

## Depois de 2020: do desafio do desmatamento ao da energia no Brasil

Emilio La Rovere  
Carolina Dubeux  
Amaro Pereira  
William Wills

Julho de 2012

*apoio*



Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit DEZA  
Direction du développement et de la coopération DDC  
Swiss Agency for Development and Cooperation SDC  
Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación COSUDE

CINDES é o coordenador da LATN no Brasil



# Depois de 2020: do desafio do desmatamento ao da energia no Brasil

*Emilio La Rovere\**

*Carolina Dubeux\*\**

*Amaro Pereira\* \*\**

*William Wills\*\**

## Resumo

Este artigo sintetiza os principais pressupostos e resultados de um estudo realizado com o objetivo de analisar três cenários de longo prazo de emissões de gases de efeito estufa (GEE) para o Brasil: um cenário de linha de base, um cenário de mitigação central – que incorpora as ações previstas na Política Nacional sobre Mudança do Clima – e um cenário mais ousado onde novas ações são testadas.

Desde 1990, a mudança de uso do solo tem sido a fonte de emissão de GEE mais importante no Brasil. O país se encontra em uma boa posição para alcançar suas metas voluntárias de redução de emissões assumidas junto à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC em inglês) até 2020, já que o desmatamento evitado será responsável por grande parte deste esforço de mitigação.

Em 2020, se as metas de mitigação do governo forem alcançadas, as emissões do setor de energia vão assumir o papel preponderante e tornar-se-ão as mais importantes no país.

---

\*Professor do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ

\*\*Pesquisador do Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudança Climática (Centro Clima/Programa de Planejamento Energético/COPPE/UFRJ).

Assim, se depois de 2020 nenhuma mitigação adicional for implementada, as emissões de GEE vão crescer novamente no período 2020-2030, devido ao crescimento populacional e econômico que aumentará a demanda de energia e conseqüentemente a oferta e as emissões de GEE. Este período é agora relevante na política climática devido à Plataforma de Durban que preconiza um “protocolo, instrumento legal ou acordo legal vinculante” a entrar em vigor a partir de 2020.

Por outro lado, o Brasil está em uma posição forte para assumir um desenvolvimento social e econômico de baixo carbono devido à sua grande riqueza em recursos energéticos renováveis permitindo ações de mitigação adicionais a serem adotadas depois de 2020.

*Palavras-chave: cenários de mitigação; caminhos para o desenvolvimento; uso da terra; mudança de uso da terra e florestas; política energética; inovação tecnológica.*

## 1. Introdução

Este artigo resume os principais pressupostos e as principais conclusões de um estudo desenvolvido pelo Centroclima / PPE / COPPE / UFRJ para o Ministério do Meio Ambiente e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), que teve por objetivo realizar uma análise comparativa de três cenários de longo prazo de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) para o Brasil (La Rovere et al., 2011).

As emissões de GEE foram estimadas com base nos resultados do Inventário de Emissões da Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – UNFCCC (sigla em inglês), referente a 2005. Nesse estudo comparou-se um cenário de mitigação central (Cenário B, que inclui as políticas de mitigação e medidas já aprovadas pelo governo brasileiro) com dois cenários contrastantes: um cenário de referência que exclui tais medidas (Cenário A) e um cenário de mitigação mais ousado que incorpora medidas adicionais ou amplia as metas de medidas já consideradas (Cenário C). O horizonte temporal do estudo foi 2030, com estimativas intermediárias para cada cinco anos.

O crescimento populacional foi estimado de acordo com projeções oficiais (EPE, 2009) e adotou-se a mesma estimativa em todos os cenários. Assumiu-se um crescimento médio do PIB de 5% a.a. até 2020 e 4% a.a. no período 2021-2030 também em todos os três cenários. Esta taxa de crescimento econômico é a meta estabelecida pelo governo brasileiro e é maior do que as projeções assumidas pela IEA - Agência Internacional de Energia para o país, de 3% aa até 2030. De qualquer forma, mesmo que o tamanho projetado da economia não seja alcançado em 2030 e sim alguns anos mais tarde, o objetivo geral destes cenários permanece válido, na medida em que se pretende apresentar uma tendência provável de emissões de GEE de longo prazo para a economia brasileira.

Até 2020, o cenário central (B) assume que o Brasil vai cumprir as metas voluntárias estabelecidas no Acordo de Copenhague firmado no âmbito da 15<sup>a</sup> Conferên-

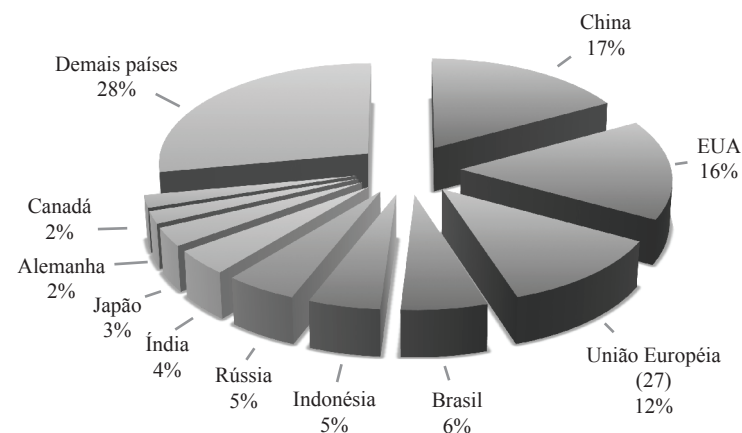
cia das Partes (COP 15) da Convenção do Clima (UNFCCC) – metas incorporadas pela Lei Federal 12.187, de 29 de dezembro de 2009, na Política Nacional sobre Mudança do Clima e posteriormente detalhadas no Decreto Federal 7.390, de 09 dezembro de 2010. Os valores indicados no decreto foram adotados para construir os cenários A e B até 2020 e extrapolados até 2030 sob o pressuposto de que não haveria mais ações de mitigação a serem implementadas no caso do Cenário B. O Cenário A estende para o futuro as tendências passadas, observadas antes de 2010 excluindo as medidas de mitigação incluídas no cenário central (adotadas a partir de então), como por exemplo, o investimento na construção de grandes projetos, como os 11.000 MW da usina hidrelétrica de Belo Monte. O Cenário C difere de B com relação a algumas ações de mitigação adicionais em consideração, mas ainda não adotadas, pelo governo brasileiro.

