

# REFLEXÕES CRÍTICAS SOBRE A EXPERIÊNCIA BRASILEIRA DE POLÍTICA INDUSTRIAL NO SETOR EÓLICO

*Bruno Plattek de Araújo*

*Luiz Daniel Willcox\**

**Palavras-chave:** Política industrial. Política energética. Energia eólica. Indústria eólica. Inovação. Política de ciência e tecnologia.

\* Respectivamente, engenheiro e economista do Departamento de Bens de Capital, Mobilidade e Defesa da Área de Indústria de Base do BNDES. Os autores agradecem os comentários a Ana Cristina da Costa, a Gabriel Daudt e ao editor do *BNDES Setorial*. Agradecem também aos colegas do BNDES Nelson Siffert, Ana Raquel Martins, Alexandre Esposito, Adriano Zanetti, Ricardo Cunha, William Saab, Lucas Lucena, Rodrigo Vides, Luís André Oliveira, Rodrigo Barbosa e Fabio Ribeiro a concessão de entrevistas aos autores ou a complementação com as informações compiladas neste trabalho, isentando-os de qualquer responsabilidade pelo conteúdo do artigo.

# THE WIND POWER INDUSTRY DEVELOPMENT IN BRAZIL: A CRITICAL REVIEW OF THE INDUSTRIAL POLICY APPROACH IN THE WIND ENERGY SECTOR

*Bruno Platteck de Araújo*

*Luiz Daniel Willcox\**

**Keywords:** Industrial policy. Energy policy. Wind energy. Wind industry. Innovation. Science and technology policy.

\* Respectively, engineer and economist of the Capital Goods, Mobility and Defense Department of the Basic Inputs Division of BNDES. The authors express their gratitude to the *BNDES Setorial* editor and to the colleagues Ana Cristina da Costa, Gabriel Daudt, Nelson Siffert, Ana Raquel Martins, Alexandre Esposito, Adriano Zanetti, Ricardo Cunha, William Saab, Lucas Lucena, Rodrigo Vides, Luis André Oliveira, Rodrigo Barbosa and Fabio Ribeiro for the interviews, comments and general thoughts, all of which had immense importance. Notwithstanding, the article express the authors' opinion.

## Resumo

O desenvolvimento da geração de energia limpa de fontes renováveis e de novas tecnologias para o combate à mudança climática tem servido como plataforma para a estruturação de políticas que promovam a transição para uma matriz energética mais limpa, a segurança energética, a geração de emprego e renda, o progresso técnico, a inovação e o desenvolvimento econômico. O presente artigo propõe algumas reflexões críticas sobre as políticas públicas adotadas para o desenvolvimento da energia eólica no Brasil à luz das experiências norte-americana e chinesa. A articulação das políticas energéticas às políticas industriais e a estruturação de mecanismos de indução da demanda por energia eólica e de exigência de contrapartidas de localização associadas ao financiamento público dos parques de geração são abordadas em detalhes.

---

## Abstract

In the past few decades many national economies have heavily fostered renewable energy and clean technologies. The investments made were supported by strong public policy to promote energy security and independence, the transition to a green economy, stimulate job creation, spur innovation and economic growth. In this paper, we present a critical review of the public policy and its main mechanisms used in Brazil to develop a local wind industry, taking as reference the US and China experiences. The combination between energy policy and industrial policy is explored. We highlight the relevance of a sizeable and stable domestic demand of wind turbines connected to the public financing of wind farms and localization standards to promote a local manufacturing supply chain.



## Introdução

---

As tecnologias verdes e as energias renováveis vêm ganhando atenção em diversas economias desenvolvidas e em desenvolvimento. A partir da virada para o século XXI, muitas dessas economias elevaram significativamente o volume de investimentos para desenvolvê-las e adotá-las, a fim de reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE), enfrentar a crise climática, garantir a segurança energética e atender à demanda futura por energia.

De modo a concatenar e perseguir esses objetivos, as políticas energéticas vêm sendo articuladas a políticas industriais e tecnológicas para promover o desenvolvimento industrial e obter os ganhos de eficiência e produtividade, que poderão acelerar a redução dos custos de geração de energia limpa e incentivar a difusão dessas tecnologias. Com isso, os países buscam viabilizar novas fontes alternativas, em paralelo à geração de emprego e renda, ao progresso técnico, à inovação e ao desenvolvimento econômico local.

