

Crescimento econômico e limitação das emissões de gases de efeito estufa no Brasil: uma análise prospectiva

Economic growth and limitation of greenhouse gas emissions in Brazil: a prospective analysis

Benedito Silva Neto

Resumo

As evidências apresentadas pelo Painel Internacional sobre Mudança Climática (IPCC) mostram que o aquecimento global representa uma séria ameaça à Humanidade. O objetivo do artigo é analisar as possibilidades de crescimento econômico do Brasil diante das metas propostas pelo IPCC para a limitação deste fenômeno. Na primeira seção é realizada uma análise da emissão de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil entre 1990 e 2018. Na segunda é discutida uma Identidade de Kaya Composta (IKC), na qual a emissão de GEE pelos setores definidos pelo Sistema de Estimativas de Emissão de Gases de Efeito Estufa é relacionada com o Produto Interno Bruto (PIB) por habitante e a com a população. Na terceira seção são apresentados cenários de crescimento econômico. Na quarta seção são discutidos os resultados das simulações obtidos por meio da IKC. Estes mostraram que uma redução da emissão de GEE pela metade entre 2018 e 2050, requer que o conteúdo de carbono da economia brasileira (toneladas de CO₂ equivalente por PIB por habitante), excetuando o setor Modificação do Uso da Terra (sem Calagem) seja reduzido em 45,55%, 60,33%, 71,06%, e 78,82% neste período, considerando, respectivamente, um crescimento do PIB por habitante de 0%, 1%, 2% e 3% ao ano, e um crescimento populacional de 0,35% ao ano em todos os cenários. Conclui-se que, mesmo com a eliminação do desmatamento, uma diminuição do conteúdo de carbono da economia brasileira compatível com as metas do IPCC implicaria em uma severa limitação ao crescimento do PIB por habitante do país.

Palavras-chave: Aquecimento Global, Mudança Climática, Identidade de Kaya.

Abstract

Evidence presented by the International Panel on Climate Change (IPCC) shows that global warming poses a serious threat to humanity. The objective of the article is to analyze the possibilities of economic growth in Brazil in view of the goals proposed by the IPCC for limiting this phenomenon. In the first section, an analysis of the emission of greenhouse gases (GHG) in Brazil between 1990 and 2018 is carried out. of Greenhouse Gas Emissions is related to the Gross Domestic Product (GDP) per inhabitant and to the population. In the third section, scenarios of economic growth are presented.. The fourth section discusses the results obtained through the IKC. These showed that a reduction in GHG emissions by half between 2018 and 2050, requires the carbon content of the Brazilian economy (tons of CO₂ equivalent per unit of GDP per inhabitant),

except for the Land Use Modification sector (without liming) be reduced by 45.55%, 60.33%, 71.06%, and 78.82% in this period, considering, respectively, a GDP growth per person of 0%, 1%, 2% and 3% per year, and a population growth of 0.35% per year in all scenarios. It is concluded that, even with the elimination of deforestation, a decrease in the carbon content of the Brazilian economy compatible with the IPCC targets would imply a severe limitation to GDP growth per inhabitant in the country.

Keywords: Global Warming, Climate Change, Kaya Identity

JEL Classification: 044, 054

Introdução

Em 1988 foi instituído o Painel Internacional sobre Mudança Climática (sigla em inglês IPCC). Em 1990 o IPCC lança um relatório com estratégias para responder à mudança climática (IPCC, 1990). Fruto do trabalho de centenas de estudiosos de diferentes áreas do conhecimento, este relatório já mostrava claramente os enormes riscos que representa a emissão de gases de efeito estufa gerada pelas atividades humanas, na medida em que esta pode provocar um aquecimento global da atmosfera com efeitos sobre o clima que podem ter consequências catastróficas para a Humanidade. A partir de então as pesquisas sobre o aquecimento global e suas consequências se intensificaram, envolvendo milhares de pesquisadores de todo o mundo, resultando em uma grande quantidade de dados e interpretações. Um intenso debate público se estabeleceu. Ao longo deste debate, a mudança climática tornou-se um tema de primeiro plano na agenda política internacional.

Após trinta anos do início deste movimento, as evidências de um aquecimento global de origem antrópica são dificilmente contestáveis. Um aumento da temperatura de 1°C em todo o planeta, e de 1,5°C no Brasil, entre 1850 e 2010 já é evidenciado cientificamente (ARTAXO, 2014). Tais aumentos têm provocado efeitos importantes sobre o clima, evidenciados por fenômenos como deslocamentos e decréscimos incomuns da população de várias espécies animais e vegetais, e intensificação de eventos climáticos extremos, como secas, furacões e tornados (ARTAXO, 2014). Diante desta situação, coloca-se a questão de qual seria o nível de atividade econômica compatível com uma limitação do aquecimento global que permita evitar a intensificação dos efeitos da mudança climática.

O objetivo deste artigo é analisar as possibilidades de crescimento econômico do Brasil diante das metas propostas pelo IPCC (2014) para a limitação do aquecimento global. Metodologicamente, esta análise se baseia em simulações realizadas a partir de uma versão da Identidade de Kaya (KAYA, 1990). Esta identidade tem sido largamente empregada para a análise

das limitações colocadas à atividade econômica pelo aquecimento global (FEIJÓ; RANGEL, 2018; JANSSENS-MANHOUT, G.; PAROULO, P.; MARTELLI, S., 2013). Neste trabalho, a partir dos mesmos pressupostos empregados para a formulação da Identidade de Kaya é formulada uma identidade do mesmo tipo na qual são expressos todos os setores responsáveis pela emissão de GEE considerados pelo Sistema de Estimativas de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2019). Esta versão é denominada “Identidade de Kaya Composta” (IKC).

Além desta introdução e das conclusões, este artigo está organizado em quatro seções. Na primeira é realizada uma análise das fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil entre 1990 e 2018. Na segunda seção é discutida a formulação da IKC, e na terceira são apresentados os cenários simulados. Na quarta seção os resultados das simulações são discutidos considerando os dados apresentados nas seções anteriores.

As emissões de GEE no Brasil

De maneira geral, o debate sobre a promoção de ações para a limitação da emissão de GEE centra-se fortemente na questão energética. Neste debate, a substituição dos combustíveis fósseis por fontes de energia renováveis é considerada como a principal medida para diminuir a emissão de GEE. No entanto, há outras fontes de emissão de GEE que, em muitos casos, como no Brasil, geram quantidades maiores destes gases do que os combustíveis fósseis. Um aspecto interessante da classificação das fontes de emissão de GEE em SEEG (2019) é que, enquanto os setores guardam certa relação com setores econômicos, os subsetores estão mais relacionados aos processos físicos, químicos e biológicos responsáveis pela emissão de GEE, o que facilita a sua interpretação. Por esta razão é interessante observarmos qual é a contribuição de cada setor e subsetor na emissão de GEE no Brasil. A tabela 1 mostra a contribuição de cada uma destas fontes nas emissões de GEE ocorridas no Brasil em 2018, medidas em toneladas equivalente de dióxido de carbono [(t) CO₂e], avaliada pelo seu potencial de aquecimento global em 100 anos definido pelo 5º Relatório de Avaliação do IPCC [ou seja, o GWP 100 AR5 proposto em IPCC (2014)].

Observa-se na tabela 1 que o setor Modificação e Uso do Solo foi o que mais emitiu GEE no Brasil em 2018, com 42,65% das emissões totais. O segundo maior setor é o da Agropecuária, com 26,35% das emissões, vindo depois o de Energia, com 21,04%.

No que diz respeito aos subsetores, a maior emissão é proveniente das Alterações do Uso do Solo (40,11%), seguida de Queima de Combustíveis (19,78%) e Fermentação Entérica (16,29%). É importante observar que as Alterações do Uso do Solo se constituem essencialmente das queimadas relacionadas ao desmatamento, sendo a Fermentação Entérica a emissão de metano por ruminantes, especialmente bovinos.

