

Energia e desenvolvimento sustentável no Brasil

ENERGY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN BRAZIL

Resumo:

Este trabalho apresenta uma série histórica, de 1990 a 2016, das demandas observadas nas matrizes energéticas do Brasil, do mundo e dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Descreve, também, o portfólio de suas matrizes com as principais forças motrizes relativas à expansão econômica, populacional e às emissões de gases provenientes da queima de combustíveis fósseis. O levantamento das informações foi realizado com base nos dados da Agência Internacional de Energia, e o método da Identidade de Kaya foi empregado na análise. Os resultados confirmaram a posição de destaque do Brasil no uso de energias limpas e renováveis. No entanto, essa referência mundial pode ser perdida se a demanda por combustíveis fósseis mantiver as mesmas progressões observadas nas últimas décadas.

Palavras-chave: Matriz Energética, Gases de Efeito Estufa, CO₂, Intensidade de Emissões, Produto Interno Bruto.

Abstract:

The present study introduces a historical series of demands seen in the energy matrices of Brazil, the world and the countries of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) from 1990 to 2016. It also discusses the matrix range with the main driving forces related to economic growth, population and gas emissions from the burning of fossil fuels. The information was collected on the basis of data from the International Energy Agency, and the Kaya Identity method was applied in the analysis. The results corroborated that Brazil stands out in the use of clean and renewable energies. Nevertheless, this global reference may be no longer valid if the demand for fossil fuels keeps the same progressions as in the last decades.

Keywords: Energy Matrix, Greenhouse Gases, CO₂, Emission Intensity, Gross Domestic Product.

João José de Assis Rangel

Doutor em Engenharia de Materiais e Metalúrgica pela Universidade Estadual Norte Fluminense (UENF). Professor do Doutorado em Planejamento Regional e Gestão da Cidade (UCAM-Campos) e Professor do Mestrado em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão (IFF). E-mail: joao.rangel@ucam-campos.br

Claudio Luiz Melo de Souza

Doutor em Produção Vegetal pela Universidade Estadual Norte Fluminense (UENF). Professor do Mestrado em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional (UCAM-Campos). E-mail: claudiomelo.edu@gmail.com

Yves Tavares Peres

Engenheiro Mecânico pela UCAM-Campos
E-mail: yvestavares@gmail.com

André Gomes de Lima

Engenheiro Mecânico pela UCAM-Campos e Mestre em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão pelo IFF
E-mail: gomesdelimaandre@gmail.com
Universidade Candido Mendes - Campos (UCAM-Campos)
Rua Anita Peçanha, 100 - Pq. São Caetano - Campos dos Goytacazes, RJ - CEP: 28030-335

1. Introdução

Segundo dados da Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency* - IEA, 2018), as mudanças climáticas provocadas pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE) vêm provocando efeitos deletérios e irreversíveis aos ecossistemas do planeta, principalmente com a elevação da temperatura média da superfície terrestre. Este não é um consenso absoluto, porém é um fato muito discutido nos painéis intergovernamentais sobre mudanças climáticas. Dentre os GEE, o dióxido de carbono (CO₂), oriundo da queima de combustíveis fósseis, é, de fato, o principal responsável pelo aquecimento global (RÜSTEMOĞLU; ANDRÉS, 2016). Diante disso, a Conferência das Partes, em sua 21ª edição, realizada em Paris, em 2015 (COP 21), adotou metas para a redução das emissões dos GEE em nível global com o intuito de minimizar os danos causados ao meio ambiente (UNFCCC, 2015). Desde então, o Brasil estabeleceu metas para reduzir suas emissões de GEE em 37% até o ano de 2025, e pretende atingir 43% de redução até 2030, ambos valores comparados aos níveis de emissões de 2005 (REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, 2015).

Para que o Brasil consiga atingir as metas relativas à

redução das emissões de CO₂, é necessário um controle rigoroso da utilização de combustíveis fósseis no câmputo de sua matriz energética (MMA, 2016). De certa forma, no cenário energético mundial, o Brasil sempre foi reconhecido por ter uma matriz energética relativamente limpa e renovável quando comparado aos demais países (RAIMUNDO et al., 2018). No entanto, ao longo dos últimos anos, o País aumentou, progressivamente, o consumo de gás natural, podendo perder, assim, esse lugar de destaque no cenário mundial, já que as energias renováveis não tiveram incremento semelhante (SACHS, 2007).

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho foi descrever a matriz energética brasileira e verificar as emissões de CO₂ relativas à queima de combustíveis fósseis. Os dados foram avaliados, comparativamente, com os do mundo e da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), no período compreendido entre 1990 e 2016. Além disso, foi utilizado o método da Identidade de Kaya para investigar as principais forças motrizes associadas ao desenvolvimento econômico e emissões de CO₂ no período abordado.

2. Emissões de CO₂ por setores da economia brasileira

Os principais setores da economia brasileira responsáveis pelas emissões de CO₂ são os seguintes: Energia, Mudança de Uso da Terra e Floresta, Resíduos, Agropecuária e Processos Industriais.

A Figura 1 apresenta os valores relativos a cada um desses setores ao longo das últimas duas décadas.

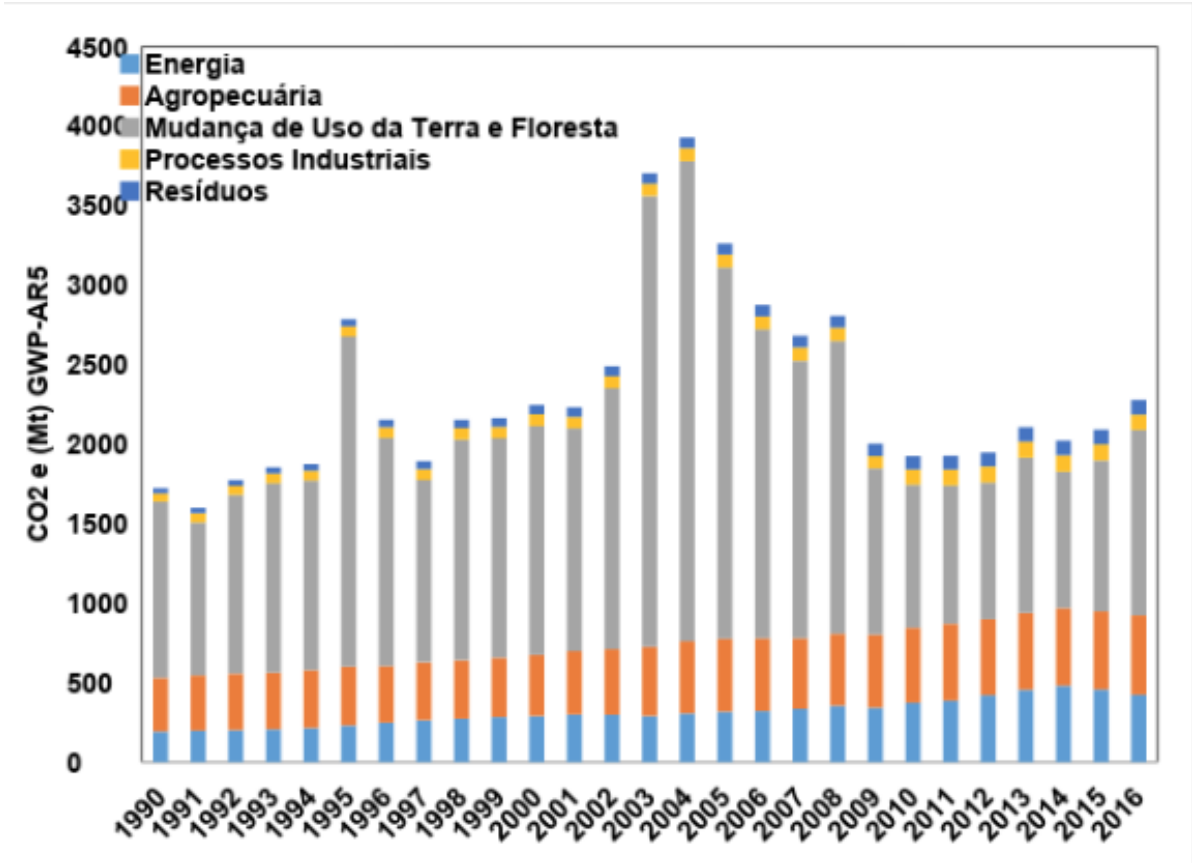


Figura 1: Emissões de CO₂ no Brasil por setores da economia.

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da SEEG (*System Gas Emissions Estimation*), acessados em outubro de 2018.

Observe que ocorreram alterações, no período de 1990 a 2016, nos valores médios anuais de cada um dos setores avaliados, mas sem um padrão bem definido, porém com acentuadas emissões entre 2003 e 2008 (Figura 1). Os dados iniciais e finais da série também foram apresentados em gráfico setorial (Figura 2, a b), o que permitiu melhor verificação das participações percentuais nas emissões de CO₂ de cada um dos setores. Assim, foi possível observar que os setores da economia que apresentaram maior crescimento nas emissões de CO₂ referem-se aos dos Resíduos e da Energia. Os outros reduziram as suas participações ou tiveram pouca

variação percentual.

Observa-se que a participação do setor de Resíduos passou de 2% (1990) para 4% (2016), comparando-se o início e o final da série, enquanto o setor de Energia passou de 11% (1990) para 19% (2016), ou seja, o setor de Resíduos dobrou sua participação nas emissões de CO₂ e o de Energia quase dobrou também. No entanto, comparando-se os valores de suas participações, observa-se que, dentre todos, o setor de Energia teve a maior expansão, pois representou quase um décimo das emissões de CO₂ em 1990 e, em duas décadas e meia, passou a responder por quase um quinto das emissões.

Info Royalties

Veja as edições anteriores em

www.inforoyalties.ucam-campos.br

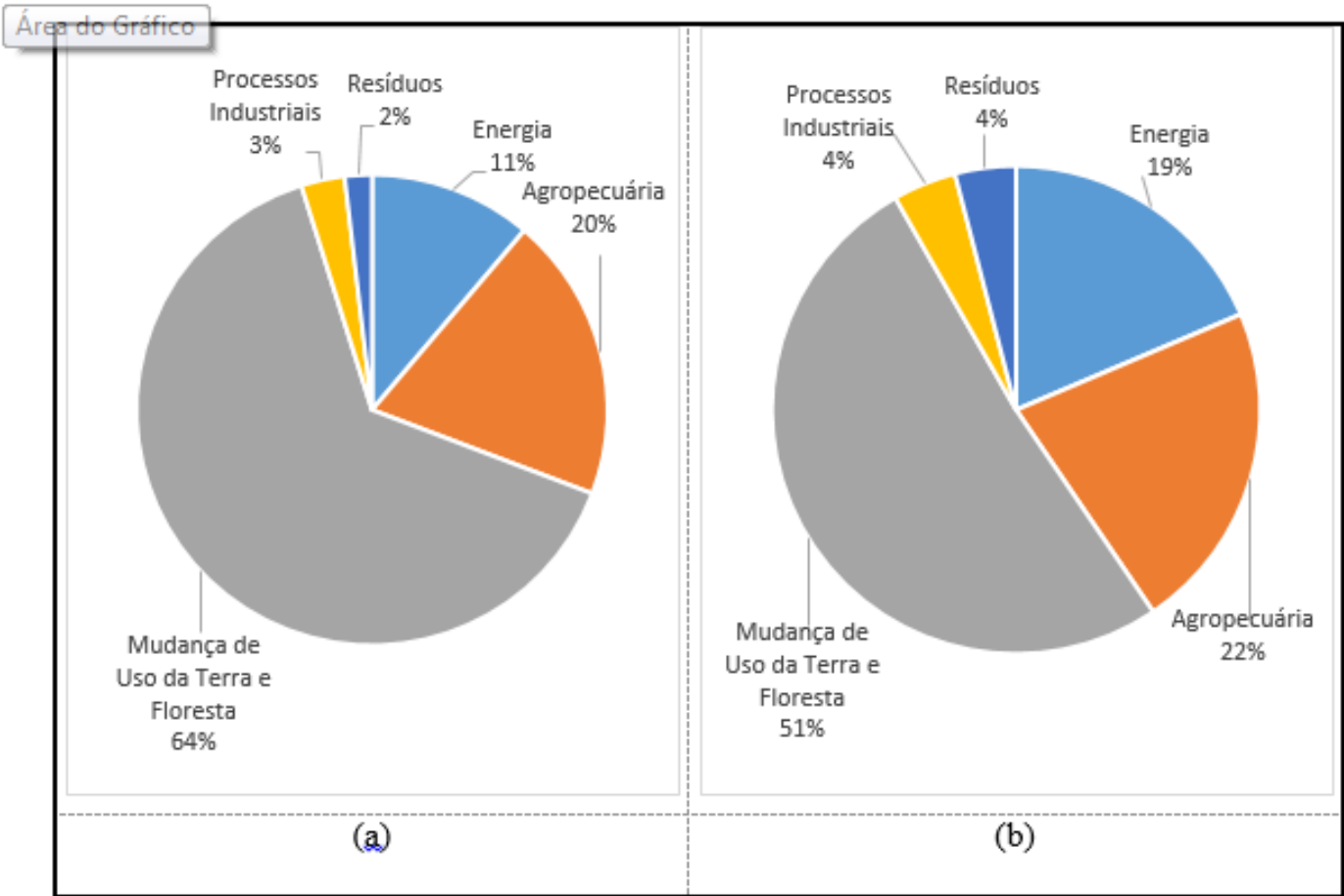


Figura 2 - Participações setoriais nas emissões de CO₂ do Brasil: (a) 1990 e (b) 2016.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da SEEG acessados em outubro de 2018.