Este artigo tem como foco as emissões de GEE provenientes de Mudança do Uso do Solo e Florestas e de Fontes de Energia nos sectores-chave de geração de energia, transportes e indústria. A seção 1 apresenta uma visão geral de emissões de GEE do Brasil de 1990 a 2005 por fonte de emissões e as metas de redução voluntárias até 2020 oferecidas à UNFCCC pelo governo brasileiro nas COP 15 e 16 (de Cancun). As seções 2 e 3 apresentam os principais pressupostos dos cenários no que se refere aos setores analisados. A seção 4 apresenta os resultados das emissões de GEE para os três cenários, seguida por uma discussão sobre as principais conclusões na seção 5.

## 2. Emissões de Gases de Efeito Estufa e Metas de Mitigação

Das 44 bilhões de toneladas estimadas de CO<sub>2</sub>e emitidas globalmente no ano de 2005, as emissões nacionais alcançaram mais de 2 bilhões, colocando o Brasil como o quarto maior emissor mundial .

**Figura 1**  
**Participação dos Países Emissores de GEE, em 2005.**



A principal fonte de emissões de GEE no Brasil é o desmatamento causado pela expansão das fronteiras agrícolas, principalmente na região amazônica. A agricultura e a pecuária, por serem setores-chave da economia brasileira, ocupam o segundo lugar. O sector de energia vem apenas na terceira posição, devido ao papel da energia hidrelétrica e da biomassa renovável (etanol de cana de açúcar, madeira e carvão vegetal de plantações florestais, bem como biodiesel de óleos vegetais a partir do cultivo) que permitem uma participação de 45% de energias renováveis no abastecimento energético total do país. A evolução nacional das emissões pode ser observada na tabela a seguir.

**Tabela 1**  
**Emissões Brasileiras, 1990-2005**

Mt CO2e	1990		1994		2000		2005	
Mudança de Uso do Solo	813	58%	883	58%	1328	64%	1329	61%
Agricultura	304	22%	329	22%	348	17%	416	19%
Energia	192	14%	217	14%	301	14%	329	15%
Processos Industriais	53	4%	59	4%	72	3%	78	4%
Resíduos	29	2%	32	2%	39	2%	41	2%
<b>Total</b>	<b>1389</b>	<b>100%</b>	<b>1520</b>	<b>100%</b>	<b>2088</b>	<b>100%</b>	<b>2193</b>	<b>100%</b>

Fonte: Brasil(2010)

O país vem empenhando esforços para mitigar suas emissões, principalmente pela redução do desmatamento da Amazônia e através do uso de energias renováveis. A Política Nacional sobre Mudança do Clima instituiu metas voluntárias para reduzir entre 36,1 e 38,9% as emissões projetadas para 2020, em relação a um cenário de referência.

**Tabela 2**  
**Ações de Mitigação da Política Nacional sobre Mudança do Clima**

Setores	1990	2005	Variação 1990-2005	2020	Variação 2005-2020	Redução de Emissões no ano de 2020 em relação ao Cenário de Referência
	Dados do Inventário	Dados do Inventário		Cenário de Referência	Cenário de Referência	
	(Mt CO2e)	(Mt CO2e)	%	(Mt CO2e)	%	(Mt CO2e)
Mudança de Uso do Solo	746	1268	70%	1404	11%	
Amazônia				948		
Cerrado				323		
Outros				133		
Agropecuária	347	487	41%	730	50%	
Energia	215	362	68%	868	140%	234
Processos Industriais + Resíduos	55	86	39%	234	172%	
<b>Total</b>	<b>1362</b>	<b>2203</b>	<b>62%</b>	<b>3236</b>	<b>47%</b>	<b>1168 a 1259</b>

Fonte: Decreto Federal do Brasil no. 7390 de 09 de dezembro de 2010.

É importante salientar que se o Brasil cumprir as metas voluntárias, suas emissões de GEE serão, em 2020, de 6 a 10% menores que em 2005. Esta redução em termos absolutos é muito mais ambiciosa do que as metas voluntárias estabelecidas por outras economias emergentes até 2020. China e Índia têm metas de redução da intensidade de emissões de GEE do PIB, mas as altas taxas de crescimento econômico previstas implicariam um aumento significativo de emissões absolutas.

### 3. Cenários de Mudança de Uso do Solo e Florestas

O Brasil possui a segunda maior área de florestas no mundo, respondendo por 56% do território nacional (4,7 milhões de km<sup>2</sup>). A principal fonte de emissões neste setor é a conversão de florestas através do desmatamento para exploração madeireira, expansão das áreas destinadas à pecuária extensiva e à agricultura de grande escala e para a produção de carvão vegetal. Em 2005, as emissões líquidas do setor somaram 1,3 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e (BRASIL, 2010), sendo os biomas Amazônia e Cerrado responsáveis por 65 e 24% deste total, respectivamente.

O bioma Amazônia sofreu picos de desmatamento em 1995 e 2004, quando as áreas afetadas totalizaram 29.059 e 27.400 km<sup>2</sup>, respectivamente. A partir de 2005, foi registrada uma redução no desmatamento na Amazônia, caindo para seu nível mais baixo, 11.500 km<sup>2</sup>, em 2007. De acordo com dados atuais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, a taxa de desmatamento em 2008 foi de 12,911 km<sup>2</sup>, e em 2009 foi de menos de 8.000 km<sup>2</sup>. A taxa média anual de desmatamento no bioma Cerrado caiu de 18,0 mil km<sup>2</sup>/ano, no período 1994-2002 para 14,1 mil km<sup>2</sup>/ano 2002-2008 (MMA, 2009).

Os cenários de emissões de GEE construídos para esse setor foram baseados principalmente no Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC, de 2008 (Brasil, 2008). Foi também utilizada a documentação brasileira sobre mitigação da mudança climática através de NAMAs (sigla em inglês para Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas, em âmbito da UNFCCC) apresentada na COP15, em

Copenhague, como base para as projeções até 2030. Além disso, as opções descritas em estudos realizados pela McKinsey (2009) e pelo Banco Mundial (Gouvello, et al., 2010), entre outras, foram incorporadas como ações de mitigação potencial neste setor.

