



A (IN)SUSTENTABILIDADE DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

André Luiz Campos de Andrade¹

Lauro Mattei²

RESUMO

O atual debate sobre as mudanças climáticas envolve diretamente a questão do uso e produção de energia. Conforme destaca o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), as emissões de gases do efeito estufa (GEE) originadas do consumo energético, sobretudo àquelas relacionadas ao uso dos combustíveis fósseis, seria o principal fator responsável pelas alterações climáticas verificadas nos últimos anos ao redor do planeta. Trata-se, portanto, de um problema de repercussão global, mas que é derivado da forma como os países fazem uso da energia em suas economias. Sendo assim, este trabalho discutiu a sustentabilidade da matriz energética brasileira, sob o ponto de vista das emissões de GEE. Concluiu-se que, ao contrário do senso comum, existem fortes indícios apontando para a insustentabilidade do uso de energia no país, fato que tende a se agravar considerando-se as previsões oficiais relativas ao crescimento econômico e à expansão da oferta e do consumo energético.

Palavras chave: Energia, Meio ambiente, Planejamento.

¹Economista pela UERJ e Mestre em Economia pela UFSC. É membro da carreira de Especialista em Políticas Públicas e Gestão Governamental do MPOG. Email: ALCA_RJ2002@YAHOO.COM.BR

²Doutor em Economia pela UNICAMP. É professor dos cursos de Graduação e Pós-Graduação em Economia da UFSC. Email: Mattei@cse.ufsc.br



ABSTRACT

The current debate on climate change involves the issue of energy use and production. As highlighted by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the emissions of greenhouse gases (GHG) arising from energy consumption, especially those related to the use of fossil fuels, is the principal factor responsible for climate change seen in recent years around the world. It is therefore a problem of global repercussions, but that is derived from how countries make use of energy in their economies. Thus, this paper discussed the sustainability of the Brazilian energy matrix, from the point of view of greenhouse gas emissions. It was concluded that, contrary to common sense, there is strong evidence to the unsustainability of energy use in the country, a fact which tends to worsen given the official forecast for economic growth and expansion of energy supply and consumption.

Keywords: Energy, Environmental, Planificacion

1. INTRODUÇÃO

A conferência sobre Mudanças Climáticas realizada em Copenhague, em 2009, foi o momento em que a comunidade científica internacional alertou, de forma incisiva, que o sistema econômico industrial atual baseado na energia do carbono está mostrando claramente seus limites, uma vez que a quantidade de gás carbônico emitida na atmosfera poderá levar a mudanças catastróficas no planeta. E isso está diretamente ligado ao modelo energético global que continua fortemente ancorado na exploração dos combustíveis fósseis, de caráter finito.

Por isso, a discussão atual sobre mudanças climáticas remete, necessariamente, à questão do nível de emissões dos gases de estufa (GEE)³. A maior parcela das emissões antropogênicas, denominação fornecida às emissões de origem humana, decorre da queima de combustíveis fósseis (combustíveis não renováveis), sendo consequência dos diversos processos produtivos da economia, tais como atividades industriais, sistemas de transportes, dentre outros.

3 Os principais gases do efeito estufa são: Dióxido de carbono (CO₂), Vapor d'água (H₂O), Ozônio (O₃), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), Clorofluorcarbonos (CFCs), Hidrofluorcarbonos (HFCs) e Perfluorcarbonos (PFCs).



Pelo simples fato de que a matriz energética da economia mundial vem assumindo uma posição de dependência cada vez maior em relação aos combustíveis fósseis (IEA, 2009), a discussão em torno da redução das emissões de GEE está fortemente condicionada pela perspectiva de mudanças no atual padrão energético. Essa é uma das principais questões, se não a principal, do atual debate acerca da mitigação dos gases do efeito estufa⁴.

Esse debate envolvendo a sustentabilidade dos recursos energéticos do planeta envolve três aspectos básicos: mudança do paradigma em relação ao padrão de consumo atual⁵; busca por uma maior eficiência energética dos atuais processos produtivos; desenvolvimento e inserção de tecnologias energéticas limpas.

Nesse sentido, reduzir o consumo dos combustíveis fósseis, substituindo-os por um maior emprego das energias renováveis, como a energia hidrelétrica, os biocombustíveis e a energia solar, bem como buscar uma maior eficiência na produção e no consumo da energia são as contribuições que o setor energético pode oferecer ao debate sobre mudanças climáticas.

No que se refere às energias renováveis, o Brasil tem sua importância reconhecida no cenário internacional. Derivado de uma conjunção de fatores tanto econômicos, como a crise do petróleo da década de 1970, quanto geográficos, como a possibilidade de aproveitamento do potencial energético de diversas bacias hidrográficas espalhadas por seu território, o país conta atualmente com uma matriz energética em que aproximadamente 45% do total da energia ofertada provém de fontes renováveis.

No entanto, esse elevado percentual de energia renovável na Matriz Energética Brasileira (MEB) não pode ser visto, por si só, como um “selo de qualidade” incontestável do modelo energético brasileiro, tampouco deve encobrir abordagens críticas sobre a sustentabilidade da oferta e do consumo de energia no país.

Neste sentido, o objetivo do estudo é fornecer um conjunto de informações sobre a matriz energética brasileira, destacando seus gargalos relativos à questão ambiental e às emissões de GEE. Para tanto, além

4 A expressão “mitigação dos gases do efeito estufa” é recorrentemente utilizada na literatura para se referir à redução das emissões dos gases causadores do efeito estufa.

5 As consequências do atual padrão de consumo sobre a sustentabilidade ambiental extrapolam os limites da discussão energética culminando no questionamento da própria dinâmica capitalista e consiste no principal debate em relação ao Desenvolvimento Sustentável.



dessa breve introdução, o artigo contém mais quatro seções. A primeira delas apresenta o panorama geral da matriz energética brasileira (MEB), enfatizando a sua constituição histórica e o balanço entre oferta e demanda de energia. A segunda seção discute os principais gargalos que podem levar a MEB a um processo de insustentabilidade. A terceira seção analisa alguns indicadores da insustentabilidade ambiental da produção/consumo de energia no país. Finalmente, a quarta seção traz as considerações finais do trabalho, procurando jogar luz sobre algumas contradições na MEB, as quais se tornar insustentáveis no futuro.

2. PANORAMA GERAL DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

A matriz energética brasileira foi sofrendo alterações decisivas com o processo de expansão da industrialização do país. Assim, verifica-se que até os anos de 1940 a maior parte da energia produzida tinha como fonte a lenha e o carvão vegetal, sendo praticamente insignificante a participação de outras fontes de energia.

Esse cenário começou a ser alterado drasticamente a partir dos anos de 1950 com a inclusão na MEB das chamadas energias modernas, em especial do petróleo e da eletricidade. Aos poucos o petróleo se consolidou como principal insumo energético, culminando com seu ápice na década de 1970 quando passa a responder por aproximadamente 45% dos insumos energéticos do país.

Com isso, "o período 1940-1972 marcou a transição da economia nacional de um perfil de consumo energético de baixa emissão de carbono, onde as fontes não renováveis representavam pouco mais de 12%, para uma fase onde a crescente expansão da oferta de petróleo e seus derivados praticamente se igualou a participação de fontes não renováveis a das fontes renováveis" (CAMPOS DE ANDRADE, 2010).

Para CALABI ET AL (1983), essa mudança contou com o papel decisivo do Estado brasileiro, o qual atuou em três frentes distintas: como ordenador do processo de industrialização; como financiador dos grandes projetos de investimento; e como produtor de insumos necessários à industrialização, com destaque para a energia. Neste caso, os esforços realizados foram no sentido de expandir a oferta interna de petróleo e seus derivados e da energia hidrelétrica.



2.1. A Oferta interna de energia

As mudanças estruturais que ocorreram na economia brasileira na segunda metade do Século XX provocaram alterações significativas na matriz energética brasileira. Além do expressivo aumento da oferta interna de energia (OIE)⁶, que atingiu o montante de 243,7 milhões de tep, correspondente a 2% da energia mundial (MME, 2010), houve alterações nas participações relativas dos insumos energéticos, as quais são apresentadas na tabela 1.

