

# NOSSA CAPA



## A GEOPOLÍTICA DA ENERGIA DE BAIXO CARBONO

LEONAM DOS SANTOS GUIMARÃES\*  
Capitão de Mar e Guerra (RM1-EN)

---

### SUMÁRIO

Introdução  
Uma nova geopolítica da energia  
Energia limpa x combustíveis fósseis  
Energia limpa x energia limpa  
Combustíveis fósseis x combustíveis fósseis  
Energias renováveis x Energia Nuclear  
Prosumidores de energia elétrica  
Transmissão de eletricidade  
Aceitação pública  
Armazenamento de energia  
O caso do Brasil  
Decisões em meio à transição  
Conclusões

---

\* Doutor em Engenharia, diretor de Planejamento, Gestão e Meio Ambiente da Eletrobrás Eletronuclear e membro do Grupo Permanente de assessoria do Diretor-Geral da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). Colaborador assíduo da RMB.

## INTRODUÇÃO

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC)<sup>1</sup> é uma convenção universal de princípios que reconhece a existência de mudanças climáticas antropogênicas, ou seja, de origem humana, e dá aos países industrializados a maior parte da responsabilidade para combatê-las. A UNFCCC foi adotada durante a Cúpula da Terra do Rio de Janeiro, em 1992, e entrou em vigor no dia 21 de março de 1994. Ela foi ratificada por 196 Estados, que constituem as partes para a Convenção.

A Conferência das Partes (COP), constituída por todos Estados-Partes, é o órgão decisório da Convenção. Reúne-se a cada ano em uma sessão global onde decisões são tomadas para cumprir as metas de combate às mudanças climáticas. As decisões só podem ser tomadas por consenso ou por unanimidade pelos Estados-Partes. A COP realizada em Paris de 30 de novembro a 11 de dezembro de 2015 foi a 21ª, portanto COP21<sup>2</sup>.

Ao final da COP21, em 12 de dezembro, um novo acordo global que busca combater

os efeitos das mudanças climáticas, bem como reduzir as emissões de gases de efeito estufa, foi estabelecido. O documento, chamado de Acordo de Paris<sup>3</sup>, foi ratificado pelas 195 partes da Convenção-Quadro. Um dos objetivos é manter o aquecimento global “muito abaixo de 2° C”, buscando ainda “esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5° C acima dos níveis pré-industriais”.

No que diz respeito ao financiamento climático, o texto final do acordo determina que os países desenvolvidos devam investir 100 bilhões de dólares por ano em medidas de mitigação dos efeitos da mudança do clima e correspondente adaptação em países em desenvolvimento.

Em 7 de novembro de 2016 foi inaugurada a COP22, em Marrakesh, Marrocos, com término em 18 de novembro. Entretanto, a COP22 chegou ao seu último dia<sup>4</sup> sem avanços expressivos nas negociações climáticas. Nessa conferência, os negociadores precisariam construir um consenso sobre uma série de processos que tornem possível colocar em prática o Acordo de Paris.

Note-se que o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Unep<sup>5</sup>)

**As temperaturas mundiais aumentarão até certo ponto e vários impactos negativos, como marés crescentes que inundam áreas costeiras, padrões de chuvas alterados impactando a produtividade agrícola e tempestades mais frequentes e mais fortes, parecem inevitáveis**

1 United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC, <http://newsroom.unfccc.int/>

2 Paris Climate Change Conference – COP 21, November 2015, [http://unfccc.int/meetings/paris\\_nov\\_2015/meeting/8926.php](http://unfccc.int/meetings/paris_nov_2015/meeting/8926.php)

3 FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1, Adoption of the Paris Agreement, <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf>

4 <http://g1.globo.com/natureza/noticia/cop-22-chega-ao-ultimo-dia-sem-avancos-expressivos-nas-negociacoes-climaticas.ghml>

5 United Nations Environment Program, <http://www.unep.org/>

lançou na COP22 seu relatório de emissões 2016<sup>6</sup>, mostrando que as metas de redução das emissões de gases de efeito estufa previstas pelo acordo estão defasadas, o que demanda um esforço dos países para além dos objetivos delineados na COP21.

Fica então claro que, ainda que os Estados-Partes da UNFCCC cumpram coletivamente o Acordo de Paris, sem um novo acordo internacional que garanta cortes adicionais nas emissões de gases de efeito estufa, o dióxido de carbono atmosférico e, conseqüentemente, as temperaturas, continuarão a subir e atingir níveis inaceitáveis.

Mesmo no melhor dos casos, em que as nações cumpram os objetivos de Paris e, depois de rodadas adicionais de negociação, adotem metas de reduções mais ambiciosas, ainda assim significativos impactos das mudanças climáticas ocorrerão.

As temperaturas mundiais aumentarão até certo ponto e vários impactos negativos, como marés crescentes que inundam áreas costeiras, padrões de chuvas alterados impactando a produtividade agrícola e tempestades mais frequentes e mais fortes, parecem inevitáveis.

Dentre as mais importantes medidas de mitigação encontra-se a paulatina substituição das fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis, carvão, petróleo e gás

natural (81% da oferta global de energia<sup>7</sup> em 2015) por energias de baixo carbono (19%), renováveis<sup>8</sup> (14%) e nuclear<sup>9</sup> (5%). Como as energias de baixo carbono são basicamente fontes para geração elétrica, a descarbonização da economia mundial que se espera decorrer dos acordos climáticos implica maior eletrificação no uso da energia. Atualmente, a oferta global de eletricidade<sup>10</sup>, que representa cerca de 42% da oferta global de energia, é formada por combustíveis fósseis (67%) e energias de baixo carbono (33%), renováveis (22%) e nuclear (11%).

Esses números mostram que uma transformação energética global extraordinária será necessária para que o mundo desacelere de forma significativa o processo de mudança climática em andamento.

Quanto menos eficazes forem as medidas de mitigação estabelecidas nos acordos pelos Estados-Partes, maiores medidas de adaptação<sup>11</sup> serão requeridas. Os acordos, entretanto, pouco propõem em termos de metas para adaptação.

Há, no entanto, toda uma categoria de impactos das mudanças climáticas que tem recebido muito pouca atenção, talvez porque seus efeitos sejam indiretos. Essas conseqüências não resultarão do aumento das temperaturas mundiais, mas das tentativas do mundo de limitar esses aumentos

## **A transição para fontes de energia com baixa emissão de dióxido de carbono criará novos vencedores e perdedores geopolíticos**

6 The Emissions Gap Report 2016, A UNEP Synthesis Report, [http://uneplive.unep.org/media/docs/theme/13/Emissions\\_Gap\\_Report\\_2016.pdf](http://uneplive.unep.org/media/docs/theme/13/Emissions_Gap_Report_2016.pdf)

7 IEA World Energy Outlook <http://www.worldenergyoutlook.org/publications/>

8 REN21, Renewables 2016 Global Status Report, [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21\\_GSR2016\\_FullReport\\_en\\_11.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21_GSR2016_FullReport_en_11.pdf)

9 World Nuclear Association – WNA, World Nuclear Performance Report 2016, <http://world-nuclear.org/getmedia/b9d08b97-53f9-4450-92ff-945ced6d5471/world-nuclear-performance-report-2016.pdf.aspx>

10 US EIA, International Energy Outlook 2016 (IEO2016) <http://www.eia.gov/forecasts/ieo/electricity.cfm>

11 UNEP Climate Change Adaptation <http://www.unep.org/climatechange/adaptation/Default.aspx>

e mitigar suas consequências. Na medida em que a comunidade internacional tenta reduzir e eventualmente eliminar as emissões de gases de efeito estufa, os sistemas energéticos globais passarão por uma enorme transformação.

Dependendo da velocidade em que os acordos climáticos forem firmados e suas metas efetivamente atingidas, as nações do mundo paulatinamente reduzirão sua dependência dos combustíveis fósseis, carvão, petróleo e gás natural, que impulsionaram a Revolução Industrial e criaram riquezas e uma correspondente dinâmica de poder que por muito tempo vem ditando as relações internacionais. A Grã-Bretanha governou os mares por algumas centenas de anos, e o século XX foi americano, em grande parte por causa do poder militar e econômico-financeiro

possibilitado pela posse e pelo uso intensivo dos combustíveis fósseis no transporte e na indústria.