### 3.1 Hipóteses dos Cenários

#### Cenário A

Supôs-se que nenhuma medida para deter o desmatamento vem sendo implementada no Brasil. Portanto, a média do desmatamento histórico continuaria a evoluir tendencialmente. As taxas de desmatamento utilizadas são as mesmas que aquelas apresentadas pela delegação brasileira para a COP-15, em Copenhague:

- Desmatamento de 19.535 km<sup>2</sup>/ano na Amazônia (média de desmatamento - Programa de Cálculo do Desmatamento da Amazônia - PRODES (de 1996-2005)).
- Desmatamento de 15,700 km<sup>2</sup>/ano no Cerrado (média de desmatamento de 1996-2005).
- Desmatamento de 17,08 km<sup>2</sup>/ano nos demais biomas brasileiros (Caatinga, Pantanal e Mata Atlântica).

#### Cenário B

Este cenário pressupõe a implementação de ações de mitigação delineadas no Plano Nacional de Mudanças Climáticas para o período 2010-2020 (Brasil, 2008):

- Redução do desmatamento na Amazônia em 80% em 2020, em relação à linha de base de 19.535 km<sup>2</sup> / ano.

- Redução do desmatamento no Cerrado em 40% em 2020, em relação à linha de base de 15.700 km<sup>2</sup> / ano.
- Expansão de florestas plantadas em três milhões de hectares em 2020 (passando de 6,3 milhões de hectares, em 2009, para 9,3 milhões de hectares, em 2020).

Após 2020, as taxas de desmatamento permanecem constantes nos dois principais biomas, até 2030. A expansão de florestas plantadas, principalmente eucalipto, cresce para 11,2 milhões de hectares em 2030, segundo projeções de crescimento da indústria de papel, celulose e metalurgia (Gouvello et al., 2010).

#### Cenário C

- Expansão de florestas plantadas, principalmente de eucalipto (espécies de crescimento rápido com maior potencial de armazenamento de carbono), de três milhões de hectares até 2020 e mais três milhões de hectares entre 2021-2030 (passando de 6,3 milhões de hectares em 2009 para 12,3 milhões de hectares em 2030).
- Redução do desmatamento na Amazônia em duas fases, a primeira em 85% até 2020 e a segunda em 90% em 2030, considerando a linha de base de 19.500 km<sup>2</sup> / ano.
- Redução do desmatamento no Cerrado em duas fases: a primeira em 45% até 2020 e a segunda em 60% em 2030, considerando a linha de base de 15.700 km<sup>2</sup> / ano.
- Redução do desmatamento e aumento da revegetação de áreas de Reserva Legal (RL), Áreas de Preservação Permanente (APP) e criação de corredores ecológicos, através da recuperação de áreas degradadas, no bioma Mata Atlântica. De acordo com recomendações do Pacto de Restauração da Mata Atlântica, 15 milhões de hectares devem ser plantados até 2050, a fim de restaurar

a floresta nativa. Isso implicaria o plantio anual de 370 mil hectares. Com esta suposição, 7,5 milhões de hectares de cobertura florestal seriam recompostos até 2030.

O crescimento das florestas plantadas para fornecer as matérias-primas necessárias às indústrias de celulose, papel e metalurgia também é incorporado, o que permite aumentar significativamente a disponibilidade de carvão vegetal renovável para a produção de ferro gusa da indústria siderúrgica. Esta suposição é validada pelo Plano Nacional sobre Mudança do Clima.

## 4. Cenários do Setor de Energia

### 4.1 Geração Elétrica

O setor de geração de energia é marcado por uma forte presença de usinas hidrelétricas localizadas em áreas de abrangência diferentes e distantes dos centros de consumo. O sistema é, portanto, interligado por linhas de transmissão extensas, sendo as hidrelétricas complementadas por centrais térmicas convencionais e nucleares, bem como por um parque de energia eólica em expansão.

Desta forma, as emissões do setor de energia são relativamente baixas. Em 2008, as emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de combustíveis fósseis em usinas termelétricas foram menores que 34 Mt CO<sub>2</sub>e, sendo provenientes de gás natural (39%), carvão (22%), óleo diesel (21%) e óleo combustível (19%) (EPE, 2010a).

A fim de estimar os cenários para o setor de oferta de energia, foram utilizadas as projeções governamentais oficiais de demanda, como mostra a Tabela 3.

**Tabela 3**  
**Evolução da demanda de energia elétrica**

Demanda	2010	1015	2020	2025	2030
TWh	475	530	660	793	953

Fonte: PDE 2020 (para o período 2011-2019); PNE 2030 (para o restante), (respectivamente EPE, 2011 e 2007)

Para as simulações, os dados técnico-econômicos foram obtidos no Departamento de Energia Americano (EIA/DOE, 2010) e o custo dos combustíveis estimado com base nos estudos do PNE 2030 (EPE, 2007). O custo das ações de eficiência energética é a média das medidas de eficiência energética propostas no relatório do Banco Mundial (Gouvello et al., 2010).

#### 4.1.1 Hipóteses dos Cenários

##### Cenário A

O Cenário A, contrafactual, exclui a expansão das fontes renováveis (incluindo grandes hidrelétricas) a partir de 2010 no parque de geração, além de programas de eficiência energética. Tais medidas são substituídas por geração termelétrica a gás natural, hipótese mantida para todo o horizonte de tempo do estudo. Assim, não há, neste cenário, nem expansão hidráulica, nem de outras fontes renováveis. Não há também implementação de programas de eficiência energética. A economia de energia verificada neste cenário é a decorrente de progresso técnico autônomo.

##### Cenário B

No Cenário B, para o período até 2020, utilizou-se a composição de fontes de energia do PDE 2020 (EPE, 2011) e, para o período posterior, a evolução apontada no PNE 2030 (EPE, 2007). São levadas em consideração ações na área de eficiência energética, constantes do PDE 2020, que visam manter e ampliar os programas e

iniciativas já existentes, de modo a reduzir o consumo projetado de energia elétrica para o horizonte do estudo. Identificou-se, também, um potencial de geração a partir de metano recuperado de aterros sanitários de 4,35 TWh em 2030, o que representa 0,4% da demanda projetada para o referido ano.