Entre 1973 e 2009 houve uma expansão de aproximadamente 200% na OIE, variação pouco abaixo da verificada para o PIB do país, que aumentou 220% no mesmo período. Petróleo e derivados continuam sendo o principal insumo energético da matriz, porém com uma menor participação relativa, que decorre principalmente do aumento da oferta de gás natural, inexistente em 1973 e atualmente respondendo por 9% do total da OIE, e da expansão da oferta hidrelétrica e de derivados da cana-de-açúcar.

Tabela 1- Oferta Interna de Energia 1973 - 2009. (%)

| | 2009 | 1973 |
|--------------------------------|-------------|-------------|
| Energia não renovável | 52,8 | 49,1 |
| Petróleo e Derivados | 37,9 | 45,6 |
| Gás natural | 8,8 | 0,4 |
| Carvão Mineral e Derivados | 4,8 | 3,1 |
| Urânio (U308) e derivados | 1,4 | 0,0 |
| Energia renovável | 47,2 | 50,9 |
| Hidráulica e eletricidade | 15,2 | 6,1 |
| Lenha e carvão vegetal | 10,1 | 38,8 |
| Derivados da cana-de-açúcar | 18,0 | 5,6 |
| Outras renováveis | 3,8 | 0,4 |
| Total (em %) | 100 | 100 |
| Total (em 10 ³ tep) | 243.679 | 82.157 |
| População Estimada | 189.990.983 | 100.683.298 |
| Energia per capita (tep/hab) | 1,28 | 0,81 |

6 A oferta interna de energia (OIE), também denominada de demanda total de energia, é a soma do consumo final de energia, das perdas na distribuição e armazenagem e das perdas nos processos de transformação de todos os tipos de energia empregados no país (MME, 2010).



Cabe destacar que, no período, também ocorreu uma elevação da OIE per capita, que passou de 0,81 tep/hab., em 1973, para 1,28 tep/hab., em 2009.

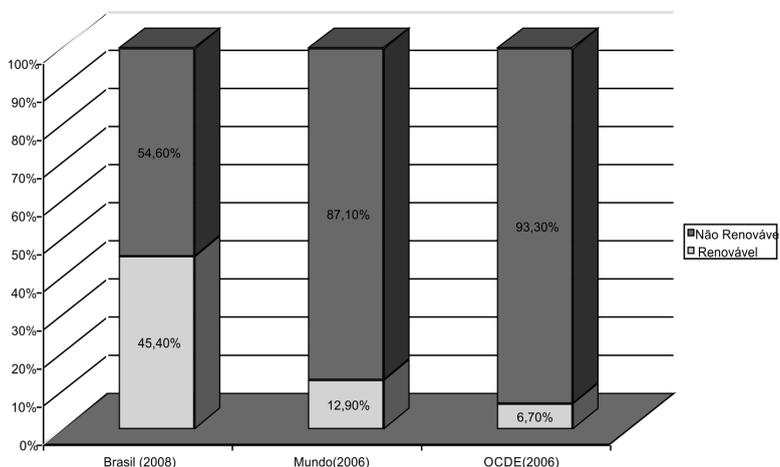
Com relação aos combustíveis renováveis, destaca-se a redução da participação da lenha e carvão vegetal, explicado pelo efeito deslocamento de outras fontes energéticas que se expandiram no período, como a hidrelétrica e a biomassa, e pelo maior uso da energia elétrica nas residências. No entanto, esse aumento da oferta de energia renovável em valores absolutos não foi suficiente para conter a maior expansão relativa dos combustíveis não renováveis, cujo percentual relativo passou de 49,1%, em 1973, para 52,8%, em 2009.

Embora ainda exista uma pequena predominância dos combustíveis fósseis, quando comparada ao cenário mundial a MEB é reconhecida como um exemplo de matriz energética a ser buscada devido à considerável participação dos combustíveis renováveis em sua estrutura.

O gráfico 1 faz um comparativo do uso das duas fontes de energia no Brasil e no mundo. Nele é possível observar que o emprego da energia renovável nos países da OCDE ainda é pouco expressivo, o mesmo se repetindo para a situação mundial de um modo geral.

O destaque do Brasil em relação à média mundial explica-se, basicamente, pelo emprego do potencial hidrelétrico e dos combustíveis oriundos da biomassa no país, com a adoção de políticas públicas ainda em um período em que o debate ambiental não tinha adquirido a importância e dimensão atual.

Gráfico 1 - Comparação da Estrutura da OIE





Ainda que a consolidação das energias renováveis no Brasil tenha ocorrido à margem da preocupação ambiental⁷, esta participação acabou conduzindo o país a uma situação de destaque no cenário mundial no que diz respeito ao emprego de energias limpas na matriz energética. Todavia, essa maior participação da energia renovável não é um garantidor *per se* que o Brasil não precise se preocupar com alguns critérios de sustentabilidade envolvendo o consumo e a produção de energias, como será vistos nas seções seguintes.

2.2. O consumo energético no Brasil

Para compreender os condicionantes que deram à OIE a atual configuração, analisar a evolução do consumo energético pelos diversos setores da economia é de extrema importância, pois permite visualizar como variou a demanda pelos diversos tipos de insumos energéticos que compõe a MEB. Da tabela 2 percebe-se que ocorreu uma redução significativa da participação do consumo residencial, que reflete a maior velocidade da expansão do consumo em outros setores (como o industrial e de transportes) ocasionada pelas mudanças estruturais que a economia brasileira passou a partir da década de 1970.

Seguindo uma tendência mundial (MME, 2008), o consumo conjunto dos setores industriais e de transportes expandiu-se de maneira mais acelerada que os demais e em 2007 atingiu 65% de todo o consumo energético do país. Esse incremento é explicado por dois motivos: alteração estrutural do parque industrial brasileiro a partir do II PND, que teve como tônica a expansão de indústrias energointensivas e consolidação do transporte rodoviário como principal modal da matriz logística brasileira.

7 Salvo o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, elaborado em 2005 já sob a perspectiva ambiental, a inserção dos demais insumos energéticos renováveis na MEB ocorreu mais por conta das vantagens comparativas presentes e por motivos de redução da dependência externa de energia. Este é o caso da geração hidrelétrica e do álcool, que foram inseridos na matriz muito antes da emergência do debate ambiental.



Tabela 2 – Evolução do Consumo Final Energético por Setor (em %)

| IDENTIFICAÇÃO | 1970 | 1974 | 1979 | 1985 | 1991 | 1997 | 2003 | 2007 |
|-------------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| CONSUMO FINAL NÃO-ENERGÉTICO | 2,4 | 4,1 | 6,0 | 7,8 | 7,3 | 7,6 | 6,9 | 6,6 |
| CONSUMO FINAL ENERGÉTICO | 97,6 | 95,9 | 94,0 | 92,2 | 92,7 | 92,4 | 93,1 | 93,4 |
| SETOR ENERGÉTICO | 2,5 | 3,7 | 5,7 | 9,8 | 9,6 | 9,4 | 8,7 | 9,8 |
| RESIDENCIAL | 35,5 | 27,4 | 20,2 | 15,8 | 14,1 | 11,6 | 11,5 | 10,3 |
| COMERCIAL | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,2 | 2,4 | 2,7 | 2,8 |
| PÚBLICO | 0,7 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,7 | 1,8 | 1,6 |
| AGROPECUÁRIO | 8,6 | 6,6 | 5,4 | 5,2 | 4,7 | 4,6 | 4,5 | 4,2 |
| TRANSPORTES TOTAL | 21,2 | 25,7 | 26,0 | 23,3 | 26,5 | 28,5 | 26,4 | 26,7 |
| RODOVIÁRIO | 18,3 | 21,3 | 21,7 | 18,9 | 23,6 | 25,8 | 24,3 | 24,5 |
| FERROVIÁRIO | 0,9 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| AÉREO | 1,1 | 1,5 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,8 | 1,2 | 1,2 |
| HIDROVIÁRIO | 0,9 | 2,1 | 2,0 | 2,2 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 0,6 |
| INDUSTRIAL TOTAL | 27,7 | 30,2 | 34,1 | 35,0 | 34,1 | 34,0 | 37,5 | 38,0 |
| CONSUMO FINAL | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| CONSUMO FINAL (em 1000 tep) | 62.106 | 81.322 | 103.644 | 117.082 | 130.204 | 164.775 | 182.114 | 215.565 |

O crescimento da demanda energética nestes dois setores se deu sob formas distintas: enquanto que o setor industrial pautou sua expansão de consumo a partir de um conjunto diversificado de energias, o setor de transportes elevou sua participação mantendo a dependência em torno de combustíveis derivados do petróleo, como óleo diesel e gasolina.