A transição para fontes de energia com baixa emissão de dióxido de carbono, como solar, eólica e nuclear, para citar as três que estão hoje no estágio de desenvolvimento tecnológico e industrial mais avançado, certamente também criará novos vencedores e perdedores geopolíticos. A questão que se coloca nesta situação é: como e quanto a dinâmica atual de poder global será afetada pela mudança dos combustíveis fósseis para as energias de baixo carbono?

A resposta a esta pergunta requer um arcabouço conceitual mais amplo que busque identificar como a geopolítica energética

está mudando o poder dos países ricos em combustíveis fósseis para aqueles que desenvolvem soluções com baixas emissões de carbono.

A transformação energética à qual os acordos climáticos se propõem também mudará a dinâmica de poder entre as nações, e novos arranjos de segurança internacional serão necessários para manter a paz entre as potências que disputam vantagens na próxima era das energias de baixo carbono. A nova geopolítica da energia que

**A transformação energética à qual os acordos climáticos se propõem também mudará a dinâmica de poder entre as nações, e novos arranjos de segurança internacional serão necessários para manter a paz**

está surgindo requer muita atenção dos países que pretendam se reposicionar melhor nessa transição.

Há três razões fundamentais para que a questão energética seja tão importante. Primeiro, a energia está no cerne da geopolítica, uma questão de riqueza e poder, o que significa que pode ser tanto uma fonte de conflito como uma base para a coo-

peração internacional. Em segundo lugar, a energia é essencial para a forma como a economia funciona e o meio ambiente é gerido no século XXI. A promoção de novas tecnologias e fontes de energia para reduzir a poluição, diversificar o fornecimento de energia, criar empregos e enfrentar a ameaça das alterações climáticas é fator crucial. As energias de baixo carbono, em especial as renováveis e a nuclear, têm um papel fundamental a desempenhar em cada um destes esforços. Em terceiro lugar, a energia é a chave para o desenvolvimento e a estabilidade política. Existem 1,3 bilhões de pessoas em todo o mundo que não têm acesso à energia. Isso é inaceitável em termos econômicos e de segurança.

Alguns trabalhos vêm sendo realizados no mundo buscando avaliar os impactos das energias renováveis<sup>12</sup> e da energia nuclear<sup>13</sup>, nas tecnologias de baixo carbono que tem hoje o maior desenvolvimento, na geopolítica e nos equilíbrios de poder globais. Esses impactos estão apenas começando a ser entendidos. Uma nova geopolítica da energia<sup>14</sup> está surgindo.

O presente trabalho objetiva fomentar este debate no Brasil, onde ele é ainda muito incipiente, tendo em vista sua importância para o estabelecimento de políticas sobre o tema.

## UMA NOVA GEOPOLÍTICA DA ENERGIA

O Acordo de Paris tem o potencial de mudar radicalmente o consumo global de energia mundial, de um *mix* dominado por combustíveis fósseis para um impulsionado por tecnologias de baixo carbono. É claro que, se isso acontecer, os países produtores de combustíveis fósseis terão de ajustar suas economias para refletir menores ganhos com exportação de petróleo, carvão e gás natural. A ascensão das energias renováveis e o renascimento da energia nuclear também podem criar novos centros de poder geopolítico.

À medida que os recursos de energia de baixa emissão de carbono se tornam amplamente disseminados, espera-se que o lado da oferta seja geopoliticamente menos influente do que na era dos combustíveis fósseis. Em vez de se concentrar apenas em três grandes recursos, carvão, petróleo

e gás natural, a nova geopolítica da energia pode depender de muitos fatores adicionais, como o acesso às tecnologias, linhas de transmissão, materiais estratégicos, patentes, armazenamento e despacho de carga, para não falar das imprevisíveis políticas governamentais.

Apesar da incerteza, não há dúvida de que o equilíbrio de poder na geopolítica energética está mudando dos países proprietários de combustíveis fósseis para os que estão desenvolvendo soluções de baixo carbono.

O cumprimento dos objetivos estabelecidos no Acordo de Paris requer mudanças dramáticas no *mix* energético global. Para atingir seus objetivos, será necessário, num futuro próximo, não só uma expansão drástica na produção de energia por tecnologias de baixas emissões de carbono, acompanhada de uma retração no uso de combustíveis fósseis, como também uma ampla utilização de tecnologias de carbono negativo, ou seja, aquelas que removem o dióxido de carbono da atmosfera, na segunda metade do século XXI, conforme o Painel Intergovernamental para Mudança Climática (IPCC) propôs no seu relatório de 2014<sup>15</sup>.

Os séculos XX e XXI foram profundamente moldados pela geopolítica da energia, que pode ser definida como a forma com que os países buscam atingir seus objetivos estratégicos por meio da oferta e demanda de energia. Existe uma vasta literatura que mostra que a garantia de suprimento de energia, especialmente na forma de gás natural ou petróleo, foi e con-

12 Scholten, D., and R. Bosman. 2016. "The Geopolitics of Renewables; Exploring the Political Implications of Renewable Energy Systems", <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162515003091>

13 Tucker, W., "The Shifting Geopolitics of Nuclear Energy: Russia and China Are Becoming Nuclear Titans", <http://forumonenergy.com/2015/11/06/the-shifting-geopolitics-of-nuclear-energy/>

14 Guimarães, L.S., "A Nova Geopolítica da Energia", FGV Energia, [http://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/\\_leonam\\_dos\\_santos\\_-\\_geopolitica\\_0.pdf](http://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/_leonam_dos_santos_-_geopolitica_0.pdf)

15 Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC), 2014, "Climate Change 2014 Synthesis Report, Summary for Policymakers.", [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf)

tinua a ser uma consideração importante em muitas decisões políticas<sup>16</sup>. Tanto os altos preços do petróleo da década de 1970 como os baixos preços do petróleo de hoje podem ser atribuídos a considerações geopolíticas.

O último declínio de preços do petróleo foi impulsionado por produtores tradicionais que tentam evitar a perda de participação de mercado para produtores norte-americanos que estão usando novas tecnologias para extrair petróleo de formações de xisto, agora conhecido como o impasse “sheikhs x xisto”<sup>17</sup>. A redução das receitas de exportação de óleo como uma “sanção informal”<sup>18</sup> do Ocidente sobre a Rússia em consequência da crise da Ucrânia e anexação da Crimeia certamente também teve um importante papel. Na verdade, situação similar ocorreu na era Reagan-Gorbachov.

Hoje, o equilíbrio de poder na geopolítica da energia está se alterando. As tecnologias de baixo carbono associadas, transitoriamente, à exploração do petróleo não convencional, têm o potencial de reduzir o poder geopolítico dos produtores tradicionais de combustíveis fósseis, porque essas alternativas de baixo carbono oferecerão diversificação e maior segurança energética, especialmente para os países que dependem fortemente de importações de combustíveis fósseis. É, entretanto, muito difícil prever quem serão os vencedores e perdedores nesta nova configuração porque há muitos elementos a considerar, o que traz significativas incertezas em qualquer avaliação.

Na geopolítica da energia tradicional<sup>19</sup>, existem claros centros de poder, tanto do lado da oferta, em que a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), liderada pela Arábia Saudita, a Rússia e os Estados Unidos dominam, quanto do lado da demanda, onde a China, a União Europeia e, novamente, os Estados Unidos são os mercados mais importantes. Os participantes estão familiarizados com o comportamento esperado dos principais países. A geopolítica da energia de baixo carbono será um caso muito mais complicado, com numerosos atores descentralizados.

