que pretende analisar a adequação desses programas com relação à possibilidade de redução da emissão de CO₂ pelo setor industrial. Para isso, será realizada a análise e quantificação da potencial contribuição ambiental que a alteração da matriz energética dos setores industriais mais poluentes pode proporcionar. Para essa análise quantitativa será utilizado o método Top-Down, proposto pelo IPCC, que, neste artigo, mediu as emissões de CO₂ dos combustíveis utilizados nos setores industriais. A partir dos dados de consumo energético dos setores, será realizada a quantificação das emissões de CO₂ supondo a mudança da matriz energética dos setores para efeito de comparação das emissões. Acredita-se que os resultados finais contribuam para a análise das emissões de GEE dos setores estudados, além de fornecer ao governo conhecimentos sobre a contribuição dos seus projetos para o desenvolvimento sustentável do país.

Palavras-chaves: Políticas Públicas, Gases do Efeito Estufa (GEE), Matriz Energética, Setores Industriais, Método Top-Down

1. Introdução

Ao longo da história, os seres humanos tiveram uma postura notadamente extrativista em relação aos recursos naturais. Os resultados apresentados no último relatório do IPCC (2007), Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas, confirmam que as causas do aquecimento global são atribuídas, em grande parte, às atividades humanas, principalmente, às relacionadas a emissão de CO₂. Da mesma forma, mostrou-se que o consumo de energias fósseis é a principal causa da intensificação do efeito estufa, sendo que a queima desses combustíveis é responsável por cerca de 85% das emissões antropogênicas de CO₂ produzidas anualmente.

Considerando este contexto, em 1992, foi realizada a Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. O artigo 4.1 dessa Convenção estabeleceu obrigações comuns a todas as Partes. Entre essas obrigações está a formulação e implementação de programas que incluam medidas para mitigar a mudança global do clima (ONU, 2010).

Apesar do Brasil não ser uma das Partes da Convenção, e como tal não ter compromissos obrigatórios para com ela, tem implementado uma série de medidas no setor energético ao longo do tempo, que resultaram em menores emissões de CO₂.

O presente artigo apresenta resultados parciais de um trabalho mais amplo, que pretende analisar a adequação desses programas e medidas governamentais com relação à possibilidade de redução da emissão de CO₂ pelo setor industrial, por meio do consumo de fontes energéticas mais limpas. Desta forma, este artigo irá descrever diversos programas e medidas implementados pelo governo brasileiro no setor energético e apresentar a mensuração das emissões de CO₂ pelas fontes de energia utilizadas atualmente por cada setor industrial. Para essa análise quantitativa foi utilizado o método *top-down*, proposto pelo IPCC.

O artigo, também, visa estimular discussões que ajudarão na conclusão da proposta de trabalho. Acredita-se que os resultados finais desta pesquisa contribuirão para a análise das emissões de GEE dos setores estudados, além de fornecer ao governo conhecimentos sobre a contribuição dos seus projetos para o desenvolvimento sustentável do país.

O setor industrial foi escolhido por ser o maior consumidor de energia do país (BEN, 2010), além de muitas de suas atividades serem dependentes de combustíveis fósseis. Como consequência, este setor acaba agredindo o meio ambiente por emitir altíssimas concentrações de GEE, aumentando o aquecimento global, além de contribuir para a extensa extração de combustíveis na forma de petróleo e carvão. Desta forma, uma das principais alternativas para que se inverta esse quadro é a substituição de fontes de energias fósseis, por combustíveis de caráter renovável.

Além disso, a utilização de energias mais limpas pode ser considerada como estratégica ao desenvolvimento da sociedade, por garantir a perenidade dos recursos naturais e por causar menos impactos ambientais. A substituição da matriz energética torna-se, neste caso, importante para o direcionamento de recursos públicos, na busca do desenvolvimento sustentável.

No entanto, é importante considerar que todas as formas de geração de energia provocam interferências no meio ambiente. Algumas são mais impactantes e outras menos. Porém, devido aos grandes impactos ambientais causados pelas fontes fósseis de energia, além da perspectiva de esgotamento, em médio prazo, das reservas existentes, o recente processo de reestruturação do setor elétrico tem estimulado a geração descentralizada de energia elétrica,

de modo que as fontes não convencionais ocupem mais espaço na matriz energética brasileira.

Vale ressaltar, ainda, que a redução de emissões de GEE tem uma importante e fundamental força propulsora no mercado internacional de créditos de carbono, no qual o Brasil participa por meio de projetos ligados ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Projetos ligados à menor geração de energia intensiva (no caso do Brasil, especialmente a biomassa, pequenas centrais hidrelétricas e eólicas) são elegíveis para inclusão no MDL (SIMÕES; LA ROVERE, 2008).

Para a quantificação da emissão do CO₂ no setor industrial, foi escolhida a técnica *top-down*, reconhecida internacionalmente e recomendada pela ONU (Organizações das Nações Unidas). A partir de diversos estudos, entre eles o primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de GEE (MCT, 2006), foi possível observar que o inventário gerado a partir desta ferramenta facilita a análise e compreensão dos ganhos ambientais na adoção de novas alternativas energéticas. Além disso, pode auxiliar na elaboração e condução de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável.