O comportamento do consumo desses dois setores pelas distintas fontes de energia pode ser observado nas tabelas 3 e 4. Para o setor de transportes, indicado na tabela 3, percebe-se que no ano de 2007 o consumo dos derivados de petróleo ainda permanecia sendo o principal insumo energético do setor, não obstante a implementação do Proálcool na década de 1970 ter obtido relativo sucesso, fazendo com que o álcool etílico elevasse sua participação de 0,9% em 1973 para 15% em 2007. Contribuiu para a manutenção da liderança dos combustíveis fósseis a expansão do consumo de óleo diesel, principal combustível do transporte rodoviário de cargas.



Tabela 3 – Evolução do Consumo Energético – Setor de Transportes (Em %)

| | 1973 | 2005 | 2006 | 2007 |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| ÓLEO DIESEL | 34,5 | 50,9 | 50,9 | 49,9 |
| ÓLEO COMBUSTÍVEL | 3,2 | 1,5 | 1,4 | 1,6 |
| GASOLINA AUTOMOTIVA | 55,2 | 25,9 | 27,1 | 24,8 |
| QUEROSENE | 5,2 | 4,9 | 4,5 | 4,5 |
| ÁLCOOL ETÍLICO | 0,9 | 13,3 | 12,0 | 14,9 |
| OUTRAS | 1,0 | 3,5 | 4,1 | 4,2 |
| TOTAL | 100 | 100 | 100 | 100 |
| TOTAL (Em mil tep) | 19.087 | 52.459 | 53.270 | 57.621 |

Já o consumo energético do setor industrial, destacado pela tabela 4, é mais diversificado, empregando uma ampla variedade de insumos energéticos. Com isso, constata-se que o óleo combustível, que em 1973 era o principal insumo energético do setor, teve uma redução significativa ao longo das últimas décadas. Tal fato pode ser explicado pela política de incentivo à produção do carvão mineral, na década de 1970, e mais recentemente pela expansão do consumo industrial de gás natural (Leite, 1997).

Tabela 4– Evolução do Consumo Energético – Setor Industrial (Em %)

| | 1973 | 2005 | 2006 | 2007 |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| GÁS NATURAL | 0,1 | 9,8 | 9,9 | 9,9 |
| CARVÃO MINERAL | 0,3 | 4,8 | 4,6 | 4,6 |
| LENHA | 16,7 | 7,7 | 7,6 | 7,4 |
| BAGAÇO DE CANA | 17,7 | 17,8 | 19,9 | 19,7 |
| OUTRAS FONTES PRIM. RENOVÁVEIS | 1,0 | 5,8 | 6,0 | 6,1 |
| ÓLEO COMBUSTÍVEL | 36,6 | 6,0 | 5,3 | 5,2 |
| GÁS DE COQUERIA | 0,9 | 1,4 | 1,3 | 1,3 |
| COQUE DE CARVÃO MINERAL | 5,6 | 8,7 | 8,0 | 8,2 |
| ELETRICIDADE | 11,1 | 20,5 | 20,6 | 20,2 |
| CARVÃO VEGETAL | 7,1 | 7,7 | 7,2 | 6,9 |
| OUTRAS | 2,8 | 9,8 | 9,8 | 10,6 |
| TOTAL | 100 | 100 | 100 | 100 |
| TOTAL | 22.757 | 73.496 | 76.757 | 81.915 |



Diferentemente do setor de transportes, a indústria possui uma estrutura de consumo onde a participação dos combustíveis renováveis é mais disseminada. Em 1973, os combustíveis renováveis (lenha, bagaço de cana, eletricidade proveniente de hidrelétricas, carvão vegetal e outras fontes primárias renováveis) totalizavam 53,6% de todo o consumo energético setorial. Já em 2007 essa participação aumentou para 60,3%, como decorrência do maior emprego da energia hidrelétrica e da biomassa.

A diferença na estrutura do perfil dos dois principais consumidores de energia no país bem como a maneira de produção das energias renováveis possibilita a elaboração de uma série de conjecturas quando se tem em mente uma maior sustentabilidade da MEB, assunto a ser abordado na seção seguinte.

3. GARGALOS QUE CONDUZEM À INSUSTENTABILIDADE DA MEB

Conforme apontado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC)⁸ a energia é a principal fonte de emissões de gases do efeito estufa a nível global (IPCC, 2007). No entanto, o Brasil destoa da média mundial, uma vez que sua principal fonte de emissões é a mudança do uso da terra e das florestas⁹. De fato, segundo o inventário brasileiro de emissões de GEE, para o ano de 2005 este segmento representou cerca 57,5% do total das emissões do país no ano de 2005 (MCT, 2009). Naquele mesmo ano as emissões oriundas do setor energético representaram 16,4%, um aumento de 0,5 pontos percentuais em relação ao primeiro inventário brasileiro de GEE, realizado em 1994.

No entanto, essa menor participação relativa das emissões derivadas da energia no Brasil não exige o país de manter uma discussão contínua em relação à sustentabilidade de sua matriz energética. E são muitos os argumentos que permitem fazer essa afirmação, tanto pelo lado da oferta quanto pelo lado do consumo energético.

8 O IPCC foi criado por proposta da Organização Mundial de Meteorologia (OMM) e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Trata-se de grupo de especialistas cuja missão consiste em analisar, de forma exaustiva, objetiva, aberta e transparente as informações científicas, técnica e socioeconômica relevantes para entender os elementos científicos do risco impostos pelas mudanças climáticas provocadas pelas atividades humanas, suas possíveis repercussões e as possibilidades de adaptação e atenuação das mesmas (IPCC, 2007).

9 Segundo o inventário brasileiro de emissões de gases do efeito estufa, as emissões são originadas de três setores: Energia, Processos industriais e Mudança no uso da terra e das florestas.



3.1. As controvérsias sobre a energia hidrelétrica

O elevado volume de produção de energia elétrica a partir do potencial hidrelétrico do Brasil vem sendo apontado como um dos principais sinalizadores da sustentabilidade da matriz energética nacional, uma vez que se trata de uma energia renovável e que, supostamente, apresenta baixa emissão de carbono.

Este entendimento é predominante, tanto nos estudos conduzidos pelo Ministério das Minas e Energia como nos trabalhos do Banco Mundial e discussões do Fórum Econômico Mundial, os quais apontam a expansão da energia hidrelétrica como uma das respostas à crise climática (Werner e Tavares, 2009).

De fato, a obtenção de eletricidade no Brasil a partir da hidroeletricidade é muito acima da média mundial. Enquanto o padrão mundial é de 65% de eletricidade obtida por fontes de combustíveis fósseis e apenas 16% de hidroeletricidade, no Brasil a geração hidrelétrica responde por 82% de toda a eletricidade ofertada no país (Abranches, 2009).