Apesar da complexidade do caminho a seguir em busca da descarbonização da economia mundial que temos pela frente, é possível fazer um balanço dos fatores que irão determinar quais nações ganham e quais perdem poder enquanto o mundo procura reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

## ENERGIA LIMPA X COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Embora os custos de produção de energia por fontes de baixo carbono tenham diminuído significativamente nos últimos anos, para que elas tenham uma penetração substancial no mercado ainda são necessárias políticas governamentais de apoio, entre elas subsídios diretos, tarifação de carbono, regulamentações que exigem uso de fontes renováveis e *feed-in tariffs*<sup>20</sup>, de incentivo à geração distribuída. Tais

16 Pascual, C., “The Geopolitics of Energy: From Security to Survival”, [https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/06/01\\_energy\\_pascual.pdf](https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/06/01_energy_pascual.pdf)

17 The Economist, “The new economics of oil: Sheikhs v shale”, 2014, <http://www.economist.com/news/leaders/21635472-economics-oil-have-changed-some-businesses-will-go-bust-market-will-be>

18 Woodhill, L., “It’s Time To Drive Russia Bankrupt – Again”, <http://www.forbes.com/sites/louiswoodhill/2014/03/03/its-time-to-drive-russia-bankrupt-again/#1ea99071173f>

19 Larson, A. 2007. “Oil. The Geopolitics of Oil and Natural Gas.” *New England Journal of Public Policy* 21 (2): Article 18, <http://scholarworks.umb.edu/nejpp/vol21/iss2/18/>

20 “What are Feed-In Tariffs?”, <http://www.fitariffs.co.uk/FITs/>

políticas favoráveis reduzem a demanda<sup>21</sup> de combustíveis fósseis e diminuem os preços pelos quais os produtores de carvão, petróleo e gás natural são remunerados pelos seus produtos.

Se os produtores de combustíveis fósseis acreditarem que essas políticas climáticas ambiciosas vieram realmente para ficar, eles considerarão que os recursos de combustíveis fósseis podem se tornar ativos “encalhados”. Como reação a isso, eles poderão aumentar a produção<sup>22</sup>, apesar da queda dos preços do petróleo e do gás natural. Para os produtores de combustíveis fósseis, é melhor lucrar com seus recursos enquanto eles ainda são valiosos, mesmo se eles não mais receberem preços tão altos como foram no passado. Se eles aumentarem a produção e baixarem ainda mais os preços para realizarem ganhos antes que seja tarde demais, isso faria com que o desenvolvimento das energias de baixo carbono fosse mais desafiador, pois essas tecnologias teriam ainda mais dificuldade em competir.

O calendário da política climática e o efetivo cumprimento de suas metas afetam o equilíbrio do poder geopolítico entre os produtores de energia de combustíveis fósseis e os de baixo carbono. Como os signatários do Acordo de Paris mostraram, o mundo reconhece os perigos das mudanças climáticas e a necessidade de ação. Simultaneamente, sabe-se que as metas declaradas pelos países comprometidos com o Acordo de Paris sobre quanto e quando reduzirão as

emissões não são suficientes para o objetivo declarado de limitar o aumento da temperatura para menos de 2° C. Muitas das metas prometidas dependem de apoio financeiro e transferências de tecnologia que podem ou não se materializar.

É, portanto, difícil de prever quais serão os desvios entre o que os países prometeram e o que eles realmente farão. Além disso, o Acordo de Paris depende da boa vontade dos participantes, não havendo penalidades para o não-cumprimento das metas auto-declaradas, as chamadas *Intended National Determined Contributions* (INDC)<sup>23</sup>. Mesmo se as metas do acordo forem totalmente cumpridas, o sistema energético mundial ainda dependerá principalmente dos combustíveis fósseis em 2030, ano para o qual se definiu a maioria dos objetivos atuais, conforme avaliação do MIT<sup>24</sup>.

Como resultado, nem os produtores de combustíveis fósseis nem os de energia de baixo carbono têm muita certeza sobre a direção das futuras políticas governamentais, ou seja, em que medida eles efetivamente receberão sanções ou apoio dos respectivos governos. Independentemente dessa incerteza, grandes consumidores de energia, como a China, a União Europeia e os Estados Unidos, estão desenvolvendo rapidamente suas fontes de energia de baixo carbono.

Por exemplo<sup>25</sup>, os Estados Unidos aumentaram a participação de energia eólica e solar de 0,5% da geração de energia total em 2005 para 5% em 2015. A China, por

21 Paltsev, S. 2012. “Implications of Alternative Mitigation Policies on World Prices for Fossil Fuels and Agricultural Products.” World Institute for Development Economic Research. <https://www.wider.unu.edu/sites/default/files/wp2012-065.pdf>

22 Paltsev, S. 2016. “Energy Scenarios: The Value and Limits of Scenario Analysis.” MIT Center for Energy and Environmental Policy Research. <http://ceepr.mit.edu/files/papers/2016-007.pdf>

23 UNFCCC, INDCs as communicated by Parties, <http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Submission%20Pages/submissions.aspx>

24 MIT Joint Program. 2015. “Energy and Climate Outlook.” Accessed September 22, 2016. <http://globalchange.mit.edu/research/publications/other/special/2015Outlook>

25 DOE/EIA-0484(2016), International Energy Outlook 2016, [http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2016).pdf)

sua vez, tornou-se o país com a maior capacidade instalada para energia eólica (145 GW) e energia solar (45 GW) ao final de 2015 e, ao mesmo tempo, desenvolve um grande programa de geração nuclear, com 20 usinas em construção<sup>26</sup>. Esta tendência reduzirá o poder geopolítico dos fornecedores tradicionais de combustíveis fósseis, como o Oriente Médio e a Rússia, e aumentará a vantagem tecnológica dos principais atores do setor de energia de baixo carbono, como China, Alemanha, Estados Unidos e Japão.

## ENERGIA LIMPA X ENERGIA LIMPA

As tecnologias de energia de baixo carbono não competem apenas contra os combustíveis fósseis, mas também entre si. Os recursos de baixo carbono são bastante

diversos. Enquanto em alguns lugares, notadamente nos países da União Europeia, o conceito de “energia limpa” equivale à energia eólica e solar, em outras partes do mundo, tecnologias como a hidrelétrica<sup>27</sup>, a nuclear<sup>28</sup>, a bioenergia<sup>29</sup> e a captura e armazenamento de carbono (CCS)<sup>30</sup> também recebem atenção.

A economia e a política das energias eólica e solar são bastante diferentes daquelas em torno das outras tecnologias de baixa emissão de gases de efeito estufa, porque o vento e a energia solar são mais

descentralizados e não requerem grandes investimentos iniciais necessários para uma usina hidrelétrica, nuclear ou instalações de CCS à base de carvão ou gás natural. É muito mais fácil levantar capital e obter aprovação do governo para um parque eólico do que para uma usina hidrelétrica ou nuclear.

Como resultado, os políticos e os investidores tendem a dar maior atenção à eletricidade eólica e solar, enquanto as tecnologias de geração elétrica de base, que requerem alta capitalização, como a hidrelétrica com reservatório de regulação, a nuclear e o carvão ou gás com CCS, são hoje política e economicamente menos atraentes, como se verifica pelas dificuldades de sua expansão na União Europeia e nos Estados Unidos, e mesmo no Brasil, no

**A China continua a desenvolver seu ambicioso programa de energia nuclear: de 2011 a meados de 2016, conectou 22 novos reatores a sua rede, e mais 20 estão em construção**

caso das hidrelétricas.

A notável exceção é a China<sup>31</sup>, que continua a desenvolver seu ambicioso programa de energia nuclear: de 2011 a meados de 2016, a China conectou 22 novos reatores a sua rede, e mais 20 estão em construção.

Embora pareça que as energias eólica e solar estejam atualmente ganhando a competição tecnológica, ao atingirem níveis de participação mais elevados, o desenvolvimento dessas energias renováveis será muito mais desafiador do que tem sido até o momento, havendo limites

26 IAEA PRIS System, Country profiles, China, <https://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=CN>

27 IEA Hydropower, <http://www.iaea.org/topics/renewables/subtopics/hydropower/>

28 IEA Nuclear, <https://www.iaea.org/topics/nuclear/>

29 IEA Bioenergy, <https://www.iaea.org/topics/renewables/subtopics/bioenergy/>

30 IEA Carbon Capture and Storage – CCS, <http://www.iaea.org/topics/ccs/>

31 World Nuclear Association – WNA, Nuclear Power in China, <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-power.aspx>



operacionais<sup>32</sup> para sua expansão nos sistemas elétricos. As energias renováveis têm o problema de intermitência, o que significa que não podem fornecer energia consistentemente em todos os momentos. Como tal, exigem capacidade de *back-up*, uma grande expansão nas linhas de transmissão e uma mudança na forma como os mercados de eletricidade são organizados.