2. Políticas Públicas e o Cenário Energético Brasileiro

O Brasil é um país notório pela participação elevada de energias renováveis na sua matriz energética, representando 47,3% da oferta interna de energia no ano de 2009 (BEN, 2010). De acordo com os resultados preliminares do BEN (2010), as emissões do país em 2007 foram de 1,48 ton.CO₂/tep, contrastando significativamente com a média mundial que é de 2,39 ton.CO₂/tep e com a média dos países da OECD, que é de 2,37 ton.CO₂/tep.

Este cenário se deve, sobretudo, a expressiva participação da energia hidráulica na matriz energética brasileira. A opção pela priorização da construção de usinas hidrelétricas foi feita, pelo governo militar, por considerá-la estratégica para o país. Mais tarde, o aumento das preocupações com os impactos ambientais da produção e uso da energia mostrou que essa seria uma vantagem comparativa do país, ao possuir vastos recursos hídricos e enorme potencial hidrelétrico (PNE 2030, 2007).

No entanto, para enfrentar a crise energética que culminou com o racionamento de energia elétrica no início de 2001, as autoridades elaboraram alguns planos de ação, entre eles o Programa Prioritário de Termelétricidade (PPT), que previa a entrada de 49 termelétricas.

Na geração térmica são utilizados, como combustíveis, principalmente, derivados de petróleo tais como óleo diesel e óleo combustível, que começaram a ceder espaço para a geração a partir do gás natural em meados da década de 90 (PNE 2030, 2007).

O avanço deste combustível pode ser visto como positivo do ponto de vista da eficiência energética e também sob a ótica ambiental, na medida em que o gás desloca parte do consumo de derivados de petróleo e de carvão e é menos poluente do que esses (PNE 2030, 2007).

Hoje, podemos citar diversos outros programas governamentais que, apesar de não terem surgido com o objetivo de diminuir as emissões de carbono, contribuíram para reduzir os impactos ambientais. Entre eles está o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia), que é um instrumento para a diversificação da matriz energética nacional, o que garante maior confiabilidade e segurança ao abastecimento (MME, 2011).

O PROINFA é dividido em duas fases, visando estimular o desenvolvimento de energia renovável a curto e longo prazo. Na primeira fase o programa prevê a implantação de 144 usinas, totalizando 3.299,40 MW de capacidade instalada, sendo 1.191,24 MW provenientes de 63 pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), 1.422,92 MW de 54 usinas eólicas, e 685,24 MW de 27 usinas a base de biomassa. Já a segunda fase do programa estabelece, de acordo

com a Lei 10.438 (2002), que, uma vez atingida a meta de 3.300 MW, o desenvolvimento do Programa será realizado de forma que as fontes eólicas, PCHs e biomassa atendam a 10% do consumo anual de energia elétrica no País, objetivo a ser alcançado em até 20 (vinte) anos.

Além do incentivo às fontes alternativas, outra maneira de ao mesmo tempo reduzir os custos e os impactos ambientais é por meio da intensificação da eficiência energética. No entanto, a tendência geral, no Brasil, tem sido de expansão do consumo global de energia. De 1990 a 2008, o crescimento acumulado foi de 77%, com o consumo total passando de 127,596 milhões de tep para 226,393 milhões de tep. Nem mesmo em 2001, ano marcado pelo racionamento de energia elétrica, o consumo global de energia registrou recuo: passou de 171,949 milhões de tep para 172,186 milhões de tep (aumento de 0,14%) (BEN, 2010).

A única exceção é o ano de 2009. Evidenciando à crise financeira internacional, a indústria foi a principal responsável pela retração na demanda de energia no Brasil neste ano, com queda de 6,85% em relação a 2008. Ainda assim, o setor industrial continuou a ser o maior consumidor, com 76,686 milhões de tep, imediatamente seguido por transportes (62,444 milhões de tep) e setor energético (24,414 milhões de tep) (BEN, 2010).

Diante deste contexto, a eficiência energética pode trazer muitos benefícios, entre eles: aumenta a segurança no abastecimento de energia, contribui para a eficiência econômica e reduz os impactos ambientais. Estes três itens se complementam, implicando na redução da energia necessária por unidade de produto econômico, aumentando a eficiência da economia e garantindo que a mesma produção possa ser obtida com menos energia e, portanto, com menor uso de recursos naturais e menores danos ambientais (ELETROBRÁS, 2011).

O Brasil possui hoje dois programas específicos para a promoção da conservação da energia e racionalização do seu uso, que são essencialmente voltados para a disseminação de informações e a conscientização da população para a importância do uso mais eficiente de energia: o PROCEL e o CONPET.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), criado em 1985, realiza ações de educação, etiquetagem, gestão energética municipal, iluminação pública, gestão de eletricidade na indústria e em edificações e saneamento ambiental (LUNCON; GOLDENBERG, 2007). Já o CONPET (Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo), criado em 1991, promove ações de etiquetagem de produtos e de veículos (CONPET, 2011).

