



CADERNO OPINIÃO

## LEAPFROGGING DO GÁS NATURAL NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: MAIS RENOVÁVEIS, MAIS TECNOLOGIAS E MAIS *STRANDED ASSETS*

---

AUTORES

Tatiana Bruce da Silva e Fernanda Delgado

**setembro.2018**



---

## SOBRE A FGV ENERGIA

A FGV Energia é o centro de estudos dedicado à área de energia da Fundação Getúlio Vargas, criado com o objetivo de posicionar a FGV como protagonista na pesquisa e discussão sobre política pública em energia no país. O centro busca formular estudos, políticas e diretrizes de energia, e estabelecer parcerias para auxiliar empresas e governo nas tomadas de decisão.

### DIRETOR

Carlos Otavio de Vasconcellos Quintella

### SUPERINTENDENTE DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS E RESPONSABILIDADE SOCIAL

Luiz Roberto Bezerra

### SUPERINTENDENTE COMERCIAL

Simone C. Lecques de Magalhães

### ANALISTA DE NEGÓCIOS

Raquel Dias de Oliveira

### ASSISTENTE ADMINISTRATIVA

Ana Paula Raymundo da Silva

### SUPERINTENDENTE DE ENSINO E P&D

Felipe Gonçalves

### COORDENADORA DE PESQUISA

Fernanda Delgado

### PESQUISADORES

Angélica Marcia dos Santos  
Carlos Eduardo P. dos Santos Gomes  
Fernanda de Freitas Moraes  
Guilherme Armando de Almeida Pereira  
Isabella Vaz Leal da Costa  
Larissa de Oliveira Resende  
Mariana Weiss de Abreu  
Pedro Henrique Gonçalves Neves  
Tamar Roitman  
Tatiana de Fátima Bruce da Silva  
Vanderlei Affonso Martins

### CONSULTORES ESPECIAIS

Ieda Gomes Yell  
Magda Chambriard  
Milas Evangelista de Souza  
Nelson Narciso Filho  
Paulo César Fernandes da Cunha



## OPINIÃO

# LEAPFROGGING DO GÁS NATURAL NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: MAIS RENOVÁVEIS, MAIS TECNOLOGIAS E MAIS STRANDED ASSETS\*

Tatiana Bruce da Silva e Fernanda Delgado,  
FGV Energia

*Leapfrog* significa, em tradução livre, “pular” ou “ultrapassar”. Na adoção de uma nova tecnologia, método ou modelo, *leapfrogging* descreve uma mudança rápida, que leva ao emprego de processos mais avançados sem passar por etapas intermediárias de desenvolvimento.

No setor energético, *leapfrogging* ocorre quando se passa diretamente para uma solução energética mais avançada tecnologicamente, dizendo-se, assim, que uma ou algumas etapas foram puladas. Um exemplo de *leapfrogging* ocorre em regiões com menor desenvolvimento de infraestrutura. Algumas regiões em determinados países africanos ou asiáticos não têm acesso à energia elétrica devido à dificuldade de instalação de linhas de transmissão, que exigem altos investimentos, nem sempre possíveis e prementes<sup>1</sup>. Entretanto, com o advento da geração distribuída, especialmente a

<sup>1</sup> Em países da África Subsaariana, os desafios para oferecer eletricidade existem devido a uma série de fatores que passam por elevados custos de investimento, altos níveis de perdas técnicas e não-técnicas, ineficiências institucionais, dentre outros. Em estudo da Agência Internacional de Energia (IEA), reporta-se que renováveis descentralizadas oferecem a solução de menor custo para ¾ das conexões adicionais de eletricidade necessárias na região. Para mais informações, vide: Attia and Shirley, 2018.