Atualmente, os produtores de energia são na sua maioria remunerados apenas pela energia elétrica entregue à rede. Em meio a uma alta participação das energias renováveis num sistema elétrico, as empresas de energia precisarão cobrar por serviços<sup>33</sup>, tais quais os relacionados à energia, como reservas operacionais e capacidade firme, e também os relacionados à rede, como conexões, controle de tensão, qualidade de energia e gerenciamento de restrições.

Sistemas elétricos estáveis são geridos pelo acompanhamento da demanda, ou seja, a oferta se ajusta à demanda pelo despacho das usinas de geração disponíveis. Como as novas energias renováveis, em especial a eólica e a solar, mas também, em certa medida, as hidrelétricas a fio d'água, sem reservatórios de regulação, não são despacháveis devido à sua intermitência, sistemas elétricos que tenham grande participação dessas fontes e que não disponham de energia de *backup* despachável suficiente terão que passar a ser geridos pelo acompanhamento da oferta, ou seja, ajustando a demanda à oferta disponível, “despachando os consumidores”.

Várias tecnologias associadas às energias de baixo carbono, incluindo turbo-

geradores eólicos, motores para veículos elétricos, filmes finos para células fotovoltaicas e materiais fluorescentes para uso em iluminação e monitores, empregam materiais estratégicos, como metais de terras raras e outros materiais, que possuem significativos riscos de suprimento a curto, médio e longo prazo.

O Departamento de Energia (DoE) dos EUA edita periodicamente o relatório *Critical Material Strategy*<sup>34</sup>. Dezesesseis elementos de emprego em componentes de tecnologias limpas são avaliados quanto à sua criticidade, enquadrada em duas dimensões: a importância para as energias de baixo carbono e o risco da oferta. Cinco metais de terras raras, disprósio, térbio, európio, neodímio e ítrio, são considerados de alta criticidade. Outros quatro elementos, cério, índio, lantânio e telúrio, são considerados como no limiar de criticidade.

Nos últimos anos, a procura por quase todos os materiais examinados pelo DoE cresceu muito rapidamente. Esta crescente demanda vem de tecnologias de energia de baixo carbono, bem como de produtos de consumo de massa, como telefones celulares e monitores planos e *touchscreen*.

O principal produtor destes materiais é a China, que responde por mais de 90% da oferta. As chamadas terras raras, apesar do nome, não são raras, mas encontradas em baixa concentração nos minérios, e sua separação requer uma tecnologia que exige cuidados especiais no que tange aos potenciais impactos ambientais.

Em geral, a oferta global destes materiais tem sido lenta para responder ao aumento da demanda na última década devido

32 Delarue, E., and J. Morris. 2015. “Renewables Intermittency: Operational Limits and Implications for Long-Term Energy System Models.”, <http://globalchange.mit.edu/research/publications/2891>

33 Perez-Arriaga, I., S. Burger, and T. Gomez. 2016. “Electricity Services in a More Distributed Energy System, Research.” <http://ceep.mit.edu/files/papers/2016-005.pdf>

34 U.S. Department of Energy, Critical Materials Strategy, 2011, [http://energy.gov/sites/prod/files/DOE\\_CMS2011\\_FINAL\\_Full.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/DOE_CMS2011_FINAL_Full.pdf)

à falta de capital disponível, ao longo prazo de maturação, a políticas comerciais e a outros fatores, como os ambientais e a aceitação pública de projetos. Muitos governos estão reconhecendo a importância dessas matérias-primas para a competitividade econômica e assumindo um papel ativo na mitigação dos riscos de suprimento.

A abordagem para enfrentar proativamente os riscos de fornecimento desses materiais e evitar interrupções na construção de uma economia robusta de energia de baixo carbono tem três pilares: alcançar uma oferta globalmente diversificada; identificar substitutos apropriados; e melhorar a capacidade de reciclagem, reutilização e uso mais eficiente de materiais críticos.

## COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS X COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Diferentes tipos de combustíveis fósseis emitem diferentes quantidades de dióxido de carbono por unidade de produção de energia<sup>35</sup>, sendo o carvão o mais intensivo em carbono, o petróleo produzindo entre 25-30% menos e o gás natural sendo o combustível fóssil mais limpo, emitindo 45-50% menos dióxido de carbono do que o carvão. A poluição atmosférica relacionada à queima de carvão é também substancialmente mais elevada em comparação com o petróleo e o gás natural.

Como resultado, o carvão tornou-se o alvo principal nos esforços para reduzir as emissões em muitos países, principalmen-

te os Estados Unidos, onde se fala numa “guerra ao carvão”<sup>36</sup>. O declínio do carvão nos Estados Unidos tem sido ajudado pelo fato de que há uma alternativa barata e abundante, o gás natural de xisto<sup>37</sup>.

Impulsionadas pela oportunidade de promover o gás natural ou simplesmente por testemunhar a “guerra ao carvão” e querer evitar ser o próximo alvo, algumas empresas de petróleo e gás natural decidiram apoiar publicamente a meta de 2° C. Dez empresas que representam 20% da produção global de petróleo e gás formaram a Iniciativa Climática de Petróleo e Gás<sup>38</sup>. Suas principais metas incluem aumentar a participação do gás natural no *mix* energético global.

Entretanto, a menos que o gás natural seja combinado com a tecnologia CCS, ele continua sendo uma fonte importante de emissões de gases de efeito estufa. Num contexto em que a maioria dos cenários que nos mantêm abaixo do limite de 2° C requerem emissões antropogênicas de zero ou quase zero na segunda metade do século, parece ser que esta estratégia seja uma que já antevê o fim de vida do produto. Além disso, o estado atual do desenvolvimento da tecnologia CCS<sup>39</sup> não é muito animador. Com apenas uma usina com CCS operacional em escala comercial no mundo, duas em construção e muitos projetos recentemente cancelados, o papel desta tecnologia na mitigação de emissões é muito incerto.

Deve se notar também que o gás natural poderá ser usado como fonte de energia de

35 Energy Information Administration. 2016. “How Much Carbon Dioxide Is Produced When Different Fuels are Burned?”, <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=73&t=11>

36 Forbes, 2016. “Who’s Waging The War On Coal? Not The U.S. Government”, <http://www.forbes.com/sites/ucenergy/2016/10/27/whos-waging-the-war-on-coal-not-the-government/#55a5188e7543>

37 US Energy Information Agency, “Shale in the United States”, [https://www.eia.gov/energy\\_in\\_brief/article/shale\\_in\\_the\\_united\\_states.cfm](https://www.eia.gov/energy_in_brief/article/shale_in_the_united_states.cfm)

38 Oil and Gas Climate Initiative. 2016. “Defining the Road Ahead.” <http://www.oilandgasclimateinitiative.com/about>

39 Herzog, H. 2015. “CCS at a Crossroads.” Global CCS Institute. <http://sequestration.mit.edu/bibliography/ccs-crossroads.pdf>

*backup* para as renováveis intermitentes. Entretanto, estudos mostram<sup>40</sup> que, com metas estritas de mitigação, a necessidade de capacidade de gás natural pode ser substancial, mesmo se o uso real do gás natural acabar sendo bastante limitado, porque as usinas teriam que estar prontas para gerar em períodos nos quais a energia eólica ou solar não estiver disponível.

Se o mundo efetivamente fizer todos os esforços necessários ao cumprimento das metas do Acordo de Paris, mesmo os produtores de gás natural terão que eliminar as emissões de gases de efeito estufa. Caso contrário, até mesmo o combustível fóssil mais limpo terá emissões incompatíveis com os objetivos declarados.

**A aceitação pública da energia nuclear é fortemente condicionada pela percepção de riscos associados a acidentes severos e à sua associação às armas nucleares e à proliferação dessas armas**

## ENERGIAS RENOVÁVEIS X ENERGIA NUCLEAR

Na demanda por eletricidade, a necessidade de fornecimento contínuo e confiável de baixo custo, a chamada carga de base, pode ser distinguida da carga associada ao pico de demanda que ocorre durante algumas horas diárias e para o qual preços mais elevados são aceitáveis, pois a oferta precisa atender à demanda instantaneamente ao longo do tempo.