A proporção das emissões entre estes setores sofreu uma grande variação ao longo das últimas décadas, embora sem alterar a ordem dos setores mais importantes, como mostra a figura 1. Nesta figura observa-se que o Brasil atingiu um máximo de emissões de GEE em 2004. A partir deste ano ocorre uma diminuição das emissões que perdura até 2012, com um aumento em 2013 e, após, ligeiras quedas até 2018. Como pode ser observado na figura 1, o setor Mudanças do Uso da Terra é o responsável por estas variações, na medida em que os demais apresentam um crescimento constante entre 1990 e 2014, apresentando ligeira queda até 2018. Como mostra a tabela 1, o subsetor Alterações do Uso do Solo representa 94,04% das emissões do setor Mudanças do Uso da Terra. Como já comentado, as emissões por Alterações do Uso do Solo correspondem a das queimadas. Estes resultados, portanto, mostram que as queimadas são as principais responsáveis pela emissão de GEE no Brasil.

Tabela 1: Setores e subsetores responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa no Brasil em 2018.

Setor	Subsetor	GWP (t) CO ₂ e	% Setor	% Total
Agropecuária (com Calagem)	Cultivo do Arroz	12.864.897	2,52%	0,66%
	Fermentação Entérica	315.899.916	61,82%	16,29%
	Manejo de Dejetos Animais	22.408.290	4,38%	1,16%
	Queima de Resíduos Agrícolas	5.165.773	1,01%	0,27%
	Solos Agrícolas	135.827.416	26,58%	7,00%
	Calagem	18.869.020	2,28%	0,97%
	Total do setor	511.035.313	100,00%	26,35%
Energia	Fugitivas	24.382.260	5,98%	1,26%
	Queima de Combustíveis	383.533.837	94,02%	19,78%
	Total do setor	407.916.097	100,00%	21,04%
Processos industriais	HFCs	18.089.682	17,87%	0,93%
	Indústria Química	3.734.172	3,69%	0,19%
	Produção de Metais	51.501.698	50,87%	2,66%
	Produtos Minerais	26.285.347	25,96%	1,36%
	Uso de SF ₆	227.245	0,22%	0,01%
	Uso Não-Energético de Combustíveis e Uso de Solventes	1.395.767	1,38%	0,07%
Total do setor	101.233.912	100,00%	5,22%	
Resíduos	Tratamento de Efluentes Líquidos	44.339.171	48,25%	2,29%
	Resíduos Sólidos	47.553.664	51,75%	2,45%
	Total do setor	91.892.835	100,00%	4,74%
Mudança de Uso da Terra (sem Calagem)	Alterações de Uso do Solo	777.761.771	94,04%	40,11%
	Resíduos Florestais	49.281.789	5,96%	2,54%
	Total das emissões do setor	827.043.560	100,00%	42,65%
Total das emissões (brutas)		1.939.121.718		100,00%

Fonte: elaborado pelo autor com dados do SEEG (2019)

A diminuição das emissões devido às Mudanças no Uso da Terra, conforme mostra a figura 1, entre 2005 e 2012 devem-se, em grande parte, a uma série de políticas públicas destinadas ao combate à redução do desmatamento. Dentre estas políticas, destacam-se os Planos de Ação para a Prevenção e o Controle do Desmatamento da Amazônia e do Cerrado, implantados em 2004 e 2008, respectivamente (PLANOS DE PREVENÇÃO E CONTROLE DO DESMATAMENTO EM ÂMBITO FEDERAL, s.d.). Neste quadro, também merece destaque a Lei nº 12.187 de 2.009, que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (BRASIL, 2009).

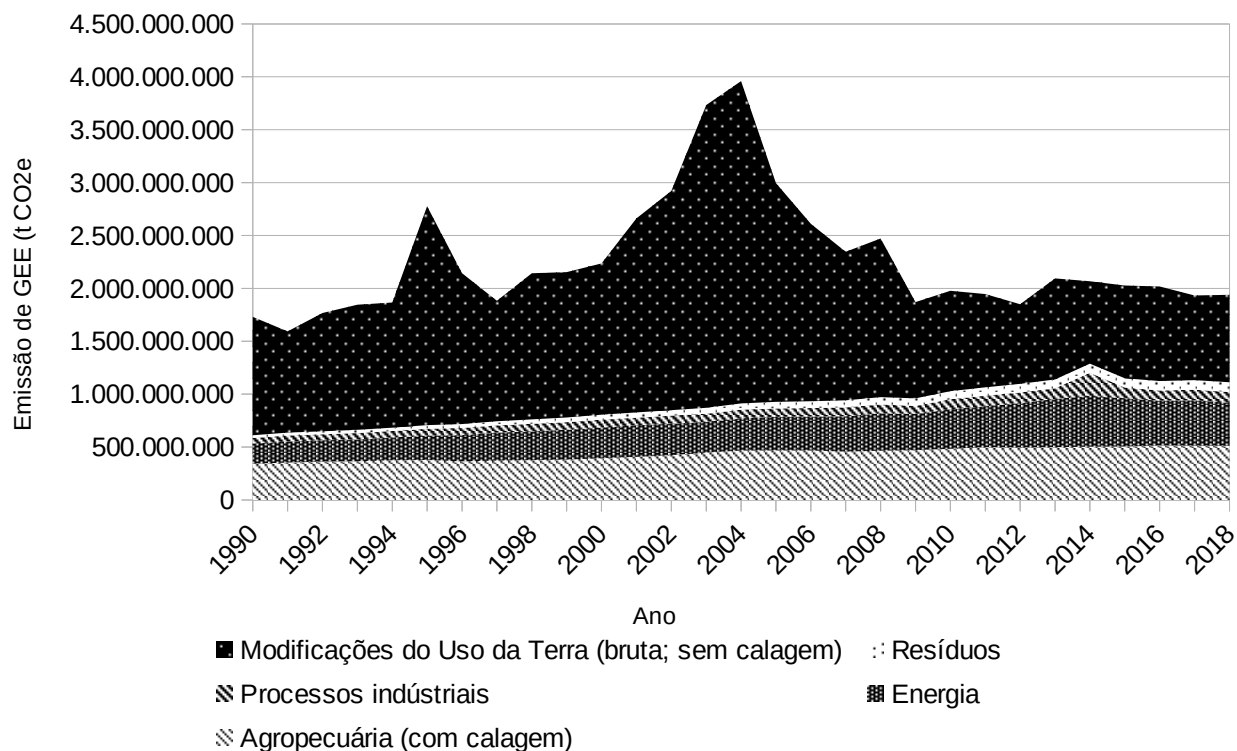


Figura 1: Emissão de gases de efeito estufa no Brasil entre 1990 e 2018.

Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados do SEEG (2019).

Porém, a partir de 2013 a área desmatada aumenta. Na Amazônia Legal ela passa de menos de 5.000 km² em 2012 a cerca de 7.500 km² em 2018. Embora no momento em que escrevemos este artigo ainda não havia dados oficiais para 2019 e 2020, é provável que o desmatamento no país cresceu significativamente neste período, como evidencia a drástica diminuição de recursos financeiros destinados às políticas relacionadas à mudança climática no Brasil (RITTLL; ANGELO, 2019), mostrada na tabela 2.