Essa abordagem foi a forma que os países encontraram para acelerar a adoção das novas fontes renováveis alternativas, uma vez que a geração de energia por meio delas é, em inúmeros países, mais custosa que a geração por meio de fontes convencionais. A redução dos custos na geração das fontes renováveis alternativas por si mesma não ocorrerá na velocidade necessária para garantir uma transição energética capaz de limitar o aquecimento global a dois graus (LAZONICK; HOPKINS, 2013).

É nesse contexto que os investimentos no setor de energia eólica surgem como oportunidade para o adensamento industrial e para o desenvolvimento de cadeias produtivas de bens e serviços sofisticados.

Nos países onde se obteve sucesso em viabilizar a adoção e o desenvolvimento da geração de energia eólica em maior escala, uma indústria local se desenvolveu.

Por ora, ressalta-se que os investimentos já feitos na geração eólica no mundo são expressivos e os resultados, notáveis. Ultrapassou-se, em 2017, a barreira de 500 GW de capacidade instalada global de geração eólica, uma adição de 400 GW nos últimos dez anos, o que corresponde a investimentos realizados entre US\$ 0,5 trilhão e US\$ 1 trilhão nesse período (IRENA, 2016).

No Brasil, o desenvolvimento da energia eólica se deu a partir da busca por alternativas para a expansão da geração após a crise energética de 2001. A diversificação da matriz energética brasileira encontrou na eólica uma alternativa flexível, escalável e de rápido prazo de implantação para a expansão da capacidade de geração de energia. As jazidas de vento têm enorme potencial de geração no Brasil, estimado em cerca de 300 GW (BRASIL, 2007a; 2007b).

Os avanços da energia eólica no país foram notáveis nos últimos 15 anos. A geração eólica *onshore* local passou de uma capacidade instalada insignificante, em 2005, para a nona maior capacidade instalada global, em 2016. Nesse período, o Brasil passou a integrar o seleto grupo de países que têm uma capacidade instalada superior a 10 GW.

Os custos de geração vêm caindo de forma consistente, assim como os custos de investimento nos parques eólicos e na fabricação dos aerogeradores (EPE, 2013; 2016). Além disso, no Brasil, a expansão da energia eólica ocorreu em paralelo ao estabelecimento de uma cadeia produtiva local. Com base nesse panorama, o presente estudo apresenta algumas reflexões críticas sobre as políticas adotadas no país para o desenvolvimento da energia eólica e da indústria a ela relacionada.

O artigo está organizado em seis seções, com esta introdução. A próxima seção descreve algumas das características dos aerogeradores, as principais rotas tecnológicas e seus impactos na organização da cadeia produtiva e nas estratégias empresariais. Compreender os principais vetores do desenvolvimento tecnológico e como se relacionam com a organização da cadeia produtiva é fundamental para a discussão das políticas industriais. Na terceira seção, há um panorama do mercado global de energia eólica. A seção seguinte parte de Lewis e Wiser (2005a; 2005b) para estruturar um referencial analítico e avaliar os instrumentos de incentivo adotados no Brasil para o desenvolvimento da energia eólica e da indústria a ela relacionada, pondo-os em perspectiva ao abordar as experiências dos Estados Unidos da América (EUA) e da China, maiores mercados mundiais. A quinta seção discute como os dois principais mecanismos de apoio ao desenvolvimento da energia eólica no Brasil foram estruturados e evoluíram. São eles: (i) os mecanismos de indução da demanda por meio da criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) e, posteriormente, dos leilões de energia; e (ii) os mecanismos de incentivo à localização da atividade produtiva, por meio do credenciamento dos aerogeradores no BNDES associado ao financiamento público dos parques de geração eólica. Será destacada a articulação entre os dois mecanismos no processo que viabilizou a expansão da energia eólica no país em paralelo ao desenvolvimento de uma cadeia produtiva local. Esse processo impulsionou a adoção da energia eólica e pode servir de referência como experiência exitosa para o desenvolvimento de longo prazo tanto do setor de energia quanto da indústria a ele relacionada. Na seção conclusiva, reúnem-se algumas reflexões críticas sobre a experiência brasileira de política industrial no setor eólico e como ela poderia indicar caminhos para a expansão dessa fonte renovável, bem como servir de aprendizado para a estruturação de políticas industriais em outros setores no Brasil.