A maior parte da demanda por eletricidade é para carga de base. Assim, se uma parcela significativa de fontes renováveis não despacháveis está ligada a uma rede, surge a necessidade da capacidade de *backup* por outras fontes que sejam despa-

cháveis ou por armazenamento de energia. Uma forma de minimizar essa necessidade seria localizar essas fontes em distintos ambientes geográficos de forma que as intermitências individuais se compensassem, garantindo a estabilidade do conjunto. Isso requer uma rede básica com alto grau de interligação e grande flexibilidade de operação, o que implica custos adicionais que teriam que ser devidamente precificados.

De toda forma, dado o caráter aleatório das intermitências, se a energia for usada na base de carga, sempre restaria um risco – maior ou menor, dependendo do nível de investimentos feitos para dar interligação e flexibilidade à rede – de que essa compensação não ocorra, comprometendo em determinado grau a

segurança de abastecimento.

Uma vantagem distinta da energia solar e, em menor medida, das demais renováveis é que seus aproveitamentos podem ser distribuídos, podendo estar próximos aos centros de consumo, o que reduz as perdas de transmissão. Isso é particularmente importante dentro de grandes cidades e também em locais remotos. É claro que o mesmo fato de ser distribuída às vezes pode ser negativo para as renováveis, pois os melhores aproveitamentos podem ser afastados dos centros de consumo.

Existem várias características da energia nuclear que a tornam particularmente atraente, além do seu baixo custo total de produção por unidade de energia gerada, que ocorre apesar dos elevados investimentos

40 MIT. “The Future of Natural Gas.”, 2011, <http://energy.mit.edu/publication/future-natural-gas/>

iniciais necessários para sua implantação e longo prazo de maturação de seu projeto e construção.

O custo do combustível representa uma parcela pequena do custo total, dando a estabilidade ao correspondente preço. O combustível está dentro do reator nuclear, no local, não dependendo de uma cadeia de suprimento contínua, como é o caso dos combustíveis fósseis. A energia nuclear é despachável pela demanda, possui alto fator de capacidade, ou seja, está disponível para despacho mais de 90% do tempo, tendo ainda uma elevação de potência razoavelmente rápida. Além disso, dá uma importante contribuição para o controle de tensão que garante a estabilidade da rede elétrica à qual está conectada.

Esses atributos, apesar de não precificados pelos mercados de energia elétrica, têm um grande valor, que é cada vez mais reconhecido quando a dependência de fontes renováveis intermitentes tem crescido.

Entretanto, a aceitação pública da energia nuclear é fortemente condicionada pela percepção de riscos associados a acidentes severos e à sua associação às armas nucleares<sup>41</sup> e à proliferação dessas armas, o que é tecnicamente indevido<sup>42</sup>.

No que tange aos riscos de acidentes dos sistemas energéticos, as análises do Instituto Paul Scherrer,<sup>43</sup> da Suíça, consolidadas em um estudo comparativo<sup>44</sup> mostram que nenhuma tecnologia é a melhor ou a pior em todos os aspectos, portanto são necessários compromissos e prioridades

para equilibrar objetivos conflitantes, como segurança energética, sustentabilidade e aversão ao risco, para apoiar uma tomada de decisão racional.

## PROSSUMIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA

Uma das características únicas das tecnologias de energia renovável é que elas proporcionam oportunidades para geração distribuída, como painéis solares em telhados de edificações e pequenos turbogeradores eólicos em propriedades rurais. Note-se aqui que a energia solar é a única que pode ser produzida dentro das grandes cidades e nelas não faltam edificações nem telhados.

As condições de despacho dessa energia gerada por pequenos produtores desempenharão um grande papel na rentabilidade de diferentes projetos. Por exemplo, na China, a presença de usinas termoeletricas a carvão, associadas a preços inflexíveis de energia, reduzem a atratividade dos projetos de energias renováveis, enquanto na Alemanha as práticas de despacho atuais proporcionam maior flexibilidade para essas energias.

As regras sobre as condições nas quais os pequenos produtores possam fornecer eletricidade de volta para a rede podem afetar em muito a economia de diferentes projetos. A fixação de preços em tempo real e as “redes inteligentes” (*smart grids*)<sup>45</sup>, que utilizam a tecnologia de comunicação digital para reagir rapidamente às altera-

41 Guimarães, L.S., “Rejeitar o Arado Empunhando a Espada”, <http://operamundi.uol.com.br/conteudo/opiniaõ/27822/rejeitar+o+arado+empunhando+a+espada.shtml>

42 Guimarães, L.S., “Baixa probabilidade de terroristas usarem explosivos nucleares”, CEIRI Newspaper, <http://www.jornal.ceiri.com.br/pt/baixa-probabilidade-de-terroristas-usarem-explosivos-nucleares/>

43 Paul Scherrer Institute, Risk Assessment, <https://www.psi.ch/ta/risk-assessment>

44 Burgherr, P. e Hirschberg, S., “Comparative risk assessment of severe accidents in the energy sector” <http://www.aben.com.br/Arquivos/323/323.pdf>

45 Ministério de Minas e Energia, Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes, [http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256641/Relatxrio\\_GT\\_Smart\\_Grid\\_Portaria\\_440-2010.pdf/3661c46c-5f86-4274-b8d7-72d72e7e1157](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256641/Relatxrio_GT_Smart_Grid_Portaria_440-2010.pdf/3661c46c-5f86-4274-b8d7-72d72e7e1157)

ções locais de utilização, podem alterar substancialmente os interesses dos consumidores, que também se tornam produtores, e assim alterar o equilíbrio de poder entre os indivíduos, as autoridades regionais e os governos centrais. Seria o conceito de “prossumo coletivo”, introduzido por Alvin Toffler em seu livro *O Futuro do Capitalismo*<sup>46</sup>, aplicado ao mercado de eletricidade.

## TRANSMISSÃO DE ELETRICIDADE

As questões que envolvem a transmissão de eletricidade serão tão importantes para a energia de baixo carbono como os navios e dutos são para o petróleo e o gás natural. Uma questão-chave será quem controla as principais linhas de transmissão e concede permissão para construí-las. Algumas linhas de transmissão

**As questões que envolvem a transmissão de eletricidade serão tão importantes para a energia de baixo carbono como os navios e dutos são para o petróleo e o gás natural**

de eletricidade não são muito mais fáceis de serem aprovadas do que gasodutos notórios, como Nord Stream II<sup>47</sup>, Turkish Stream<sup>48</sup> e South Stream<sup>49</sup>, que a Rússia tentou ou está tentando construir para a Europa. Obter permissão das autoridades nacionais, regionais e locais para construir linhas de transmissão também é bastante difícil em muitas outras regiões.

Tal como acontece com os combustíveis fósseis, os países de trânsito no comércio de eletricidade são cruciais. A maioria dos conflitos geopolíticos que envolvem

o gás natural russo não é disputada entre comprador e vendedor. Por exemplo, há poucos problemas com o gasoduto Nord Stream, que liga diretamente a Rússia e a Alemanha pelo mar. Os problemas surgem, em geral, entre um vendedor e um país de trânsito, como, por exemplo, os problemas intermináveis associados ao trânsito de gasodutos através da Ucrânia.

A energia de baixo carbono, baseada na eletricidade, pode acabar em uma situação semelhante, com o poder nas mãos de quem está no controle de grandes linhas de transmissão. Por exemplo, à medida que a

Etiópia desenvolve sua energia hidrelétrica, ela certamente buscará vender seu excesso de geração para o Egito, mas para isso eles precisarão chegar a um acordo com um país de trânsito, o Sudão. Esse acordo deve proporcionar estabilidade, no longo prazo, para o vendedor, o comprador

e o país de trânsito.