Por outro lado, observe agora o setor de Mudança de Uso da Terra e Floresta; note que ocorreu uma redução de sua participação, apesar de ainda ser o maior responsável pelas emissões de CO₂ no Brasil, com praticamente a metade do valor total. De certa forma, isso demonstra que as políticas públicas de controle de desmatamento e queimadas têm conseguido alcançar um resultado significativo. Vale ainda destacar que, como citado por Schutte (2014), as altas emissões de CO₂ relacionadas ao setor de Mudança de Uso da Terra e Floresta no Brasil não é comum em outros países. Esta é uma particularidade brasileira, principalmente, devido às queimadas na Floresta Amazônica e outros biomas motivadas pelas expansões dos setores agropecuários. Assim, a meta de desmatamento zero deve ser uma política pública a ser alcançada logo.

Há, também, uma forte correlação positiva entre o desempenho da economia e o consumo de energia; consequentemente, há crescimento das emissões de CO₂ proveniente da queima de combustíveis fósseis (HENRIQUES e BOROWIECKI, 2017). De fato, o impacto que a expansão econômica pode provocar nas emissões é evidenciado na Figura 3.

Observe que há um acoplamento entre os valores do produto interno bruto (PIB) e o das emissões de CO₂. Note que, mesmo sem uma análise de elasticidade detalhada, é possível observar, visualmente, no gráfico, as discontinuidades e as variações proporcionais de ambos os valores do PIB e das emissões de CO₂.

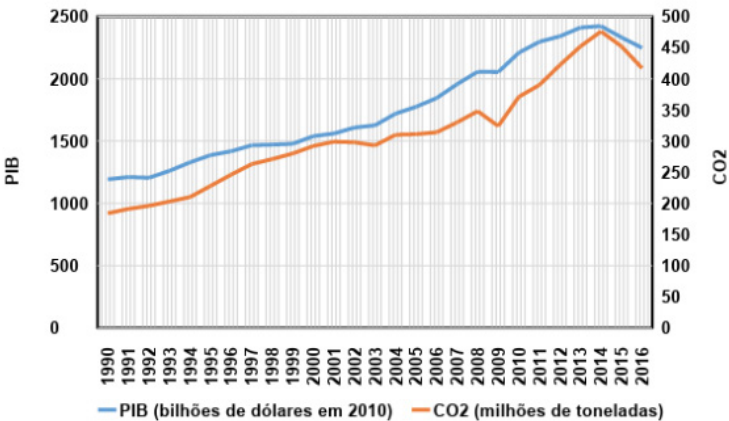


Figura 3 – Evolução do PIB e emissões de CO₂ entre 1990 e 2016 / Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

Vale salientar, para a finalização desta seção, que o estudo aqui desenvolvido ficou circunscrito às emissões de CO₂ relacionadas à queima de combustíveis fósseis; isso devido ao forte aumento das emissões do setor de Energia e à dificuldade

de comparação do Brasil com outros países no que tange ao setor de Mudança de Uso da Terra e Floresta, além deste último ter apresentado uma boa redução.

3. Base de dados e Método da Identidade de Kaya

Os dados utilizados para a análise foram obtidos na base de dados da IEA no período compreendido entre 1990 e 2016. Estes são os dados mais recentes disponíveis durante a realização das consultas para a elaboração do trabalho.

O método da Identidade de Kaya foi utilizado para analisar as principais forças motrizes relativas

ao Brasil, ao mundo e à OCDE. Esse é um método largamente empregado para avaliar os impactos provocados ao meio ambiente, por meio de uma decomposição matemática entre os valores das emissões de CO₂, energia, população e PIB (KAYA, 1989). A expressão empregada no método da Identidade de Kaya pode ser observada pela Equação 1.

$$C = \frac{C}{E} \times \frac{E}{PIB} \times \frac{PIB}{P} \times P$$

em que:
C = Emissões de CO₂ (MtCO₂)
E = Energia Primária (Mtep*)
PIB = Produto Interno Bruto (1 bilhão de dólares americanos em 2010)
P = População (milhões de pessoas)

$\frac{E}{PIB}$ = Intensidade Energética
 $\frac{PIB}{P}$ = Produto Interno Bruto per capita
 $\frac{C}{E}$ = Intensidade Carbônica da Energia

*tep: tonelada equivalente de petróleo

4. Balanços energéticos

Um balanço energético é uma forma de apresentar os valores relativos às fontes de energia de uma determinada região ou país ao longo de um período de tempo especificado. As fontes de energia podem ser primárias ou secundárias. As fontes de energia primária são o carvão, o petróleo, o gás natural, a nuclear, a hidráulica, os combustíveis renováveis e resíduos (biomassa ou biocombustíveis) e outras fontes modernas de energia (como geotérmica, solar e eólica). O valor de cada fonte de energia primária

inclui a produção mais importação menos exportações e variações de estoque. A sigla TPES (*Total Primary Energy Supply*) é normalmente empregada para designar energia primária. As fontes de energia secundária são, principalmente, a eletricidade e o calor. O termo matriz energética é empregado, normalmente, quando se refere a um conjunto de balanços energéticos elaborados periodicamente (GONDEMBERG e LUCON, 2008).

4.1 Energia primária do Brasil

A evolução da energia primária do Brasil, no período de 1990 a 2016, está apresentada na Figura 4. O Brasil possui uma matriz energética diferenciada em relação a muitos outros países. Isso se deve, principalmente, ao grande uso dos biocombustíveis

e à geração hidrelétrica. Observam-se, também, as discontinuidades dos valores em determinados períodos, como 2008 e 2014. Essas discontinuidades referem-se às crises econômicas que, normalmente, reduzem a demanda energética. O valor máximo

de energia primária foi de 298,26 Mtoe no ano de 2014.

A Figura 5 mostra as participações das fontes de energia no início e no final do período. Observe que, em 1990, as fontes que se destacavam com maiores valores de participação eram o petróleo, com 42,70 %, e o biocombustível, com 34,63%. Essas fontes permaneceram como as principais também

em 2016. No entanto, houve uma queda em seus valores; o petróleo passou, em 2016, para uma parcela de 38,92% e o biocombustível, para 30,35%. No entanto, isso não significa que houve uma diminuição na utilização dessas fontes, e sim que outras fontes primárias cresceram mais que elas, como o gás natural, por exemplo.

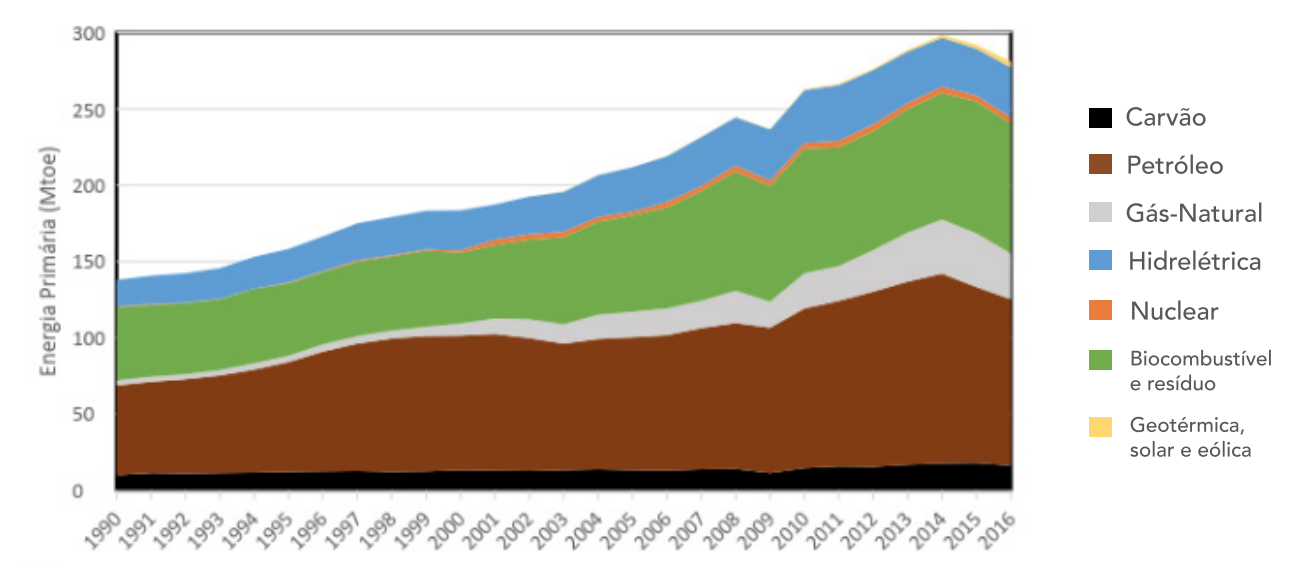


Figura 4 – Energia primária do Brasil, de 1990 a 2016.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

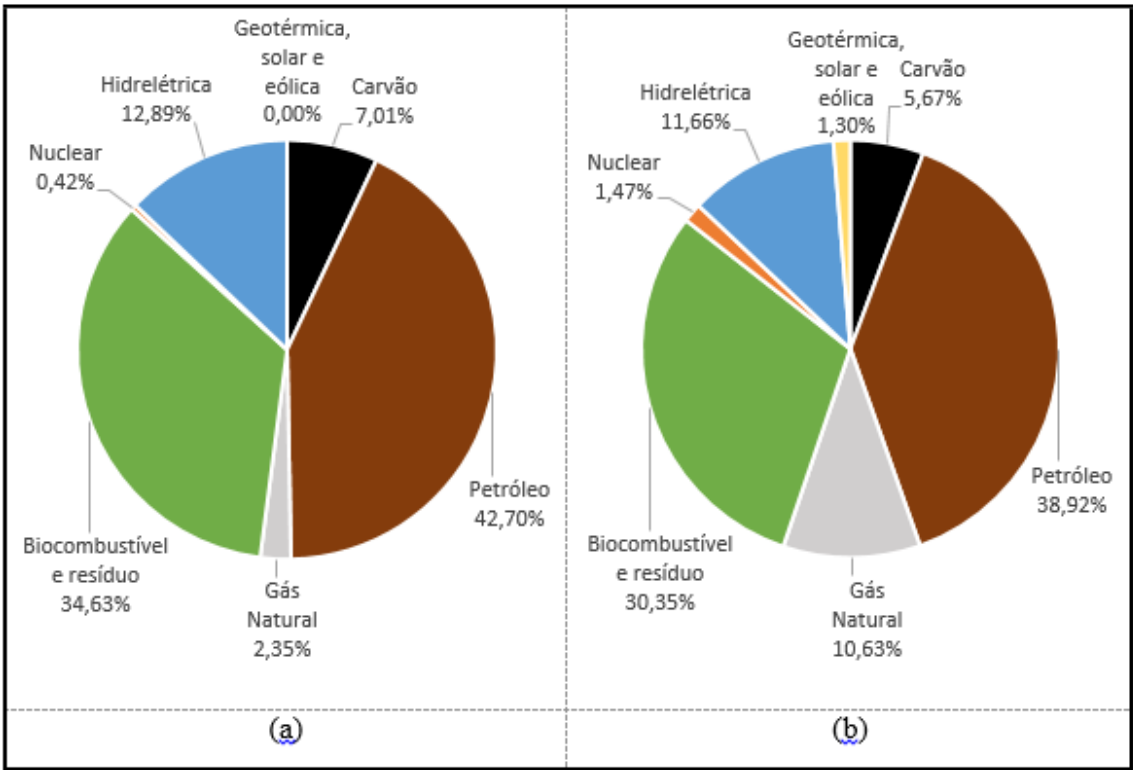


Figura 5 - Participações das fontes de energia primária do Brasil: (a) 1990 e (b) 2016.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

Observa-se, ainda, na Figura 5, que, em 2016, o total de participação das fontes não fósseis foi de 44,78% (Biocombustível e resíduo, 30,35%; Geotérmica, solar e eólica, 1,30%; hidrelétrica, 11,66%; e nuclear, 1,47%). Porém, houve um aumento na participação dos combustíveis fósseis na matriz brasileira no período analisado. Em 1990, eles represen-

tavam 52,06% (petróleo, 42,70%; carvão, 7,01%; e gás natural, 2,35%) e, em 2016, esse valor passou a ser de 55,22% (petróleo, 38,92%; gás natural, 10,63%; carvão, 5,67%). Dentre os combustíveis fósseis, o gás foi o que apresentou o maior crescimento. Em 1990, representava 2,35% da matriz e, em 2016, esse valor aumentou para 10,63%.