## Tecnologias e estrutura industrial na geração eólica *onshore*

A tecnologia de geração de energia eólica evoluiu de forma mais acelerada a partir da década de 1970, quando se intensificou sua disseminação e difusão para o fim de geração de energia elétrica de maior escala.

A energia eólica passou a receber especial atenção das políticas públicas voltadas ao desenvolvimento científico e tecnológico nesse período. Os principais países onde essa tecnologia floresceu e os desenvolvimentos mais relevantes foram realizados são: Alemanha, Dinamarca, EUA, Espanha e, mais recentemente, com a maior escala dos mercados, Índia e China.

A presente seção contém uma descrição estilizada das etapas de produção dos aerogeradores e das principais bases tecnológicas a elas associadas. Com base nela, vai se discutir como a indústria eólica se organiza. A análise concentra-se nos aerogeradores *onshore* de eixo horizontal de três pás, de médio e grande porte,<sup>1</sup> padrão dominante na indústria eólica ao redor do mundo e que vem sendo largamente adotado no Brasil.

O foco será especificamente nos aerogeradores, uma vez que representam entre 64% e 84% do investimento total nos parques eólicos, e não nos demais itens e serviços (como equipamentos para conexão à rede elétrica e os serviços de prospecção e instalação). É no desenvolvimento da cadeia produtiva relacionada à fabricação dos aerogeradores onde estão os maiores desafios e oportunidades para a evolução da energia eólica (IRENA, 2016).

---

<sup>1</sup> Aerogeradores com potência superior a 0,5 MW.

## Engenharia, tecnologia e a cadeia produtiva para a fabricação de aerogeradores

Os aerogeradores de eixo horizontal podem ser decompostos em três grandes pacotes: (i) pacote de conversão eletromecânica e componentes estruturais da nacela;<sup>2</sup> (ii) pacote aerodinâmico, composto pelo conjunto de pás e componentes do *hub*;<sup>3</sup> (iii) pacote de sustentação do aerogerador com a torre e seus elementos estruturais. A Tabela 1 mostra uma estimativa da quebra dos custos do aerogerador nesses três grandes pacotes.

Tabela 1 | Participação nos custos dos aerogeradores

	Participação (%)
Pacote de conversão eletromecânica de energia	45-65
Pacote aerodinâmico (pás e elementos estruturais do rotor)	18-25
Pacote de sustentação (torres e elementos estruturais)	23-27

Fonte: Elaboração própria.

### O pacote de conversão eletromecânica de energia

O pacote de conversão eletromecânica é o de maior sofisticação tecnológica e no qual os maiores avanços de engenharia foram realizados. Os sistemas de geração, controle e conversão de energia que o compõem são intensivos em tecnologias da eletrônica, de controle e automação, de novos materiais e da engenharia mecânica.

Os principais vetores de desenvolvimento são o aumento da capacidade de geração e a maior eficiência na conversão de energia, de forma a viabilizar técnica e economicamente novos modelos de aerogeradores de

2 Estrutura que acomoda o sistema de conversão eletromecânica de energia.

3 Estrutura na qual as pás são fixadas.

maior potência nominal de geração. Busca-se tanto o desenvolvimento de novos componentes e equipamentos como novas configurações do sistema de conversão de energia.

Um vetor secundário de desenvolvimento é a redução do tamanho e do peso dos componentes do pacote de conversão de energia, uma vez que a busca pela maior capacidade de geração demanda o uso de equipamentos de maior potência elétrica, que têm estruturas maiores e são mais pesados. Essas inovações estarão associadas a novos projetos de engenharia dos sistemas de conversão de energia.

Elevados investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação (P,D&I) são necessários para o desenvolvimento das diferentes rotas tecnológicas, e lógicas de *path-dependence* e efeitos de *lock-in* (DAVID, 1985; DOSI, 1982) são comuns entre as empresas desse segmento. Não há clareza se haverá uma rota tecnológica específica que se consolide em posição de liderança no pacote de conversão eletromecânica. É mais provável que as diferentes alternativas sigam recebendo investimentos nos próximos anos.

O domínio sobre essas tecnologias constitui importante diferencial estratégico na indústria eólica. Em geral, os fabricantes de aerogeradores especializam-se na capacidade de engenharia de projeto e desenvolvimento desse pacote. É comum que a fabricação dos demais pacotes aerodinâmicos e de sustentação seja terceirizada, em especial a do pacote de sustentação, por sua menor complexidade técnica. A gestão das cadeias de fornecimento é, assim, aspecto crítico da atividade dessas empresas.