Neste mesmo sentido, há ainda dois outros instrumentos para promover tecnologias mais eficientes. Um deles é a Lei nº 9.991, que estabelece que as concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica ficam obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, 0,75% de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e, no mínimo, 0,25% em programas de eficiência energética no uso final (JUSBRASIL, 2011). Já a Lei nº 10.295, determina que o Poder Executivo estabelecerá níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos pertinentes (JUSBRASIL, 2011).

Também é importante considerar os esforços governamentais em relação à geração termonuclear. A Eletronuclear, empresa ligada ao governo e responsável pela operação das usinas nucleares brasileiras, planeja construir de quatro a seis novos reatores para entrar em operação até 2030. A meta faz parte do Plano Nacional de Energia, traçado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e pelo Ministério de Minas e Energia (CORREIO BRASIL, 2011).

De acordo com a EPE, o consumo de energia no Brasil vai crescer 3,7% ao ano até 2030.

Maurício Tolmasquim, presidente da EPE, entende que a energia nuclear é uma alternativa para quando o potencial hidrelétrico acabar, o que deve acontecer em 2025 ou 2030. Hoje, no Brasil, a energia nuclear responde por 2,5% da energia elétrica. Até 2030, a previsão é de que o percentual chegará a 5% (VALOR ECONÔMICO, 2010).

No entanto, o desastre do dia 11 de março de 2011, no Japão, levou intranqüilidade e medo ao mundo. A usina nuclear Fukushima deveria suportar terremotos e tsunamis. Porém, apesar de não ser danificada por um terremoto de magnitude 8,9 na escala Richter, não suportou o tsunami na seqüência, que provocou uma falha no sistema de esfriamento do reator da usina, culminando no seu superaquecimento e posterior explosão (RIGHETTI, 2011).

No Brasil, foram inúmeras as discussões sobre o tema. No entanto, de acordo com o ministro de Minas e Energia, Edison Lobão, apesar das tragédias, o Brasil vai manter sem alterações o seu programa nuclear, uma vez que as usinas do país foram construídas dentro da melhor tecnologia existente (DIÁRIO DO NORDESTE, 2011).

Ainda, existem programas governamentais voltados para o setor de transportes, como por exemplo, o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), que tem o objetivo de reduzir a contaminação atmosférica por meio da fixação de limites máximos de emissão (MCT, 2008). Outro exemplo é o PROÁLCOOL - Programa Brasileiro de Álcool - lançado com o intuito de incentivar o aumento da produção de etanol como substituto para a gasolina (VEIGA FILHO; RAMOS, 2006). Já o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) objetiva a implementação de forma sustentável da produção e uso do Biodiesel (MME, 2011).

De acordo com Szklo et al (2005), embora alguns desses programas não tenham sido motivados como uma estratégia para frear a mudança climática global, os resultados podem ser replicados visando reduzir as futuras emissões de CO₂ do país. Porém, sem forçar os benefícios dessas medidas, a sua continuação ou intensificação pode ser prejudicada.

Assim, para contribuir de modo mais efetivo com o governo na elaboração e condução de estratégias adequadas para orientar e estimular a adoção e uso de energéticos que reduzam o impacto ambiental, cabe analisar e quantificar, por meio do método *top-down*, a contribuição que alterações da matriz energética traria para a redução da emissão de CO₂. Nesse sentido, o presente trabalho foca no setor industrial uma vez que se trata do maior consumidor de energia, representando 34,6% do consumo total brasileiro (BEN, 2010).

3. Método

A fundamentação teórica, deste trabalho, foi baseada nas principais fontes de pesquisa científica, tais como artigos, relatórios governamentais, teses, etc. Por se tratar de um assunto atual, também foi realizado o acompanhamento de artigos de jornais e da mídia em geral.

Por meio dos dados disponibilizados no Balanço Energético Nacional (BEN), foi possível verificar o consumo dos atuais combustíveis utilizados pelos setores industriais e mensurar suas emissões de CO₂. Pretende-se, posteriormente, identificar os principais processos, dos setores mais poluentes, nos quais os combustíveis são empregados. Com isso, o projeto visa identificar, em cada setor, os processos mais impactantes ao meio ambiente, de forma que sejam considerados como potenciais redutores das emissões de GEE.

Em seguida, o projeto pretende identificar os potenciais substitutos energéticos para os setores analisados, que serão utilizados como referência para a análise das reduções das emissões de CO₂. O próximo passo seria a mensuração das emissões de CO₂ considerando alterações hipotéticas da matriz energética pelos possíveis substitutos das fontes fósseis utilizadas

atualmente pelos setores selecionados. Reitera-se que os valores foram calculados em escala anual (ano de 2009) e foi considerado todo o território nacional.

Destaca-se, no entanto, que a quantificação mais adequada para os combustíveis provenientes da biomassa deveria ser feita considerando as mudanças no uso do solo e florestas. O que o método *top-down* propõe é uma quantificação destes energéticos sem considerar a captura de CO₂ destes combustíveis durante seu estágio de desenvolvimento característico.