Em síntese, as medidas de mitigação do setor elétrico neste cenário são proporcionadas pela:

- Expansão em quase 34.000 MW do parque gerador hidroelétrico, destacando-se a primeira usina do complexo hidroelétrico do rio Tapajós e novas usinas hidráulicas a licitar.
- Expansão em mais de 20.000 MW do parque gerador a partir de fontes alternativas, destacando-se a instalação de 10.800 MW em centrais eólicas, 6.080 MW em centrais a biomassa e 3.380 MW em PCH.
- Ações de eficiência energética para reduzir 4,4% do consumo projetado de energia elétrica para o horizonte do estudo (economia de geração equivalente a uma usina hidráulica de 7.600 MW).

A composição das fontes de geração está apresentada na Tabela 4, a seguir:

**Tabela 4**  
**Expansão da capacidade de geração no Cenário B (MW)**

MW	Baseado no PDE 2020			Baseado no PNE 2030	
	2010	2015	2020	2025	2030
Hidrelétricas	82.939	94.053	115.123	132.561	150.749
Nuclear	2.007	2.007	3.412	4.316	5.316
Gás Natural	9.180	11.659		16.033	22.783
Carvão	1.765	3.205	3.205	4.465	6.465
Óleo Combustível	2.371	8.790	8.790	8.864	8.864
Óleo Diesel	1.497	1.471	1.121	1.551	1.551
Outros Não Renováveis	686	686	686	686	686
PCH	3.806	4.957	6.447	12.966	16.966
Biomassa	4.496	7.353	9.163	14.159	20.209
Eólica	831	7.002	11.532	12.068	15.368
<b>Total</b>	<b>109.578</b>	<b>140.853</b>	<b>171.138</b>	<b>203.571</b>	<b>244.859</b>

Fonte: PDE 2020 (EPE, 2011); PNE 2030 (EPE, 2007)

## Cenário C

O Cenário C foi construído com medidas adicionais ao Cenário B, no que se refere ao desenvolvimento de energias renováveis e a medidas de eficiência energética. Foi considerada uma expansão da geração eólica suficiente para substituir a expansão da geração a carvão mineral do Cenário B. Adicionalmente, foi considerado um programa de eficiência energética que prevê uma economia de energia de dois pontos percentuais a mais do que o previsto no Cenário B, a partir de 2020, reduzindo a demanda em 12% em 2030. Da mesma forma que acontece na passagem do Cenário A para o B as medidas de eficiência energética deslocam geração termelétrica a gás natural.

**Tabela 5**  
**Expansão da capacidade de geração no Cenário C (MW)**

MW	2010	2015	2020	2025	2030
Hidrelétricas	82.939	94.053	115.123	132.561	150.749
Nuclear	2.007	2.007	3.412	4.316	5.316
Gás Natural	9.180	11.659	11.659	16.033	22.783
Carvão	1.765	1.765	1.765	3.205	3.205
Óleo Combustível	2.371	8.790	8.790	8.864	8.864
Óleo Diesel	1.497	1.471	1.121	1.551	1.551
Outros Não Renováveis	686	686	686	687	687
PCH	3.806	4.957	6.447	12.966	16.966
Biomassa	4.496	7.353	9.163	14.159	20.209
Eólica	831	7.002	11.532	15.780	21.830
<b>Total</b>	<b>109.578</b>	<b>139.743</b>	<b>169.518</b>	<b>210.122</b>	<b>252.160</b>

Fonte: La Rovere et al. (2011)



## 4.2 Transportes

O transporte rodoviário utiliza os seguintes combustíveis: gasolina C (mistura de gasolina A com álcool anidro) e etanol, usados para abastecer veículos leves, e diesel e biodiesel, que abastecem principalmente ônibus e caminhões, bem como vans e carros com capacidade de carga de mais de uma tonelada. As estimativas de emissões de GEE do setor foram de 164 Mt CO<sub>2</sub>e em 2010, com a maior parcela correspondente ao consumo de diesel, seguido pela gasolina.

As hipóteses dos cenários para o setor de transporte seguiram a mesma abordagem geral daquelas do setor de energia. A demanda por energia foi estimada e mantida a mesma para todos os cenários. As diferentes composições de combustíveis para atender esta demanda de energia é que resultam em diferentes níveis de emissões de GEE.

No caso de veículos leves, o crescimento anual da demanda de energia é estimado em 6,8% ao ano até 2020 e, para o transporte coletivo e de carga, de 5% ao ano (a partir do PDE, 2020). Para período de projeção 2021-2030, a taxa de crescimento do PIB foi reduzida para 4% ao ano. A partir da elasticidade da demanda em relação ao PIB, para os veículos leves, a taxa de crescimento anual da demanda foi de 5,4% e para o transporte pesado, 4% ao ano.

É importante ressaltar que esse estudo se concentrou principalmente no transporte rodoviário, pois as medidas de mitigação propostas pelo governo no setor de transportes se concentram neste modal. De qualquer forma, o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa dos outros modais também foram projetadas.

### 4.2.1 Hipóteses dos Cenários

#### Cenário A

O consumo, em volume, de álcool hidratado e de biodiesel foi congelado em níveis de 2009, mantendo-se até 2030. O consumo de gasolina e de diesel foi calculado considerando-se a demanda total de energia, descontados os valores dos biocombustíveis. Já o consumo de álcool anidro subiu acompanhando a elevação do consumo de gasolina, já que a gasolina vendida no país é formada a partir da mistura desses dois combustíveis. O percentual de mistura diminuiu de 25% entre 2009 e 2020 para 20% a partir de 2021, tendo em vista o grande aumento do consumo de gasolina e o aumento pequeno na oferta de etanol. Para os modais aéreo, hidroviário e aeroviário os cenários A, B e C são iguais, já que não há nenhuma medida de mitigação em pauta.

#### Cenário B

Para a construção do cenário tendencial (Cenário B), foi utilizado o Plano Decenal de Expansão de Energia, PDE 2020, que foi a base para o Acordo de Copenhague no que se refere ao setor de energia (no qual se insere o setor de transportes).

Neste cenário ocorre um avanço expressivo no consumo de etanol e de biodiesel. A taxa de crescimento do consumo de álcool hidratado é de 13,9% ao ano entre 2010 e 2020. Para o período 2020-2030, a demanda por álcool hidratado continuou crescendo, porém a um ritmo menor, de 5,6% ao ano, equivalente ao crescimento anual indicado pelo PDE 2020 para o período 2015-2020, ajustado pelo menor crescimento do PIB nessa década. O consumo de gasolina C foi calculado a partir da diferença entre a demanda total de energia e o consumo de álcool hidratado, e o percentual de mistura do álcool anidro na gasolina foi mantido em 25% em todo o horizonte projetado.