Porém, o uso do potencial hidrelétrico traz certas contradições que nem sempre são considerados adequadamente nas análises que envolvem este tipo de energia renovável. Uma série de impactos socioeconômicos e ambientais relaciona-se diretamente ao uso da energia hidrelétrica, destacando-se:

- a) O deslocamento populacional de áreas alagadas para a formação de represas e a conseqüente alteração da dinâmica de vida local que o represamento provoca e que, muitas vezes, inviabiliza a continuidade de atividades econômicas anteriormente exercidas pela população da região, como a pesca, bem como a interferência em culturas locais, como nas comunidades quilombolas, ribeirinhas e indígenas (Fernandez e Bursztyn, 2006);
- b) A perda da qualidade da água pela formação de lagos artificiais, o desmatamento, a perda de espécies da fauna e flora e a formação de processos erosivos são alguns dos impactos ambientais que estão associados à construção de usinas hidrelétricas (Werner e Tavares, 2009);
- c) A possibilidade dos reservatórios das hidrelétricas estarem contribuindo para a intensificação da emissão de gases do efeito estufa oriundas da matriz energética brasileira.



Este último aspecto merece uma atenção maior. A partir dos anos 1990 as hidrelétricas passaram a ser alvo de questionamentos a respeito da contribuição de seus reservatórios na emissão de gases do efeito estufa através da liberação de gases, sobretudo o metano (CH₄), gerados pela decomposição da biomassa em sua bacia de acumulação, que foi ali depositada pelo processo de represamento da água (Rosa et al, 2008).

As críticas adquiriram maior força quando um estudo realizado por Rosa, Schaeffer e Santos (1996) envolvendo as hidrelétricas da região amazônica constatou que as emissões da usina de Balbina eram mais elevadas do que as de uma termelétrica, movida a carvão mineral.

A questão central envolvendo o polêmico debate das hidrelétricas gira em torno das emissões de Metano (CH₄) à jusante da represa, ou seja, após a água passar pelas turbinas. Quanto maior a profundidade da represa mais elevada se torna a concentração de metano, cujo potencial de aquecimento global é 21 vezes maior do que o dióxido de carbono. Quando a água emerge das turbinas ela provém de tomadas d'água situadas a uma profundidade que varia, na média, de 15 a 30 metros, isto é, com uma carga expressiva de CH₄, que estava retido no fundo dos reservatórios e é lançado na superfície por ocasião da liberação da água represada (Fearnside, 2002).

Outra fonte importante de emissões é o CO₂ liberado na atmosfera pela decomposição das partes das árvores inundadas que se projetam acima da superfície da água.

As duas situações acima descritas respondem por quantidades significativas das emissões de GEE das usinas hidrelétricas. No entanto, estas não são contabilizadas nas estatísticas oficiais, que consideram apenas as emissões da superfície da represa, uma parcela relativamente pequena do impacto total (Fearnside, 2004).

Como destacam Rosa et al (2008), as polêmicas envolvendo as hidrelétricas sugerem que deveriam ser feitos estudos adicionais para compreender as diferentes formas de fluxo de carbono e suas distintas escalas espaciais e temporais. Este procedimento ajudaria a entender melhor a real contribuição dos reservatórios para o efeito estufa.

Na ausência desse tipo de estudo indicado, assume-se genericamente que este tipo de energia é considerada "limpa". Mas isso é uma simplificação que pode conduzir a erros indesejáveis na análise e formulação de políticas energéticas de caráter efetivamente sustentável.



3.2. As controvérsias sobre os biocombustíveis

Assim como a energia hidrelétrica, a produção de biocombustíveis no Brasil também apresenta polêmicas acerca de sua sustentabilidade, tanto em termos sociais como ambientais.

No que se refere aos aspectos sócio-econômicos da produção de biocombustíveis, verifica-se que tanto o cultivo da cana de açúcar quanto o da soja, principal insumo produtivo do biodiesel, ocorre em grandes propriedades e com caráter monocultor. No caso da produção do álcool, por exemplo, dos 5 milhões de hectares plantados com cana em 2005, somente 20% eram oriundos de pequenas e médias propriedades (Neto, 2006).

Este modelo de produção assentado nas grandes propriedades favorece a ocorrência de diversas situações indesejáveis, como a concentração de renda, a violação de direitos trabalhistas e a exclusão dos trabalhadores do campo, esta última como consequência direta da mecanização de todo o ciclo produtivo da cana-de-açúcar (Neto, 2006). Adicionalmente, estudos apontam que a produção monocultora em grandes propriedades também favorece a violação de direitos humanos, como a prática de trabalho escravo e infantil (Barbosa, 2007).

Outra questão importante na esfera sócio-econômica refere-se à possível competição que estaria ocorrendo entre a produção de biocombustíveis e o abastecimento alimentar. A elevação dos preços das commodities agrícolas nos últimos anos reacendeu o debate envolvendo essa questão. Como destaca Flexor (2008), a elevação dos preços não pode ser atribuída exclusivamente ao aumento da produção de biocombustíveis, porém existem análises consistentes que mostram a existência de um mecanismo de transmissão parcial de preços entre a produção de biocombustíveis e algumas commodities, sobretudo o milho, a soja, o trigo e a cana-de-açúcar.

Na mesma direção caminha o posicionamento da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), que vem manifestando em seus relatórios certa preocupação sobre o fato de que a procura crescente por biocombustíveis pode conduzir a uma pressão nos preços de produtos agrícolas e gêneros alimentícios no longo prazo (FAO, 2008).

Com relação às questões ambientais, existe uma ampla controvérsia envolvendo a produção dos biocombustíveis. Uma dos debates refere-se ao manejo ambiental da produção dos insumos. Apesar do etanol da



cana-de-açúcar estar sendo considerado uma energia “limpa”, o processo de colheita da cana gera impactos negativos sobre o solo e as fontes de água próxima ao cultivo. A queimada, que serve para facilitar a colheita, destrói a maior parte dos microorganismos presentes no solo, polui o ar e provoca doenças respiratórias (Vieira Júnior, 2009). Junte-se a isso o emprego de amplas quantidades de herbicidas e pesticidas no cultivo da cana, da soja e da mamona, além do uso de espécies geneticamente modificadas, cujos impactos ambientais, em sua maioria, ainda são desconhecidos.

Em estudo recente, Andrade et al (2009) construíram um índice de qualidade ambiental para o cultivo da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, principal produtor nacional. Os resultados encontrados foram no sentido de uma baixa qualidade ambiental, que pode ser explicada pelo emprego de fertilizantes em quantias superiores às recomendadas, além da não manutenção de áreas destinadas à mata ciliar e reserva legal.

Outro aspecto a ser considerado é o elevado consumo de água, um bem renovável, porém escasso, que ocorre na agroindústria canavieira, seja na etapa de plantio/cultivo ou na fase de destilação do etanol.

Estudo de Pereira (2009) para o estado de São Paulo, responsável por mais de 60% da produção da cana de açúcar e derivados, chegou à conclusão de que a indústria sucroalcooleira pode comprometer o abastecimento de água no estado paulista. Isto porque a demanda hídrica do cultivo da cana é cerca de três vezes maior do que a demanda da soja e quase o dobro do consumo de água na cultura do café, sugerindo que seu cultivo pode propiciar um impacto muito superior no balanço hídrico de um território do que a soja e o café, produtos conhecidos como grandes consumidores de água.

Outra questão igualmente preocupante refere-se ao fato da maneira que a produção de biocombustíveis poderia estar influenciando a expansão da fronteira agrícola, sobretudo nas regiões do Cerrado e da Amazônia. Este movimento poderia repercutir no incremento das emissões de gases do efeito estufa decorrente da própria mudança do uso do solo.

Nesta lógica, estudos internacionais revelam que a produção em massa de oleaginosas acarretou a devastação de grandes áreas de florestais, destacando-se os exemplos do óleo de palma na Indonésia, Colômbia e Equador (Barbosa, 2007). Este fato se constitui em um precedente preocupante para a produção brasileira de biocombustíveis.



Um argumento amplamente utilizado pelos trabalhos mais céticos, que não enxergam riscos no aumento do desmatamento decorrente da expansão da produção dos biocombustíveis, refere-se ao fato de que o Brasil possui terra agricultáveis mais do que suficientes para o incremento dessa produção (BNDES, 2010). Apesar de ser procedente a informação sobre a disponibilidade de terras, o foco do debate deveria se concentrar no fato de que a expansão dessas culturas, especialmente a soja e a cana-de-açúcar, tende a deslocar outras culturas menos lucrativas para regiões de fronteira agrícola do país, sobretudo na direção do bioma amazônico, ocasionando o desmatamento da região (Vieira Junior et al, 2009).