Logo, as estimativas visam atender à recomendação do IPCC de que as emissões de CO₂ da biomassa devem ser incluídas, apenas a título de informação, sem serem adicionadas às emissões dos combustíveis fósseis. Os combustíveis de origem renovável não geram emissões líquidas e as emissões associadas à parcela não renovável são incluídas no setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas. O método de quantificação será detalhado no próximo item.

Destaca-se que não são observadas, na indústria, emissões decorrentes do uso de energia elétrica, uma vez que essas emissões ocorrem durante a geração da mesma. No entanto, vale ressaltar que existe uma grande diversidade de formas de geração deste tipo de energia. Logo, as emissões da energia elétrica não foram abordadas no presente trabalho.

Depois de quantificadas as emissões dos setores mais poluentes e as emissões hipotéticas a partir de outros combustíveis, possíveis substitutos, será analisada a adequação das políticas brasileiras no setor energético, para a redução da emissão de poluentes dos setores industriais. Esta análise será feita verificando se o desenvolvimento e o incentivo ao uso das fontes de energia, pelo governo, estão sendo direcionados aos energéticos que, segundo a análise quantitativa, apresentam a menor emissão de poluentes quando utilizados no processo produtivo dos segmentos industriais analisados.

Vale ressaltar que se trata de um trabalho ainda em andamento e, apesar de não haver resultados conclusivos com relação a substituição energética nos setores industriais, pretende-se mostrar as decisões tomadas e os passos a serem seguidos para a finalização da pesquisa.

3.1 O método *top-down* de quantificação das emissões de CO₂

Existem dois métodos desenvolvidos pelo IPCC que permitem o cálculo de emissões de CO₂: o *bottom-up* e o *top-down*. Pela maior confiabilidade dos dados e menor complexidade para o levantamento destes, o método *top-down* foi o mais difundido (SIMÕES, 2003).

De acordo com o Ministério de Ciências e Tecnologia - MCT (2006), para a aplicação do método *top-down* do IPCC é necessário realizar a seguinte sequência de passos:

- a) Determinação do consumo aparente dos combustíveis, nas suas unidades de medida originais: neste trabalho, foi utilizado o consumo direto dos setores em estudo, com o objetivo de representar as emissões específicas dos segmentos estudados. Deste modo, foram utilizados o consumo dos combustíveis usados na produção industrial e o consumo total de cada setor industrial. Estes dados foram encontrados no Balanço Energético Nacional (BEN) e obtido em unidades físicas tais como m³, litros, toneladas, etc.
- b) Conversão do consumo aparente para uma unidade de energia comum, terajoules (TJ): as quantidades dos combustíveis são expressas pelo BEN em toneladas equivalentes de petróleo (tep), para converter os valores do BEN para terajoules, conforme recomendação do IPCC (1996), foi utilizada a seguinte equação:

$$\text{Fator de Conversão} = 45,217 \times 10^{-3}. \text{ Fator de correção} \quad \text{Equação 1}$$

Onde o fator de correção é igual a 0,95 para os combustíveis sólidos e líquidos e 0,90 para os combustíveis gasosos (MCT, 2006).

- c) Transformação do consumo aparente de cada combustível em conteúdo de carbono, mediante a sua multiplicação pelo fator de emissão de carbono do combustível: nesta pesquisa, os valores utilizados para o fator de emissão foram aqueles indicados pelo BEESP, uma vez que caracterizam melhor as condições do país. Quando os fatores de emissão para determinado combustível não foram encontrados no BEESP, foram utilizados os valores recomendados pelo IPCC. Além disso, quando, ao invés de indicar o consumo de cada um dos energéticos pelo setor, o BEN (2010) indicava a somatória do consumo de energia de duas fontes, foi considerado, como fator de emissão, a média dos fatores dos dois combustíveis. Vale ressaltar, ainda, que, neste trabalho, para o carvão mineral (CM), foi considerado o fator de emissão do carvão antracito.
- d) Determinação da quantidade de carbono de cada combustível destinada a fins não energéticos e a dedução dessa quantidade do carbono contido no consumo aparente, para se computar o conteúdo real de carbono possível de ser emitido: no presente trabalho, foi utilizado como referência o consumo de fontes de energia dos setores industriais divulgados no BEN (2010), no qual todo combustível é considerado de uso energético. Logo, o único valor relevante para o cálculo das emissões foi do carbono não oxidado, explicado no item seguinte.
- e) Correção dos valores para se considerar a combustão incompleta do combustível, para se computar a quantidade de carbono realmente oxidada na combustão: a fração de carbono oxidada foi a recomendada pelo IPCC (1996): 0,98 para carvões, 0,99 para o petróleo e seus derivados, 0,995 para o gás natural. Para as demais fontes energéticas a fração de carbono oxidada foi a mesma utilizada pelo MCT no documento Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustíveis: Abordagem Top-Down.
- f) Conversão da quantidade de carbono oxidada em emissões de CO₂: foi obtida multiplicando-se as emissões em termos de carbono por 44/12. Onde 44 é o peso molecular do CO₂ e 12 é o peso atômico do carbono (C).

4. Apresentação e Discussão dos Resultados Parciais

A partir do BEN (2010), foi possível verificar o consumo energético por fonte de energia em 2009, para cada setor industrial. Com isso, foram mensuradas as respectivas emissões de CO₂ dos setores por meio do método *top down*.