4.2 Energia primária do mundo

A evolução da energia primária do mundo, no período de 1990 a 2016, está apresentada na Figura 6. No ano de 2016, o valor total da energia primária que o mundo consumiu foi de 13,76 Gtep. Observe com cuidado os valores no período final; note que ocorre uma redução no consumo de carvão e petróleo. Observe também a predominância de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) e a descontinuidade, no ano de 2008, referente à crise econômica mundial registrada nesse período. Note ainda que a participação da fonte hidrelétrica é bem modesta e que os novos renováveis começaram a aparecer recentemente.

A Figura 7 mostra as participações das fontes de energia no início e no final do período. No ano de 1990, as fontes fósseis representavam mais de quatro quintos da matriz, totalizando um valor de 81,13% (carvão, 25,31%; petróleo, 36,86%; e gás natural, 18,96%) e, em 2016, esse valor praticamente não foi alterado, apresentando uma leve queda para 81,08% (carvão, 27,11%; petróleo, 31,91%; e gás natural, 22,06%). O petróleo, assim como em

1990, continuou sendo a fonte energética mais utilizada pela maioria dos países.

Analisando ainda a Figura 7, observe que praticamente não ocorreram alterações nos valores das participações das fontes de energia. Veja que um destaque positivo foi o fato de os novos renováveis (geotérmica, solar e eólica) terem aumentado a sua participação em aproximadamente quatro vezes. Em 1990, eles representavam 0,42% e, em 2016, esse valor passou para 1,64%. O valor ainda é relativamente pequeno ao total; no entanto, devido aos impactos ambientais gerados ao meio ambiente pela utilização dos combustíveis fósseis e à redução nos seus custos, a tendência é que os novos renováveis mantenham o crescimento nos próximos anos. Perceba também que a fonte nuclear apresentou uma leve redução, provavelmente, devido aos altos custos derivados dos grandes investimentos em segurança exigidos pelo setor e também logicamente, devido aos acidentes ocorridos em Chernobyl e Fukushima.

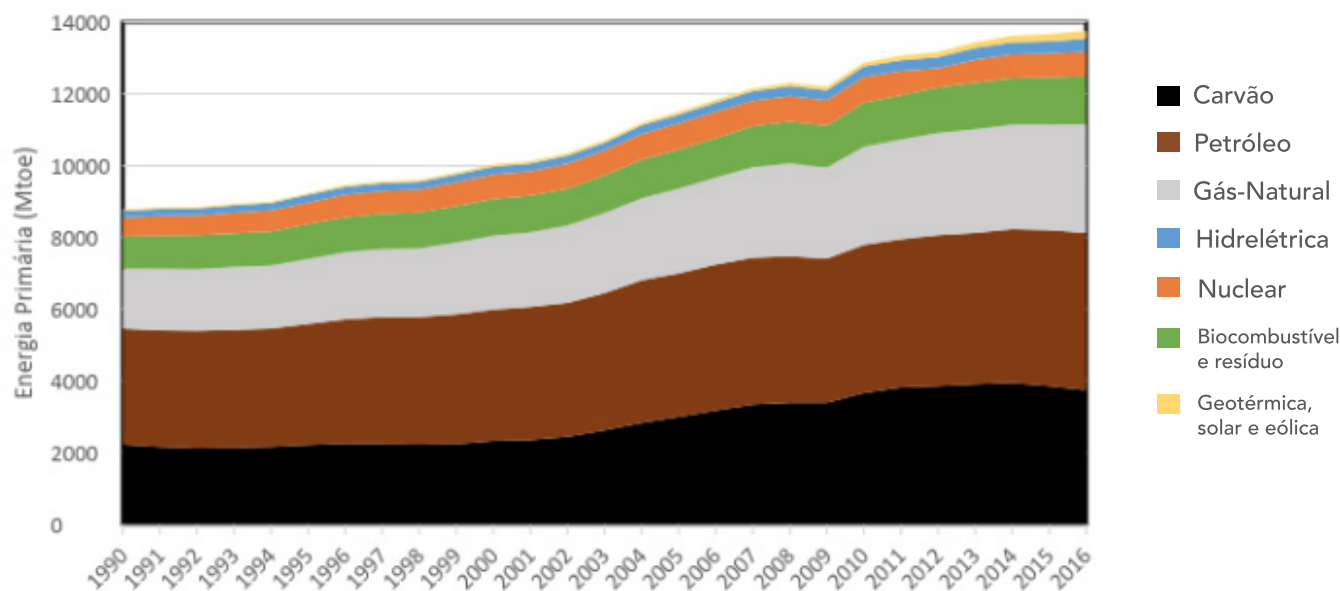


Figura 6 - Energia primária do mundo de 1990 a 2016.

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

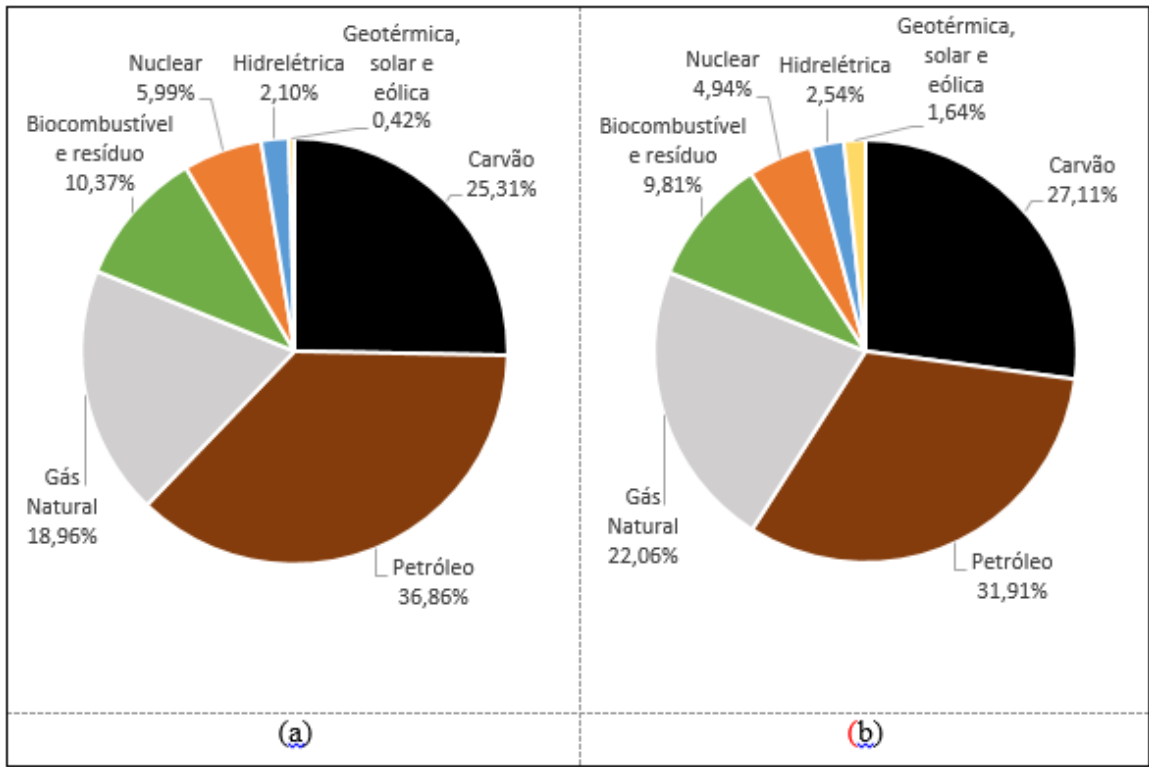


Figura 7 - Participações das fontes de energia primária do mundo: (a) 1990 e (b) 2016.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

4.3 Energia primária da OCDE

A Figura 8 apresenta a evolução da energia primária do conjunto de países da OCDE no período de 1990 a 2016. No final do período, o valor total da energia primária que os países da OCDE consumiram foi de 5,275Gtep. Observe que, assim como o mundo, a matriz energética da OCDE é altamente dependente dos combustíveis fósseis. No entanto,

veja que os países mais desenvolvidos apresentam um comportamento diferente quando comparados ao Brasil e ao mundo. Perceba que a matriz energética da OCDE apresentou seu ponto máximo no ano 2007 (5,57Gtep) e, depois, começou uma redução no suprimento total de energia.

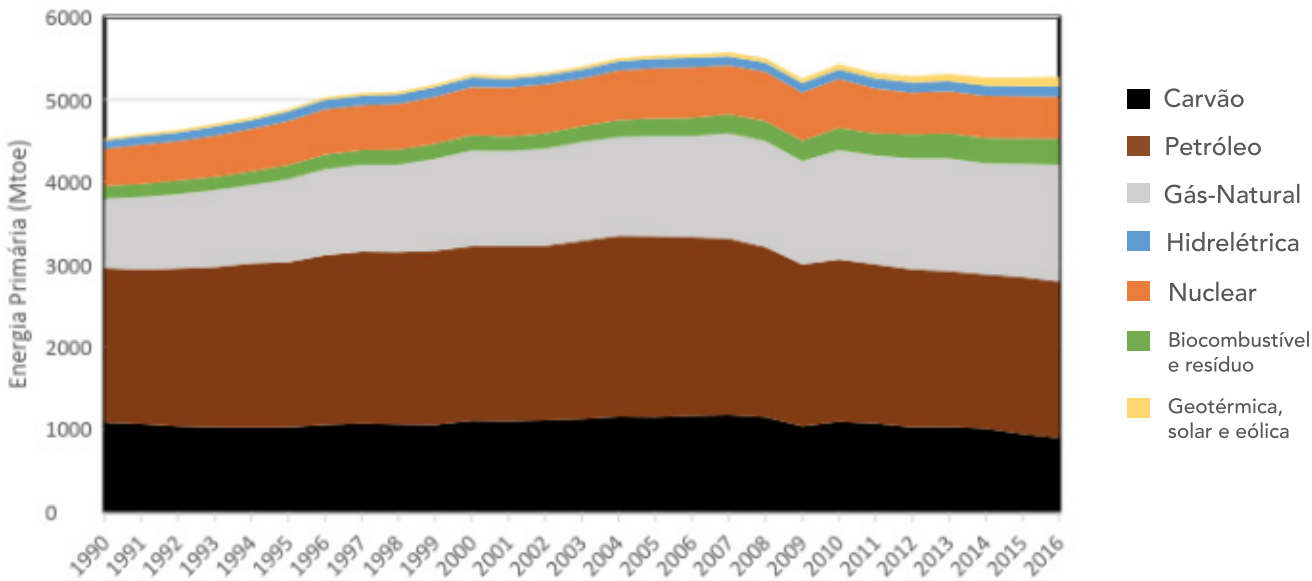


Figura 8 - Energia primária da OCDE de 1990 a 2016.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

Para uma avaliação mais detalhada das mudanças ocorridas na matriz energética da OCDE, observe a Figura 9. Analisando de forma mais específica a participação de cada fonte, percebe-se que os combustíveis fósseis atingiram quase quatro quintos da matriz, totalizando um valor de 79,83% em 2016 (carvão, 16,93%; petróleo, 35,95%; e gás natural, 26,95%). No entanto, em 1990, esses combustíveis apresentaram um valor ainda maior, de 83,84%

(carvão, 23,80%; petróleo, 41,39%; e gás natural, 18,65%), ou seja, ocorreu uma redução de aproximadamente 4% na participação dos combustíveis fósseis no período. Esse fato parece demonstrar uma tendência dos países mais ricos de poderem inserir em suas matrizes energéticas uma quantidade maior de combustíveis renováveis, que ainda estão muito caros para a maioria dos outros países.