\*Este artigo é a tradução do original “Leapfrogging natural gas in the energy transition: more renewables, more technology and more stranded assets”, publicado na edição de julho-agosto do periódico *Geopolitics of Energy*, do Canadian Energy Research Institute (CERI).

solar fotovoltaica, está ocorrendo um *leapfrogging* no fornecimento de eletricidade nessas comunidades visto que elas não experimentaram um modelo de setor elétrico centralizado, em que consumidores são conectados a usinas de geração por meio de redes de transmissão. Essas comunidades já entraram no estágio seguinte de desenvolvimento do setor elétrico, aquele da geração descentralizada e renovável.

Outro exemplo de *leapfrogging* vem ocorrendo com o avanço das renováveis “modernas”<sup>2</sup>. Em diversas localidades, já se indaga se o avanço acelerado dessas fontes energéticas levaria a um *leapfrog* na transição energética mundial. Devido a preocupações com as mudanças climáticas, o mundo vem buscando descarbonizar suas economias. Neste processo, o gás natural é considerado um “combustível de transição” por emitir menos gases causadores do efeito estufa que outros combustíveis fósseis, como carvão e óleo diesel. Dessa forma, a maior utilização do gás natural é vista como opção para reduzir emissões e, ao mesmo tempo, satisfazer as necessidades energéticas da população mundial, além de atuar para melhor integrar as fontes renováveis intermitentes e não-despacháveis (solar e eólica) à matriz elétrica.

Entretanto, devido aos ganhos de escala decorrentes de maior produção, os custos das novas tecnologias renováveis vêm caindo, contribuindo para que sua adoção ocorra mais rapidamente<sup>3</sup>. Observa-se essa tendência, por exemplo, para as tecnologias de geração solar e eólica e para armazenamento em baterias. De acordo com dados da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), desde 2009, o custo de turbinas eólicas caiu aproximadamente um terço, enquanto que o custo de módulos solares fotovoltaicos foi reduzido em 80%. Conseqüentemente, entre 2010 e 2016, o custo nivelado da eletricidade<sup>4</sup> provida por essas fontes foi reduzido de forma que, mesmo sem subsídios, as fontes solar fotovoltaica e eólica *onshore* apresentassem paridade de custo com fontes tradicionais fósseis em diversos mercados. Conseqüentemente, renováveis são, agora, segundo a IRENA (2017) a primeira escolha para expandir, aperfeiçoar e modernizar sistemas elétricos ao redor do mundo, mesmo quando em épocas de preços baixos do petróleo no mercado internacional<sup>5</sup>. Já a *Bloomberg New Energy Finance* (BNEF) relata que o custo das baterias de íons de lítio, utilizadas em veículos elétricos e sistemas de armazenamento de energia, caiu 79% desde 2010 e espera-se que caia mais 67% até 2030<sup>6</sup>.

<sup>2</sup> Energia solar fotovoltaica e termal, energia eólica, hidrelétrica, energia oceânica, energia geotérmica para produção de eletricidade e aquecimento e bioenergia moderna (REthinking Energy, IRENA, 2017).

<sup>3</sup> Tem sido de fundamental importância a existência de subsídios governamentais no estágio inicial de desenvolvimento tecnológico das renováveis a fim de permiti-las ganhar escala. Se a sociedade, representada pelo governo, acha válido subsidiar determinada tecnologia, devido aos benefícios que esta trará, o subsídio é válido desde que, quando a escala de produção for atingida, eles sejam *phased out*.

<sup>4</sup> O custo nivelado da eletricidade (*levelized cost of electricity* – LCOE), também conhecido como Custo de Energia Nivelado (*levelized energy cost* – LEC), é o valor presente líquido do custo unitário da eletricidade ao longo da vida útil de um ativo gerador. Muitas vezes, é tomado como um proxy para o preço médio que o ativo gerador deve receber em um mercado para atingir o equilíbrio (*break even*) ao longo de sua vida útil. É uma avaliação econômica de primeira ordem da competitividade de custos de um sistema de geração de eletricidade que incorpora todos os custos ao longo de sua vida útil: investimento inicial, operações e manutenção, custo de combustível e custo de capital. Fonte: IEA, 2010 ([https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/projected\\_costs.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/projected_costs.pdf))

<sup>5</sup> Delgado, F.; Weiss, M; e Bruce da Silva, T. A Geopolítica das Energias Renováveis: Considerações Iniciais. Coluna Opinião FGV Energia, fevereiro de 2018.