Os principais fabricantes de aerogeradores no mundo são empresas especializadas que já nasceram no setor eólico e construíram uma trajetória ligada à engenharia mecânica e aerodinâmica, absorvendo o conhecimento necessário ao desenvolvimento dos componentes elétricos,

como nos casos da empresa dinamarquesa Vestas e da alemã Enercon, ou têm histórico relevante nos setores relacionados à engenharia elétrica de potência e de conversão de energia, como as gigantescas Siemens e GE.

Portanto, as empresas integrantes desse segmento são, em geral, grandes empresas transnacionais que dominam as bases de conhecimento a ele relacionadas e assumem posição proeminente perante os fornecedores de componentes e, muitas vezes, perante os investidores dos parques de geração. São as responsáveis pela organização de suas cadeias produtivas e impactam diretamente a definição da trajetória tecnológica do setor.

Assim, o domínio da engenharia relacionada ao pacote de conversão eletromecânica de energia e à capacidade de projeto dos aerogeradores constitui o elo mais relevante da cadeia produtiva do ponto de vista da sofisticação tecnológica e da evolução dos aerogeradores. Por todos esses motivos, dispensa-se grande atenção a esse segmento na estruturação das políticas de adensamento produtivo local.

## O pacote aerodinâmico (pás e elementos estruturais do rotor)

O segundo pacote mais relevante do ponto de vista da sofisticação tecnológica é o pacote aerodinâmico. Ele é composto pelas pás (três, nos modelos mais adotados) e pelo cubo no qual elas são fixadas ao sistema de *pitch*.<sup>4</sup> O pacote aerodinâmico tem relação direta com a eficiência e a capacidade de geração dos aerogeradores, uma vez que é o responsável pelo aproveitamento da energia mecânica dos ventos.

O desenvolvimento de um pacote aerodinâmico capaz de se adaptar aos distintos regimes de vento (constantes ou em rajadas, fortes ou

---

4 “Sistemas de passo” que movimentam as pás para o melhor aproveitamento das condições de vento.

fracos e mais direcionados em um sentido ou com grande variabilidade direcional) exige das empresas capacidade de engenharia para projeto das pás e competências em engenharia mecânica e de cálculo estrutural, da ciência dos materiais, técnicas avançadas de modelagem e simulação de regimes turbulentos e de controle e automação para o movimento do sistema de *pitch*.

Os principais vetores do desenvolvimento tecnológico nesse segmento são: o aumento da “área de vela”<sup>5</sup> do aerogerador, por meio do aumento no comprimento das pás, de forma a fazer uso de maior volume de força mecânica dos ventos; a busca por materiais mais leves e resistentes, para a redução do peso das pás e o aumento da capacidade de arraste do vento; melhorias das características aerodinâmicas das pás e do cubo, por meio da capacidade de projeto, modelagem e simulação e do avanço nos sistemas de sensoriamento das condições do vento para reposicionamento do sistema; e novos projetos para facilitar o transporte das pás, uma vez que elas podem atingir comprimentos de algumas dezenas de metros,<sup>6</sup> tornando a logística uma questão relevante.

Não há um padrão predominante nesse segmento quanto à internalização ou à terceirização da atividade de projeto de engenharia do pacote aerodinâmico por parte dos fabricantes de aerogeradores.

Tanto há fabricantes de aerogeradores que constituem capacidade relevante de projeto e terceirizam a fabricação das pás ou até verticalizam a produção, como há fabricantes de pás que, ao se posicionarem como referência técnica no projeto de sistemas aerodinâmicos, tornam-se fornecedores especializados e incentivam a adaptação do projeto dos

---

5 Área coberta na rotação das pás.

6 As pás eólicas *onshore* podem atingir um comprimento de setenta metros.

aerogeradores por parte de seus fabricantes. Há uma importante dinâmica de cooperação e concorrência entre os fabricantes de aerogeradores e os fornecedores especializados de pás eólicas.

No Brasil, Acciona-Nordex é um exemplo do primeiro caso e Enercon-Wobben um exemplo de verticalização da fabricação de pás. A GE é um caso híbrido; e a fabricante de pás dinamarquesa LM-Wind,<sup>7</sup> um exemplo de empresa especializada no desenvolvimento e na fabricação de pás capaz de influenciar a adaptação dos projetos dos aerogeradores.