Tabela 2: Recursos financeiros destinados à políticas relacionadas à mudança climática

Política	2018	2019
Implementação da Política Nacional sobre Mudança Climática	R\$ 544.395,46	R\$ 22.496,34
Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento	R\$ 175.897,39	R\$ 19.188,54
Política de Redução da Vulnerabilidade à Seca e à Mudança Climática	R\$ 460.493,17	R\$ 0,00
Fundo para controle da Mudança Climática *	R\$ 6.368.812,34	R\$ 0,00

* financiado majoritariamente por fundos internacionais

Fonte: Rittl; Angelo (2019)

A Identidade de Kaya Composta

A Identidade de Kaya foi desenvolvida pelo pesquisador japonês Yoichi Kaya que a apresentou ao Subgrupo Energia e Indústria do IPCC em 1990 (KAYA, 1990). A Identidade de Kaya permite uma análise interdisciplinar de fatores econômicos, demográficos e tecnológicos relacionados à emissão de GEE, de forma lógica e matematicamente rigorosa. Neste sentido, ela permite relacionar as emissões de GEE com a produção de energia (E), a população (P) e o produto interno bruto (PIB), gerando coeficientes importantes para avaliar as relações entre estas variáveis. A dedução da Identidade de Kaya tem como ponto de partida a identidade:

$$CO2_e = CO2_e \quad (1)$$

a qual é dividida e multiplicada pela energia consumida (E)

$$CO2_e = CO2_e \frac{E}{E} \quad (2)$$

ou seja,

$$CO2_e = \frac{CO2_e}{E} E \quad (3)$$

Efetuada a mesma operação com (PIB) e (P), se obtém a Identidade de Kaya, descrita como,

$$CO2_e = \frac{CO2_e}{E} \frac{E}{PIB} \frac{PIB}{P} P \quad (4)$$

No entanto, como visto na primeira seção, as emissões de GEE não são provocadas apenas pelo setor de energia. Isto torna menos eficaz a Identidade de Kaya usualmente empregada para a análise global das relações entre emissões de GEE e crescimento econômico. Por esta razão neste trabalho as demais fontes de emissão de GEE foram adicionadas na identidade original, formando uma “Identidade de Kaya Composta” (IKC).

No entanto, é importante observar que o setor Modificações do Uso do Solo, pelo menos no caso brasileiro, não possui uma relação direta com o PIB per capita, como mostra a figura 2. Por

meio dos dados empregados para elaborar a figura 2 obteve-se um coeficiente de correlação negativo de 16% entre a emissão total e o PIB per capita, e uma correlação positiva de 92,52% quando a emissão devido as Modificações do Uso da Terra foi subtraída da emissão total. Além disto, a partir das mesmas fontes de dados da figura 2 foi obtido um coeficiente de correlação negativo de 44,93% entre a emissão por Modificações do Uso da Terra e o PIB per capita. Esta correlação inversa entre desmatamento e crescimento econômico pode parecer paradoxal, na medida em que o grande argumento para o desmatamento é a necessidade de aumentar as áreas disponíveis para o desenvolvimento de atividades econômicas, especialmente agropecuárias. No entanto, a constatação feita neste artigo a partir dos dados que foram utilizados para a elaboração da figura 2 é corroborada por estudos macroeconômicos que detectaram uma pequena contribuição do desmatamento ao crescimento econômico da Amazônia (CARVALHO; MAGALHÃES; DOMINGUES, 2016).

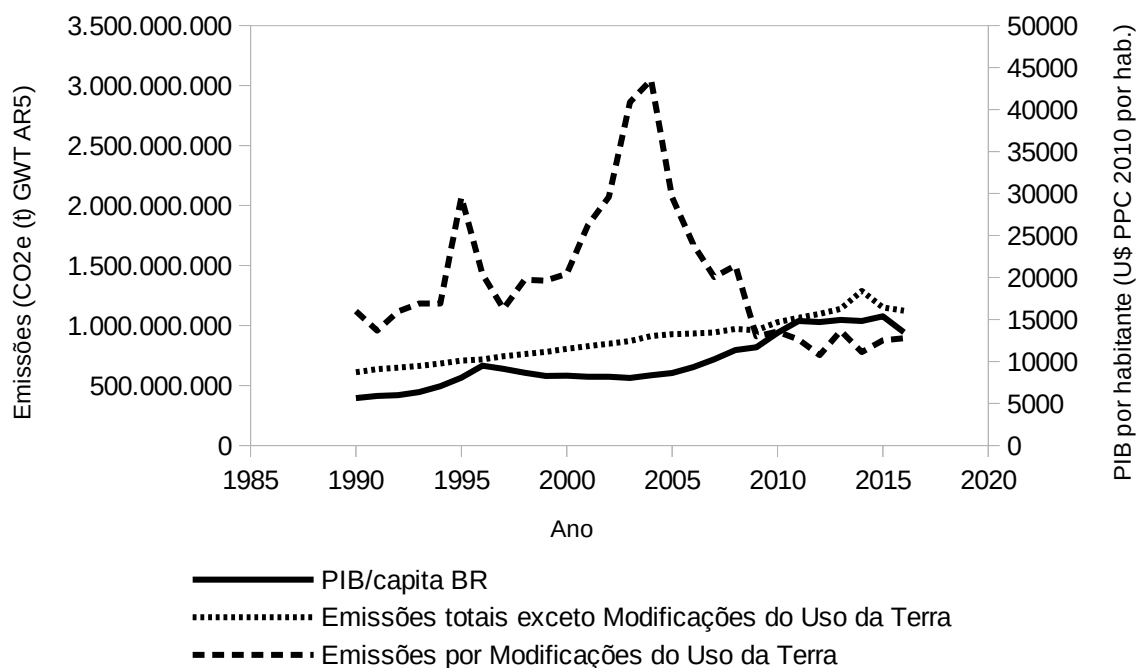


Figura 2: Emissões de GEE Total e por Modificações do Uso da Terra e PIB per capita
 Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados de emissões do SEEG (2019) e do PIB por habitante do WORLD BANK OPEN DATA, 2020 .

A partir das considerações realizadas nos parágrafos anteriores, a Identidade de Kaya Composta foi definida como,

$$CO2e = \left(\frac{CO2eE}{E} \frac{E}{PIB} \frac{PIB}{P} P \right) + \left(\frac{CO2eA + CO2eE + CO2eI + CO2eR}{PIB} \frac{PIB}{P} P \right) + CO2eM \quad (5)$$

ou seja,

$$CO2e = \left(\frac{PIB}{P}\right) \left[\left(\frac{CO2eE}{E} \frac{E}{PIB}\right) + \left(\frac{CO2eA + CO2eE + CO2eI + CO2eR}{PIB}\right) \right] + CO2eM \quad (6)$$

onde,

CO2e = total da emissão de GEE em equivalente dióxido de carbono

PIB = produto interno bruto

P = população

CO2eE = emissões pelo setor de Energia

CO2eA = emissões pela Agropecuária (com Calagem)

CO2eI = emissão pelo setor de Processos Industriais

CO2eR = emissão pelo setor de Resíduos

CO2eM = emissões devido as Modificações do Uso da Terra (sem Calagem)

Salientamos que, embora o subsetor Calagem seja considerado como um componente da Modificação do Uso da Terra pelo SEEG (2019), neste trabalho ele foi retirado deste setor e incluído no setor Agropecuária. Isto porque a calagem é uma operação agrícola usualmente praticada, a qual possui uma relação direta com a produção agropecuária.

Na expressão (6), o PIB por habitante ($\frac{PIB}{P}$) e a população (P) são considerados variáveis de escala, ou seja, que determinam a magnitude das emissões por meio da sua influência sobre as demais variáveis. Denominando genericamente cada setor de “x_i”, o coeficiente

$\frac{\sum CO2e x_i}{PIB}$ indica o “conteúdo de carbono equivalente” ou, simplificando, o “conteúdo de carbono” da economia. O valor deste quociente depende do tipo de atividade desenvolvido em cada setor e das tecnologias nele empregadas. Na figura 3 é mostrado o conteúdo de carbono nos setores agricultura, processos industriais e resíduos (doravante denominados setores A+I+R), e para o setor de energia, assim como o PIB por habitante, com as suas linhas de tendência lineares, entre os anos de 1990 e 2018.