<sup>6</sup> *New Energy Outlook 2018, Bloomberg New Energy Finance.*

Dessa forma, este artigo visa analisar como o advento das fontes renováveis poderá contribuir para que, em determinadas regiões, ocorra um *leapfrog* do gás natural na transição energética: da adoção do carvão e outras fontes fósseis mais poluentes direto para as renováveis. A queda nos custos das tecnologias de geração de energia elétrica renovável contribuirá para que fontes de geração anteriormente dominantes passem a se tornar economicamente ineficazes, ou seja, *stranded assets* (em tradução livre: ativos improdutivos ou “enclachados”)<sup>7</sup>. Além disso, o avanço tecnológico, regulatório e de modelos de negócios permitirá que a característica de intermitência das fontes renováveis seja balanceada com a utilização de portfólios de energias renováveis e recursos distribuídos, como será analisado a seguir.

## PORTFÓLIOS DE ENERGIA LIMPA

Portfólios de energia limpa (tradução de *Clean Energy Portfolios*) englobam energia renovável (incluindo solar e eólica) e recursos energéticos distribuídos (RED, que incluem armazenamento em baterias, veículos elétricos, eficiência energética, resposta da demanda e geração distribuída). De acordo com estudo do *Rocky Mountain Institute* (2018)<sup>8</sup>, em algumas localidades, a junção dessas tecnologias já consegue prover o mesmo serviço, a custos competitivos, que plantas de

geração termelétrica a gás natural. Além disso, esses portfólios de energia limpa são balanceados e diversos, combinando recursos emergentes e maduros, não se detendo à exploração de apenas uma tecnologia. Dessa forma, portfólios de energia limpa contribuem para diversificação da matriz elétrica e, ao mesmo tempo, possibilitam a geração de eletricidade sem emissão de gases do efeito estufa (GEE). A Tabela 1 lista as opções de recursos inclusos nesses portfólios.

A partir de um modelo que estima o portfólio de recursos de menor custo que forneça as mesmas características de geração, capacidade, confiabilidade, flexibilidade, estabilidade e gestão de demanda de pico do sistema que uma usina termelétrica a gás natural, além de considerar os custos de investimento (CapEx) e de operação (OpEx), encontra-se que os portfólios de energia limpa são mais *cost-effective* que a construção de três usinas a gás natural nos EUA<sup>9</sup>.

Isso posto, e levando em consideração que as tecnologias inclusas nos portfólios de energia limpa tendem a evoluir cada vez mais nos próximos anos, fazendo com que seus custos se reduzam progressivamente, e também considerando que usinas termelétricas apresentam extensa vida útil, a construção, hoje, dessas usinas acarreta um risco a inves-

<sup>7</sup> A queda no custo das tecnologias reacende o interesse de grandes empresas de óleo e gás nas renováveis. Dinâmica semelhante ocorreu na década de 2000. Entretanto, na ocasião, o interesse veio puramente do lado da oferta, ou seja, as empresas investiram por considerarem renováveis boas oportunidades de negócio. Com a crise de 2008, contudo, esses projetos não foram adiante e os investimentos em renováveis por parte dessas empresas se retraíram. Hoje em dia, porém, o crescimento da demanda por diversos motivos (ambientais, regulatórios e outros) está contribuindo para que curva de adoção das tecnologias renováveis atinja um nível maior de maturidade, levando-as a adquirir escala e se tornarem mais baratas, competindo com tradicionais fontes fósseis.