Os requisitos técnicos e de qualidade das pás são altíssimos, próximos aos requisitos e às bases de conhecimento do setor aeronáutico. A segurança na operação e o longo tempo de vida útil das pás exigem enorme controle de qualidade no processo fabril.<sup>8</sup>

Destaca-se, ainda, que a fabricação dos cubos e dos sistemas de *pitch* demanda etapas de fundição, caldeiraria, usinagem e pintura, que são custosas e relevantes para a formação do preço final dos aerogeradores.

Todos esses aspectos relativos ao pacote aerodinâmico conferem importância ao segmento composto pelos fornecedores especializados na fabricação desses componentes e o tornam um alvo natural das políticas de adensamento produtivo.

## O pacote de sustentação (torres e elementos estruturais)

O terceiro e último grande grupo constituinte dos aerogeradores é o pacote de sustentação, com a torre e seus elementos estruturais. As torres

---

<sup>7</sup> Adquirida pela GE em 2017.

<sup>8</sup> O segmento de pás eólicas é importante gerador de emprego no chão de fábrica.

eólicas têm a função de sustentar e posicionar o *hub/nacele* e as pás na altura correta para o melhor aproveitamento do regime de ventos no local onde serão instalados os parques eólicos.

Com o crescimento da capacidade de geração dos aerogeradores e a busca por ventos mais fortes e de melhor qualidade, localizados em maiores altitudes, há uma demanda por projetos de torres de maior comprimento.<sup>9</sup>

O desenvolvimento de sistemas de sustentação que atinjam essas alturas é, portanto, o principal vetor de desenvolvimento das torres eólicas. O uso de novos materiais, mais resistentes, e novas técnicas de projeto para o cálculo estrutural e para a modelagem e simulação do comportamento desses materiais em operação são exemplos das técnicas que serão aperfeiçoadas. Redução dos custos das fundações e técnicas para a instalação mais ágil são vetores adicionais do desenvolvimento das torres eólicas.

A despeito da menor sofisticação tecnológica em relação aos dois segmentos já analisados, o segmento do pacote de sustentação é o responsável pelas maiores oportunidades de redução dos custos de geração nos próximos anos ao viabilizar o acesso a melhores condições de vento (IRENA, 2016).

As empresas fornecedoras desses sistemas atuam, em geral, também em outros setores. Entre os fabricantes de torres de concreto, há empresas da construção civil; e, entre os fornecedores de torres metálicas, empresas do segmento de transmissão de energia elétrica são comuns.

As políticas direcionadas a esse pacote buscam aproveitar as menores barreiras técnicas à entrada, de forma a qualificar fornecedores locais

---

<sup>9</sup> As torres eólicas *onshore* podem atingir até cem metros. Os modelos mais comuns são as torres metálicas, de concreto ou híbridas.

e incentivar inovações de produto e processo que auxiliem na redução dos custos de geração.

## Implicações para o desenho das políticas públicas

A importância dos três pacotes descritos para os avanços futuros da energia eólica e as oportunidades que abrem para o ecossistema industrial local justificam atuação em cada um deles.

Por sua relevância na definição da trajetória da energia eólica, a capacidade de projeto do aerogerador e o domínio do pacote de conversão eletromecânica costumam ser alvos preferenciais das iniciativas mais agressivas de política industrial nos diversos países líderes em geração eólica.

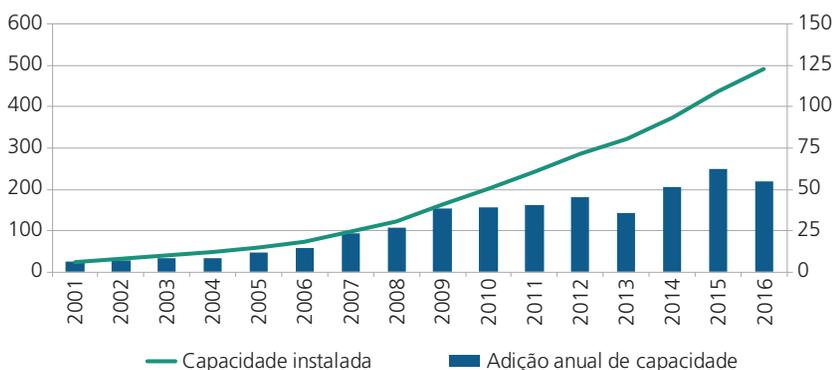
A capacitação e criação de empresas nacionais nesse segmento, aliadas à atração de investimento estrangeiro por parte de fabricantes de aerogeradores, e a implantação de laboratórios nacionais de P,D&I e certificação dedicados ao setor eólico são aspectos comuns aos países que inseriram a geração eólica de maneira significativa em suas matrizes energéticas, como expõem as seções seguintes (LEWIS; WISER, 2005a; 2005b).