Infelizmente, a Rússia e a Ucrânia, os mesmos países que deram aos pesquisadores tantos exemplos de geopolítica da energia do gás natural, também já deram exemplos reais de geopolítica da energia elétrica. Depois do impasse entre a Rússia e a Ucrânia sobre a Crimeia, em 2015, a Ucrânia destruiu suas linhas de transmissão para a Crimeia, criando severa escassez de eletricidade até que linhas de transmissão da Rússia fossem construídas. Ao mesmo tempo, a situação deu um exemplo de uma

46 Toffler, A., “O Futuro do Capitalismo”, Editora Saraiva, 2006, <http://www.saraiva.com.br/o-futuro-do-capitalismo-a-economia-do-conhecimento-e-o-significado-da-riqueza-no-seculo-xxi-4263950.html>

47 The Nordstream pipeline, <https://www.nord-stream2.com/>

48 Gazprom Export, TurkStream, <http://www.gazpromexport.ru/en/projects/6/>

49 South Stream Transport BV, <http://www.south-stream-transport.com/>

possível vantagem de energia de baixo carbono em relação aos combustíveis fósseis: as linhas de transmissão podem ser construídas mais rapidamente do que os dutos de petróleo ou gás natural.

## ACEITAÇÃO PÚBLICA

A aceitação pública em relação às diferentes tecnologias de baixo carbono muitas vezes desempenha um papel determinante sobre qual delas é escolhida.

A diferença de política para a energia nuclear na Alemanha e na China não é impulsionada pela economia, mas sim pela percepção do público. Como resultado de diferentes opiniões sobre a segurança da energia nuclear, a Alemanha decidiu fechar suas usinas nucleares, enquanto a China e a Rússia estão tentando agressivamente se tornar líderes mundiais na tecnologia nuclear. Note-se que a sociedade alemã rejeitou as usinas nucleares, mas aceita a presença de armas nucleares da Organização do Tratado do Atlântico Norte (Otan)<sup>50</sup> em seu território.

A tecnologia nuclear é particularmente sensível a esse aspecto. O medo da energia nuclear<sup>51</sup> se estabeleceu na sociedade desde

que foi apresentada à humanidade pelos holocaustos de Hiroshima e Nagasaki em 1945, sob a forma do que se poderia chamar “o pior caso de *marketing* da História”. Ele segue seu caminho pela nossa cultura e nunca está longe das discussões públicas sobre política nuclear.

O desafio da aceitação pública<sup>52</sup> da geração elétrica nuclear permanece em aberto, ainda que ele não se constitua num impedimento absoluto para novos empreendimentos em muitos importantes países, como o elevado número de usinas em construção, superior a 60, demonstra.

Questões semelhantes existem em outros casos, como o das hidrelétricas na região da Amazônia<sup>53</sup>, onde se verifica uma forte oposição pública.

A percepção do público e a oposição local também pararam o desenvolvimento da tecnologia CCS na Alemanha, enquanto o Texas Clean Energy Project<sup>54</sup> não tem nenhum problema com essa tecnologia, já que o dióxido de carbono tem sido usado para recuperação do petróleo em poços maduros já há muito tempo.

A percepção pública também mudou dramaticamente as perspectivas para a indústria de bioenergia. Muitas pessoas

**A aceitação pública em relação às diferentes tecnologias de baixo carbono muitas vezes desempenha um papel determinante sobre qual delas é escolhida**

50 Guimarães, L.S., “Perguntas à Alemanha”, O Globo, 06/06/2011, <http://www.provedor.nuca.ie.ufrj.br/eletrobras/estudos/guimaraes10.pdf>

51 Guimarães, L.S., “O Medo Nuclear”, <http://www.defesanet.com.br/nuclear/noticia/24039/Leonam---O-MEDO-NUCLEAR/>

52 Guimarães, L.S., “O Desafio da Aceitação Pública da Energia Nuclear”, Revista Marítima Brasileira – Out/Dez 2015, <http://www.defesanet.com.br/nuclear/noticia/21559/Leonam---O-Desafio-da-Aceitacao-Publica-da-Energia-Nuclear/>

53 GreenPeace, Damning the Amazon: the Risky Business of Hydropower In The Amazon, [http://www.greenpeace.org/international/Global/brasil/documentos/2016/Greenpeace\\_Damning\\_The\\_Amazon-The\\_Risky\\_Business\\_Of\\_Hydropower\\_In\\_The\\_Amazon-2016.pdf](http://www.greenpeace.org/international/Global/brasil/documentos/2016/Greenpeace_Damning_The_Amazon-The_Risky_Business_Of_Hydropower_In_The_Amazon-2016.pdf)

54 Texas Clean Energy Project (TCEP), <http://www.texascleanenergyproject.com/>

acreditam que o aumento da produção de etanol levará ao aumento dos preços dos alimentos, criando mais pobreza e desnutrição em países pobres. Este ponto de vista, seja ele correto ou não<sup>55</sup>, juntamente com preocupações sobre o desmatamento, mudou a política da UE e de outros países sobre a bioenergia.

## ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Podem ser feitas aqui três observações sobre a geopolítica das energias de baixo carbono em comparação com a geopolítica

da energia baseada em combustíveis fósseis. Primeiro, as energias renováveis mudam a ênfase de obter acesso a recursos para a gestão estratégica de infraestrutura. Em segundo lugar, as

energias renováveis mudam a alavancagem estratégica dos produtores para os consumidores de energia e para os países capazes de fornecer serviços de armazenamento de energia. Em terceiro lugar, num sistema dominado pelas energias de baixo carbono, a maioria dos países será simultaneamente produtora e consumidora de energia, e a reduzida necessidade de importações de energia poderá minimizar consideravelmente as preocupações geopolíticas.

De fato, os recursos eólicos e solares são mais abundantes do que os recursos de combustíveis fósseis. No entanto, a disponibilidade de recursos renováveis difere entre as regiões porque são fortemente dependentes do clima e da latitude. Como

resultado, o custo da energia eólica e solar em várias regiões pode ser substancialmente diferente. Dependendo de como as linhas de transmissão se desenvolvam, isso poderia potencialmente criar uma situação semelhante ao mundo atual dominado por combustíveis fósseis, no qual os produtores de baixo custo desfrutam de poder geopolítico.

Isto poderia levar à redistribuição dos centros de energia dentro dos países e entre países. Assim como os produtores de petróleo *offshore* do Brasil podem não ser tão lucrativos quanto os produtores de petróleo no Oriente Médio, eventuais

produtores de energia eólica e solar no Rio de Janeiro não serão tão lucrativos quanto os produtores de energia eólica e solar do Ceará.

Da mesma forma, o custo de geração de energia renovável será

baixo no norte do Chile, onde as condições de deserto seco, elevação, vento e sol são substancialmente melhores para as energias eólica e solar do que as condições, por exemplo, de algumas partes da Bolívia e do Paraguai.

Devido à sua natureza intermitente, as energias renováveis requerem armazenamento de energia, que pode vir na forma elétrica direta, por baterias de acumuladores, ou na forma indireta, pela armazenagem de recursos hídricos por hidrelétricas reversíveis, com bombeamento.

As tecnologias de armazenamento direto de eletricidade por baterias para as energias renováveis<sup>56</sup> criam preocupações quanto à disponibilidade de certos elementos quími-

**Os recursos eólicos e solares são mais abundantes do que os recursos de combustíveis fósseis**

55 FAO lança estudo com novas ferramentas para o desenvolvimento sustentável de bioenergia, <https://www.fao.org.br/FAOlenfdsb.asp>

56 Battery Storage for Renewables: Market Status and Technology Outlook [http://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena\\_battery\\_storage\\_report\\_2015.pdf](http://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_battery_storage_report_2015.pdf)

cos utilizados, como o lítio, que se tornou o elemento principal na geração atual desta tecnologia, chegando a ser apelidado como “nova gasolina”. Seus preços *spot*<sup>57</sup> aumentaram de US\$ 7 mil por tonelada métrica, em 2015, para US\$ 20 mil no início 2016.

O acesso à hidroeletricidade reversível também depende de fatores geográficos e requer um acordo entre regiões ou países que possuem esses recursos, potencialmente dando-lhes influência geopolítica. Em países como o Brasil, onde já existe um grande parque hidrelétrico instalado com importante capacidade de reservação de água, a armazenagem indireta permite uma grande vantagem para as renováveis, na medida em que cada unidade de energia gerada por elas representa uma economia de água, que permanece nos reservatórios. Isso se torna ainda mais relevante, no caso da energia eólica, na situação em que os ciclos do vento e da chuva forem complementares, ou seja, muito vento, pouca chuva e vice-versa, como é o caso brasileiro.