Para veículos pesados, a partir da demanda total por energia estimada e com o percentual de mistura de biodiesel no diesel mantido em 5% em todo o período de projeção, pode-se chegar ao consumo de óleo diesel e de biodiesel em cada ano.

### **Cenário C**

O Cenário C apresenta metas mais ousadas no que diz respeito à penetração do etanol e do biodiesel. Para o álcool hidratado, no período 2020-2030, foi utilizada a taxa de crescimento anual no período 2015-2020, obtida no PDE 2020, que foi igual a 7,0%, e, portanto, maior do que no Cenário B. O volume de gasolina foi calculado através da diferença entre a energia contida no álcool hidratado e a energia anual demandada pelos veículos leves, calculada anteriormente. O percentual de mistura de álcool anidro na gasolina permaneceu fixo em 25% em todo o período.

No caso do transporte pesado, assumiu-se que o percentual de mistura de biodiesel no diesel ficaria mantido em 5% até 2020, aumentando para 6% em 2025 e para 7% em 2030, diferentemente do Cenário B onde a mistura se mantém em 5% até 2030.

## **4.3 Indústria**

O setor industrial brasileiro é o maior consumidor de energia no país, de acordo com dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2010a). Em 2009, a indústria foi responsável pelo consumo de 76,6 milhões de tep, correspondendo a 37,2% do total nacional. De acordo com o Inventário de Emissões da Segunda Comunicação Nacional do Brasil (Brasil, 2010), o uso de energia no setor industrial mais as emissões de processos (não energéticas) emitiram 156,8 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq em 2005. Os setores mais emissores são: cimento, ferro e aço, cal e amônia.

A análise do setor industrial considera os efeitos combinados de emissões provenientes de utilização de energia e de processos industriais.

O crescimento industrial foi estimado de acordo com o PDE 2020 (EPE, 2011) e, a partir de 2020, por valores médios do PNE 2030 (EPE, 2007). As emissões associadas ao uso de energia na indústria referem-se apenas ao uso do combustível para atender à demanda de calor industrial. No que diz respeito às tecnologias mais eficientes e limpas, resultando em menores emissões provenientes de processos industriais, foram consideradas opções de mitigação de outros estudos como EPA (2006), McKinsey (2009) e IASA (2010).

### **4.3.1 Hipóteses dos Cenários**

#### **Cenário A**

Por ser este um cenário contrafactual, no Cenário A não há esforços de mitigação como o de energia elétrica e o de transportes. Mantêm-se constantes a eficiência energética, a matriz de consumo final e os processos emissores.

#### **Cenário B**

No Cenário B, a evolução da eficiência energética nos diferentes segmentos industriais é igual àquela indicada no PDE 2020. A partir de 2020, são consideradas as taxas apresentadas no PNE 2030. No que se refere à matriz de consumo final de combustíveis, até 2020, utilizou-se aquela indicada no PDE 2020 que se mantém constante no período seguinte.

Quanto aos processos industriais, o Cenário B considera as emissões reduzidas, em comparação ao Cenário A, resultantes de implantação de ações (voluntárias ou integrantes de programas), que permitam o atendimento a compromissos firmados pelo governo do Brasil e que sejam necessárias para atender os objetivos da Polí-

tica Nacional sobre Mudança do Clima, em sua regulamentação. Considera-se que estas medidas serão implantadas pela indústria a partir de 2016, tendo em vista o prazo de maturação de projetos desta natureza. Assim, o Cenário B é idêntico ao A até o ano de 2015 no que se refere a emissões de processos. Para a estimativa das emissões associadas à produção de carvão vegetal na siderurgia não foi considerada qualquer evolução do rendimento dos fornos, nem a alteração do padrão tecnológico predominante.

### **Cenário C**

No Cenário C considerou-se a adoção de medidas complementares, em relação às descritas no Cenário B. As hipóteses que sustentam a construção do Cenário C, relativas ao uso de energia na indústria, são: até 2020, atingimento dos coeficientes técnicos do Balanço de Energia Útil (MME, 2005) e, após 2020, introdução de medidas de eficiência adicionais (2a ordem) além do atingimento de potenciais indicados em estudos da Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2010). Neste cenário, ocorre também, após 2020, uma substituição de fontes energéticas (mais carbono-intensivas por menos carbono-intensivas) e utilização de material alternativo (resíduos como combustível na indústria de cimento). Para este cenário, também foi considerada a alteração progressiva do padrão tecnológico predominante na produção de carvão vegetal na siderurgia, com a introdução de fornos mais eficientes a partir de 2016.

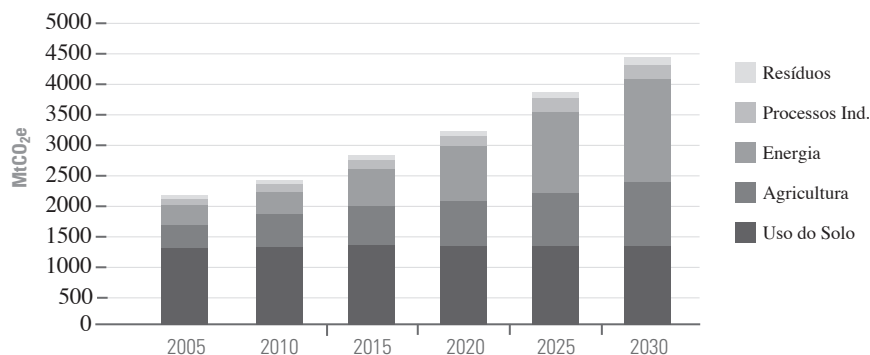
O Cenário C assume também a adoção de processos industriais modificados, incorporando as seguintes ações de mitigação: substituição de SF<sub>6</sub> por SO<sub>2</sub> na produção de magnésio; utilização de catalisadores de nova geração para produzir etileno; introdução de novas tecnologias de destruição térmica na produção de ácido adípico para reduzir as emissões de N<sub>2</sub>O; otimização da redução catalítica e decomposição de N<sub>2</sub>O na produção de ácido nítrico; modernização de plantas de produção de amônia e utilização de fontes de hidrogênio com menor teor de carbono; utilização de materiais compostos na produção de cimento para reduzir as emissões associadas à calcinação de matérias-primas; construção de novas plantas

de redução de minério de ferro para reduzir perdas de carbono, especialmente na fase de sinterização e aplicação de tecnologias de redução direta; modernização de plantas de produção de alumínio para a utilização de sistemas de controle computadorizados e/ou o uso de sistemas de controle de injeção de alumina; adoção de tecnologia de captura e armazenamento de carbono (CCS) em processos específicos de produção de cimento, amônia e aço. A redução das emissões de SF<sub>6</sub> e gases de refrigeração também é assumida como resultado de ações de mitigação, graças ao redesenho de equipamentos e técnicas mais avançadas de coleta de gás durante as atividades de manutenção.