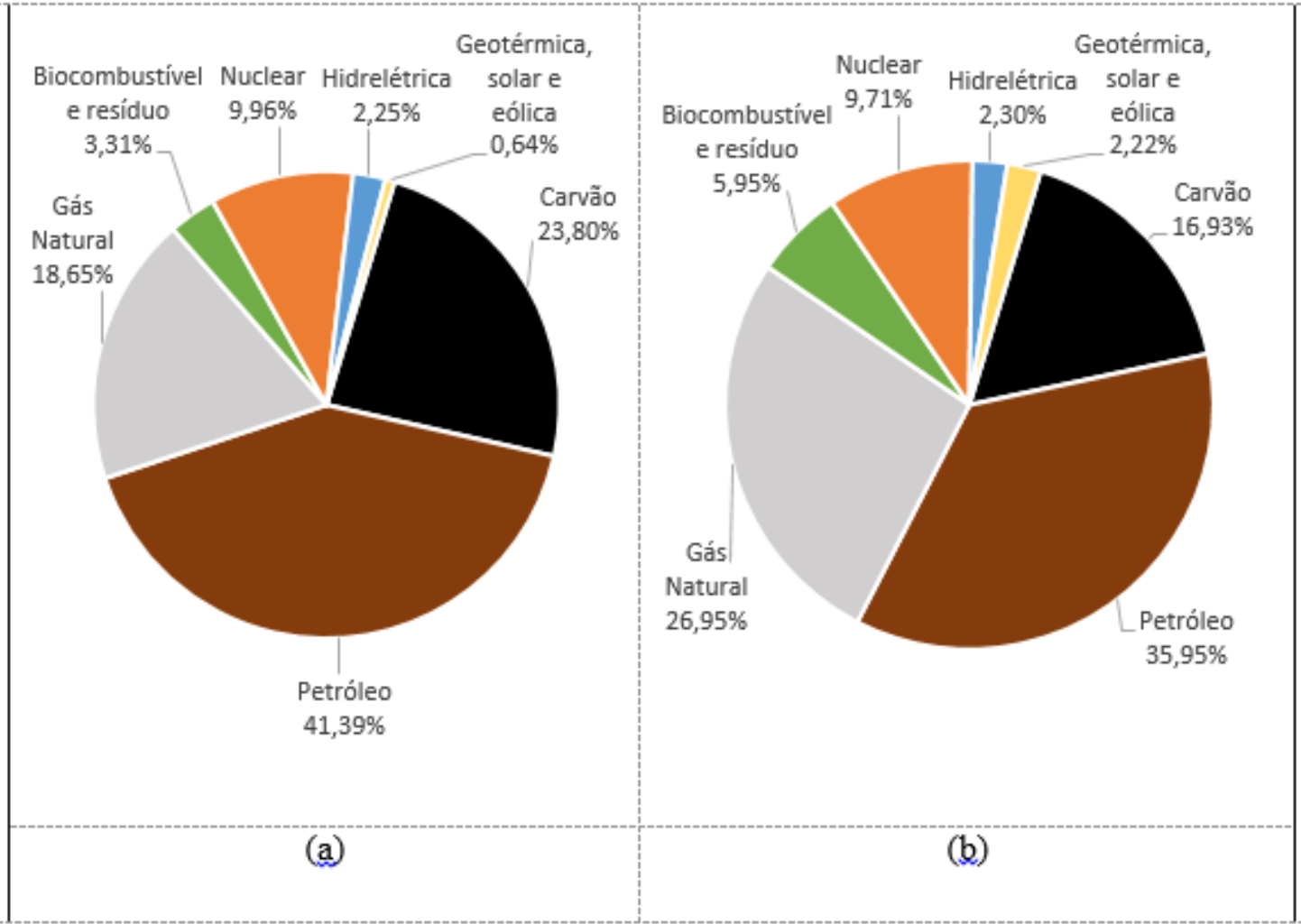


Figura 9 - Participações das fontes de energia primária da OCDE: (a) 1990 e (b) 2016.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

Para encerrar esta seção, observe a comparação entre os valores das fontes de energias primárias das matrizes energéticas do Brasil, do mundo e da OCDE, mostrada na Tabela 1. Note a grande dependência de combustíveis fósseis, no geral. O Brasil, porém, foi o que apresentou a menor participação de combustíveis fósseis em sua matriz (55,22%). Já o mundo e a OCDE são muito mais dependentes dos combustíveis fósseis, apresentando, respec-

tivamente, 81,08% e 79,83% de participação em suas matrizes. Logicamente, o Brasil possui maior utilização de fontes não fósseis. Neste quesito, a participação do País é mais que o dobro da participação do mundo e da OCDE. Ou seja, enquanto o Brasil utiliza 44,78%, a participação do mundo é de 18,92% e a da OCDE, de 20,17%, com destaque para a hidroeleticidade e para os biocombustíveis.

TABELA 1 - COMPARAÇÃO DAS MATRIZES ENERGÉTICAS DO BRASIL, DO MUNDO E DA OCDE (DADOS DE 2016).

Tipo	Fonte	Brasil	Mundo	OCDE
Fontes fósseis	Carvão	5,67%	27,11%	16,93%
	Petróleo	38,92%	31,91%	35,95%
	Gás Natural	10,63%	22,06%	26,95%
Total fontes fósseis		55,22%	81,08%	79,83%
Fontes não fósseis	Biocombustível e resíduo	30,35%	9,81%	5,95%
	Geotérmica, solar e eólica	1,30%	1,64%	2,22%
	Hidrelétrica	11,66%	2,54%	2,30%
	Nuclear	1,47%	4,94%	9,71%
	Total não fósseis	44,78%	18,93%	20,18%

5. Balanços energéticos da geração de eletricidade

A geração de eletricidade é um dos principais processos para a transformação de energias primárias em secundárias. As energias secundárias são utilizadas pelo homem em suas necessidades fundamentais, como, por exemplo, combustíveis deri-

vados de petróleo e biocombustíveis (Etanol, Biodiesel, etc.), ambos no setor de transporte, calor (indústria e calefação), além da eletricidade, logicamente.

5.1 Geração de eletricidade no Brasil

As principais fontes de energia para a geração de eletricidade no Brasil, de 1990 a 2016, estão apresentadas na Figura 10. O valor máximo do suprimento de energia elétrica do País foi, no ano de 2014, de um total de 790,29TWh. Em 2016, esse valor reduziu para 578,5TWh, provavelmente devido à crise econômica registrada nesse período. Observe que a matriz brasileira para a geração de eletricidade é composta, em grande parte, por hidrelétricas. Perceba também que as fontes renováveis - geotérmica, solar e eólica - estão com crescimento recente.

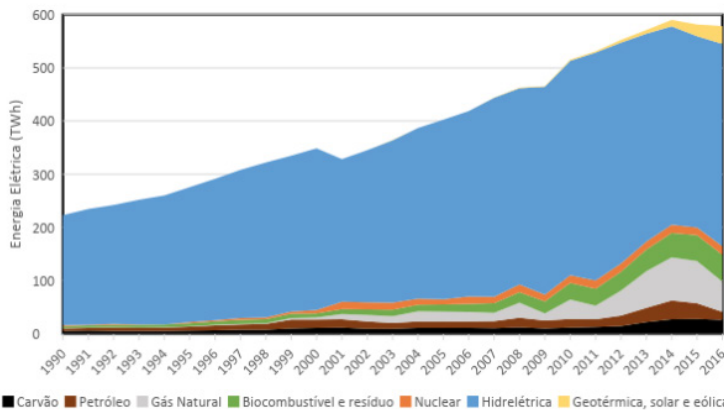


Figura 10 – Geração de eletricidade no Brasil de 1990 a 2016.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

A Figura 11 apresenta as participações dos combustíveis utilizados na geração de eletricidade no início e no final do período. Perceba que, no de 1990, a fonte hidrelétrica representava 92,77%; já, em 2016, esse valor caiu para 65,84%. A geração de energia hidrelétrica é, por natureza, intermitente, sofrendo a influência do ciclo de chuvas para o abastecimento dos reservatórios das usinas e também a escassez de água nos rios nas pequenas centrais hidrelétricas (PCH), que são normalmente a fio d'água, ou seja, que se restringe à vazão do curso d'água, diferentemente da usina que represa a água.

De certa forma, o que se busca é uma complementariedade entre as fontes de energias renováveis que, normalmente, são intermitentes. Ou seja, busca-se complementar uma fonte renovável de geração de eletricidade com outra mais constante

de forma alternada. Assim, em um determinado período, quando o ciclo de chuvas estiver com baixa vazão, pode-se compensá-lo com geração eólica e/ou solar e vice-versa e, ainda, complementar o fornecimento de energia com uma fonte de base mais segura, como o gás natural ou nuclear.

Nesse novo cenário, as termoeletricas a gás ou nuclear podem auxiliar a geração de energia elétrica. Observe então que justamente o gás natural foi a fonte que apresentou o maior crescimento em sua participação. Em 1990, ele representava apenas 0,15% e, em 2016, passou para 9,76%. Assim, as termoeletricas a gás tornaram-se mais necessárias para garantir o fornecimento contínuo e seguro de energia elétrica. Por outro lado, provocaram também aumento de emissões de CO2 devido à queima de um combustível de natureza fóssil.