Para maiores detalhes sobre curvas de adoção de tecnologia, vide: Rogers, E. *The Diffusion of Innovations*. The Free Press, New York, USA, 5th edition, 2003; Schilling, M.A., Esmundo, M., *Technology S-curves in renewable energy alternatives: Analysis and implications for industry and government*. Energy Policy (2009); Shahan, Z. *Electric Car S-Curve Adoption by Country*. CleanTechnica (2017).

<sup>8</sup> Dyson, M.; Engel, A.; e Farbes, J. *The Economics of Clean Energy Portfolios*. *The Rocky Mountain Institute*, 2018. (RMI, 2018)

<sup>9</sup> As usinas no estudo são: uma termelétrica a ciclo combinado na Costa Oeste Americana e duas termelétricas de disparo rápido (*gas peaker plants*) no Texas e na região do Médio-Atlântico do país.

TABELA 1: Opções de recursos para Portfólios de Energia Limpa

Eficiência Energética	Medidas físicas, controles de software ou outras estratégias para reduzir a quantidade de energia necessária para executar um determinado serviço (por exemplo, isolamento térmico e termostatos inteligentes para reduzir consumo de energia de aquecimento e refrigeração)
Flexibilidade de demanda	Controle de carga para permitir que o consumo de eletricidade varie no tempo (para horários fora de pico) sem reduzir o consumo total de energia ou a qualidade do serviço (por exemplo, carga gerenciada de veículos elétricos). Além disso, avanços tecnológicos têm permitido crescentemente a utilização de resposta da demanda na provisão de flexibilidade e integração de fontes renováveis
Energia renovável variável	Geração solar e eólica, distribuída e centralizada, que fornecem energia intermitente e não-despachável. Recentemente, contudo, a utilização de inversores inteligentes tem permitido que essas fontes forneçam flexibilidade e serviços ancilares à rede elétrica
Armazenamento de energia em baterias	Portfólio de armazenamento em baterias, tanto distribuído quanto centralizado, para balanceamento da carga e provisão de flexibilidade via carregamento e descarregamento controlados

Fonte: Rocky Mountain Institute, 2018.

tidores, pois existe uma possibilidade não trivial que esses investimentos se tornem stranded assets, ou “ativos encalhados”. Caso parecido já ocorre hoje no setor energético: com o avanço tecnológico que possibilitou ganhos de escala de produção, o gás natural vem substituindo o carvão e até mesmo a energia nuclear em alguns mercados, fazendo com que usinas de geração que utilizem esses dois combustíveis percam sua competitividade<sup>10</sup>. Espera-se que, futuramente, portfólios de energia limpa causem o mesmo impacto para o gás natural.

Dessa forma, quanto mais célere for a redução dos custos das tecnologias envolvidas nos portfólios de energia limpa, mais rapidamente também o gás natural perderá sua competitividade. Nessa situação, esse energético será *leapfrogged* na transição energética mundial. Sua utilidade em compensar a intermitência e não-despachabilidade das fontes renováveis se tornará obsoleta. Além disso, com a implantação de precificação de carbono, essas térmicas se tornarão ainda mais deseconômicas.