## O CASO DO BRASIL

A INDC declarada pelo Brasil na COP21<sup>58</sup> é de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025. Contribuição indicativa subsequente é de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030.

Para o setor de energia<sup>59</sup>, o INDC do Brasil se propõe a alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na

composição da matriz energética em 2030, incluindo: expandir o uso de fontes renováveis, além da energia hídrica, na matriz total de energia para uma participação de 28% a 33% até 2030; expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% até 2030, inclusive pelo aumento da participação de eólica, biomassa e solar; e alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico até 2030.

Evidentemente, os maiores esforços no sentido de atingir essas metas devem ser direcionados aos setores que têm maior participação nas emissões.

O padrão de emissões de gases de efeito estufa no Brasil<sup>60</sup> é bastante peculiar, na medida em que as mudanças de uso da terra e florestas, juntamente com a agropecuária, responderam por 70% e o setor de energia por apenas 24% do total em 2015. Os 6% restantes se dividem entre resíduos e processos industriais.

Essa relativamente pequena contribuição do setor de energia para as emissões<sup>61</sup> decorre fundamentalmente de dois fatores: o uso intensivo do bioetanol como combustível, diretamente na forma hidratada e na mistura com a gasolina, na forma anidro; e a elevada participação da fonte hídrica na oferta total de eletricidade (64% em 2015). A participação da eletricidade de biomassa, nuclear<sup>62</sup> e eólica também constitui contribuição importante, ainda que mais modesta.

Por esses fatores, a oferta interna de energia no Brasil em 2015, com 42,5% de

57 Historical Lithium price per metric ton <https://www.metalary.com/lithium-price/>

58 República Federativa do Brasil, Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, [http://www.itamaraty.gov.br/images/ed\\_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf](http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf)

59 Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Balanço Energético Nacional – BEN 2015, <https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioSintese.aspx?anoColeta=2015&anoFimColeta=2014>

60 Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG), Observatório do Clima, <http://seeg.eco.br/>

61 Empresa de Pesquisa Energética – EPE, Balanço Energético Nacional 2016 – Relatório Síntese, [https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2016\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2016_Web.pdf)

62 Revista Economia & Energia, no. 63, Impacto Direto da Geração Nuclear no Brasil sobre Emissões de Efeito Estufa <http://ecen.com/eee63/eee63p/eee63p.pdf>



participação das energias de baixo carbono (16,9% de biomassa de cana, 11,3% de hídrica, 8,2% de lenha e carvão vegetal, 4,7% de lixívia e outras renováveis e 1,3% de urânio), encontra-se entre as mais limpas do mundo.

O aproveitamento do potencial hídrico brasileiro foi iniciado já nos primórdios do século XX. Sua contribuição ao sistema elétrico interligado nacional atingiu mais de 90% ao final da década de 90. Esse sistema, entretanto, vive hoje uma transição hidrotérmica<sup>63</sup>.

O que é isso? É o que acontece quando a expansão de um sistema elétrico com predominância de fonte hídrica passa a requerer uma crescente contribuição térmica, seja por esgotamento do potencial hidroelétrico ou por perda da capacidade de autorregulação devida à diminuição do volume de água armazenada nos reservatórios com relação à carga do sistema, ou ambos simultaneamente.

A transição hidrotérmica começou a ocorrer no Brasil em 2000, quando a taxa de crescimento das térmicas passa a ser superior ao das hídricas. Isso decorre do fato do crescimento do volume de água nos reservatórios ter passado a ser bastante inferior, ou seja, desproporcional ao crescimento de potência hídrica instalada já a partir do final da década de 80. Isso significa que as novas hidrelétricas passaram a ter reservatórios cada vez menores e, por isso, menor capacidade de regulação das sazonalidades inerente ao regime de vazão dos rios.

O Brasil percebeu isso de forma dolorosa em 2001, com uma crise de abastecimento

devido à redução do nível dos reservatórios, sem haver disponibilidade de energia térmica complementar, o imprópriamente chamado “apagão”. Desde então, a geração térmica vem sendo ampliada com sucesso, permitindo enfrentar, sem crise, situações até mesmo mais severas do que o baixo nível dos reservatórios verificado na crise de 2001.

Ocorreu nesse período a expansão da geração térmica de base nuclear (com Angra 2) e da geração a gás e derivados de petróleo, inicialmente operando a fatores de capacidade reduzidos. Tivemos também expansão da geração hídrica a fio d’água (com pequenos ou mesmo nenhum reservatório), biomassa e eólica.

É notável, porém, uma paulatina elevação do fator de capacidade do parque térmico nuclear e convencional nesta década de 2010, denotando uma crescente necessidade dessa geração na base de carga.

Dessa forma, a expansão futura da geração de base seria feita por um *mix* de gás natural (dependendo da quantidade aproveitável e de custos das reservas do pré-sal), carvão mineral (dependendo das futuras tecnologias de CCS) e nuclear (dependendo da aceitação pública).

As novas renováveis (biomassa, eólica e solar) e os programas de eficiência energética (que crescem em importância, com aumento dos custos marginais de expansão) terão, evidentemente, um importante papel a desempenhar. Cabe aqui ressaltar duas vantagens competitivas do Brasil para as energias eólica e solar: complementaridade com as hídricas e entre si.

**A oferta interna de energia no Brasil em 2015, com 42,5% das energias de baixo carbono encontra-se entre as mais limpas do mundo**

63 Guimarães, L.S., O Desafio da Transição Hidrotérmica <http://www.defesanet.com.br/nuclear/noticia/18046/O-Desafio-da-Transicao-Hidrotermica/>

Isso permite a estocagem de energia intermitente nos reservatórios a baixo custo, economizando água e ampliando a capacidade das hidrelétricas fazerem regulação da demanda, e também a possibilidade de parques de geração combinados eólicos e solares, dado que, particularmente no Nordeste do País, nas áreas com potencial, ambos aproveitamentos muitas vezes coincidem.

Considerando que o potencial hidroelétrico remanescente no Brasil encontra-se na Amazônia, que nossos países vizinhos na região também possuem expressivo potencial, alguns binacionais<sup>64</sup>, e que existe forte oposição política, tanto interna como externamente, a projetos para seu efetivo aproveitamento,

a expansão da hidroeletricidade poderá dar ocasião a conflitos de natureza geopolítica<sup>65</sup>.

Disputas desta natureza não são estranhas ao Brasil, bastando recordarmos de Itaipu<sup>66</sup>, cuja solução foi um marco do início da cooperação política entre os dois países na década de 80.

Conflitos sociais e políticos ocorrem também no caso das hidrelétricas da bacia do Rio Uruguai<sup>67</sup>, envolvendo Brasil, Argentina e Uruguai.

## DECISÕES EM MEIO À TRANSIÇÃO

À medida que o mundo adota energias de baixo carbono, produtores, consumidores e governos estão tomando decisões em meio a uma grande incerteza. Essas decisões, por sua vez, afetarão as fontes de energia que virão a dominar no futuro.

Como ocorre em qualquer nova indústria, os produtores de energia com baixas emissões de carbono tentam conquistar aliados políticos para defender o tratamento preferencial de suas tecnologias, sob a forma de créditos fiscais para investimentos, subsídios, garantias de empréstimos, obriga-

**Durante a transição para a energia de baixo carbono, as regiões e os países precisam tomar muitas decisões sem experiência operacional substancial nas novas tecnologias e com implicações geopolíticas potencialmente grandes**

toria de aquisição de parcelas de energia renovável pelos consumidores e assim por diante. A experiência em muitos países mostra que, uma vez que esses tratamentos preferenciais são introduzidos, eles são difíceis de remover. Ao mesmo tempo, a Alemanha<sup>68</sup> e a Espanha<sup>69</sup> fornecem exemplos de países em que o apoio financeiro às energias renováveis mudou dramaticamente. Por exemplo, a Alemanha reduziu seu subsídio solar, uma tarifa *feed-in*

64 Sant'Anna, F.M., Análise das Relações entre Bolívia e Brasil sobre os Recursos Hídricos Compartilhados na Bacia Amazônica, <http://www.anppas.org.br/encontro6/anais/ARQUIVOS/GT9-611-1265-20120628191856.pdf>