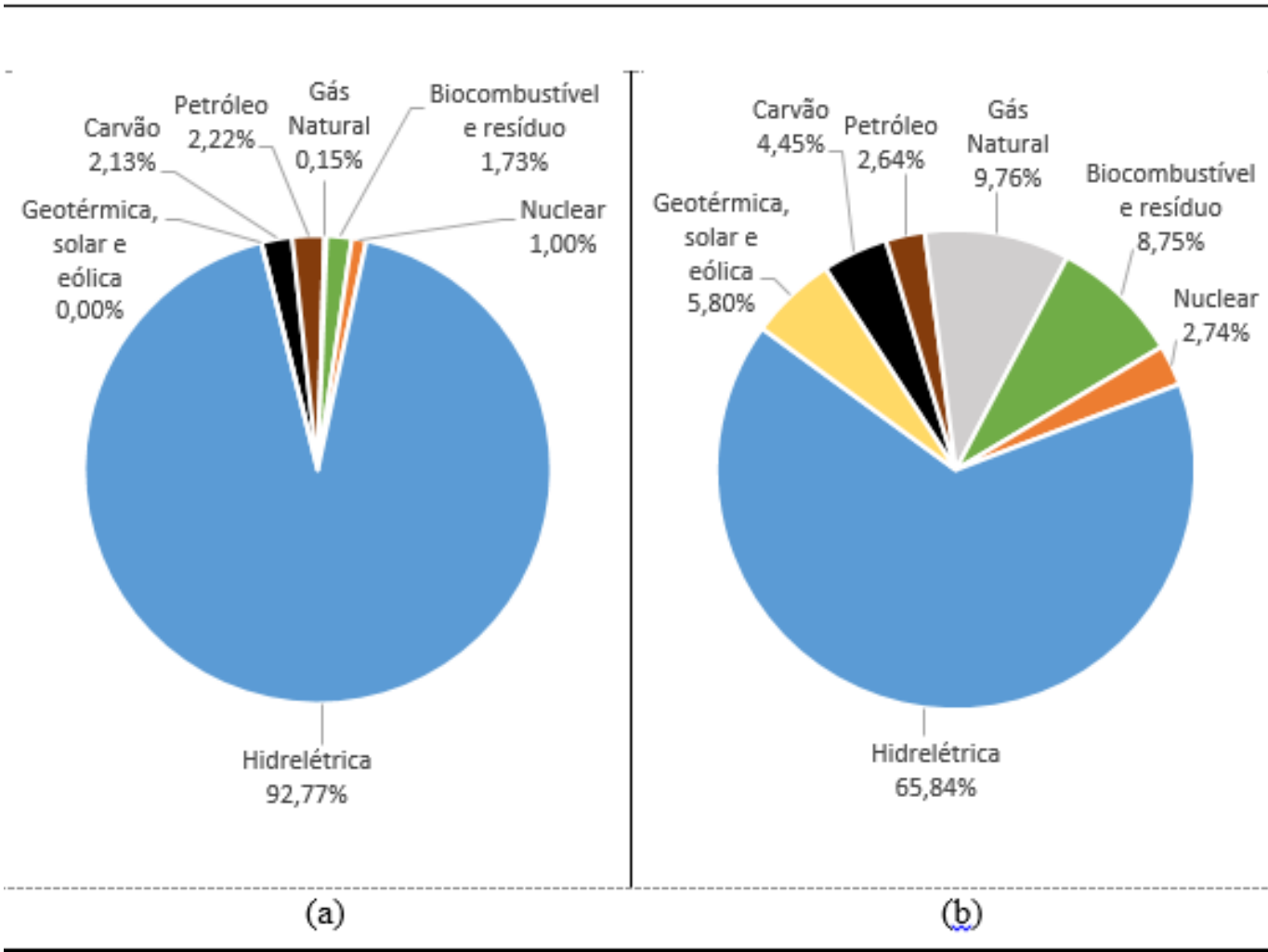


Figura 11 - Participações das fontes de geração de eletricidade do Brasil: (a) 1990 e (b) 2016.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

5.2 Geração de eletricidade no mundo

As principais fontes de energia para geração de eletricidade no mundo, no período de 1990 a 2016, estão apresentadas na Figura 12. O valor total de energia elétrica no mundo é de 25.044TWh em 2016. Observe que as fontes fósseis predominam na geração de eletricidade.

Observe, na Figura 13, as participações das fontes. Em 1990, os combustíveis fósseis representavam cerca de 63,16% (carvão, 37,29%; petróleo, 11,14%; e gás natural, 14,73%); em 2016, esse valor aumentou em 2%, passando para 65,16% (carvão,

38,31%; petróleo, 3,72%; e gás natural, 23,13%). Perceba que as fontes que apresentaram os maiores crescimentos foram o gás natural e o somatório da eólica, solar e geotérmica. O gás natural aumentou de 14,73%, em 1990, para 23,13%, em 2016, e o somatório da eólica, solar e geotérmica que, em 1990, representava 0,35%, passou para 5,50%, em 2016. Note ainda que o petróleo teve uma redução expressiva de 11,14%, em 1990, para 3,72%, em 2016.

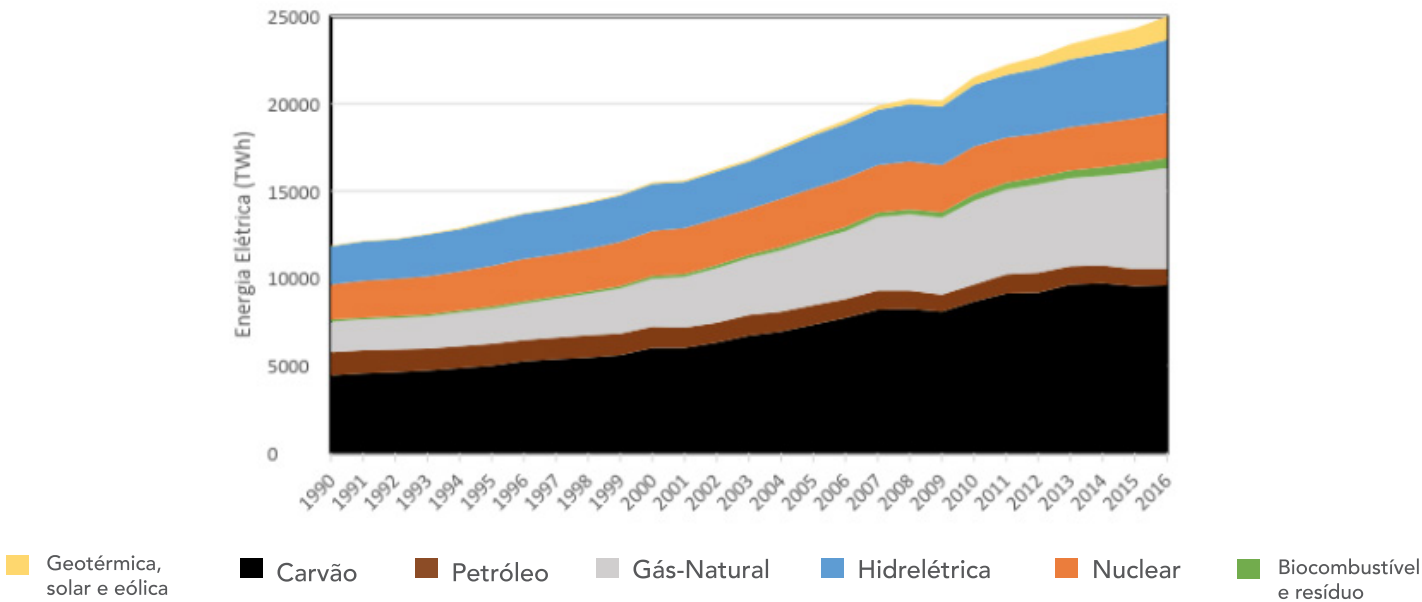


Figura 12 - Geração de eletricidade no mundo de 1990 a 2016.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

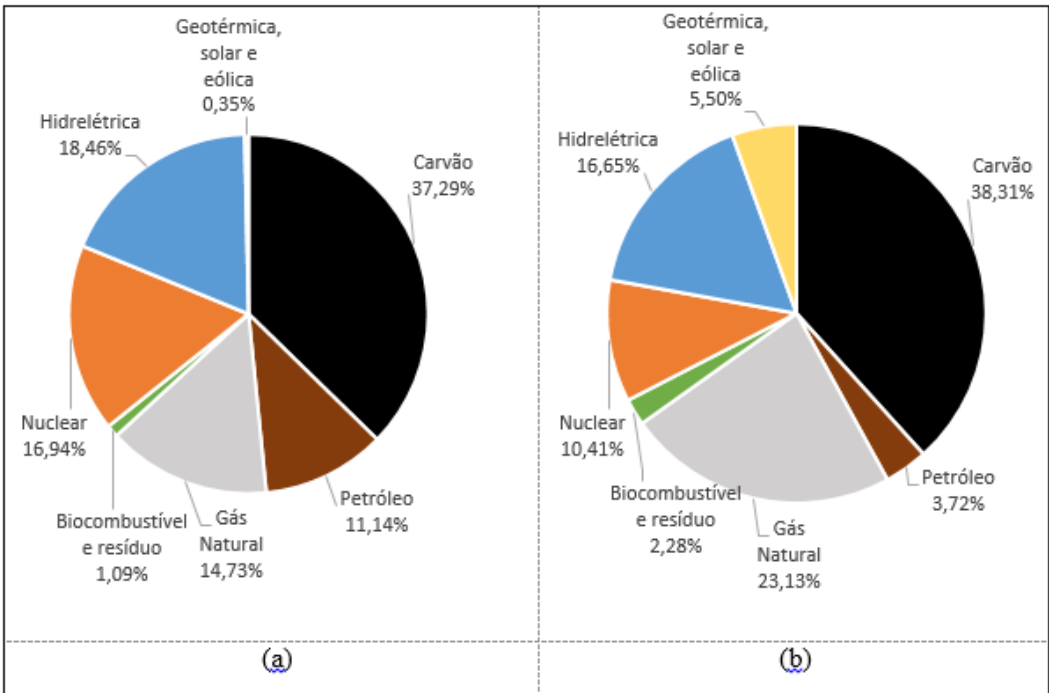


Figura 13 - Participações das fontes de geração de eletricidade do mundo: (a) 1990 e (b) 2016.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

5.3 Geração de eletricidade no mundo

As fontes de energia para geração de eletricidade nos países da OCDE, no período de 1990 a 2016, estão apresentadas na Figura 14. Observe que as fontes fósseis também predominam na geração de eletricidade da mesma forma que a média mundial.

No entanto, a principal diferença é que nos países mais desenvolvidos a geração de energia elétrica por fonte termonuclear tem maior importância. O valor máximo de suprimento de energia elétrica foi de 10.971TWh no ano de 2016.

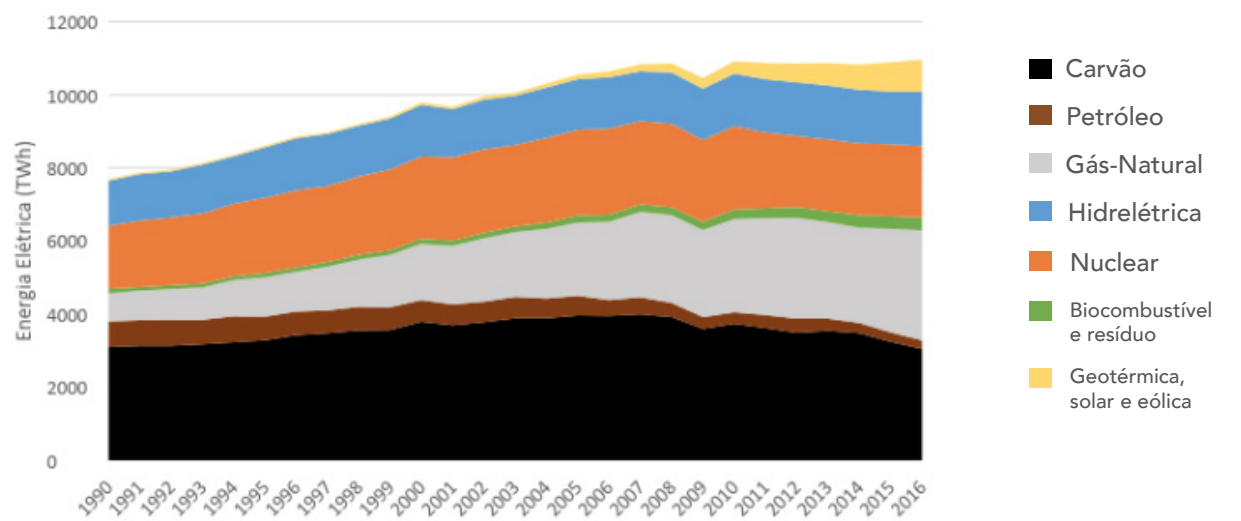


Figura 14 - Geração de eletricidade na OCDE de 1990 a 2016.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

Observe, na Figura 15, as seguintes principais fontes: carvão, gás natural e nuclear. Comparando os valores de 1990 e 2016, percebe-se pouca variação na utilização de combustíveis fósseis. No entanto, enquanto o carvão e o petróleo reduziram drasticamente, o gás natural teve um comportamento inversamente proporcional, com forte aumento de

sua participação na geração de eletricidade. Note também que as novas energias renováveis que, em 1990, representavam apenas 0,43%, em 2016, passaram a representar 8,08%. A tendência é que os novos renováveis continuem a apresentar um aumento em sua participação, principalmente pelos países mais desenvolvidos.