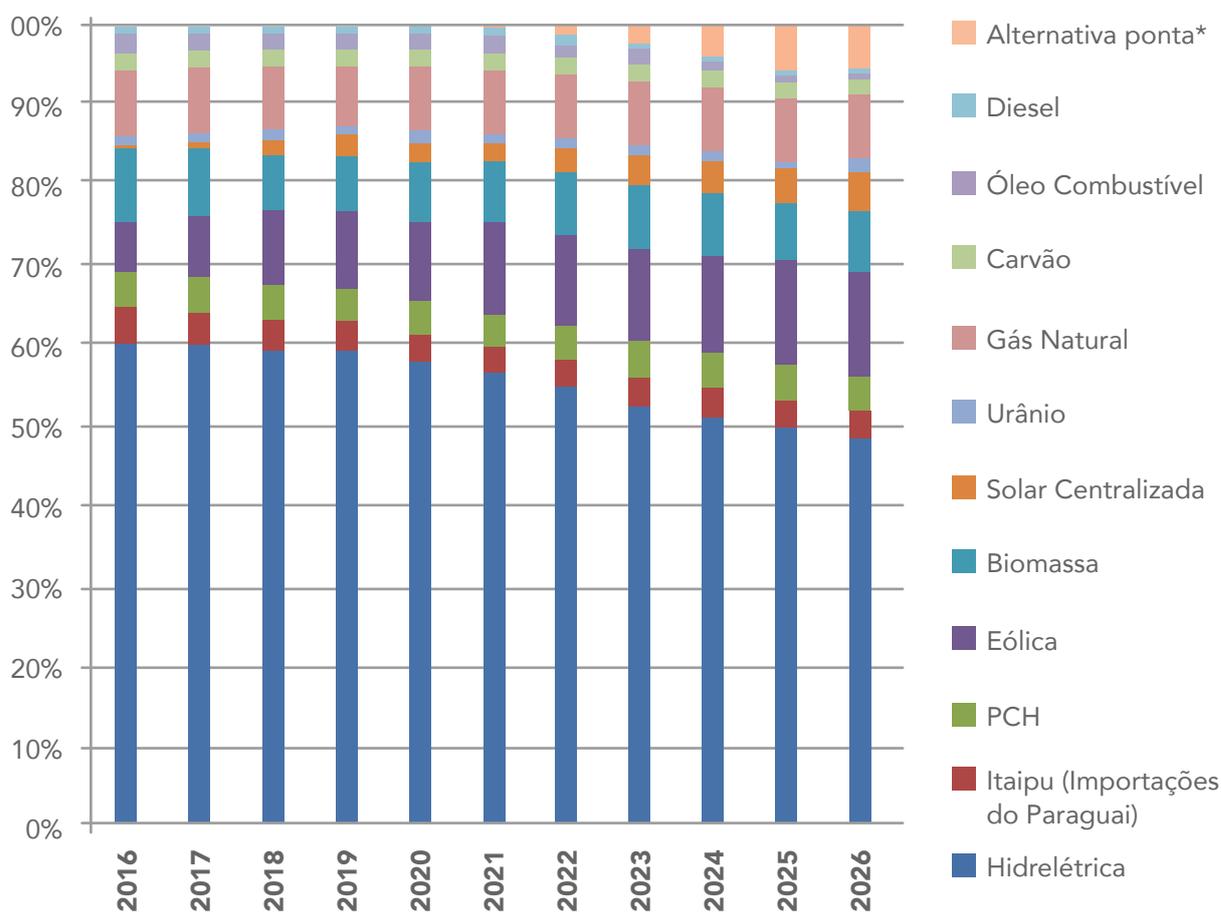
<sup>10</sup> Esse é o caso vivenciado hoje nos EUA. Mesmo assim, o governo federal atual vem tentando estender a vida útil do carvão e da nuclear por meio de subsídios. Entretanto, o regulador federal do país (FERC) declarou que não há justificativas de resgate financeiro para o carvão e a energia nuclear no país. Para mais detalhes, vide: St. John, J. “FERC Commissioners Agree: No Grid Emergency Exists to Justify Coal, Nuclear Bailout”. *Greentech Media*. 12/06/2018. Disponível em: [https://www.greentechmedia.com/articles/read/ferc-commissioners-agree-no-grid-emergency-exists?utm\\_source=Daily&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=GT](https://www.greentechmedia.com/articles/read/ferc-commissioners-agree-no-grid-emergency-exists?utm_source=Daily&utm_medium=email&utm_campaign=GT)

## E O BRASIL?

Essa discussão é relevante para o Brasil porque o mercado de eletricidade brasileiro ainda é altamente regulado. A fim de garantir previsibilidade para o investidor, custos de decisões equivocadas de planejamento no parque de geração elétrica e, conseqüentemente, de investimento, acabam sendo repassados para as tarifas pagas

pelos consumidores, que não têm mobilidade suficiente para escolher uma distribuidora com tarifa mais acessível<sup>11</sup>. Dessa forma, a decisão em investir em usinas a gás natural hoje deve considerar como outras tecnologias, que potencialmente passem a ter menores custos, estão evoluindo, ou os brasileiros terão que consumir eletricidade de *stranded assets* ineficientes

Figura 1: Evolução da capacidade instalada por fonte de geração – cenário de referência



\* Alternativa ponta inclui usinas termelétricas de ciclo aberto, usinas hidrelétricas reversíveis, repotenciação de usinas hidrelétricas existentes, baterias e resposta da demanda.