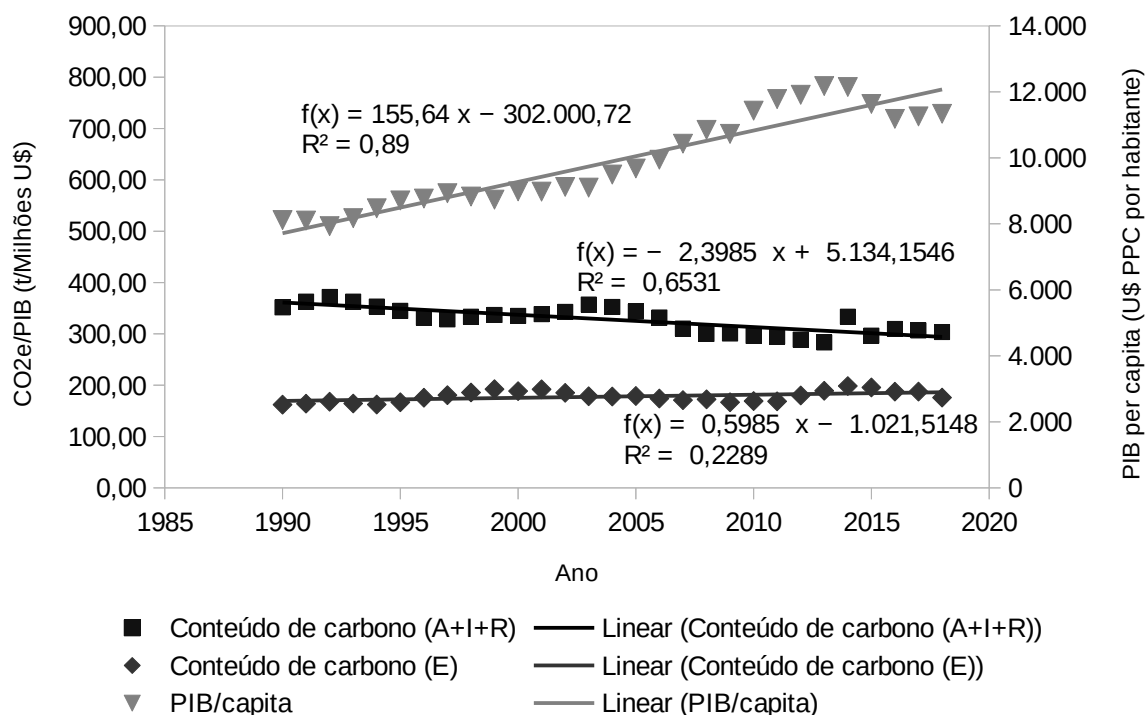


Figura 3: Conteúdo de carbono dos setores agropecuária (A), processos industriais (I) e resíduos (R), do setor de energia (E) e pib per capita, de 1990 e 2018.

Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados de emissão do SEEG (2019) e do PIB por habitante do WORDL BANK OPEN DATA (2020)

Como mostra a figura 3, os setores da Agropecuária (A), de Processos Industriais (I) e de Resíduos (R), em seu conjunto (A+I+R), apresentou uma ligeira tendência a reduzir o seu conteúdo de carbono, enquanto que o PIB por habitante cresceu. A partir dos dados empregados para a elaboração da figura 3, foi calculada a taxa tendencial de diminuição do conteúdo de carbono dos setores (A+I+R) de 0,73% ao ano, da qual resulta uma diminuição de 18,60% em todo o período. No que diz respeito ao setor de energia, observa-se na figura 3 que o seu conteúdo de carbono apresentou uma ligeira alta que, calculada a partir da tendência linear, proporcionou como resultado uma taxa de crescimento de 0,34% ao ano, e de 9,89% no acumulado do período entre 1990 e 2018. No que diz respeito ao PIB por habitante, a partir da linha de tendência, foram calculadas as taxas de crescimento de 1,74% ao ano, e de 61,92% no acumulado do período.

De acordo com a expressão (6), o conteúdo de carbono do setor de Energia é desmembrado

em dois quocientes, $\frac{CO2_e E}{E}$ e $\frac{E}{PIB}$. O quociente $\frac{CO2_e E}{E}$ mostra o conteúdo de carbono do setor em unidades de energia. O valor deste quociente é definido pela composição da matriz energética do país. Já o quociente $\frac{E}{PIB}$ mostra quantas unidades de energia são necessárias para gerar uma unidade de PIB, indicando a “intensidade energética” da economia. Este quociente

relaciona-se ao tipo de atividades desenvolvidas na economia e a práticas de conservação de energia.

Na figura 4 são mostrados o conteúdo de carbono da energia gerada no Brasil a intensidade de energia da economia brasileira no período de 1990 a 2018. Observa-se nesta figura que a intensidade energética e o conteúdo de energia no Brasil são bastante estáveis. Tal estabilidade pode ser constatada pelos baixos índices de determinação das regressões lineares apresentadas na figura 4. Além disto, para a intensidade energética, a partir dos dados empregados para elaborar a figura 4 obteve-se tendencialmente uma taxa média de crescimento geométrico entre 1990 e 2018 de 0,12% ao ano, sendo 3,39% maior em 2018 em relação a 1990. Em relação ao conteúdo de carbono da energia, sua taxa média de crescimento geométrico é de 0,22% ao ano, sendo 6,29% maior em 2018 em relação à 1990. Estas taxas, portanto, indicam uma baixa variação da intensidade energética da economia brasileira e do conteúdo de carbono da energia gerada no país entre 1990 e 2018.

Enfim, para facilitar a compreensão do significado da IKC é interessante descrevê-la em linguagem literária como,

Total das emissões de GEE = PIB por habitante * população * [(conteúdo de carbono dos setores Agropecuária, Processos industriais e Resíduos) + (conteúdo de carbono da matriz energética * intensidade energética da economia)] + emissões de GEE devido as Mudanças do Uso da Terra

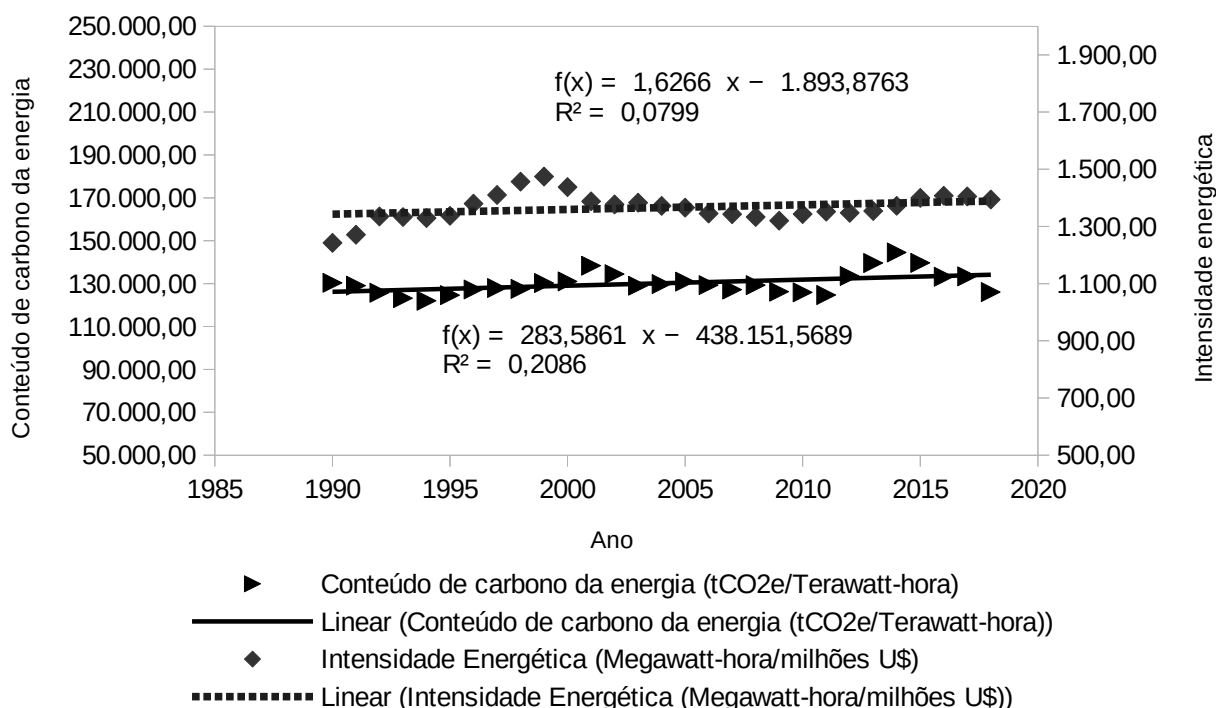


Figura 4: Intensidade energética da economia e conteúdo de carbono da energia no Brasil

Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados de emissão do SEEG (2019), do PIB por habitante do WORLD BANK OPEN DATA (2020) e de energia do BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY (2020).