65 Sant'Anna, F.M., As Fronteiras Políticas na Bacia Amazônica e a Cooperação para a Utilização dos Recursos Hídricos Compartilhados, <http://www.ub.edu/geocrit/coloquio2012/actas/05-F-Mello.pdf>

66 Ferres, V.P., A Solução do Conflito de Itaipu como Início da Cooperação Política Argentino-Brasileira na Década de 80, <http://revistas.pucsp.br/index.php/revph/article/download/9989/7422>

67 Rocha, H.J. e Pase, H.L., "O Conflito Social e Político nas Hidrelétricas Da Bacia Do Uruguai", <http://www.scielo.br/pdf/rbsoc/v30n88/0102-6909-rbsoc-30-88-0099.pdf>

68 Power Magazine, Germany's Energiewende at a New Turning Point, <http://www.powermag.com/germanys-energiewende-new-turning-point/>

69 IEA, Spain Energy Policies, <https://www.iea.org/countries/membercountries/spain/>

para sistemas de painéis fotovoltaicos, de 55 centavos de euro por quilowatt-hora em 2005 para 12 centavos de euro por quilowatt-hora em 2016. As mudanças no apoio financeiro impactam dramaticamente novas parcelas de energia renovável. A nova instalação de capacidade de energia solar fotovoltaica na Espanha caiu de 2700 MW em 2008, antes que o governo mudasse sua estrutura de suporte para energia solar, para 160 MW em 2012.

Durante a transição para a energia de baixo carbono, as regiões e os países precisam tomar muitas decisões sem experiência operacional substancial nas novas tecnologias e com implicações geopolíticas potencialmente grandes. Por exemplo, para reduzir suas emissões de dióxido de carbono, em agosto de 2016, o estado americano de Massachusetts<sup>70</sup> aprovou um projeto de lei exigindo que as concessionárias de energia elétrica comprassem energia eólica, hidroelétrica e outras energias renováveis em larga escala. Provavelmente, o pedido de compra de energia eólica beneficiará as empresas europeias detentoras de tecnologias, e a aquisição de energia hidrelétrica beneficiará as empresas canadenses.

**Não há dúvida de que o equilíbrio de poder na geopolítica da energia está mudando dos produtores de combustíveis fósseis para países que estão desenvolvendo soluções com baixo teor de carbono**

Este tipo de decisão legislativa afeta as perspectivas de desenvolvimento destas opções. As compras necessárias de energia hidrelétrica também dão um novo poder de barganha aos estados da Nova Inglaterra, localizados ao norte de Massachusetts, onde novas linhas de transmissão do Canadá terão de ser construídas.

Qualquer um que tente prever os resultados deve também ter em mente que as geopolíticas de ambas as energias, tradicionais e renováveis, coexistirão por um bom tempo.

Algumas decisões neste período de transição levaram a resultados peculiares. O desligamento da usina nuclear Vermont Yankee,<sup>71</sup> em 2014, resultou em maior dependência de gás natural emissor de carbono na Nova Inglaterra. O fechamento pendente de outras usinas nucleares, como as duas da Exelon<sup>72</sup> (Clinton e Quad

Cities) em Illinois e da Diablo Canyon<sup>73</sup> na Califórnia, pode levar a aumentos nas emissões de dióxido de carbono, com a energia nuclear provavelmente sendo substituída por uma combinação de fontes renováveis e gás natural. A Alemanha passou por uma questão semelhante, desmantelando usinas nucleares, mas construindo novas usinas de carvão de linhita<sup>74</sup> (*brown coal*) para *backup* das energias renováveis. Isso resultou em um

70 Massachusetts Releases Clean Energy and Climate Plan for 2020, <http://www.mass.gov/eea/waste-mgmt-recycling/air-quality/climate-change-adaptation/mass-clean-energy-and-climate-plan.html>

71 Nuclear Energy Institute (NEI), Carbon, Market Impacts of Closing the Vermont Yankee Plant, <http://www.nei.org/Knowledge-Center/Closing-Vermont-Yankee>

72 Nuclear Street, Exelon Again Warns Of Clinton And Quad Cities NPP Closures, [https://nuclearstreet.com/nuclear\\_power\\_industry\\_news/b/nuclear\\_power\\_news/archive/2016/05/09/exelon-again-warns-of-clinton-and-quad-cities-npp-closures-050902#.WckIBi0rLZ4](https://nuclearstreet.com/nuclear_power_industry_news/b/nuclear_power_news/archive/2016/05/09/exelon-again-warns-of-clinton-and-quad-cities-npp-closures-050902#.WckIBi0rLZ4)

73 Forbes, Closing Diablo Canyon Nuclear Plant Will Cost Money And Raise Carbon Emissions, <http://www.forbes.com/sites/jamesconca/2016/07/15/closing-diablo-canyon-nuclear-plant-will-cost-money-and-raise-carbon-emissions/#1234afa676fb>

74 Climate risk and Germany's lignite, <http://energyandcarbon.com/climate-risk-germanys-lignite/>

impacto negativo sobre o meio ambiente, apesar do objetivo declarado de redução de emissões.

## CONCLUSÕES

Apesar da incerteza, não há dúvida de que o equilíbrio de poder na geopolítica da energia está mudando dos produtores de combustíveis fósseis para países que estão desenvolvendo soluções com baixo teor de carbono.

A China, por exemplo, está tentando se tornar líder, simultaneamente, no fornecimento de tecnologias nucleares, solares e eólicas, usando-as tanto internamente quanto construindo sua capacidade para exportá-las. A Rússia, por sua vez, vem propondo internacionalmente o modelo BOO<sup>75</sup> (Build – Own – Operate) para exportação de novas usinas nucleares, também buscando a liderança no setor.

Globalmente, o apoio do governo para a energia de baixo carbono às vezes resulta em guerras de preços para equipamentos de geração de energia eólica e solar. Por exemplo, em 2013, a União Europeia<sup>76</sup> impôs medidas *antidumping* e antissubsídios sobre as importações de células e painéis solares provenientes da China. Em 2016, ampliou estas medidas às exportações chinesas indiretas por meio de Taiwan e da Malásia.

Uma analogia histórica pode ajudar a ilustrar como a geopolítica poderia se tornar

complexa num mundo de energia de baixo carbono. A geopolítica no setor tradicional de energia é semelhante ao impasse da guerra fria entre os Estados Unidos e a União Soviética: houve muitos confrontos, mas também bem definidos centros de poder, alianças, regras para gerenciar os conflitos, e contatos e negociações contínuos entre os dois lados. Da mesma forma, nós sabemos quem são os principais compradores e vendedores de carvão, petróleo e gás, e os dois lados têm décadas de experiência de negociação.

A geopolítica das energias de baixo carbono é mais parecida com o mundo pós-guerra fria, em que muitas vezes não fica claro qual será o próximo desafio, que forma tomará ou de onde virá. Os atores são numerosos e descentralizados.

Enquanto eles negociam acesso a recursos, tecnologia e linhas de transmissão, os governos e a indústria ainda têm muito a aprender sobre como navegar nas águas turbulentas da transição energética, ainda mais considerando que as políticas que determinam o ritmo da mudança são altamente incertas.

Só podemos ter a certeza de que a oferta e a procura de energia, ou seja, o *energy power*<sup>77</sup>, ao lado do *hard power* militar e do *soft power*, de natureza econômico-financeira, comercial, política, diplomática, ideológica e cultural, continuarão, como sempre, a influenciar pesadamente a geopolítica e determinar os equilíbrios mundiais de poder.

### 📁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<POLÍTICA>; Energia; Geopolítica; Clima; Meio ambiente; Petróleo; Recursos energéticos; Recursos naturais;

75 Russian nuclear power: Convenience at what cost?, <http://thebulletin.org/russian-nuclear-power-convenience-what-cost8809>

76 European Commission. 2016. “Commission Imposes Duties to Prevent Imports of Dumped and Subsidized Chinese Solar Panel Components via Taiwan and Malaysia.” <http://trade.ec.europa.eu/doclib/press/index.cfm?id=1461>

77 Guimarães, L.S., “O Poder da Energia”, CEIRI Newspaper, <http://www.jornal.ceiri.com.br/pt/o-poder-da-energia/>