O Setor de Ferro Gusa e Aço apresenta-se como o segundo maior consumidor de energia, entre os setores industriais. Observa-se, pela Tabela 1, que a sua matriz energética utiliza grande quantidade de combustíveis fósseis, com destaque para o coque de carvão mineral, o carvão mineral e o gás de coqueria. No entanto, também, há um elevado consumo do carvão vegetal, considerado uma forma de biomassa.

Considerando o consumo destes combustíveis em 2009, o coque de carvão mineral foi o combustível responsável pela maior parcela de emissão de CO₂ do setor, $12,34 \times 10^6$ t CO₂. O carvão vegetal, de acordo com o método aplicado, também apresentou grande quantidade de emissões, $6,157 \times 10^6$ t CO₂. No entanto, como mencionado, as emissões de CO₂ da biomassa foram incluídas apenas a título de informação, uma vez que os combustíveis de origem renovável não geram emissões líquidas e as emissões associadas à parcela não renovável são incluídas no setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas.

Assim, o alto consumo do carvão vegetal pelo setor pode ser visto como positivo do ponto de vista ambiental, pois este energético desloca parte do consumo de derivados de petróleo e de carvão e, como suas emissões são compensadas pela sua renovação, é menos poluente.

Combustível	Consumo de energia por fonte, em	Emissão de CO ₂ , calculado
-------------	----------------------------------	--

	2009, de acordo com o BEN (2010) (10³tep)	pele método Top Down (10⁶ t CO₂)
Gás Natural	866	1,0735417
Carvão Mineral	2.048	4,6218995
Óleo Diesel	14	0,0247678
Óleo Combustível	114	0,2037714
Gás Liquefeito de Petróleo	77	0,1122753
Nafta	0	0
Querosene	1	0,0013703
Gás de Coqueria	1.011	1,4906459
Gás Canalizado	0	0
Coque de Carvão Mineral	4.969	12,3406
Eletricidade	1.279	-
Carvão Vegetal	2.724	6,1570559
Alcatrão/ Outras sec. petróleo	533	1,0279248
Total	13635,78	

Tabela 1 – Consumo de energia por fonte e emissão de CO₂ do setor de Ferro-Gusa e Aço em 2009

Já o setor de Cimento, sétimo maior consumidor de energia entre os setores industriais, apresenta como principal fonte de energia o coque de carvão de petróleo. Conseqüentemente, este é o principal energético responsável pelas emissões de CO₂ do setor, como é possível observar na Tabela 2.

O carvão vegetal ainda é pouco utilizado pelo setor, assim como o gás natural. Este último, apesar de ser um combustível fóssil, apresenta baixos índices de emissão de poluentes, quando comparados com os demais combustíveis não-renováveis.

Combustível	Consumo de energia por fonte, em 2009, de acordo com o BEN (2010) (10³tep)	Emissão de CO₂, calculado pelo método Top Down (10⁶ t CO₂)
Gás Natural	15	0,017995117
Carvão Mineral	57	0,128297961
Lenha	0	0
Óleo Diesel	42	0,072846345
Óleo Combustível	29	0,051459172
Eletricidade	407	0
Carvão Vegetal	55	0,12404362
Coque de Petróleo	2.736	6,399358936
Outras não especificadas	335	-
Total	3.675	

Tabela 2 – Consumo de energia por fonte e emissão de CO₂ do setor de Cimento em 2009

O setor de Ferro Ligas, por sua vez, apresenta uma elevada participação de fontes renováveis em sua matriz energética, sendo que as fontes de energia mais utilizadas, depois da eletricidade, são o carvão vegetal e lenha, como mostrado na Tabela 3. Estes são combustíveis de biomassa, logo, com emissões que podem ser compensadas pela renovação das mesmas.

Também, é possível observar que este setor consome pouca quantidade de energia, e, somado a matriz energética limpa, não apresenta elevadas emissões de CO₂. No entanto, ainda há uma pequena participação do coque de carvão mineral, emitindo 0,23 x 10⁶ t CO₂, no ano de 2009.

Combustível	Consumo de energia por fonte, em 2009, de acordo com o BEN (2010) (10³tep)	Emissão de CO₂, calculado pelo método Top Down (10⁶ t CO₂)
Gás Natural	2	0,0020717
Carvão Mineral	0	0

Gás de Cidade	0	0
Coque de Carvão Mineral	92	0,2276866
Eletricidade	579	-
Carvão Vegetal e Lenha	564	1,2738831
Outras não especificadas	210	-
Total	1445,686	

Tabela 3 – Consumo de energia por fonte e emissão de CO₂ do setor de Ferro Ligas em 2009

Com relação ao setor de Mineração e Pelotização, suas principais fontes de energia são a eletricidade, o coque de petróleo, o carvão mineral e o coque de CM, o óleo combustível, o gás natural e o óleo diesel, sendo estes os principais emissores de CO₂ do setor, como é possível observar na Tabela 4. Assim, apresenta-se com uma matriz energética extremamente dependente de combustíveis fósseis. Como consequência, possui elevadas emissões de CO₂, principalmente, se for considerado o baixo consumo de energia deste setor.