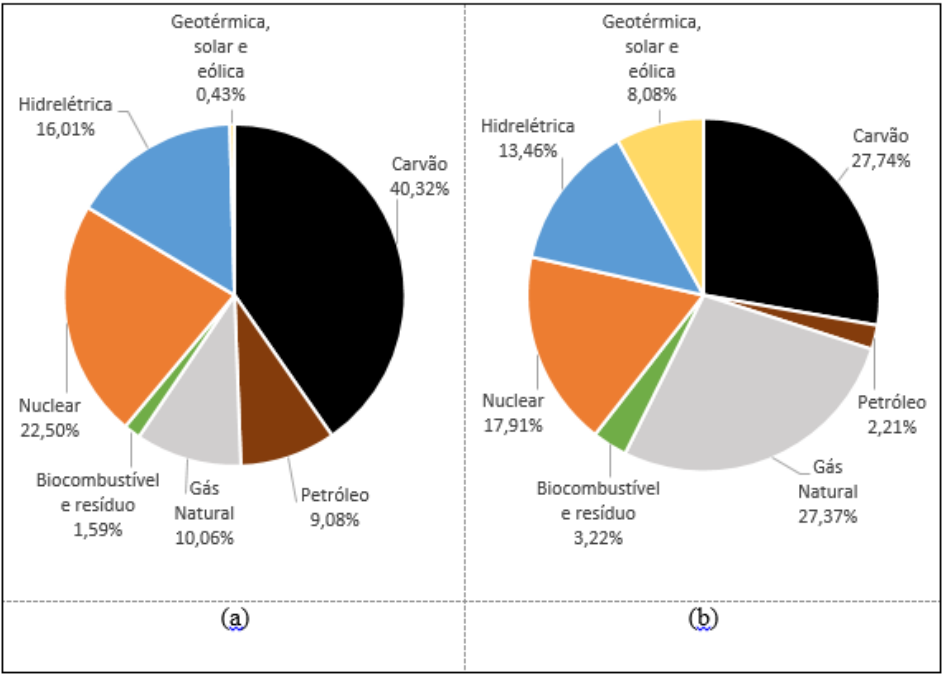


Figura 15 - Participações das fontes de geração de eletricidade da OCDE: (a) 1990 e (b) 2016.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

A Tabela 2 apresenta a comparação entre os valores das fontes de energias para a geração de eletricidade no Brasil, no mundo e na OCDE. Note a grande dependência de combustíveis fósseis do mundo e da OCDE. O Brasil, porém, se diferencia muito, com a grande participação de fontes não fósseis, principalmente com a geração hidrelétrica.

TABELA 2 - FONTES DE GERAÇÃO ELÉTRICA NO BRASIL, NO MUNDO E NA OCDE (DADOS DE 2016).

Tipo	Fonte	Brasil	Mundo	OCDE
Fontes fósseis	Carvão	4,45%	38,31%	27,74%
	Petróleo	2,64%	3,72%	2,21%
	Gás Natural	9,76%	23,13%	27,37%
Total das fontes fósseis		16,85%	65,16%	57,32%
Fontes não fósseis	Biocombustível e resíduo	8,75%	2,28%	3,22%
	Geotérmica, solar e eólica	5,80%	5,50%	8,08%
	Hidrelétrica	65,84%	16,65%	13,46%
	Nuclear	2,74%	10,41%	17,91%
Total das fontes não fósseis		83,15%	34,84%	42,68%

6- Principais países produtores de energias renováveis e nuclear

A Figura 16 apresenta os dez países maiores produtores de hidroeletricidade no ano de 2016. Perceba que os primeiros da lista são China, Canadá e Brasil, com, respectivamente, 28,6%; 9,3%; e 9,1% da parcela mundial. Note que esses três países, somados, geram praticamente a metade da eletricidade mundial por essa fonte.

Outra questão a se destacar é o fato de o Brasil e o Canadá estarem, respectivamente, em 2° e 4°

lugares no ranque dos países com maior quantidade de hidrelétricas em suas matrizes para a geração de eletricidade. No Brasil, essa fonte representa cerca de 65,8% e, no Canadá, 58%. Vale ainda mencionar que a Noruega, mesmo estando em 6° lugar entre os maiores produtores de hidroeletricidade, é o país com maior participação dessa fonte em sua matriz de eletricidade, com 96,2% (IEA, 2018).

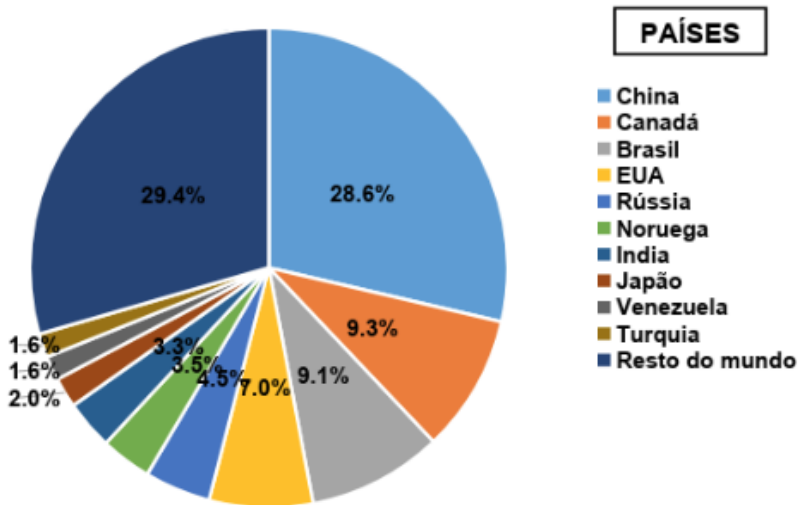


Figura 16 - 10 maiores produtores de energia hidrelétrica.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

A Figura 17 apresenta os dez países maiores produtores de eletricidade através de geração termonuclear. Note que os Estados Unidos e a França são os primeiros da lista. Em 2016, praticamente metade da geração mundial de eletricidade com energia nuclear foi gerada por eles. No caso, os Estados Unidos com 32,2% e a França com 15,5% da parcela mundial.

Embora a França esteja em segundo lugar, com

praticamente metade do valor comparado aos EUA, a fonte nuclear é a principal de sua matriz de geração elétrica, representando cerca de 73,1%. Esse valor posiciona a França em primeiro lugar no ranque dos países com maior participação da fonte nuclear em sua matriz elétrica. Já, para os EUA, essa fonte representa apenas 19,5% da matriz elétrica (IEA, 2018).

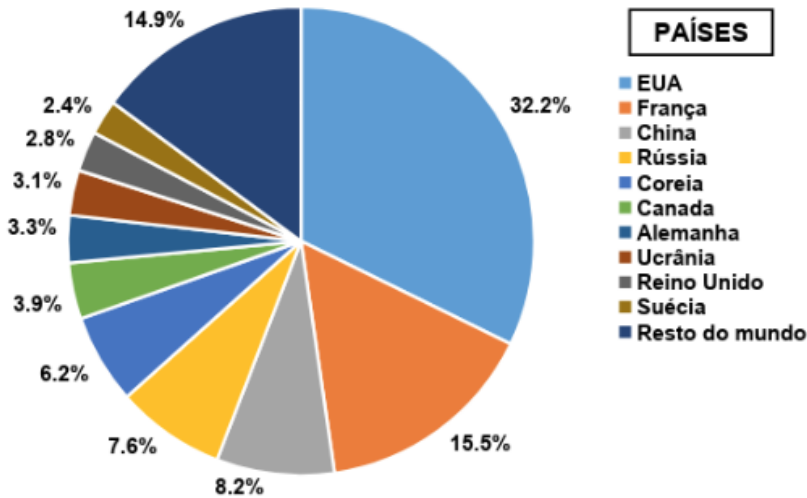


Figura 17 - 10 maiores produtores de energia nuclear.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

Observe, na Figura 18, os dez países maiores produtores de energia eólica no ano de 2016. Perceba que a China e os Estados Unidos praticamente sozinhos têm a metade do valor da parcela mundial de geração por essa fonte. A China é o maior produtor, com 24,7% da parcela mundial, e os Estados Unidos, o segundo, com 23,9%. Observe também que o Brasil está em sétimo lugar nesse ranque, com 3,4% da parcela mundial.

Uma questão que pode ser citada é a provável alteração e estabilização em outro patamar para o

ranque nos próximos anos. Ou seja, a energia eólica da mesma forma que a hídrica depende muito das dimensões territoriais dos países, por estarem fortemente relacionadas à quantidade de área para ocorrerem chuvas, ventos e/ou irradiação solar. Por isso, à medida que os diferentes países realizem os investimentos necessários às implantações dos novos empreendimentos para geração eólica, o referido ranque deve estabilizar de forma semelhante ao da geração hidrelétrica, com os países de maior extensão territorial no topo da lista.

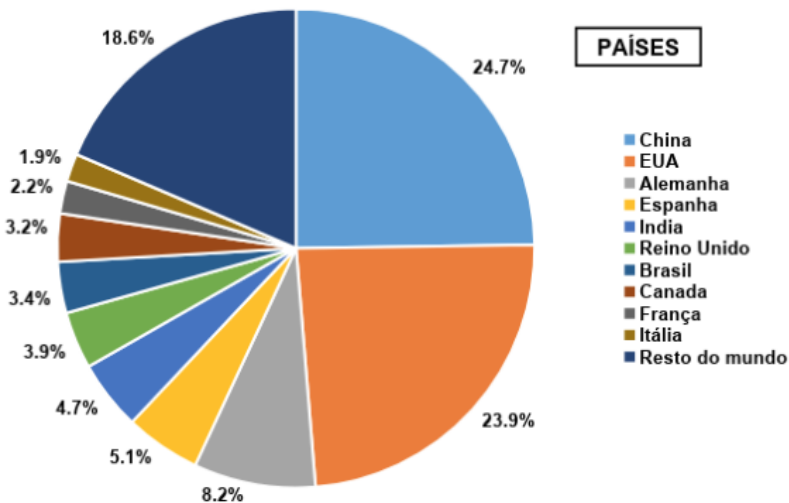


Figura 18 - 10 maiores produtores de energia eólica.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

A Figura 19 apresenta os dez países que mais produzem energia solar. Note que os maiores produtores são China, Japão, Estados Unidos e Alemanha. Esses países representam, respectivamente, 22,9%; 15,5%; 14,3%; e 11,6% da parcela mundial, totalizando mais de três quintos do total gerado pelo mundo. Note que, apesar de o Brasil possuir um grande potencial para geração dessa energia, ele ainda não aparece no ranque dos dez países.

De forma geral, as fontes de energia eólica e solar ainda representam uma pequena parcela da ge-

ração de eletricidade dos países por serem recentes e, conseqüentemente, com altos custos ainda necessários à implantação. Além disso, da mesma forma que a eólica, o ranque da energia solar deve estabilizar futuramente, com outros países no topo da lista. Ou seja, todas as fontes de energias renováveis estão, de certa forma, ligadas à extensão territorial e também ao tamanho das populações; assim, o ranque deve ser alterado para outro patamar a partir do crescimento do uso destas novas fontes de energias renováveis pelos diversos países.

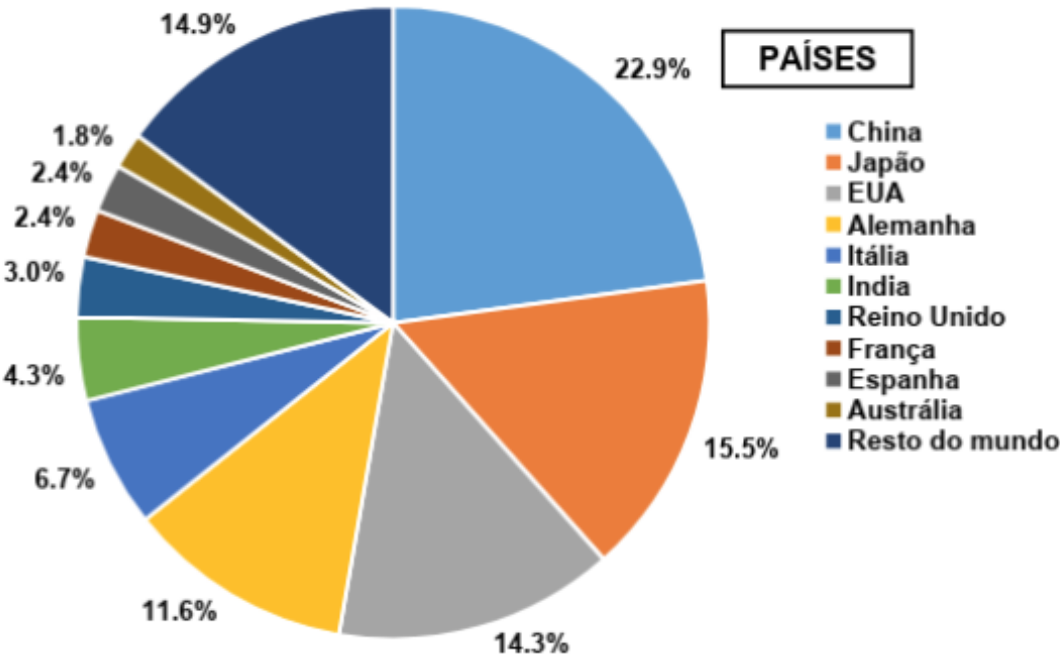


Figura 19 - 10 maiores produtores de energia solar.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

7- Análise das emissões de CO₂ e crescimento econômico

A análise das emissões gasosas relacionadas ao crescimento econômico é apresentada por meio do perfil de emissões de CO₂ e das forças motrizes da decomposição de Kaya.