Na mesma linha de raciocínio, Lapola et al (2010) apontaram uma série de efeitos diretos e indiretos sobre as emissões decorrentes da mudança do uso do solo estimuladas pelo plano brasileiro de expansão da produção de biocombustíveis. Segundo os autores, a ampliação das lavouras para a produção dos insumos do biodiesel e etanol, deslocaria as lavouras destinadas à produção de alimentos na direção da floresta amazônica, causando um impacto, em termos de emissões de carbono, que os biocombustíveis ali produzidos levariam cerca de 250 anos para neutralizá-lo.

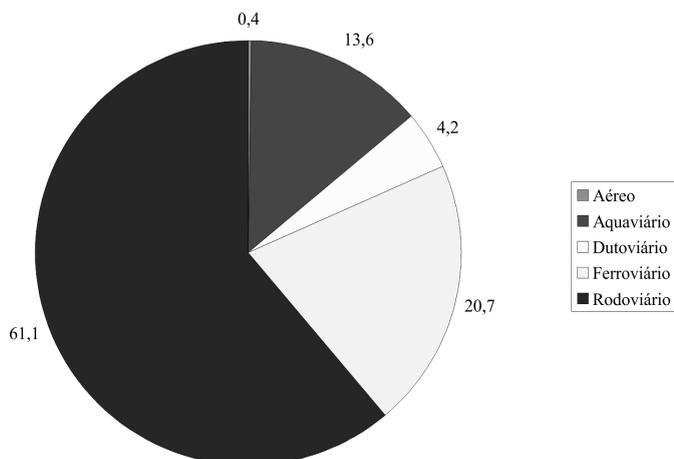
3.3. Setor de transportes: um complicador no consumo energético

O atual perfil de consumo energético do setor de transportes encontra-se concentrado em torno dos combustíveis fósseis, com o óleo diesel e gasolina sendo os principais combustíveis utilizados. Essa consolidação em torno dos combustíveis não-renováveis decorre diretamente do perfil da matriz de transportes brasileira, extremamente dependente do transporte rodoviário.

O gráfico 2 indica a participação percentual dos modais envolvidos no transporte de cargas. Nele é possível perceber a dependência que o setor possui em relação ao transporte rodoviário, que foi responsável por 61,1% do total transportado em 2006 enquanto que o modal ferroviário movimentou apenas 20% do total daquele ano (ANTT, 2010).

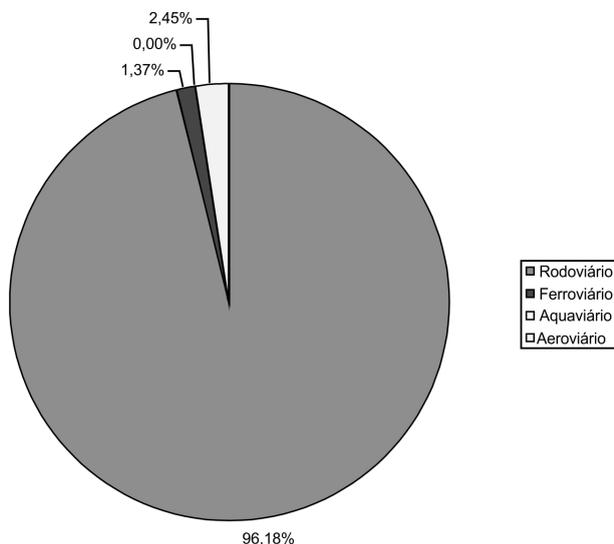


Gráfico 2 - Distribuição do Transporte de Cargas (%) - 2006



No que se refere ao transporte de passageiros, sua distribuição percentual por modal é apresentada no gráfico 3. Assim como no caso do transporte de cargas, também é possível constatar uma elevada predominância do modal rodoviário, que responde por aproximadamente 96% de todo o transporte. O destaque negativo desta distribuição é a ínfima participação do transporte por ferrovias, que poderia, por exemplo, servir com um meio alternativo para o transporte de massa a nível urbano ou interestadual, situação esta que atualmente ocorre apenas no Rio de Janeiro e em São Paulo.

Gráfico 3 - Distribuição do Transporte de Passageiros no Brasil (%) - 2005





A conjugação transporte rodoviário/combustíveis fósseis faz com que o setor de transportes tenha uma parcela de responsabilidade importante no que se refere às emissões de gases do efeito estufa do país, e torna-se clara quando se observa os dados relativos às emissões de GEE da MEB.

A tabela 5 apresenta os dados do setor de forma desagregada, nos seis subsetores consumidores de combustíveis fósseis: Energético, Industrial, Transporte, Residencial, Agricultura e Outros. A tabela ainda conta com o item “Emissões Fugitivas”, onde são incluídas as emissões de gases de efeito estufa durante o processo de mineração, estocagem, processamento e transporte de carvão mineral e durante o processo de extração, transporte e processamento de petróleo e gás natural (MCT, 2009).

Cabe destacar que essa é forma que o MCT utiliza para apresentar os dados de emissões em seus inventários de emissões.

Tabela 5 - Emissões de CO₂ oriundas da Matriz Energética

| Subsetores da Matriz Energética | | 1990 | 2005 | Participação no Total das Emissões Brasileiras em 1990 | Participação no Total das Emissões Brasileiras em 2005 |
|---------------------------------------|----------------------|-----------------------|---------|--|--|
| | | Em Gg CO ₂ | | Em % | |
| Queima de Combustíveis Fósseis | Subsetor Energético | 22.176 | 48.454 | 2,4 | 3,1 |
| | Subsetor Industrial | 64.903 | 114.620 | 7,0 | 7,3 |
| | Subsetor Transporte | 82.235 | 136.155 | 8,8 | 8,6 |
| | Subsetor Residencial | 13.817 | 15.429 | 1,5 | 1,0 |
| | Subsetor Agricultura | 10.052 | 14.808 | 1,1 | 0,9 |
| | Outros Setores | 2.584 | 3.611 | 0,3 | 0,2 |
| Emissões Fugitivas | | 7.451 | 13.913 | 0,8 | 0,9 |
| Total | | 203.218 | 346.990 | 21,8 | 22,0 |

Da análise da tabela 5, conclui-se que o subsetor de transportes, ao emitir 8,8% do total das emissões brasileiras em 2005, é o principal emissor de CO₂ da matriz energética, com um percentual equivalente a 39,2% de todas as emissões do gás proveniente do setor Energia.

Se comparada ao total das emissões brasileiras de CO₂, incluindo o desmatamento, para aquele mesmo ano, o setor de transportes respondeu por 8,6% do total. De maneira isolada este percentual seria ultrapassado apenas pelas emissões oriundas da mudança do uso do solo, que responde por 76% do total. Isto significa dizer que após a crítica questão envolvendo



o desmatamento, o setor de transportes pode ser considerado o principal responsável pelas emissões brasileiras.

Um último ponto a se destacar na questão dos transportes é que a ineficiência em relação ao uso da energia torna-se ainda mais clara quando analisada a relação consumo energético/emissões de GEE com o setor industrial, maior consumidor de energia e segundo maior emissor de GEE.

Conforme destacado na tabela 6, apesar de um maior consumo energético a indústria emitiu menos CO₂ do que o setor de transportes. Este fato pode ser explicado pelo menor índice de CO₂ na energia (ICO₂)¹⁰ que o segmento industrial possui em relação ao transporte, que é resultado de dois fatores principais: a alta diversificação de fontes energéticas existentes na matriz energética da indústria (com o amplo emprego de fontes renováveis); e a maior eficiência energética que a indústria possui quando comparada ao setor de transportes.