Definição dos cenários

A Identidade de Kaya, como seu nome indica, é uma identidade matemática cujas propriedades possuem importantes implicações no seu uso para simulações (IPCC, 2000, p. 105). Ocorre que a Identidade de Kaya é uma construção lógico-matemática, não necessariamente expressando relações de causa e efeito. Neste sentido, a Identidade de Kaya não é adequada para a realização de previsões do comportamento destas relações a partir de um estado inicial, na medida em que o comportamento das suas variáveis é mais complexo do que ela descreve (IPCC, 2000, p. 105).

Por outro lado, é justamente a variação das relações entre as variáveis que se constitui no objeto estudado na análise das relações entre economia e emissões de GEE por meio da Identidade de Kaya. Neste sentido, ela deve ser considerada como uma representação do sistema econômico em determinado momento, e não da forma como o sistema evolui ao longo do tempo. A partir deste pressuposto as simulações realizadas por meio da Identidade de Kaya fornecem as mudanças necessárias nas relações entre as variáveis, no caso deste trabalho, especialmente a relação entre o PIB por habitante e o conteúdo de carbono da economia, para que determinado cenário se concretize.

É neste sentido que a Identidade de Kaya Composta, desenvolvida neste trabalho, será empregada para a realização de cenários. Como base para a realização destes cenários foi considerado a taxa histórica de crescimento geométrico médio da população brasileira de 0,35% ao ano entre 2018 e 2050, de acordo com a projeção do IBGE (s.d.).

A definição da meta de redução das emissões foi realizada a partir das considerações contidas no 5º Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2014). Neste relatório é elaborada uma série de cenários de emissão de GEE, os quais indicam que uma redução de 40 a 70% das emissões de origem antrópica até 2050 em relação à 2010, podem limitar o aquecimento em 2°C em relação aos níveis observados anteriormente à era industrial (IPCC, 2014, p. 20). Tendo como base estas considerações, neste trabalho os cenários serão elaborados tendo como base uma redução de 50% das emissões mundiais de GEE em 2050 em relação à 2018. Por outro lado, é importante salientar que os relatórios do IPCC contém um grande número de cenários de emissão, com resultados que variam significativamente de acordo com os pressupostos adotados para a sua elaboração, o que indica a grande complexidade de prever o efeito das atividades humanas sobre o aquecimento global. A redução do nível de emissões de GEE definida neste trabalho, portanto, constitui-se apenas em uma referência para a discussão das suas relações com o crescimento econômico.

As emissões de GEE por habitante no Brasil em 2018 foram de 9,3 GWP (t) CO₂e, uma quantidade bem mais elevada do que a média mundial de 6,97 GWP (t) CO₂e (SEEG, 2019). Isto

implica que o país deveria realizar um esforço ainda maior do que a média mundial para que as metas estabelecidas pelo IPCC possam ser atingidas. Por outro lado, é importante observar que, retiradas as emissões geradas pelo desmatamento (Alteração do Uso dos Solos), as emissões de GEE no Brasil em 2018 se reduzem a 5,57 GWP (t) CO₂e por habitante, cerca de 20% inferior à média mundial. Provavelmente, este nível de emissões por habitante no Brasil inferior ao da média mundial está relacionado ao PIB por habitante brasileiro ser menor em relação ao da média mundial em cerca de 7,5% (WORLD BANK OPEN DATA, 2020). No entanto, é provável que o fator mais importante responsável por esta diferença é o fato da matriz energética brasileira ser composta por uma proporção superior de energias renováveis em relação à média mundial. De fato, enquanto a emissão média de GEE por unidade de energia no mundo é de 230.697 toneladas de CO₂e por Twh (Terawatts-hora), no Brasil esta média é de 141.305 toneladas de CO₂e por Twh, (61,25% da média mundial). Estes números podem ser explicados em maior detalhe examinando-se a composição relativa da matriz energética do Brasil, mostrada na tabela 3. De acordo com esta tabela, as energias renováveis no Brasil (hidroelétrica, biocombustível, eólica e solar) compõem 41,44% da sua matriz energética. Adicionando a energia nuclear que, além das energias renováveis é considerada uma energia de baixo carbono (Alvim et al., 2010), este percentual atinge 42,65% de fontes de energia de baixo carbono. Esta característica contrasta com a da matriz energética mundial, a qual, como mostra a tabela 3, é composta por 10,1% de fontes de energia renováveis, e 14,33% quando adicionamos a energia nuclear. Portanto, o abastecimento de energia do mundo é muito mais dependente do petróleo, do gás e, principalmente, do carvão mineral, do que o do Brasil, sendo estas as fontes as que mais emitem GEE por unidade de energia. Os dados mostrados na tabela 3 se refletem no conteúdo de carbono do setor de energia, o qual, em 2018, no Brasil foi de 1,414 tCO₂e por tep (tonelada equivalente de petróleo), enquanto que nos países da OCDE foi de 2,2 tCO₂e por tep, sendo que a média mundial foi de 2,33 tCO₂ por tep (RESENHA ENERGÉTICA BRASILEIRA, 2019).

Tabela 3: Matriz energética brasileira e mundial

Tipo	Fonte	Brasil	Brasil %	Mundo	Mundo %
Não renováveis	Petróleo	1.303,34	40,28%	53.181,12	33,55%
	Gás natural	358,91	11,09%	38.516,65	24,30%
	Carvão	193,43	5,98%	44.109,46	27,82%
	Nuclear	38,96	1,20%	6.711,46	4,23%
	Subtotal energias não renováveis	1.894,63	58,56%	142.518,70	89,90%
Renováveis	Hidroelétrica	966,74	29,88%	10.367,54	6,54%
	Biocombustíveis	245,03	7,57%	1.040,05	0,66%
	Eólica	120,48	3,72%	3.156,85	1,99%
	Solar	8,60	0,27%	1.448,37	0,91%
	Subtotal energias renováveis	1.340,85	41,44%	16.012,80	10,10%
Baixo carbono	Subtotal (renováveis + nuclear)	1.379,81	42,65%	22.724,26	14,33%
	Total	3.235,48	100,00%	158.531,50	100,00%

Fonte: BP Statistical Review (2019)

De qualquer forma, a elevada média de emissões de GEE por habitante no Brasil em relação à média mundial implica que as emissões de GEE do Brasil em 2018 deveriam ser divididas por 2,67, devendo ser reduzidas de 1.939.121.718 para 726.988.796 GWP (t) CO₂e (queda de 62,5%), para que o país contribua proporcionalmente com os demais para diminuir em 50% a emissão de GEE no mundo até 2050.

Como mencionado na introdução, neste trabalho os cenários foram elaborados para fornecer subsídios à discussão de qual PIB por habitante pode ser considerado compatível com as metas de diminuição de 50% da emissão mundial de GEE até 2050. Além disto, dada a importância do desmatamento na emissão de GEE no Brasil, conforme discutido anteriormente, na elaboração dos cenários foi dado destaque à importância do desmatamento. Por isto, em todos os cenários foi definida uma taxa anual de diminuição do desmatamento de forma que este seja eliminado (desmatamento zero) até 2050, restando apenas no setor Modificações do Uso da Terra (exceto Calagem), as emissões relativas aos Resíduos Florestais.