Fonte: elaboração própria com base em dados da EPE, 2018.

<sup>11</sup> A migração crescente de grandes consumidores para o mercado livre é em parte decorrente das altas tarifas pagas pelos consumidores cativos brasileiros.

quando outras opções mais acessíveis estiverem disponíveis.

Atualmente, o planejador energético brasileiro (Ministério de Minas e Energia) não considera a tendência cada vez maior de baixa dos preços das renováveis e como isso pode afetar o mix do setor energético. A estrutura de planejamento para os próximos dez anos considera as usinas térmicas como a principal fonte de energia para quando capacidade firme e flexibilidade na geração (plantas de pico) são necessárias (Figura 1). Até mesmo o carvão é mencionado como uma alternativa se a hidroeletricidade se tornar cada vez menos confiável. Embora portfólios de energia limpa já possam fornecer os mesmos serviços que usinas térmicas a menor ou igual custo em alguns mercados, o planejador brasileiro ainda não os considera como um recurso<sup>12</sup>. Usinas termelétricas foram contratadas nos últimos leilões e mais estão previstas para o futuro<sup>13</sup>.

Além disso, espera-se cada vez mais que o gás natural para geração de eletricidade venha da exploração de petróleo do pré-sal, cuja produção está aumentando diariamente. Segundo projeções do PDE, a produção de petróleo no Brasil deverá atingir seus maiores volumes até 2024, em torno de 4,0 milhões de barris / dia. Dessa

forma, as informações do PDE mostram que o planejamento energético no Brasil ainda considera investimentos em infraestrutura que pode se tornar *stranded assets* em um futuro próximo. Ao se comprometer com investimentos que têm a chance de se tornarem cada vez mais ineficientes do ponto de vista econômico, o consumidor brasileiro pode acabar pagando desnecessariamente por uma energia mais cara.

Governos podem ser mais lentos em capturar essas tendências, mas empresas privadas não são. As grandes empresas do setor de petróleo e gás vêm acompanhando cada vez mais o crescimento das energias renováveis e trabalhando para diversificar seus portfólios de investimento com o objetivo de reduzir sua especialização em combustíveis fósseis, tornando-se fornecedores de soluções energéticas como um todo (exemplos incluem a francesa Total e a norueguesa Statoil, agora chamada de Equinor). A própria Petrobras recentemente anunciou que voltará a investir em energias renováveis, juntamente com a Total. Segundo a Petrobras, essa decisão deve-se à "tendência de uma economia global cada vez menos intensiva em carbono e, por outro lado, o grande potencial do Brasil para geração de energia solar e eólica"<sup>14</sup>. A mudança para investimentos em renováveis certamente terá um

<sup>12</sup> O armazenamento em baterias e a resposta da demanda são mencionados em uma análise de sensibilidade no Plano Decenal de Energia (PDE), o documento de planejamento para a década 2016-2026. No entanto, esses recursos não são considerados no cenário de referência (Figura 1), que é considerado o mais provável de acontecer no período. Usinas térmicas são consideradas mais viáveis para atender à demanda de pico devido aos custos ainda elevados das baterias e às dificuldades regulatórias na implementação do gerenciamento do lado da demanda no país.