Na Figura 20, encontram-se os perfis de emissões de CO₂ para o Brasil, o mundo e a OCDE, permitindo a comparação e identificação das forças motrizes que intensificam as emissões de CO₂ (CO₂/PIB), as emissões per capita (CO₂/POP) e as emissões totais de CO₂. As emissões totais de CO₂ estão representadas pelo diâmetro da circunferência. As setas indicam o caminho percorrido pelo País, a partir do ano de 1990, para 2016, em relação aos valores das coordenadas do gráfico (DONG et al., 2018). Nessa análise contextual, o desejado é que a seta aponte para o vértice dos eixos (ponto: 0,0). Essa situação demonstra que o crescimento popu-

lacional e o PIB apresentaram acréscimos maiores que as emissões de CO₂ (RANGEL& FEIJÓ, 2017).

Outro efeito desejado é a redução do tamanho da circunferência, que indica a redução da quantidade de CO₂ lançado na atmosfera. Nessa análise, o Brasil aumentou seus valores de emissões per capita e de intensidade de CO₂, conseqüentemente, distanciando-se do vértice. Já a OCDE e o mundo, diferentemente do Brasil, apresentaram uma evolução, aproximando-se mais do vértice. O mundo conseguiu reduzir sua intensidade de emissões de CO₂, mas aumentou suas emissões per capita. Já a OCDE conseguiu obter o resultado mais satisfatório e reduziu tanto as emissões per capita como a intensidade de emissões de CO₂, em acordo com as diretrizes internacionais de proteção socioambiental e estabilidade econômica.

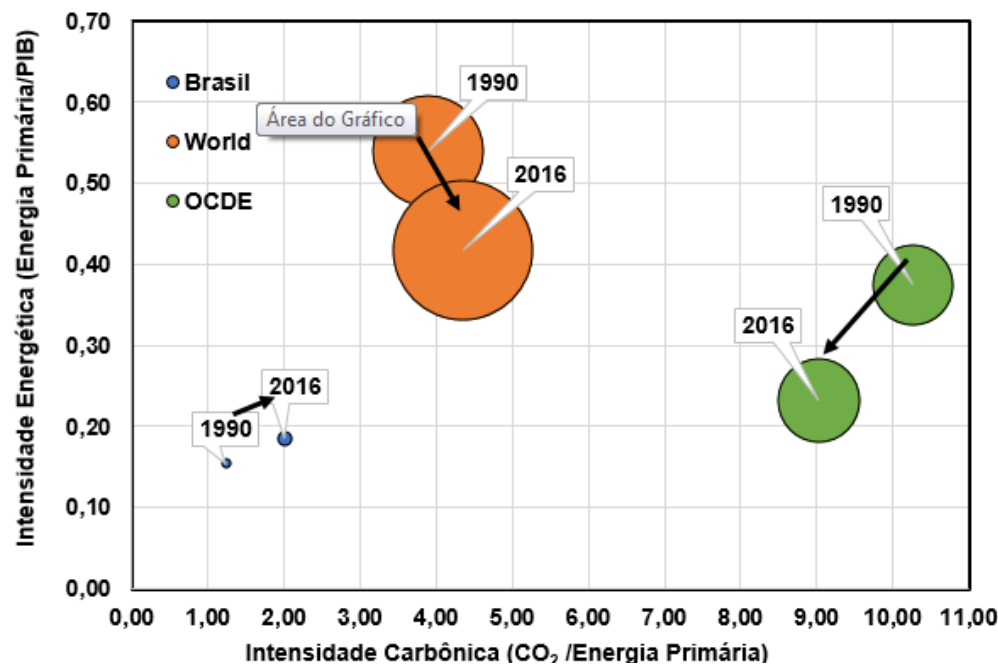


Figura 20: Intensidade de Emissão de CO₂ no Brasil, Mundo e OCDE em 1990 e 2016.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

As Figuras 21, 22 e 23 apresentam as forças motrizes da decomposição de Kaya para o Brasil, o mundo e a OCDE, respectivamente. De forma geral, o mais recomendado é que os valores relacionados às emissões de CO₂ e/ou à energia primária tenham redução e com os relacionados ao PIB, por sua vez, ocorra o inverso, ou seja, o aumento dos valores. Quando isso acontece, demonstra que o país e/ou região estão conseguindo obter crescimento econômico e populacional com redução das emissões GEE (DONG et al., 2019).

Nesse sentido, a Figura 21 ilustra que o crescimento das emissões de CO₂ relativo ao Brasil está maior que o crescimento do PIB, o que não é o desejado. Esses dados também indicam que ocorre redução de quase todos os valores após o ano de 2014. Isto, provavelmente, não parece caracterizar uma alteração de comportamento, ou tendência, associado à eficiência energética, mas sim devido à crise econômica registrada no País nesse período (FEIJÓ e RANGEL, 2018).

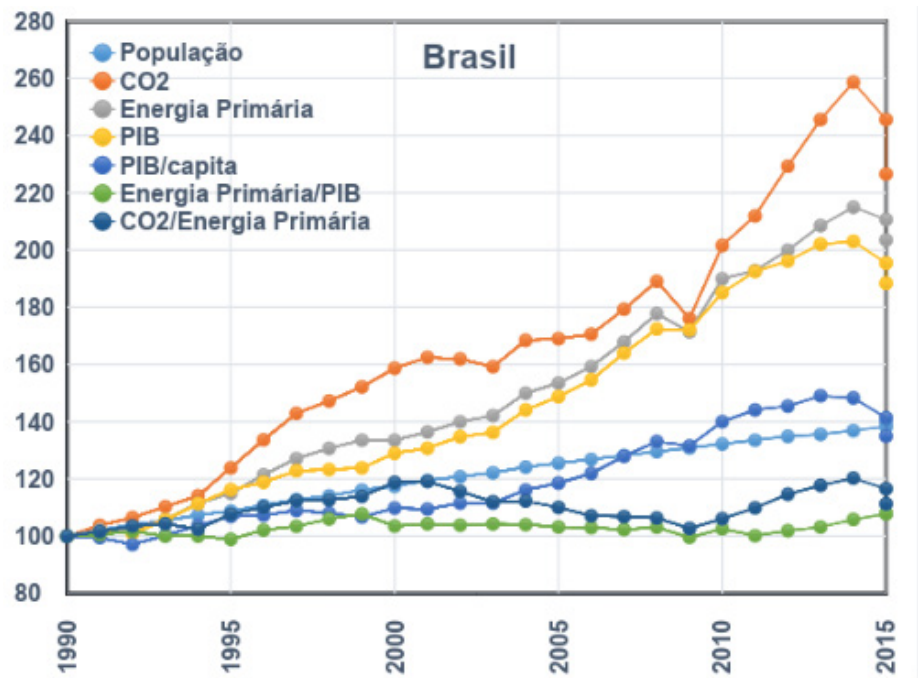


Figura 21 – Emissões de CO₂ (Decomposição de Kaya) do Brasil.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

No mundo (Figura 22) e nos países da OCDE (Figura 23), o crescimento do PIB tem sido maior do que as emissões de CO₂. No caso da OCDE, está

ocorrendo redução da energia e, consequentemente, das emissões de CO₂, fato positivo que merece ser destacado.

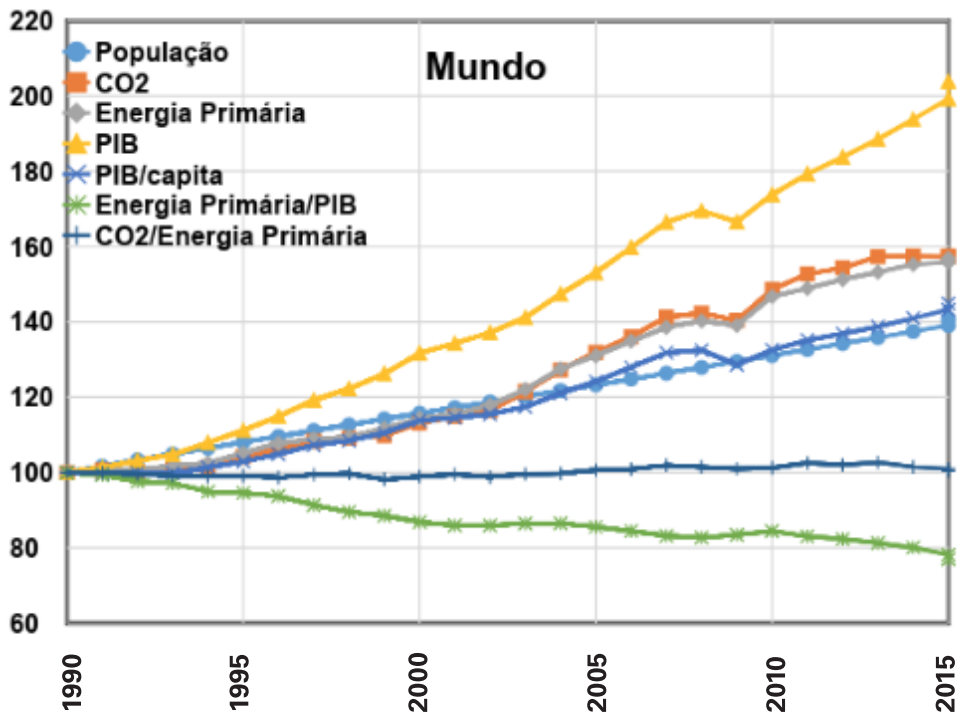


Figura 22 – Emissões de CO₂ (Decomposição de Kaya) do mundo.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

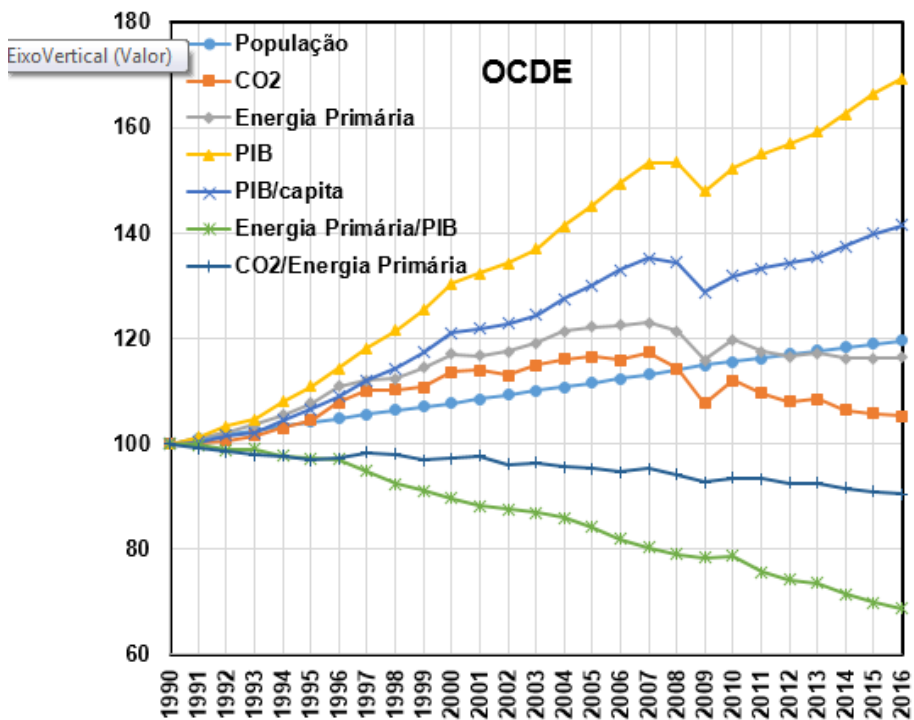


Figura 23 – Emissões de CO₂ (Decomposição de Kaya) da OCDE.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

Figura 23 – Emissões de CO₂ (Decomposição de Kaya) da OCDE.
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

A Tabela 3 apresenta uma comparação entre os valores percentuais das variações das forças motrizes relativas à decomposição de Kaya para Brasil, mundo e OCDE. Note a discrepância da ordem de grandeza dos valores relacionados ao Brasil. Fica evidente a clara necessidade de mudança de comportamento (TEIXEIRA e RANGEL, 2018).