## 5. Emissões Totais dos Cenários

As emissões de GEE resultantes das hipóteses apresentadas nas seções anteriores estão resumidas nas figuras abaixo. A Figura 2 mostra o crescimento contínuo das emissões totais de gases de efeito estufa assumidas no cenário A, incluindo o cenário de referência oficial do governo brasileiro até 2020 (ver Tabela 2) estendido em nossa simulação até 2030.

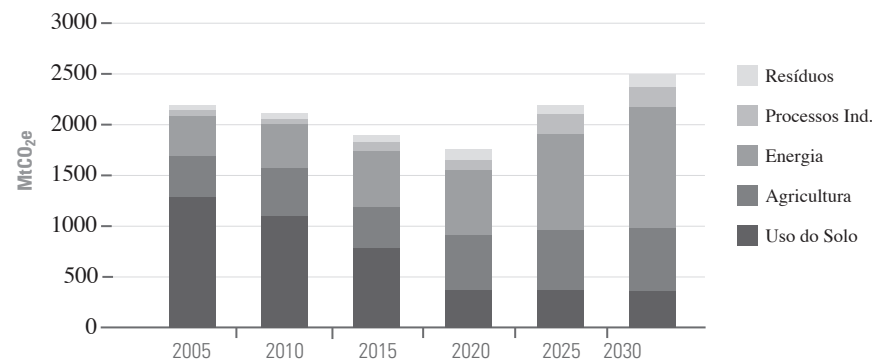
**Figura 2**  
Emissões Brasileiras Projetadas no Cenário A (referência)



Fonte: La Rovere et al., 2011

A Figura 3 mostra que as emissões totais de GEE no Cenário B diminuem até 2020 sob o efeito das ações de mitigação já aprovados pelo governo brasileiro, a fim de cumprirem-se os compromissos voluntários do país junto à UNFCCC. A maior parte da redução de emissões vem do setor de mudança do uso do solo, devido a medidas que permitem diminuir substancialmente o desmatamento na Amazônia e no Cerrado. Em 2020, a queima de combustíveis fósseis torna-se a maior fonte de emissões de GEE no país. Sob o pressuposto de que não há ações de mitigação adicionais a serem implementadas após 2020, o total de emissões de GEE retoma seu crescimento já em 2025, retornando a um nível mais elevado do que em 2005 e continuando a crescer até 2030.

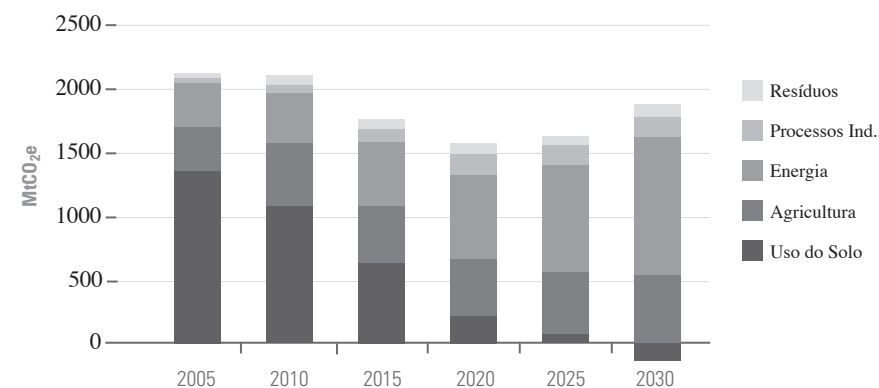
**Figura 3**  
Emissões Brasileiras Projetadas no Cenário B (PNMC)



Fonte: La Rovere et al., 2011

A Figura 4 ilustra o efeito da adoção de políticas de mitigação e medidas adicionais, principalmente no setor mudança do uso do solo, permitindo um corte mais profundo das emissões até 2020, e contendo a retomada do crescimento total das emissões após 2020. Em 2030, as emissões totais ainda estão abaixo dos níveis de 2005.

**Figura 4**  
Emissões Brasileiras Projetadas no Cenário C (medidas adicionais)

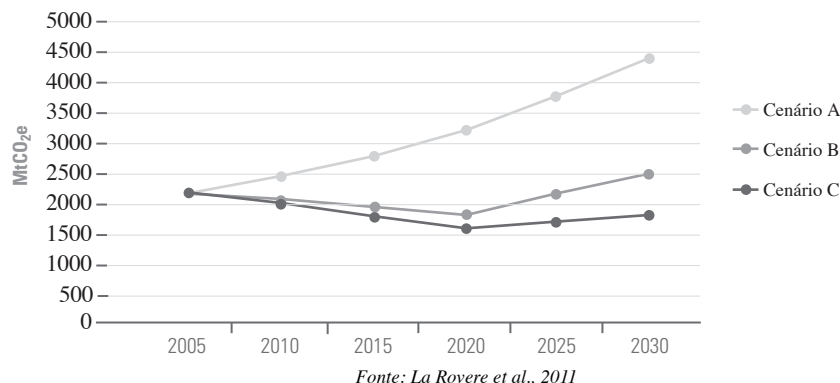


Fonte: La Rovere et al., 2011

Note-se que na figura anterior, em 2030 o uso do solo emite negativamente, ou seja, passa a sequestrar carbono por intermédio de programas de reflorestamento tanto para fins de recomposição de florestas nativas como também para a constituição de florestas com fins comerciais.