Combustível	Consumo de energia por fonte, em 2009, de acordo com o BEN (2010) (10³tep)	Emissão de CO₂, calculado pelo método Top Down (10⁶ t CO₂)
Gás Natural	239	0,2966967
Carvão Mineral e Coque de CM	430	1,0189184
Lenha	0	0
Óleo Diesel	224	0,3849784
Óleo Combustível	351	0,6300737
Gás Liquefeito de Petróleo	17	0,0251591
Querosene	2	0,0027406
Eletricidade	706	-
Carvão Vegetal	0	0
Coque de Petróleo	437	1,022999
Total	2406,6197	

Tabela 4 – Consumo de energia por fonte e emissão de CO₂ do setor de Mineração e Pelotização em 2009

Da mesma forma, as indústrias químicas possuem as fontes fósseis de energia como principais combustíveis, entre elas: outras secundárias de petróleo, gás natural, óleo combustível e óleo diesel. Vale destacar que as fontes secundárias de petróleo são as principais responsáveis pelas emissões do setor. Porém, esta matriz possui uma pequena participação de fontes de biomassa, como a lenha e o bagaço de cana, apresentados na Tabela 5.

Salienta-se que este setor é o quarto setor industrial de maior consumo de energia. Esse alto consumo energético, somado aos combustíveis fósseis utilizados em sua matriz, faz com que as indústrias químicas apresentem altas emissões, quando comparadas com os demais setores.

Combustível	Consumo de energia por fonte, em 2009, de acordo com o BEN (2010) (10³tep)	Emissão de CO₂, calculado pelo método Top Down (10⁶ t CO₂)
Gás Natural	1.762	2,1827917
Carvão Vapor	66	0,1489246
Lenha	45	0,0998268
Bagaço de Cana e outras Recup.	84	0,1898388
Óleo Diesel	136	0,234497
Óleo Combustível	476	0,8550139
Gás Liquefeito de Petróleo	60	0,0871413
Nafta	0	0
Querosene	0	0
Gás Canalizado	0	0
Eletricidade	1.991	-

Carvão Vegetal	18	0,0414093
Outras Secundárias de Petróleo	2.170	3,6906139
Total	6808,0782	

Tabela 5 – Consumo de energia por fonte e emissão de CO₂ das Indústrias Químicas em 2009

No setor de não ferrosos e outros metálicos, as fontes que apresentam o maior consumo são a eletricidade, o óleo combustível, o gás natural e outras secundárias do petróleo, como é possível observar na Tabela 6. O óleo combustível e as outras secundárias de petróleo são os principais responsáveis pelas emissões do setor. O carvão vegetal, apesar de estar presente na matriz energética deste setor, é pouco utilizado.

Combustível	Consumo de energia por fonte, em 2009, de acordo com o BEN (2010) (10³tep)	Emissão de CO₂, calculado pelo método Top Down (10⁶ t CO₂)
Gás Natural	659	0,8159559
Lenha	0	0
Óleo Combustível	987	1,7718305
GLP e Diesel	79	0,1249482
Gás Canalizado	0	0
Carvão Mineral / Coque de CM	173	0,4136576
Eletricidade	3.106	-
Carvão Vegetal	8	0,0190608
Outras Secundárias de Petróleo	590	1,0038792
Total	5601,4878	

Tabela 6 – Consumo de energia por fonte e emissão de CO₂ do setor Não Ferrosos e outros metálicos em 2009

O setor têxtil apresenta uma elevada participação do gás natural em sua matriz energética. O que é considerado um ponto positivo, devido às baixas emissões desta fonte de energia. No entanto, esta fonte é responsável, neste setor, pelas maiores emissões. Também é possível observar, pela Tabela 7, a participação da lenha como energético.

Este setor não apresenta um elevado consumo de energia, quando comparado com os demais. Logo, também, apresenta um nível baixo de emissões provenientes do uso de combustíveis fósseis. No entanto, há uma participação significativa do óleo combustível como fonte de energia para o setor, contribuindo com as emissões de poluentes.

Combustível	Consumo de energia por fonte, em 2009, de acordo com o BEN (2010) (10³tep)	Emissão de CO₂, calculado pelo método Top Down (10⁶ t CO₂)
Gás Natural	287	0,3561704
Carvão Vapor	0	0
Lenha	88	0,1967238
Óleo Diesel	3	0,0046727
Óleo Combustível	106	0,1905194
Gás Liquefeito de Petróleo	10	0,0142788
Querosene	0	0
Gás Canalizado	0	0
Eletricidade	663	-
Carvão Vegetal	0	0
Total	1157,4785	

Tabela 7 – Consumo de energia por fonte e emissão de CO₂ do setor Têxtil em 2009

A Tabela 8 apresenta o consumo de energia e as emissões de CO₂ do setor de Alimentos e Bebidas. Este é o setor industrial com o maior consumo de energia, segundo o BEN (2010).