Tabela 6 - Índice de CO₂ na Energia - Comparação Intersectorial

| | 1990 | 1994 | 2000 | 2005 |
|---|--------|--------|--------|--------|
| Setor Industrial | | | | |
| Emissões CO ₂ (Em Gg) | 64903 | 81913 | 105466 | 114620 |
| Consumo Energético (Em mil tep) | 43.523 | 50.307 | 61.204 | 73.496 |
| Índice de CO ₂ na Energia (Gg/mil tep) | 1,49 | 1,63 | 1,72 | 1,56 |
| Setor Transportes | | | | |
| Emissões CO ₂ (Em Gg) | 82235 | 94256 | 124197 | 136155 |
| Consumo Energético (Em mil tep) | 32.964 | 37.757 | 47.385 | 52.459 |
| Índice de CO ₂ na Energia (Gg/mil tep) | 2,49 | 2,50 | 2,62 | 2,60 |

Entre os anos de 1990 e 2005, o ICO₂ do setor industrial passou de 1,49 Gg/milTep, em 1990, para 1,56 Gg/milTep, em 2005, o que significou um aumento de 4,6% no período. Por sua vez, o ICO₂ do setor de transportes passou de 2,49 Gg/milTep, em 1990, para 2,60 Gg/milTep, em 2005, um acréscimo de 4,4% entre esses dois anos. Comparando-se o ICO₂ desses dois setores, pode-se concluir que para cada mil toneladas equivalentes de petróleo (tep) consumida no setor de transportes, em 2005, emitiu-se na atmosfera cerca de 1 Gg CO₂, a mais do que se a mesma quantidade de energia fosse consumida pelo setor industrial.

10 O Índice de CO₂ na energia é o quociente da divisão entre as emissões de CO₂ e o consumo energético de um respectivo setor. Através dele é possível analisar o impacto do consumo energético no que se refere às emissões de GEE.



4. ALGUNS INDICADORES DE INSUSTENTABILIDADE DA MEB

Analisando-se a matriz energética através do emprego de quatro indicadores, encontram-se contradições relacionadas à oferta e ao consumo de energia do país, relativos à sustentabilidade. Além disso, também são apresentados os dados internacionais para os quatro indicadores selecionados com o objetivo de posicionar a situação brasileira no contexto mundial.

O primeiro indicador analisa a maneira como o consumo energético repercute na geração de riqueza do país, para tanto é utilizado o índice de intensidade energética (IIE) que, ao calcular a razão entre o consumo energético de um país e o valor de seu PIB, fornece a medida exata do quanto de energia é necessária para a produção de uma unidade monetária do PIB. Como destacam Pinto Jr. et al (2007), o IIE configura-se numa medida de eficiência do uso de energia na produção de riqueza. Um IIE elevado sugere a necessidade de utilizar muita energia para gerar cada unidade do PIB.

O segundo indicador representa o índice de carbono na energia (ICE), que é a razão entre o fluxo de emissões de GEE do consumo energético e esse próprio consumo. Uma tendência de crescimento do ICE indica que o consumo energético apresenta uma elevação em seu teor de carbono, situação indesejável do ponto de vista da sustentabilidade.

O terceiro indicador refere-se às emissões per capita de CO₂ originada do consumo energético e o quarto indicador relaciona-se à evolução das emissões de CO₂ originadas do consumo energético. Ambos seguem a mesma linha de raciocínio dos dois primeiros indicadores, isto é, seu crescimento é sinal de deterioração das condições de sustentabilidade da matriz energética.

4.1. Comportamento e análise dos indicadores selecionados

No que se refere à evolução da intensidade energética (primeiro indicador), a tabela 7 mostra que o Brasil teve um aumento de 5% em sua necessidade de energia para gerar riqueza entre os anos de 1991 e 2007, enquanto que os países da OCDE e a média mundial apresentaram comportamento contrário, reduzindo suas intensidades energéticas no mesmo período.



Tabela 7 – Evolução da Intensidade Energética – Brasil, OCDE, Mundo

| m Tep/milhões de US\$ de 2005 | | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| | 1980 | 1990 | 1991 | 2000 | 2006 | 2007 |
| Brasil | 198,07 | 242,29 | 249,93 | 279,55 | 266,11 | 263,53 |
| OCDE | Nd | Nd | 202,001 | 182,549 | 167,548 | 164,209 |
| Mundo | Nd | Nd | 286,886 | 252,348 | 251,541 | 248,14 |

Este aumento do IIE no Brasil reflete a maior dependência que o país passou a ter em relação à energia a partir da abertura comercial promovida nos início dos anos 1990, que favoreceu a instalação de indústrias energointensivas e consolidou o país com um dos principais exportadores mundiais de produtos intensivos em energia, como alumínio e aço (MME, 2010).

A tabela 8, que apresenta a intensidade de carbono na economia – ICE (segundo indicador), também indica tendências distintas para os casos brasileiro e mundial. Enquanto que a quantidade de CO₂ emitido para cada mil dólares produzidos reduziu nos países da OCDE e na média mundial, no Brasil emitiu-se em 2008 cerca de 3,4% a mais de toneladas de CO₂ do que em 1991 para gerar a mesma quantidade de riqueza. Em outras palavras, para manter a economia numa trajetória de crescimento econômico o Brasil intensificou as emissões do principal gás causador do efeito estufa.

Tabela 8 – Intensidade de Carbono na Economia

| Em Toneladas de CO ₂ / 1000 US\$ de 2005 | | | | | | | |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| | 1980 | 1991 | 2000 | 2006 | 2007 | 2008 | Varição 1991/2008 |
| Brasil | 0,36 | 0,407 | 0,449 | 0,418 | 0,41 | 0,421 | 3,31% |
| Mundo | NA | 0,704 | 0,603 | 0,614 | 0,608 | 0,607 | -13,90% |
| OCDE | NA | 0,463 | 0,41 | 0,374 | 0,368 | 0,358 | -22,65% |

Outra medida efetiva da sustentabilidade do consumo energético brasileiro são as emissões per capita de CO₂ originadas do consumo energético, que estão indicadas na tabela 9. Nela é possível observar que, enquanto as emissões per capita mundiais aumentaram 9,3%, de 1980 para 2008, no Brasil o aumento foi quase cinco vezes superior, com as emissões tendo saltado de 1,51 para 2,18 toneladas de CO₂ por habitante no mesmo período. Apesar de ainda possuir uma emissão per capita visivelmente menor que a média mundial, a velocidade com que este indicador aumentou nos últimos 30 anos no caso brasileiro sugere que o mesmo deve ser motivo de preocupação por parte das autoridades governamentais.

Tabela 9 – Emissão per capita de CO₂ originada do consumo de energia

| Em toneladas de CO ₂ /pessoa | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|-------|-------------------|
| | 1980 | 1990 | 2000 | 2006 | 2007 | 2008 | Varição 1980/2008 |
| Brazil | 1,51 | 1,57 | 1,96 | 2 | 2,05 | 2,181 | 44,34% |
| OECD | 11,5 | 11 | 11,5 | 11,6 | 11,6 | 11,32 | -1,49% |
| World | 4,15 | 4,1 | 3,92 | 4,44 | 4,52 | 4,54 | 9,33% |

Uma quarta sinalização de que o consumo energético vem se consolidando sob uma base insustentável do ponto de vista das emissões de GEE, é indicada pela tabela 10. Enquanto a média mundial das emissões cresceu a uma taxa anual de 2,30%, a taxa brasileira cresceu o dobro desta, ou seja, 4,66%. As taxas de crescimento das emissões de China e Índia foram colocadas propositadamente na tabela, de modo a sinalizar a considerável diferença que estes dois países possuem em relação ao mundo. As elevadas taxas chinesas e indianas, no entanto, não atenuam o perfil de consumo energético brasileiro, que, como dito, também apresentou uma elevação considerável de suas emissões.