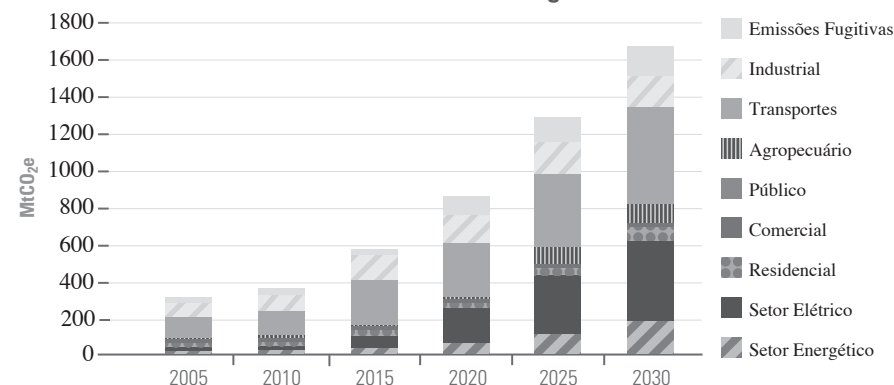
A figura a seguir, permite que se visualizem os três cenários em conjunto. Fica evidente o recrudescimento das emissões a partir de 2020 no Cenário B que corresponde aos objetivos da Política Nacional sobre Mudança do Clima.

**Figura 5**  
**Consolidação das Emissões Brasileiras projetadas nos Cenários A, B e C**



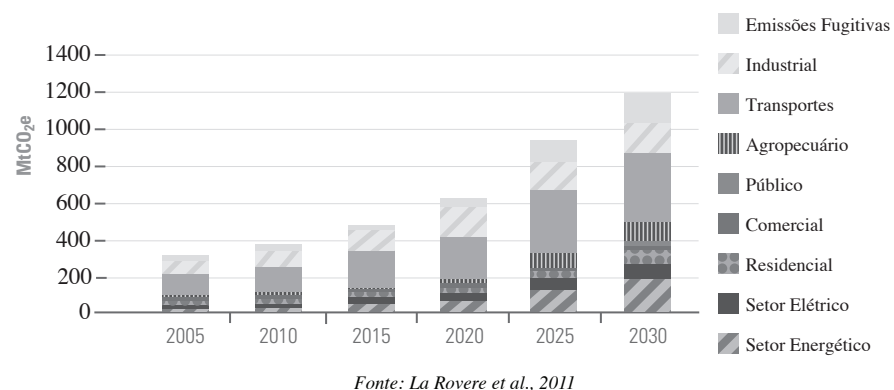
As Figuras de 6 a 8 mostram as emissões associadas à energia nos três cenários. Na Figura 6, observa-se que no cenário A, na ausência de um aumento na oferta de energia hídrica e de biocombustíveis, as emissões de transportes e de geração de energia iriam apresentar um rápido crescimento, com a geração de energia atingindo em 2030 um nível de emissões mais do que o dobro das emissões relacionadas com o uso de energia pela indústria, perdendo apenas para o transporte.

**Figura 6**  
**Emissões Relacionadas à Energia no Cenário A**



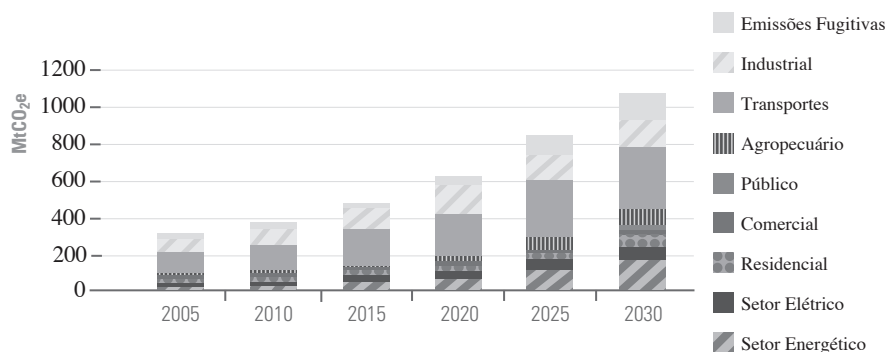
No cenário B, as emissões de GEE provenientes da geração de energia se reduzem drasticamente graças ao incremento da oferta de energia hidrelétrica, mas o aumento previsto da produção de biocombustíveis não é suficiente para deter o crescimento substancial das emissões de transportes, que atingem em 2030 quase o dobro das emissões industriais relacionadas à energia, como na Figura 7.

**Figura 7**  
**Emissões Relacionadas à Energia no Cenário B**



A Figura 8 mostra que o alcance limitado das ações de mitigação adicionais incluídas no Cenário C poderia reduzir em menos de 10% as emissões relacionadas com energia no país, em 2030. O corte mais substancial viria da substituição da expansão termoeleétrica a carvão por energia eólica.

**Figura 8**  
**Emissões Relacionadas à Energia no Cenário C**



Fonte: La Rovere et al., 2011

## 6. Conclusões

Desde 1990, a mudança no uso do solo tem sido a mais importante fonte de emissões de GEE no país. Esforços bem sucedidos para reduzir o desmatamento especialmente na Amazônia e no Cerrado serão cruciais para a realização dos objetivos brasileiros de mitigação voluntária no âmbito das negociações climáticas internacionais. Estes esforços se consubstanciam na aplicação de leis e regulamentos que impedem o desmatamento ilegal de unidades de conservação e propriedades privadas.

O registro recente demonstrou a viabilidade de um desempenho de sucesso neste campo, como foi o caso do desmatamento na Amazônia que ficou limitado a 8.000 km<sup>2</sup> em 2008, ante uma média de 19,5 mil km<sup>2</sup> / ano no período 1996-2005. Segundo Assunção et al. (2012), as políticas recentes evitaram o desmatamento de cerca de metade da cobertura florestal que teria sido derrubada se as políticas adotadas não tivessem sido implementadas. Concluem os autores que o declínio observado nos níveis de desmatamento não foi apenas uma resposta às condições de mercado e à dinâmica da economia (preços agropecuários), mas também o resultado do conjunto de políticas implementadas, que se demonstrou efetivo na contenção do desmatamento.