Há uma discussão no setor energético brasileiro sobre se a hidroeletricidade deve ser usada para fornecer energia firme e flexibilidade, permitindo assim que a expansão da capacidade ocorra através da energia eólica e solar. Em assim sendo, a matriz elétrica pode se aproximar de 100% renovável. Essa possibilidade, contudo, é colocada de lado porque a matriz elétrica já é muito limpa. Portanto, o uso de usinas térmicas não é considerado um problema. O que o planejador não entende é que, além das questões ambientais, as usinas térmicas podem se tornar *stranded assets* em alguns anos.

<sup>13</sup> Leilões de Geração, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2018.

<sup>14</sup> <https://oglobo.globo.com/economia/petroleo-e-energia/petrobras-vai-voltar-investir-em-energias-renovaveis-22871369>

impacto nos negócios dessas empresas. Entretanto, esperar muito para diversificar seus portfólios pode ter um custo muito maior. Além disso, energia ainda será demandada, seja ela proveniente de combustíveis fósseis ou renováveis. Embora alguns postos de trabalho sejam perdidos no processo, outros serão criados.

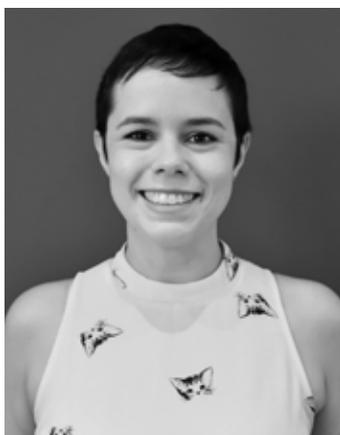
Em suma, preço é o principal fator na escolha de uma fonte de energia, de tal forma que os custos serão o principal estímulo da transição energética. As preocupações com as mudanças climáticas impulsionam a regulação, que, por sua vez,

leva ao desenvolvimento de tecnologias ainda não maduras. Eventualmente, essas tecnologias atingirão escala e se tornarão mais acessíveis do que os atuais recursos convencionais especializados em combustíveis fósseis, que podem se tornar *stranded assets*. Investir em portfólios de energia altamente especializados em combustíveis fósseis, cuja infraestrutura tem longa vida útil, potencialmente deixará de ser a opção mais segura, não apenas do ponto de vista ambiental, mas também econômico. Governos, como o brasileiro, devem ter isso em mente visando o bem-estar de seus cidadãos.



---

Fernanda Delgado é Pesquisadora na FGV Energia. Doutora em Planejamento Energético (engenharia), dois livros publicados sobre Petropolítica e professora afiliada à Escola de Guerra Naval, no Mestrado de Oficiais da Marinha do Brasil. Experiência Profissional em empresas relevantes, no Brasil e no exterior, como Petrobras, Deloitte, Vale SA, Vale Óleo e Gás, Universidade Gama Filho e Agência Marítima Dickinson. Na FGV Energia é responsável pelas linhas de pesquisa do setor de petróleo, gás e biocombustíveis, destacando-se: Descomissionamento, Downstream, Reservatórios de baixa permeabilidade, Reservas de gás natural, Veículos elétricos, Planejamento energético e Geopolítica dos recursos energéticos.



---

Tatiana Bruce da Silva é Pesquisadora na FGV Energia. Mestre em Administração Pública, com especialização em crescimento e desenvolvimento econômico, pela Universidade da Pensilvânia e Economista pela UFPE. Tem experiência com coordenação de projetos e como analista de dados estatísticos, tendo atuado em vários centros da Universidade da Pensilvânia, como a Perelman School of Medicine, a Wharton Business School e o Annenberg Public Policy Center. Além disso, tem experiência com planejamento estratégico, gestão orientada para resultados e formulação de parcerias público-privadas e consórcios públicos. Suas áreas de pesquisa na FGV Energia englobam: recursos energéticos distribuídos e sua inserção na matriz elétrica brasileira, veículos elétricos, transição energética e integração energética.

\* Este texto é de inteira responsabilidade do autor e não reflete necessariamente a linha programática e ideológica da FGV.



---

[fgv.br/energia](http://fgv.br/energia)