Tabela 10 - Evolução das Emissões de CO₂ do Consumo Energético

| Em Milhões de Toneladas de CO ₂ | | | | |
|--|---------|---------|---------------|-------------------------|
| | 1980 | 2008 | Var.1980/2008 | Crescimento Médio Anual |
| Brasil | 185,865 | 428,167 | 130,37% | 4,66% |
| Mundo | 18488,3 | 30377,3 | 64,31% | 2,30% |
| China | 1460,2 | 6533,55 | 347,44% | 12,41% |
| Índia | 293,171 | 1494,88 | 409,90% | 14,64% |

Da análise de todos os indicadores anteriores, sobretudo os relacionados ao consumo energético e às emissões de dióxido de carbono, pode-se destacar dois aspectos que sugerem problema de sustentabilidade da matriz energética brasileira.

O primeiro remete ao debate sobre o descolamento relativo¹¹ (*relative decoupling*) entre os indicadores econômicos, sobretudo o PIB, e as tra-

11 O conceito de *relative decoupling* relaciona-se à ideia de eficiência, isto é, ao fato de se produzir mais utilizando-se menos insumos. Um exemplo empírico é a intensidade energética em termos mundiais, que atualmente é 33% menor do que a verificada na década de 1970. No entanto, aumentar a eficiência com que se utiliza os recursos não garante a sustentabilidade ambiental, um exemplo seria o fato de que no mesmo intervalo de tempo no qual ocorreu a redução da intensidade energética as emissões de CO₂ aumentaram cerca de 80%. Para que uma redução nas emissões de CO₂ no mesmo período deveria ter ocorrido uma redução absoluta no consumo energético, esta seria a ideia do *absolute decoupling*.



jetórias de consumo energético e de emissões de GEE ao longo dos últimos anos. De acordo com essa noção o mundo estaria presenciando um sistemático descasamento entre a geração de riqueza e a emissão de GEE, que seria fruto de ganhos de produtividade e de aumento da eficiência energética dos mais diversos processos do sistema econômico (Spence, 2008). De fato, se tomarmos como referência a evolução do índice de intensidade energética e do índice de carbono na economia (tabelas 7 e 8, respectivamente), percebe-se que entre 1991 e 2008 houve redução destes indicadores em termos de média mundial. No entanto, essa constatação não significa que tenha ocorrido redução ou estabilização da pressão do sistema econômico sobre o meio ambiente. Ao contrário, os dados mostrados pelas tabelas 9 e 10 revelam que os valores per capita e absoluto das emissões de CO₂ apresentaram elevações de 9,3% e 2,3% respectivamente. Tomando-se o caso nacional, os números demonstram um cenário ainda pior, com a inexistência do descolamento relativo. De fato, no período de 1991 a 2008 ocorreu um aumento do IIE e do ICE de 5,4% e 3,3% respectivamente, como destacam as tabelas 23 e 24.

Veiga (2010) destaca que o maior problema do descolamento relativo está em se supor que ele aliviaria a pressão da economia sobre o meio ambiente, uma vez que o uso dos recursos naturais se daria de maneira mais eficiente. Entretanto, como destaca o autor, não faz sentido falar em redução de pressão ambiental sem que haja uma redução de fato, isto é, absoluta, no uso dos recursos naturais.

Jackson (2009) aponta que a redução absoluta no consumo de recursos naturais, dentre eles os combustíveis fósseis, seria o verdadeiro caminho a seguir para compatibilizar desenvolvimento econômico com sustentabilidade. As políticas governamentais e intergovernamentais deveriam, portanto, buscar o descolamento absoluto (*absolute decoupling*), que seria o progressivo aumento da prosperidade econômica associada a uma contínua redução do consumo de recursos naturais, combinação esta que resultaria efetivamente num menor impacto do sistema econômico sobre o meio ambiente.

O segundo aspecto que deixa dúvidas sobre a sustentabilidade ambiental do consumo energético brasileiro está justamente na ausência desta perspectiva de *absolute decoupling* no planejamento energético brasileiro.



Da análise da principal peça do planejamento energético brasileiro para o médio prazo, intitulado Matriz Energética Nacional 2030 (MEN 2030), elaborado pelo Ministério da Minas e Energia (MME) em parceria com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), percebe-se a excessiva preocupação em assegurar o abastecimento energético para o crescimento econômico do país (Abranches, Veiga e Viana, 2009). O tema ambiental é abordado sob a ótica da comparação às demais matrizes energéticas do planeta, sendo destacada a grande participação de combustíveis renováveis e a diversificação de fontes energéticas contidas na MEB.

Apesar de precedente, o argumento da elevada participação da energia renovável na MEB não garante por si só que a trajetória do consumo energético ocorrerá de modo sustentável. Só faria sentido concluir pela sustentabilidade de MEB se a essa lógica da maior participação de combustíveis renováveis fosse adicionada a questão do descolamento absoluto, tratado anteriormente.

A tabela 11 apresenta algumas projeções, para o ano de 2030, sendo possível observar a deterioração dos indicadores brasileiros vis-à-vis à média mundial. As projeções possuem um cenário de referência que prevê taxas de crescimento econômico para o Brasil e o mundo de 4,1% e 3,8% ao ano, respectivamente.

Com relação às três primeiras variáveis da tabela, PIB, consumo de energia primária e emissões de CO₂ originadas do setor energético, as projeções estimam um aumento em termos absolutos para ambos os casos, mas com a elevação brasileira ocorrendo em uma magnitude maior que a média mundial. Cabe destacar, ainda, que enquanto a participação relativa do Brasil no PIB e no Consumo Energético aumentarão em aproximadamente 30% entre os anos de 2005 e 2030, a participação brasileira nas emissões CO₂ deverá crescer cerca de 67%.

Embora o Brasil possua uma intensidade energética (IIE) e um índice de carbono na economia (ICE) menores do que a média mundial, é possível observar que a redução destes indicadores ocorrerá de maneira mais lenta para o caso brasileiro do que para o mundo.

Quanto às emissões de CO₂ per capita, os números brasileiros, apesar de serem menores, crescem a uma taxa mais elevada do que a taxa mundial.



Assim, esses dados indicam que o planejamento energético brasileiro, mesmo considerando-se a elevada participação das energias renováveis, poderá agravar as emissões totais de gases do efeito estufa do país.

Tabela 11 - Projeção de Indicadores Energéticos e Ambientais 2005-2030

| | 2005 | 2030 | Varição 2005-2030 |
|---|-----------|-----------|-------------------|
| PIB - Brasil (bilhões de US\$ de 2005) | 796,30 | 2.133,28 | 167,90% |
| PIB - Mundo (bilhões de US\$ de 2005) | 45.161,00 | 93.922,00 | 107,97% |
| Participação Relativa (PIB Brasil/PIB Global) | 0,018 | 0,023 | 28,82% |
| Brasil - Consumo de Energia Primária (Em milhões de tep) | 236,88 | 453,60 | 91,49% |
| Mundo - Consumo de Energia Primária (Em milhões de tep) | 11.644,92 | 17.093,16 | 46,79% |
| Participação Relativa (Consumo Brasil/Consumo Global) | 0,020 | 0,027 | 30,45% |
| Brasil - Emissões de CO₂ (Em milhões de toneladas de CO ₂) | 323,10 | 770,80 | 138,56% |
| Mundo - Emissões de CO₂ (Em milhões de toneladas de CO ₂) | 28.296,00 | 40.385,00 | 42,72% |
| Participação Relativa (Emissões Brasil/Emissões Globais) | 0,011 | 0,019 | 67,15% |
| Brasil - IIE (Tep/ Mil US\$ de 2005) - Baseado no Consumo de Energia Primária | 0,30 | 0,21 | -28,52% |
| Mundo - IIE (Tep/ Mil US\$ de 2005) - Baseado no Consumo de Energia Primária | 0,26 | 0,18 | -29,42% |
| | | | |
| Brasil - ICE (Kg CO₂/US\$ de 2005) | 0,41 | 0,36 | -10,95% |
| Mundo - ICE (Kg CO₂/US\$ de 2005) | 0,63 | 0,43 | -31,37% |
| | | | |
| Brasil - Emissões CO₂ per capita (t CO ₂ /hab.) | 1,76 | 3,23 | 83,52% |
| Mundo - Emissões CO₂ per capita (t CO ₂ /hab.) | 3,10 | 5,50 | 77,42% |



Com uma expansão de 138% de suas emissões, o Brasil não só contribuirá de maneira mais incisiva para agravar o problema como também se tornará um de seus causadores, fato que já está sendo debatido nos fóruns internacionais e que tende a se consolidar, caso o disposto no MEN 2030 seja realmente efetivado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A discussão sobre mudanças climáticas, embora sendo um debate de alcance global, contém conseqüências que se explicitam no âmbito local. Portanto, entender a importância de cada país nesse debate global é um exercício fundamental para se visualizar possíveis soluções para o problema. Foi imbuído desse propósito que o presente trabalho foi realizado, ou seja, buscou-se compreender a situação atual da matriz energética brasileira e sua relação com o tema da sustentabilidade.