Assim, os cenários foram constituídos para indicar qual seria o conteúdo de carbono da economia compatível com taxas de crescimento do PIB por habitante de 0% (sem crescimento), 1%, 2% e 3% ao ano, constituindo os cenários 1, 2, 3 e 4, respectivamente. O conteúdo de carbono na economia foi definido fixando a mesma taxa de variação para o conjunto formado pelos setores Agropecuária, Processo Industriais e Resíduos (A+I+R) e para o setor de energia (E). Para isto optou-se por manter o valor inicial da intensidade energética e variar apenas o conteúdo de carbono por unidade de energia. Este procedimento se justifica pelo fato do conteúdo de carbono da energia no Brasil apresentar uma tendência de crescimento maior do que a intensidade energética (embora estatisticamente ambas devam ser consideradas estáveis), conforme mostra a figura 4, apresentada

na segunda seção. No entanto, a variação do conteúdo de carbono do setor energético resultante da multiplicação dos dois quocientes relativos a energia pode ser considerada como a combinação da variação de ambos, sendo os apresentados apenas uma das combinações possíveis.

Resultados das simulações

O resultado das simulações dos cenários elaborados são mostrados na tabela 4. Nesta tabela observa-se que, de acordo com o cenário 1, apenas para manter o PIB por habitante de 2018, o conteúdo de carbono da economia em 2050 deverá ser de 54,55% do observado em 2018. Na tabela 4 observa-se, também, que esta diminuição implica em dividir o conteúdo de carbono na economia por 1,83 entre 2018 e 2050, a uma taxa geométrica negativa de 1,88% ao ano.

Os resultados obtidos com o primeiro cenário, portanto, indicam a necessidade de uma forte inflexão da tendência do conteúdo de carbono da economia brasileira. Como já mencionado, a partir dos dados empregados para elaborar a figura 3, apresentada na segunda seção, entre 1990 e 2018 foi constatada uma tendência de diminuição de 0,73% ao ano do conteúdo de carbono dos setores (A+I+R), enquanto o conteúdo de carbono da energia apresenta uma tendência a apresentar uma taxa positiva de 0,34% ao ano.

É importante salientar que esta necessidade de reduzir o conteúdo de carbono da economia seria muito maior caso a taxa de redução das emissões devido ao desmatamento, de 8,44% ao ano, como mostram as simulações apresentadas na tabela 4, não seja atingida. Para situar a ordem de grandeza deste ritmo de diminuição do desmatamento, foi calculada a taxa de redução das emissões devido a Modificações do Uso da Terra devido ao desmatamento entre 2004 e 2012, período em que o desmatamento foi reduzido com maior intensidade no Brasil, como discutido na primeira seção. O resultado obtido foi uma taxa geométrica negativa anual de 5,18% ao ano, da qual resulta que as emissões em 2012 correspondiam a 24,31% das emissões de 2004. Portanto, para reduzir a emissão de GEE em uma quantidade compatível com uma diminuição de 50% da emissão mundial em 2050, o combate ao desmatamento deveria ser ainda mais intenso do que no período em que ele foi mais efetivo. Ora, o que se observa atualmente no Brasil é justamente o contrário, conforme discutido na primeira seção.

Tabela 4: Resultados das simulações dos cenários

Variável	Parâmetro	Condições iniciais (2018)	Sem crescimento do PIB/hab.	Crescimento do PIB/hab. de 1% a.a.	Crescimento do PIB/hab. de 2% ao ano	Crescimento do PIB/hab. de 3% ao ano
Total de emissões (GWT (t) CO2e)	Valor	1.939.121.718	726.988.796	726.988.796	726.988.796	726.988.796
	Taxa anual de crescimento		-3,02%	-3,02%	-3,02%	-3,02%
	2050/2018 %		37,49%	37,49%	37,49%	37,49%
	2018/2050		2,67	2,67	2,67	2,67
PIB por habitante (US\$/hab.)	Valor	11.131	11.131	15.305	20.978	28.665
	Taxa anual de crescimento		0,00%	1,00%	2,00%	3,00%
	2050/2018 %		100,00%	137,49%	188,45%	257,51%
	2018/2050		1,00	0,73	0,53	0,39
Conteúdo de carbono de (A+I+R)* (tCO2e/milhões US\$)	Valor	303,41	165,50	120,37	87,82	64,27
	Taxa anual de crescimento		-1,88%	-2,85%	-3,80%	-4,73%
	2050/2018 %		54,55%	39,67%	28,94%	21,18%
	2018/2050		1,83	2,52	3,45	4,72
Conteúdo de carbono por unidade de energia (tCO2e/tep)	Valor	1,414	0,772	0,561	0,409	0,300
	Taxa anual de crescimento		-1,88%	-2,85%	-3,80%	-4,73%
	2050/2018 %		54,55%	39,67%	28,94%	21,18%
	2018/2050		1,83	2,52	3,45	4,72
Intensidade energética da economia (tep/Milhões US\$)	Valor	124,26	124,26	124,26	124,26	124,26
	Taxa anual de crescimento		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	2050/2018 %		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	2018/2050		1,00	1,00	1,00	1,00
Emissões pela Mudança de Uso da Terra (exceto a Calagem) (tCO2e)	Valor	827.043.560	49.281.789	49.281.789	49.281.789	49.281.789
	Taxa anual de crescimento		-8,44%	-8,44%	-8,44%	-8,44%
	2050/2018 %		5,96%	5,96%	5,96%	5,96%
	2018/2050		16,78	16,78	16,78	16,78

* sem Modificação do Uso da Terra exceto a calagem

Fonte: simulações elaboradas pelo autor a partir de dados do IBGE (2020), Worldr Bank Data (2020) e SEEG (2019)

Os resultados obtidos com o primeiro cenário, portanto, indicam uma grande dificuldade para o cumprimento das metas de controle da emissão de GEE no Brasil, de acordo com os níveis definidos pelo IPCC, mesmo com um crescimento econômico apenas suficiente para manter o PIB por habitante observado em 2018. Os resultados obtidos com este cenário tornam previsível que esta dificuldade será ainda maior no caso do Brasil apresentar taxas de crescimento do PIB por habitante positivas, o que pode ser constatado observando-se os resultados relativos ao segundo

cenário, mostrados na tabela 4. Neste cenário, o crescimento econômico do Brasil a uma taxa de 1% ao ano a partir de 2018 faria com que o país em 2050 atingisse um PIB por habitante de US\$ 15.305 (em paridade de poder de compra), equivalente a aproximadamente ao do Irã em 2016, e inferior ao da Argentina ou do Uruguay, também em 2016 (WORLD BANK OPEN DATA, 2020). Conforme a tabela 4, no segundo cenário o conteúdo de carbono da economia brasileira deveria ser reduzido em 2,52 vezes entre 2018 e 2050, o que resulta em uma taxa geométrica média negativa de 2,85% ao ano.

Observa-se na tabela 4 que a diminuição do conteúdo de carbono da economia prevista no cenário 3 é de 3,8% ao ano, mais do que o dobro da observada no cenário 1 e um terço maior do que a do cenário 2. Isto implicaria em uma diminuição 3,45 vezes menor do conteúdo de carbono da economia em 2050 em relação à 2018. Neste cenário, o crescimento econômico do Brasil a uma taxa de 2% ao ano a partir de 2018 faria com que o país em 2050 atingisse um PIB por habitante de US\$ 20.978 (em paridade de poder de compra), valor um pouco superior ao PIB por habitante da Argentina ou do Uruguay em 2016 (WORLD BANK OPEN DATA, 2020).

No que diz respeito ao cenário 4, observa-se na tabela 4 que o conteúdo de carbono da economia deveria ser reduzido em 4,72 vezes entre 2050 e 2018. Neste caso, em 2050 ele corresponderia a 21,18% do valor de 2018, o que representa uma taxa geométrica média negativa de 4,73% ao ano. Neste cenário, o crescimento econômico do Brasil a uma taxa de 3% ao ano a partir de 2018 faria com que o país em 2050 atingisse um PIB por habitante de US\$ 28.665 (em paridade de poder de compra), valor um pouco superior ao de Portugal em 2016 (WORLD BANK OPEN DATA, 2020).