No entanto, apresenta uma matriz energética, relativamente, limpa, com grande participação de fontes de biomassa, como a lenha e o bagaço de cana. Logo, as emissões provenientes dos combustíveis fósseis são baixas, mas não inexistentes, devido, principalmente, à utilização do óleo combustível, do gás natural e do gás liquefeito de petróleo.

Combustível	Consumo de energia por fonte, em 2009, de acordo com o BEN (2010) (10 ³ tep)	Emissão de CO ₂ , calculado pelo método <i>Top Down</i> (10 ⁶ t CO ₂)
Gás Natural	559	0,6928479
Carvão Vapor	47	0,1069642
Lenha	2.039	4,5558071
Bagaço de Cana	16.253	36,739676
Óleo Diesel	82	0,1413219
Óleo Combustível	467	0,8372872
Gás Liquefeitos de Petróleo	191	0,2797691
Querosene	0	0
Gás Canalizado	0	0
Eletricidade	2.020	-
Total	21657,874	

Tabela 8 – Consumo de energia por fonte e emissão de CO₂ do setor de Alimentos e Bebidas em 2009

Já o setor de Papel e Celulose consiste no terceiro setor que mais consome energia no Brasil, atrás somente do setor de Alimentos e Bebidas e de Ferro Gusa e Aço. A partir da Tabela 9, é possível verificar que este setor, assim como o de Alimentos e Bebidas, também, apresenta uma matriz com elevada participação de combustíveis renováveis, sendo que o maior consumo de energia, do setor, provém da Lixívia. Há ainda a participação da lenha, de outras recuperações e do gás natural, sendo a participação deste último em menor proporção.

Logo, as emissões dos combustíveis fósseis não são elevadas, mas há um consumo considerável de óleo combustível (499 x 10³ tep), emitindo 0,89 x 10⁶ t CO₂; e do gás natural, que apesar de apresentar maior consumo, emite 0,75 x 10⁶ t CO₂, menos que o anterior.

Combustível	Consumo de energia por fonte, em 2009, de acordo com o BEN (2010) (10 ³ tep)	Emissão de CO ₂ , calculado pelo método <i>Top Down</i> (10 ⁶ t CO ₂)
Gás Natural	609	0,7539979
Carvão Vapor	84	0,1891002
Lenha	1.449	3,2386327
Bagaço de Cana	39	0,0877736
Lixívia	4.329	7,3632563
Outras Recuperações	833	-
Óleo Diesel	68	0,1165542
Óleo Combustível	499	0,8956305
Gás Liquefeito de Petróleo	31	0,0456075
Coque de Petrol. e Querosene	0	0
Eletricidade	1.571	-
Outras não especificadas	0	-
Total	9511,4676	

Tabela 9 – Consumo de energia por fonte e emissão de CO₂ do setor de Papel e Celulose em 2009

Por fim, foi analisado o setor de cerâmica. Como é possível observar na Tabela 10, este setor não apresenta elevado consumo de energia, ocupando apenas a sexta posição entre os setores energéticos que mais consomem energia.

Destaca-se que a maior parte da energia deste setor provém da lenha. O gás natural é

responsável pela maior parte das emissões dos combustíveis fósseis, seguido do óleo combustível, de outras fontes de petróleo e do gás liquefeito de petróleo.

Combustível	Consumo de energia por fonte, em 2009, de acordo com o BEN (2010) (10 ³ tep)	Emissão de CO ₂ , calculado pelo método <i>Top Down</i> (10 ⁶ t CO ₂)
Gás Natural	1.000	1,2393009
Carvão Vapor	1	0,0022663
Lenha	2.081	4,6511774
Outras Recuperações	53	-
Óleo Diesel	8	0,0133702
Óleo Combustível	322	0,5779261
Gás Liquefeitos de Petróleo	162	0,2373863
Outras de Petróleo	179	0,3039351
Gás Canalizado	0	0
Eletricidade	300	-
Outras não especificadas	0	-
Total	4106,7697	

Tabela 10 – Consumo de energia por fonte e emissão de CO₂ do setor de Cerâmica em 2009

Para finalizar, a Tabela 11 apresenta o total de emissões de CO₂ provenientes de fontes fósseis para cada setor. Observa-se que o maior emissor de poluentes é o setor de ferro gusa e aço, seguido das indústrias químicas, com menos da metade das emissões do primeiro colocado.

Setor	Emissões em 2009 em 10 ⁶ t CO ₂
Ferro gusa e aço	20,8968
Química	7,19898
Cimento	6,66996
Não ferrosos e outros met.	4,13027
Mineração e Pelotização	3,38157
Alimentos e Bebidas	2,05819
Cerâmica	2,05819
Papel e Celulose	2,00089
Têxtil	0,56564
Ferro-Ligas	0,22976

Tabela 11 – Emissões de CO₂ provenientes de combustíveis fósseis por setor

Vale destacar, ainda, o setor de cimento, que, apesar de se apresentar como o sétimo setor industrial que mais consome energia (3675 x 10³ tep), está entre os maiores emissores de CO₂, devido à elevada participação de combustíveis fósseis em sua matriz energética.