Obviamente que essa discussão foi feita à luz do modelo de desenvolvimento econômico do país, o qual privilegiou nas décadas de forte expansão e consolidação industrial, o uso de combustíveis fósseis – principalmente do petróleo e de seus derivados –, considerados os principais responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa. Mais recentemente – pós década de 1970 – notou-se uma maior diversificação das fontes energéticas, com maior participação das fontes renováveis.

Com isso, a matriz energética brasileira, comparativamente à média mundial, possui uma posição confortável no que se refere ao emprego da energia renovável. Isso se deve, principalmente, pela larga utilização do potencial hidrelétrico do país e pelo aproveitamento energético dos derivados da cana-de-açúcar. Juntando-se essa perspectiva ao fato de que a maior parte das emissões brasileiras de GEE origina-se do desmatamento, a discussão da sustentabilidade e da responsabilidade da matriz energética brasileira nas emissões de GEE costuma ser colocada em segundo plano no âmbito da formulação das políticas públicas referentes ao assunto mudanças climáticas.

Todavia, tal postura se constitui em um grave equívoco tendo em vista uma série de aspectos críticos envolvendo o consumo e a oferta da matriz energética do país, sendo que três deles foram destacados neste trabalho: as controvérsias envolvendo a geração hidrelétrica, a produção de biocombustíveis e o consumo energético do setor de transportes.



Mas o mais importante neste debate que relaciona o tema das mudanças climáticas com a emissão de gases de efeito estufa oriundas dos sistemas econômicos foram os indicadores de sustentabilidade. Em sua maioria, observou-se que esses indicadores revelaram tendências, no mínimo, contraditórias sobre a matriz energética. Por exemplo, a intensidade energética – que avalia a forma como o consumo de energia repercute sobre a produção de riqueza de um país – cresceu progressivamente nas duas últimas décadas no Brasil, enquanto a média mundial apresentou tendência oposta.

Já do ponto de vista da intensidade de carbono na economia, percebeu-se que o país intensificou as emissões do principal gás causador do efeito estufa, ao tentar manter e ampliar seu crescimento econômico. Paralelamente a isso, o estudo também mostrou que as emissões per capita de CO₂ no Brasil aumentaram 5 vezes mais que na média mundial entre 1980 e 2008.

Ao jogar luz sobre a discussão da sustentabilidade da matriz energética este trabalho procurou fugir do senso convencional, que prega que a ampla participação das energias renováveis na matriz energético do país seria por si só um atestado de qualidade e de garantia que o consumo energético brasileiro ocorre em bases sustentáveis.

Espera-se, portanto, que este trabalho tenha como principal resultado o estímulo ao debate envolvendo o assunto aqui tratado, motivando novas pesquisas e discussões que saiam do senso comum e possam sinalizar o caminho a ser seguido na busca da sustentabilidade da matriz energética brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abranches, S. Climate agenda as an agenda for development in Brazil: A policy oriented approach. Disponível em: <www.ecopolitica.org>. Acesso em: 20 nov. 2009.

Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Anuário estatístico de transportes terrestres. Vários anos. Disponível em <www.antt.gov.br>. Acesso em 6 mai.2010.



Andrade, D. C.. A preservação do capital natural e dos serviços ecossistêmicos: Uma proposta de contribuição teórica e metodológica da economia ecológica. 2009. 162 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Economia, Unicamp, Campinas, 2009.

Balanco Energético Nacional (BEN). Relatório Final. Dez.2008. Disponível em <www.epe.gov.br>. Acesso em: 15 abr. 2010.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Bioetanol de cana-de-açúcar: Energia para o desenvolvimento sustentável. Disponível em: <www.bioetanoldecana.org>. Acesso em: 22 fev. 2010.

Barbosa, L. M. Agroenergia, biodiversidade, segurança alimentar e direitos humanos. Conjuntura Internacional. Set. 2007. Disponível em: <www.pucminas.br>. Acesso em: 10 mar. 2010.

Calabi, A. S. et al. A energia e a economia brasileira. São Paulo: Pioneira, 1983, 250p.

Campos de Andrade, A. L. Energia e mudanças climáticas: uma discussão da matriz energética brasileira e do setor de transportes. Florianópolis (SC): UFSC- Programa de Pós-Graduação em Economia (Dissertação de Mestrado), 2010, 164 p.

Fernandes, C. T. C.; Bursztyn, M. A. A.. Usos múltiplos das águas de reservatórios de grandes hidrelétricas. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 4., 2008, Brasília. Anais... Brasília: ANPPAS, 2008. p. 1 - 24. Disponível em: <WWW.ANPPAS.ORG.BR>. Acesso em: 08 jun. 2010.

Fearnside, P. M. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. Water, Air and Soil Pollution. Dordrecht, Holanda, v.133, n.3-4, p. 69-96, 2002.

Fearnside, P. Gases do efeito estufa em hidrelétricas da Amazônia. Ciência Hoje. Rio de Janeiro, v. 36, n.211, p. 41-44, 2004

Flexor, G. Segurança Alimentar e biocombustíveis: Um dilema? Ago. 2008. Disponível em: <www.fbes.org.br>. Acesso em: 29 mar. 2010.

Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). Fourth assesment report: Climate change 2007(AR4). Genebra: IPCC, 2007.



Lapola, D. et al. Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. *Pnas Early Edition*. Feb. 2010. Disponível em: <www.pnas.org>. Acesso em: 23 abr. 2010.

Leite, A. D. A energia do Brasil. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. 528p.

Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases do efeito estufa – Informações gerais e valores preliminares. Nov. 2009. Disponível em <www.mct.gov.br>. Acesso em 30 jan. 2010.

Ministério de Minas e Energia (MME). Resenha energética brasileira – exercício 2009. Brasília, 2010.

Neto, D. Dilemas e questões do biodiesel na matriz energética. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 11., 2006, Rio de Janeiro. Anais... . Rio de Janeiro: Coppe, 2006. v. 1, p. 401 - 415.

Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO). Mitigación del cambio climático y adaptación en la agricultura. 2008. Disponível em <www.fao.org> Acesso em 12 mar. 2010.

Pereira, B. A. Agroindústria Canavieira: Uma análise sobre o uso da água nos processos agrícolas e industriais da produção sucroalcooleira paulista. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA, 8., 2009, Cuiabá. Anais... Cuiabá: Ecoeco, 2009.

Rosa, L. P.; Schaeffer, R.; Santos, M. A. Are hydroelectric dams in the Brazilian Amazon significant sources of greenhouse gases?. *Environmental Conservation*, 66, p.2-6, 1996.

Rosa, L. P. et al. Emissões de gases do efeito estufa por hidrelétricas. *OEcologia Brasiliensis*, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p.116-129, 2008.

Vieira Junior, P. A. et al. A produção brasileira de cana-de-açúcar e o deslocamento da fronteira agrícola no estado do Mato Grosso. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA, 8., 2009, Cuiabá. Anais... Cuiabá: Ecoeco, 2009.

Werner, D.; Tavares, D. A. C. Hidrelétricas e desenvolvimento sustentável: Uma combinação possível? In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA, 8., 2009, Cuiabá. Anais... . Cuiabá: Ecoeco, 2009.