TABELA 3 - EMISSÕES DE CO₂ PARA BRASIL, MUNDO E OCDE, NO ANO DE 2016.

Indicadores	Brasil	Mundo	OCDE
População	+ 39,60%	+ 40,70%	+ 19,66%
CO ₂	+ 126,63%	+ 57,50%	+ 5,21%
TPES	+ 103,57%	+ 56,84%	+ 16,37%
PIB	+ 88,43%	+ 103,89%	+ 69,35%
PIB/capita	+ 34,98%	+ 44,91%	+ 41,52%
TPES/PIB	+ 10,78%	- 21,74%	- 26,67%
CO ₂ /TPES	+ 11,33%	+ 0,42%	- 9,59%

Desta forma, o único valor que pode registrar crescimento percentual mais elevado é o relativo ao PIB. Todos os outros devem ter um crescimento modesto, como o populacional, ou uma redução dos valores (EHRlich e HODREN, 1971). No caso do Brasil, todos os valores apresentaram crescimento positivo, o que não é recomendado, logicamente.

A Figura 24 apresenta o consumo de energia primária por habitantes (tep/capita) de alguns países,

do mundo e da OCDE. Observe que há uma enorme diferença, em um fator próximo de dez, entre os EUA e todo o continente africano, por exemplo. Note também que os EUA e os países da OCDE estão conseguindo reduzir a energia primária em relação à população. Note ainda o crescimento da energia primária na China, que demonstra o resultado da demanda energética em consequência do forte crescimento da economia.

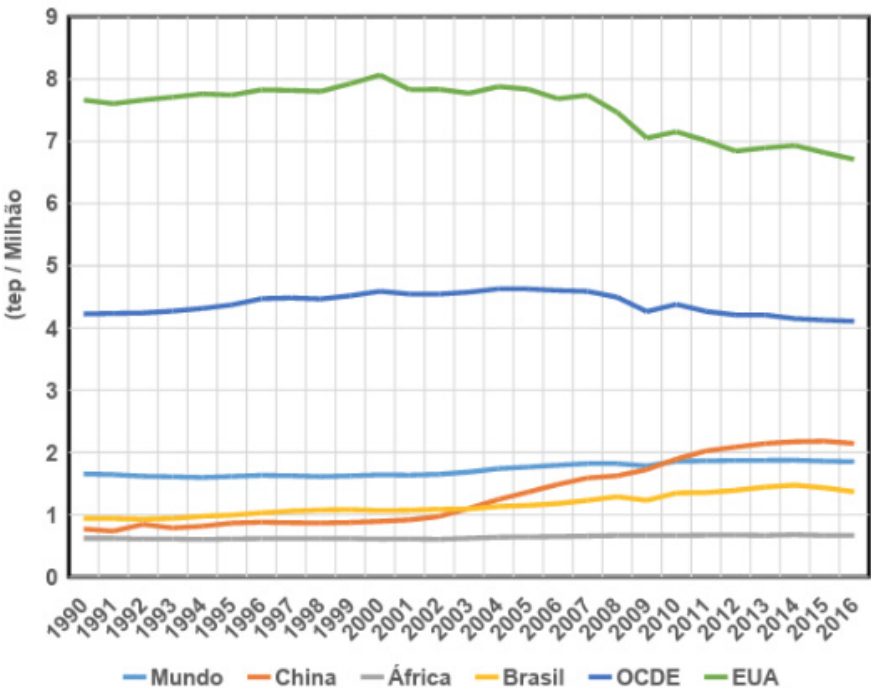


Figura 24 – Energia primária per capita
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessados em outubro de 2018.

Além disso, pode-se observar mais duas coisas. Primeiro, que os EUA gastam quase o dobro da energia por habitante que os países da OCDE, apesar de terem índices próximos de desenvolvimento e climas semelhantes. Isso pode estar relacionado com o tamanho da frota de automóveis desses países. Segundo, que, apesar de o Brasil ser ligeira-

mente mais desenvolvido que a China, segundo os índices de desenvolvimento (IDH, por exemplo), a China gasta mais energia por habitante que o Brasil. Isso deve estar associado, provavelmente, à diferença climática entre os dois países e, consequentemente, ao gasto de energia para calefação na China.

8- Considerações finais

Este trabalho apresentou uma descrição da matriz energética brasileira, do mundo e da OCDE. Verificou também as principais forças motrizes responsáveis pelas emissões de CO₂ oriundas da queima de combustíveis fósseis, no período de 1990 a 2016.

Os resultados obtidos confirmaram que a matriz energética brasileira é relativamente menos poluente quando comparada com o mundo e a OCDE. No entanto, quando observados os valores das emissões de CO₂ do Brasil no período estudado, verificou-se que ocorreu um aumento superior ao crescimento da economia do País. Este resultado, no entanto, diverge dos valores encontrados para o mundo e para a OCDE. Ou seja, de certa forma, o que se nota é que os países mais desenvolvidos e também a média dos países do mundo estão conseguindo atingir um crescimento econômico maior do que as emissões de gases poluentes lançados na atmosfera.

Logicamente, não está sendo garantido aqui, neste estudo, que ocorreu uma guinada nos padrões mundiais relacionados aos energéticos utilizados pelos diversos países e, consequentemente, o início seguro da redução dos níveis de GEE. Mas, de certa forma, este estudo indica que a entrada das novas energias renováveis pode estar proporcionando o início de uma certa “descarbonização” no planeta, como almejado por todos.

Por outro lado, justamente devido à entrada cada vez maior das novas fontes de energias renováveis, como a solar e eólica, principalmente, que são por natureza intermitentes, está havendo a necessidade de ampliação da utilização de outra fonte de suprimento mais estável. Com isso, o que se tem buscado é a utilização de uma fonte de energia que proporcione complementariedade e garanta, assim, maior segurança ao sistema de geração de eletricidade. Ou seja, a intermitência inerente às fontes de energia solar, eólica e, também, da já tradicional hídrica provoca a necessidade de se dispor de outra fonte que garanta um suprimento contínuo e que dê segurança ao sistema de geração de energia elétrica. Neste contexto, o gás natural parece que foi o combustível escolhido como o mais viável para atender a este quesito.

Assim, o gás natural deve se tornar, a partir de agora, a fonte de energia a ser empregada na base do sistema de geração de eletricidade, de forma a manter o suprimento mais seguro contra risco de fa-

lha de abastecimento. Ou melhor dizendo, há a clara necessidade de expansão no uso do gás natural na esteira do crescimento das novas energias renováveis. No entanto, apesar de o gás natural ser o energético menos poluente dentre os combustíveis fósseis, não está livre de emitir CO₂ na atmosfera, por ser também um hidrocarboneto.

De certa forma, estas questões aqui apresentadas trarão consequentemente e sempre a necessidade de acompanhamento e avaliação do sistema de geração de energia elétrica e, por sua vez, a análise da composição da matriz energética como um todo. Assim, enquanto alguns novos energéticos são introduzidos nas matrizes dos países por serem menos impactantes nas emissões de CO₂, há também o aumento de outros que não o são. No entanto, em relação ao balanço geral das diferentes energias primárias, a notícia parece ser positiva no contexto global. O fato é que tudo indica que vem ocorrendo uma redução dos níveis de emissões de GEE nesta conta.

Além disso, existe também a melhoria em relação à eficiência energética. A eficiência energética é, de forma geral, resultado da redução da quantidade de energia utilizada por cada indivíduo, mantendo-se, sob certos aspectos, os mesmos padrões comportamentais e de renda. Este é um fenômeno recorrente que ocorreu ao longo de todo o processo de evolução do homem no planeta. Ou seja, nós, seres humanos, se estivéssemos utilizando a energia da mesma forma que há um século atrás, por exemplo, com a mesma eficiência energética, simplesmente não teríamos, hoje, energia suficiente para atender às necessidades básicas de todas as pessoas ou já teríamos “acabado” com o oxigênio da Terra.

Por fim, pode-se dizer que a substituição de combustíveis fósseis por energias renováveis, o aumento da eficiência energética e a redução do perfil de demanda energética das pessoas são as premissas básicas que devem nortear as ações dos países para se atingir níveis mais aceitáveis das emissões de gases prejudiciais ao planeta. Com isso, vale registrar que o acompanhamento contínuo da composição das matrizes energéticas e, consequentemente, das emissões de CO₂ deve ser uma ação regular e permanente para se atingir o progresso econômico e o desenvolvimento sustentável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo apoio financeiro para este trabalho.

REFERÊNCIAS

DONG, F. et al. Drivers Analysis of CO₂ Emissions from the Perspective of Carbon Density: The Case of Shandong Province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 8, p. 1762, 16 ago. 2018.

DONG, K. et al. Driving forces and mitigation potential of global CO₂ emissions from 1980 through 2030: Evidence from countries with different income levels. *Science of The Total Environment*, v. 649, p. 335–343, fev. 2019.

EHRlich, P. R.; HOLDREN, J. P. Impact of Population Growth. *Science*, v. 171, n. 3977, p. 1212–1217, 1971.

FEIJÓ, G. D. 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*, v. 46, 31 ago. 2018.

HENRIQUES, S. T.; BOROWIECKI, K. J. The drivers of long-run CO₂ emissions in Europe, North America and Japan since 1800. *Energy Policy*, v. 101, p. 537–549, fev. 2017.

IEA. Key World Energy Statistics 2018. p. 51, 2018.

KAYA, Y. Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of proposed scenarios. In: IPCC ENERGY AND INDUSTRY SUBGROUP, RESPONSE STRATEGIES WORKING GROUP. Paris: 8 maio 1989

GOLDEMBERG, J; LUCON, O. Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento, EdUSP/2008.

MA, X. et al. Carbon emissions from energy consumption in China: Its measurement and driving factors. *Science of The Total Environment*, v. 648, p. 1411–1420, jan. 2019.

MMA. Acordo de Paris. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>. Acesso em: 17 set. 2018.

RAIMUNDO, D. R. et al. Evaluation of greenhouse gas emissions avoided by wind generation in the Brazilian energetic matrix: A retroactive analysis and future potential. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 137, p. 270–280, out. 2018.

RANGEL, J. J. A.; FEIJO, G. R. Análise do Perfil das Emissões de Dióxido de Carbono dos EUA nas Últimas Décadas. *Petróleo, Royalties E Região*, v. 56, p. 25-31, 2017.

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. Intended nationally determined contribution towards achieving the objective of the United Nations Framework Convention on Climate change, 29 set. 2015. Disponível em: <<https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/Brazil/1/BRAZIL%20iNDC%20english%20FINAL.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2018

RÜSTEMO-LU, H.; ANDRÉS, A. R. Determinants of CO₂ emissions in Brazil and Russia between 1992 and 2011: A decomposition analysis. *Environmental Science & Policy*, v. 58, p. 95–106, abr. 2016.

SACHS, I. A revolução energética do século XXI. *Estudos Avançados*, v. 21, n. 59, p. 21–38, abr. 2007.

SCHUTTE, G. R. Energia e desenvolvimento sustentável no Brasil: trajetórias recentes e perspectivas. *Friedrich Ebert Stiftung*, p. 51, ago. 2014.

TEIXEIRA, C. A. A. ; RANGEL, J. J. A. . Análise do Perfil das Emissões de CO₂ no Brasil nas Últimas Décadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 11, 2018. Cuiabá - MT. XI v. 1. p. 1-12

UNFCCC. Adoption of the Paris agreement. Paris: United Nations Framework Convention on Climate Changes, 2015.

Consulte as edições anteriores

Boletim, Petróleo, Royalties e Região

Acompanhe no site
www.royaltiesdopetroleo.ucam-campos.br