Considerando a fraca tendência de diminuição do conteúdo de carbono da economia brasileira observada entre 1990 e 2018, como mostrado na figura 3 apresentada na segunda seção, as diminuições do conteúdo de carbono mostradas nos cenários 3 e 4 podem ser consideradas muito difíceis de serem alcançadas. Neste sentido é interessante realizarmos, mesmo que brevemente, algumas considerações sobre as possibilidades tecnológicas existentes para a diminuição das emissões de GEE pelos subsetores que mais emitem GEE mostrados na tabela 1 na primeira seção deste artigo. Conforme a tabela 1, os subsetores Queima de Combustíveis e Fermentação Entérica provocaram 19,78% e 16,29% das emissões de GEE, respectivamente, o que representa 36,07% do total das emissões de 2018. Em termos absolutos, estes dois subsetores em seu conjunto provocam emissões de GEE de 699.433.753 GWP (t) CO₂e. Por outro lado, também na tabela 1 observa-se que as emissões provocadas por cada um dos demais subsetores isoladamente corresponde a menos de 3% das emissões.

A Queima de Combustíveis, conforme mostra a tabela 1, provocou emissões de GEE de 383.533.313 GWP (t) CO₂e. Neste caso seria necessário incentivar fortemente a substituição do petróleo por fontes de energia renováveis. A título de comparação, os países da Organização de Cooperação e Desenvolvimento (OCDE), entre 1973 e 2018 (45 anos), promoveram uma redução de 17,2% do petróleo e derivados na sua matriz energética (o que representa uma taxa geométrica média de -1,21% ao ano no período). Esta redução reflete um grande esforço de substituição desses produtos, decorrente principalmente dos choques nos preços de petróleo, ocorridos em 1973 (ano em que o preço passou de US\$ 3 para US\$ 12 por barril), em 1979 (de US\$ 12 para US\$ 40), e a partir de 1998, quando teve início um novo ciclo de aumentos. A partir de 2016, observa-se certa retração nos preços de petróleo (RESENHA ENERGÉTICA BRASILEIRA, 2019). A partir de dados publicados pela British Petroleum (BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY, 2020), calculamos que nos últimos 29 anos (1990 a 2019) a participação do petróleo e derivados na matriz energética brasileira se manteve praticamente estável (aumento de 0,75% em todo o período), apesar de um aumento de 8,19% da participação das fontes de energia eólica e solar, o qual, no entanto, foi compensado por uma diminuição de 8,94% da participação da energia hidrelétrica no período. Uma alteração da matriz energética brasileira para uma redução das emissões de GEE compatível com as metas definidas neste artigo, portanto, implicaria em uma forte alteração da tendência observada nas últimas décadas. Além disto, é difícil conceber como o Brasil poderia diminuir a intensidade energética da sua economia. Isto porque, o crescimento do PIB por habitante implica em um aumento da produtividade global do trabalho, a qual é realizada essencialmente pela substituição da energia humana por outras fontes de energia.

No que diz respeito a Fermentação Entérica, de acordo com tabela 1, ela provocou a emissão de 315.899.916 GWP (t) CO₂e em 2018, a qual decorre do gás metano emitido pelos ruminantes. A emissão de gás metano pelos bovinos pode ser reduzida por ajustes na alimentação e pelo aumento da produtividade animal (na medida em que esta representa mais produção por quantidade de alimento ingerido). No entanto, tal redução é, no máximo, da ordem de 20% (BERCHIELLI et al., 2012). Considerando uma contribuição equitativa entre os setores, isto torna a redução da Fermentação Entérica por meio da aplicação de tecnologias de produção insuficiente diante da necessidade de reduzi-la em 45,45%, 60,33%, 71,06% ou 78,82% para assegurar um crescimento do PIB por habitante de 0%, 1%, 2% ou 3% ao ano, respectivamente, entre 2018 e 2050. Assim, é provável que a principal forma de reduzir a liberação de GEE pela Fermentação Entérica é a diminuição dos rebanhos de ruminantes domésticos no Brasil, dos quais o rebanho bovino possui atualmente 213.523.056 cabeças (maior do que a população humana, de 208.494.900), o bubalino, 1.390.066 cabeças, e os caprinos e ovinos, em conjunto, 29.645.598 cabeças. Como o rebanho

bovino é muito maior do que os demais, a sua diminuição seria imprescindível para uma redução significativa da emissão de GEE por Fermentação Entérica.

Embora a diminuição do valor econômico decorrente da diminuição do rebanho bovino possa ser, em parte, compensada pelo aumento da produtividade (que, como vimos, contribui para reduzir a emissão de GEE por unidade animal), é provável que ela dificultaria o crescimento econômico. É interessante observar que este aumento de produtividade poderia ser obtido pela recuperação de pastagens degradadas, processo que implica em uma fixação de dióxido de carbono que diminuiria a emissão líquida provocada pelos ruminantes. Além disto, a substituição das terras liberadas pela pecuária de ruminantes pelo reflorestamento, o qual se constitui em uma importante forma de fixação de dióxido de carbono, poderia compensar, pelo menos em parte, as perdas econômicas decorrentes da diminuição do rebanho. Neste sentido seria necessário evitar que as terras liberadas pela pecuária bovina fossem ocupadas por culturas anuais que, por serem mais mecanizadas, consomem quantidades maiores de combustíveis fósseis, cuja emissão de GEE, provavelmente, seria mais elevada do que a provocada pelos ruminantes.

Enfim, é importante observar que o Brasil, pela sua densidade demográfica relativamente baixa, possui amplas possibilidades de promover o sequestro de dióxido de carbono da atmosfera (denominada genericamente de medidas de “mitigação” das emissões) por meio da recuperação de áreas desmatadas de florestas nativas, especialmente na Mata Atlântica, mas também em outros biomas como o Cerrado, a Caatinga e a Amazônia. A criação de Áreas Protegidas ou de Conservação, assim, pode desempenhar um papel importante para que o Brasil possa atingir as metas estabelecidas pelo IPCC (2014). Além disto, várias medidas de mitigação relacionadas à agricultura são possíveis de serem implementadas. Merece destaque neste sentido, o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), do Ministério da Agricultura e Abastecimento (MAPA, 2012). Este plano prevê uma série de medidas para a diminuição direta das emissões e, principalmente, da sua compensação por meio da fixação de dióxido de carbono, de um total estimado entre 133,9 e 162,9 tCO₂e até 2020, conforme mostra a tabela 5.

É interessante observar que a mitigação da emissão de GEE proposta no Plano ABC seria mais do que o dobro da emissão de GEE do subsetor Resíduos Florestais (49.281.789 tCO₂e, como mostrado na tabela 4). Por outro lado, observa-se que o Plano ABC não possui medidas em prol de sistemas alternativos, como os orgânicos e agroecológicos, que permitiriam reduzir a emissão de GEE pela agricultura por meio da diminuição do uso de agrotóxicos e da mecanização, cuja intensa utilização é uma característica marcante da agricultura brasileira, especialmente de culturas como a soja, que ocupa a maior área plantada no Brasil.

Tabela 5: Processo Tecnológico, compromisso nacional relativo (aumento da área de adoção ou uso) e potencial de mitigação por redução de emissão de GEE do Plano ABC.

Processo Tecnológico	Compromisso até 2020 (aumento de milhões de hectares ou metros cúbicos)	Potencial de mitigação (tCO ₂ e)
Recuperação de pastagens degradadas	15,0	83.000.000 a 104.000.000
Integração Lavoura- Pecuária- Floresta	4,0	18.000.000 a 22.000.000
Sistema Plantio Direto	8,0	16.000.000 a 20.000.000
Fixação Biológica de Nitrogênio	5,5	10.000.000
Florestas Plantadas*	3,0	-
Tratamento de Dejetos Animais	4,4	6.900.000,0
Total		133.900.000 a 162.900.000

* não computado o potencial de mitigação da emissão de GEE

Fonte: adaptado a partir de MAPA (2012, p. 20)

Em síntese, os resultados mostrados na tabela 4 indicam que, mesmo considerando todas as medidas de mitigação discutidas nos parágrafos anteriores, as condições necessárias para que o Brasil possa conciliar crescimento econômico e uma diminuição da emissão de GEE que permita ao contribuir efetivamente para amenizar os impactos da mudança climática, podem ser consideradas muito difíceis de serem asseguradas.

Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que,

- 1) uma drástica diminuição do desmatamento é imprescindível para que o Brasil possa efetivamente limitar as suas emissões de GEE;
- 2) a diminuição do conteúdo de carbono da economia brasileira necessária para que o Brasil possa contribuir de forma equitativa com os demais países para que as metas estabelecidas pelo IPCC (2014) sejam atingidas representa uma severa limitação ao crescimento do PIB por habitante do país, mesmo a taxas modestas.

Reforça estas conclusões o crescente consenso de que a limitação do aumento da temperatura até 2°C implica em um risco elevado de eventos climáticos extremamente prejudiciais as sociedades humanas e aos ecossistemas naturais. Por esta razão o IPCC (2019) tem proposto que o limite de aumento da temperatura seja diminuído para 1,5°C, o que implica em reduções muito mais severas da emissão de GEE do que a considerada neste artigo.

Por outro lado, os resultados obtidos neste trabalho são contraditórios com a concepção de que a necessidade de limitar o aquecimento global, assim como o de enfrentar outros problemas ambientais e sociais, pode se constituir em um estímulo para desencadear um vigoroso ciclo de crescimento econômico. Baseiam-se nesta concepção o “Green New Deal” (Novo Pacto Verde), inspirado nas políticas anticíclicas do governo de Franklin Delano Roosevelt durante a Depressão de 1929, mas desta vez baseando-se na promoção de uma economia “de baixo carbono”. Outro grande programa de promoção de uma economia de baixo carbono é o “Green Deal” que tem sido discutido pela União Europeia (GADREY, 2020). Durante a última campanha para a escolha do candidato do Partido Democrata à presidência dos EUA, por exemplo, foram discutidas propostas que pretendem intensificar e reorientar o crescimento da economia por meio de investimentos da ordem de 16 trilhões de dólares nos EUA (SANDERS, s.d.). No caso da União Europeia, um comunicado da Comissão Europeia afirma que, para desencadear uma nova estratégia de crescimento econômico baseada em uma drástica redução da emissão de GEE até 2030 requereria investimentos da ordem de 260 bilhões de euros por ano, o que corresponde a 1,5% do PIB da União Europeia de 2018 (EUROPE COMMISSION, 2019, p. 15). Tais investimentos permitiriam desencadear ações como o isolamento de edifícios e o desenvolvimento de fontes de energia renováveis que, além de uma eficiente medida contra o aquecimento global, provocariam uma massiva criação de empregos. No entanto, os Estados Unidos e a União Europeia se constituem no grupo de países com os maiores PIB por habitante do mundo, e com matrizes de energia altamente dependentes de combustíveis fósseis. As emissões de GEE por estes países (ao lado da China) são as que mais contribuem para o aquecimento global. Embora a análise desta questão esteja além dos objetivos deste artigo, os resultados nele apresentados suscita uma grande incerteza sobre a real capacidade desses países em assegurar, ao mesmo tempo, altas taxas de crescimento e uma diminuição do conteúdo de carbono das suas economias compatíveis com as metas estabelecidas pelo IPCC (2014). Neste sentido, os resultados apresentados neste artigo indicam que a necessidade de limitar a emissão de GEE devido as mudanças climáticas a ele associadas se constitui em um sério obstáculo ao crescimento econômico mundial, e não apenas no Brasil. Tal desafio, no entanto, tem sido largamente negligenciado pelas instâncias governamentais do país.

Referências bibliográficas

ALVIM, C. F.; FERREIRA, O. C.; GUIDICI, O. M.; EIDELMAN, F., FERREIRA, P. A. F.; BERNARDES, M. A. S. Comparação da emissão de gases de efeito estufa (GEE) na geração

nuclear de eletricidade no Brasil com as de outras fontes. **Economia e Energia**, Rio de Janeiro, nº 79, p. 3-20, 2010.

ARAÚJO, R. et. al., Territórios e alianças políticas do pós-ambientalismo. **Estudos Avançados**, São Paulo vol. 33, nº 95, p. 67-90, jan./abr. 2019.

ARTAXO, P. Mudanças Climáticas e o Brasil. **REVISTA USP**, São Paulo, n. 103, p. 8-12, 2014.

BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY. British Petroleum, 2020 Disponível em www.bp.com/statisticalreview, acesso: 10 de setembro de 2020.

BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; CANESIN, R. C. Produção de metano entérico em pastagens tropicais. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v. 13, nº 4, p. 954-968, 2012.

BRASIL, Lei nº 12.187 de 2.009, Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima. **Diário Oficial da União** - Edição Extra de 29/12/2009, (p. 109, col. 2).

CARVALHO, T. S.; MAGALHÃES, A. S.; DOMINGUES, E. P. Desmatamento e a contribuição econômica da floresta na Amazônia. **Est. Econ.**, São Paulo, vol. 46, p. 499-531, abr.-jun. 2016.

EUROPE COMMISSION, **The European Green Deal**. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of Regions. Bruxelas, 2019, disponível em https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_en.pdf, acesso: 20/09/2020.

FEIJÓ, G. dos R.; RANGEL, J. J. de A. Análise do comportamento das emissões de dióxido de carbono (CO₂) do Brasil e de outros países por meio da Identidade de Kaya e do Perfil de Emissões. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, vol. 46, p. 1-22, 2018.

EUROPE UNION, s.d. **EU climate action and the European Green Deal**, s.d. (disponível em https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action_en, acesso 12/09/2020).

GADREY, J. Le “Green New Deal” aux États Unis et en Europe. **Les Possibles**, Paris, nº 23, p. 100-110, 2-020.

IBGE. **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação**, s.d. (disponível em <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>, acesso: 12/09/2020)

IPCC. **Climate Change**. The IPCC Response Strategies. Response Strategies Working Group. World Meteorological Organization/United Nations Environment Program, 1990.

IPCC. **Emissions Scenarios**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. Disponível em <https://www.ipcc.ch/report/emissions-scenarios/>, acesso: 12/09/2020.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014, disponível em <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>, acesso 20/09/2020.

IPCC. **Global Warming of 1.5°C**. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, 2018, disponível em <https://www.ipcc.ch/sr15/>, acesso: 20/09/2020.

JANSSENS-MANHOUT, G.; PAROULO, P.; MARTELLI, S. Analysis of Greenhouse Gas Emission Trends and Drivers. A Survey of Techniques for Emission Decomposition and Econometric Trend Analysis. European Union, **JRC Technical Reports**, Report 1: Literature survey and project outlook, Bruxelas, 2013.

KAYA, Y., **Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios**. Paper presented to the IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Paris, (mimeo), 1990.

PLANO ABC. Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2012. Disponível em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>, acesso: 12/09/2020.

PLANOS DE PREVENÇÃO E CONTROLE DO DESMATAMENTO EM ÂMBITO FEDERAL. Ministério do Meio Ambiente, s.d. Disponível em <http://combateaodesmatamento.mma.gov.br/>, acesso 12/09/2020.

RESENHA ENERGÉTICA BRASILEIRA, Exercício 2018, Ministério das Minas e Energia, Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético, edição de maio de 2019. Disponível em <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/planejamento-e-desenvolvimento-energetico/publicacoes/resenha-energetica-brasileira>, acesso: 13/09/2020.

SANDERS, B. The Green New Deal, s.d. Disponível em <https://berniesanders.com/issues/green-new-deal/>, acesso 12/09/2020.

SEEG, Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, 2019. Disponível em <http://seeg.eco.br/download>, acesso: 12/09/2020.

RITTLL, C.; ANGELO, C. Is Brazil in the way to meet its climate targets? Observatório do Clima, 2019. Disponível em <http://www.observatoriodoclima.eco.br/explainer-brazil-way-meet-climate-targets/>, acesso 12/09/2020.

WORLD BANK OPEN DATA, PIB per capita, 2020, disponível em <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.KN>, acesso: 20/09/2020.

Submetido