No entanto, em 2011 houve um aumento no desmatamento na região amazônica. Isto pode ter sido em parte devido às perspectivas de aprovação pelo Congresso de uma nova versão do Código Florestal, amenizando algumas restrições sobre a remoção da cobertura florestal em propriedades privadas. De qualquer forma, graças a um grande esforço para o cumprimento das leis e regulamentos, as estimativas preliminares para o desmatamento na Amazônia em 2010/2011 foram de 4.000 km<sup>2</sup>, o menor registro histórico.

Portanto, o Cenário B parece ser viável e o Brasil encontra-se em boa posição para atingir as metas de redução voluntárias junto à UNFCCC até 2020, quando o desmatamento evitado será responsável pela maior parte da redução de emissões.

Em 2020, se as metas de mitigação governamentais forem cumpridas (Cenário B), o sistema de energia deverá assumir a liderança das emissões de GEE, tornando-se a principal fonte de emissões do país.

Depois de 2020, o Brasil estará em uma situação mais parecida com a de outros países industrializados, diante de um novo desafio de desenvolvimento econômico de baixo carbono devido às emissões relacionadas à energia. Se não houver políticas de mitigação com medidas adicionais, as emissões de GEE vão começar a aumentar novamente, em função do crescimento da população e da economia, que aumentarão a demanda de energia, e, conseqüentemente, as emissões de GEE. Para evitar isso, a carteira de ações de mitigação adicionais incluídas no Cenário C teria de ser substancialmente ampliada.

O Brasil está em uma posição privilegiada para assumir a liderança de uma economia de baixo carbono devido à sua enorme dotação de recursos energéticos renováveis. Do lado da demanda, parece imperativo limitar o consumo de derivados de petróleo no setor dos transportes, fortemente dominado pelo transporte rodoviário de cargas e de carros nas cidades. Mudanças de modal para ferrovias e hidrovias, bem como o desenvolvimento da infraestrutura de transporte de massa nas cidades são imperativos. Ao contrário das ações de mitigação relacionadas à mudança do uso do solo, onde a maior parte do financiamento deverá vir dos orçamentos nacionais, devido a preocupações de soberania, os enormes recursos financeiros necessários para o desenvolvimento de infraestrutura de transportes de baixo carbono poderiam se beneficiar de empréstimos canalizados para o país, através das “ações de mitigação nacionalmente apropriadas” - NAMAs (La Rovere, 2011).

Finalmente, a exploração de um futuro de baixo teor de carbono para o Brasil tem de ser estendida no tempo. Um horizonte particularmente relevante é 2050, quando a população já estará estabilizada, de acordo com projeções demográficas (EPE, 2009), e as novas tecnologias de energia renovável para além da hidroelétrica, como a energia solar e os biocombustíveis de segunda geração, estarão competitivos. Um novo exercício de cenários voltado para este fim já está em curso (La Rovere e Raubenheimer, 2011).

## **Referências Bibliográficas**

ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.C.; ROCHA, R., 2012. A Queda do Desmatamento na Amazônia Brasileira: Preços ou Políticas? Climate Policy Initiative Rio de Janeiro. Núcleo de Avaliação de Políticas Climáticas, PUC-Rio. Janeiro, 2012.

BRASIL, 2008 – Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC. Brasília- DF, 2008.

BRASIL, 2010. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Brasília: MCT. 2010. 280 p. Disponível em: [www.mct.gov.br/clima](http://www.mct.gov.br/clima).

CNI, 2010. [Confederação Nacional da Indústria]. Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria, 2010.

EIA/DOE, 2010. [Energy Information Administration – Department of Energy]. Electricity Market Module. In: International Energy Outlook, 2010.

EPA, 2006. [Environmental Protection Agency]. Global Mitigation of Non-CO2 Greenhouse Gases. Washington DC, 2006.

EPE, 2007. [Empresa de Pesquisa Energética]. Plano Nacional de Energia, 2030.

EPE, 2009 – [Empresa de Pesquisa Energética]. Nota Técnica DEA-03/09. Premissas Sociodemográficas de Longo Prazo. Rio de Janeiro, abril de 2009.

EPE, 2010a. [Empresa de Pesquisa Energética]. Balanço Energético Nacional, 2010.

EPE, 2010b. [Empresa de Pesquisa Energética]. Nota técnica da EPE. Abatimento das emissões relacionadas à produção e ao uso da energia no Brasil até 2020, outubro de 2010.

EPE, 2011. [Empresa de Pesquisa Energética]. Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 (PDE 2020).

GOUVELLO, C. D.; SOARES FILHO, B. S.; NASSAR, A.; SCHAEFFER, R.; ALVES, F. J.; ALVES, J., 2010. Estudo de Baixo Carbono para o Brasil. Departamento de Desenvolvimento Sustentável – Região da América Latina e Caribe/ Banco Mundial. Washington DC, p.280, 2010.

IIASA, 2010. International Institute for Applied Systems Analysis. Potentials and costs for mitigation of non-CO2 greenhouse gas emissions in the European Union until 2030. Luxemburg (Austria). IIASA, 2010.

LA ROVERE, E.L., 2011. Mitigation Actions in Brazil. Country Study for the Mitigation Action Plans and Scenarios – MAPS Programme, Rio de Janeiro, 25 p, junho de 2011.

LA ROVERE, E.L.; DUBEUX, C.B.S.; PEREIRA JR, A.O.; MEDEIROS, A.; CARLONI, F.B.; TURANO, P.; ARAGÃO, R.; SOLARI, R.; WILLS, W.; HASHIMURA, L.; BURGI, A.S.; FIORINI, A.C., 2011. Estudo Comparativo entre Três Cenários de Emissão de Gases de Efeito Estufa no Brasil e uma Análise de Custo-Benefício. Projeto BRA /00/020 MMA/PNUD.

LA ROVERE, E.L.; RAUBENHEIMER, S., 2011. Low Carbon Scenarios in Emergent Economies: the Brazilian Case. Low Carbon Society Research Network, 3rd Meeting, Paris, 13-14 October 2011, 3p.

McKINSEY & COMPANY, 2009. Caminhos para uma Economia de Baixa Emissão de Carbono no Brasil, 2009.

MMA, 2009. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Brazil's Contribution to Climate Change Mitigation. Brazilian Government. Brasília – DF. 24 p., 2009.

MME, 2005 – Ministério de Minas e Energia. Balanço de Energia Útil. Brasília: MME, 2005.

WRI, 2012. [World Resources Institute]. Climate Analysis Indicator Tool. <http://cait.wri.org>.