Uma vez mensurados a emissão de cada setor por fonte de energia, o próximo passo consiste em selecionar os setores que serão analisados nesta pesquisa. Em seguida, deve-se descrever o processo produtivo destes setores, a fim de identificar os mais impactantes ao meio ambiente, de forma que sejam considerados como potenciais redutores das emissões de GEE. Posteriormente, serão mensuradas as emissões de CO₂ considerando alterações hipotéticas da matriz energética pelos possíveis substitutos dessas fontes.

Por fim, esta pesquisa visa analisar a adequação das políticas brasileiras para o setor energético com relação a possibilidade de redução da emissão de poluentes pelos setores industriais, por meio do consumo de fontes mais limpas de energia. Os resultados finais, desta pesquisa, serão publicados em um futuro trabalho.

5. Considerações Finais

É importante destacar que o presente projeto ainda encontra-se em execução, o que impede a apresentação de resultados conclusivos. Diante disso, o presente artigo apresentou alguns dos programas governamentais no setor energético, que, apesar de não terem surgido com o intuito de diminuir as emissões de carbono, contribuiriam para reduzir os impactos ambientais.

Além disso, foram apresentadas as emissões de diversos setores industriais, por fonte de energia. Tal mensuração auxiliará na escolha dos setores que, posteriormente terão os seus processos produtivos descritos e suas emissões de CO₂ mensuradas considerando alterações hipotéticas de suas matrizes energéticas por possíveis substitutos de suas fontes fósseis de energia. Para finalizar, será realizada a análise da adequação das políticas brasileiras para o setor energético com relação a possibilidade de redução da emissão de poluentes pelos setores industriais, por meio do consumo de fontes mais limpas de energia.

Espera-se que os resultados finais desta pesquisa contribuam para a análise das emissões de GEE dos setores estudados, além de fornecer ao governo conhecimentos sobre a contribuição dos seus projetos para o desenvolvimento sustentável do país.

Referências

BEN. Balanço Energético Nacional 2010 (Ano-Base 2009). *Divulga informações relativas ao binômio oferta consumo de fontes de energia*. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br>>. Acesso em: 04 nov. 2010.

CONPET. *Apresenta informações sobre o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural*. Disponível em: <<http://www.conpet.gov.br/w3/>>. Acesso em: 27 jan. 2011.

CORREIO BRASIL. *Brasil planeja erguer entre 4 e 6 usinas nucleares até 2030*. Correio Brasil (RJ), 27 de abril de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br>>. Acesso em: 27 abr. 2011.

DIÁRIO DO NORDESTE. *Programa nuclear não será alterado, diz Lobão*. Diário do Nordeste (CE), 15 de março de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br>>. Acesso em: 15 mar. 2011.

ELETROBRAS. *Site da Eletrobrás*. Disponível em: <<http://www.eletrabras.com>>. Acesso em: 27 jan. 2011.

IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Greenhouse gas inventory reporting instructions – Revised IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories*. In: United Nations Environment Program, the Organization for Economic Co-operation and Development and the International Energy Agency, London, 1996.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

JUSBRASIL. *Apresenta informações sobre a legislação brasileira atualizada diariamente*. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao>>. Acesso em: 25 jan. 2011.

LUCON, J.; GOLDEMBERG, G. *Energia e meio Ambiente no Brasil*. Estudos Avançados, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). (2006). *Emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis: abordagem top-down*. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 05 nov. 2010.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). (2008) *Contribuição do Brasil para evitar a mudança do clima*. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 16 abr. 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). (2011). *Site do Ministério de Minas e Energia*. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 24 jan. 2011.

ONU. Organizações das Nações Unidas. *Apresenta o texto da Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*, realizada em Nova Iorque no dia 9 de maio de 1992. Disponível em: <http://www.onu-brasil.org.br/doc_clima.php>. Acesso em: 01 out. 2010.

PNE 2030. *Plano Nacional de Energia 2030*. Brasília: MME: EPE, 2007. Divulga informações referentes ao

planejamento de longo prazo no setor energético do país. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 4 nov. 2010.

RIGHETTI, S. *Explosão põe na berlinda modelo de usinas nucleares no Japão*. Folha de São Paulo, 13 de março de 2011. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br>>. Acesso em: 13 mar. 2011

SIMÕES, A. F. *O Transporte Aéreo Brasileiro no Contexto de Mudanças Climáticas Globais: Emissões de CO₂ e Alternativas de Mitigação*. 2003. 228p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2003.

SIMÕES, A.; LA ROVERE, E.L. *Energy Sources and Global Climate Change: The Brazilian Case*. Energy Sources Part A: Recovery, Utilization & Environmental Effects. v. 30, n. 14/15, p.1327-1344, 2008.

SZKLO, A.S. et al. *Brazilian energy policies side-effects on CO₂ emissions reduction*. Energy Policy. v. 33, n. 3. p. 349-364, 2005.

VALOR ECONÔMICO. *Quatro Estados são candidatos a instalação de usinas nucleares*. Valor Econômico, 20 de outubro de 2010. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site>>. Acesso em: 21 out. 2010.

VEIGA FILHO, A. A.; RAMOS, P. *Proálcool e evidências de concentração na produção e processamento de cana-de-açúcar*. Informações Econômicas, v. 36, n. 7. 2006.