Nos pacotes aerodinâmico e de sustentação, o foco das políticas está mais no aproveitamento das oportunidades de localização dos componentes. Pelas menores barreiras à entrada nesses segmentos, políticas que incentivem a diversificação da base industrial já estabelecida são comuns (LEWIS; WISER, 2005a; 2005b).

## Energia eólica no mundo

A geração de energia pela fonte renovável e limpa dos ventos é um mercado que movimentou em 2016 cerca de US\$ 100 bilhões e obteve um crescimento próximo a 15% ao ano na última década (GWEC, 2016).<sup>10</sup> A capacidade instalada ultrapassou 500 GW em 2017. A geração *onshore* representa mais de 95% desse total. Ainda assim, a fonte eólica não atinge 1% do consumo de energia global (IEA, 2017), o que indica o espaço para sua expansão. O Gráfico 1 apresenta a rápida evolução da energia eólica no século XXI.

Gráfico 1 | Capacidade instalada global e adição anual de capacidade (GW)



Fonte: Elaboração própria, com base em GWEC – GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL.  
*Global Wind Report: Annual Market Update*. Bruxelas, 2016.

A expansão da energia eólica deve continuar acelerada, embora existam incertezas quanto ao ritmo da inserção dessa fonte de energia, relacionadas, em geral, à continuidade e ao fortalecimento ou não da estrutura

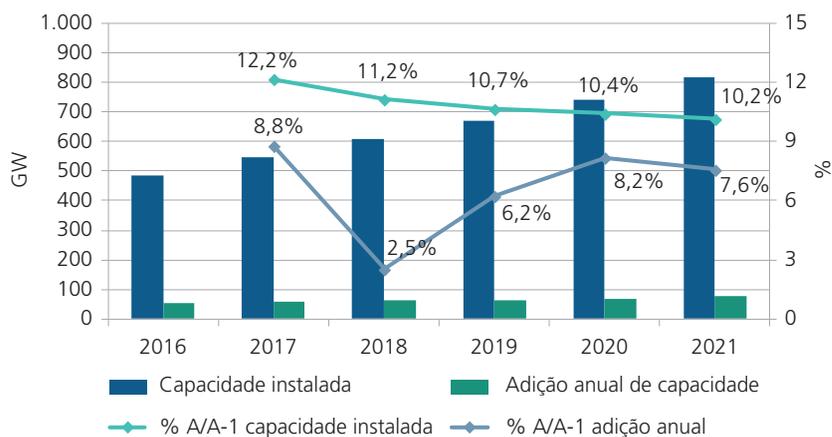
<sup>10</sup> Investimentos em 2016: novos parques – aproximadamente US\$ 85 bilhões; OPEX – aproximadamente US\$ 14 bilhões.

de incentivos e das políticas direcionadas ao setor em seus principais mercados. Esse tipo de energia ainda é mais custoso do que as fontes convencionais de energia na maioria dos países.

Espera-se um crescimento da capacidade instalada superior a 10% ao ano até 2021 (Gráfico 2), embora a adição anual de capacidade assuma um perfil mais instável, uma vez que dependerá da continuidade das políticas públicas nos diversos países (IRENA, 2016).

Essa expansão demandará entre US\$ 110 bilhões e US\$ 150 bilhões de investimento em 2021 e entre US\$ 160 bilhões e US\$ 210 bilhões em 2025 (IRENA, 2016). Mais importantes que a precisão desses números são a taxa de expansão da energia eólica e o expressivo volume de capital que deverá ser mobilizado para a realização desses investimentos.

**Gráfico 2 | Perspectiva de evolução do mercado global de geração eólica**



Fonte: Elaboração própria, com base em GWEC – GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. *Global Wind Report: Annual Market Update*. Bruxelas, 2016.

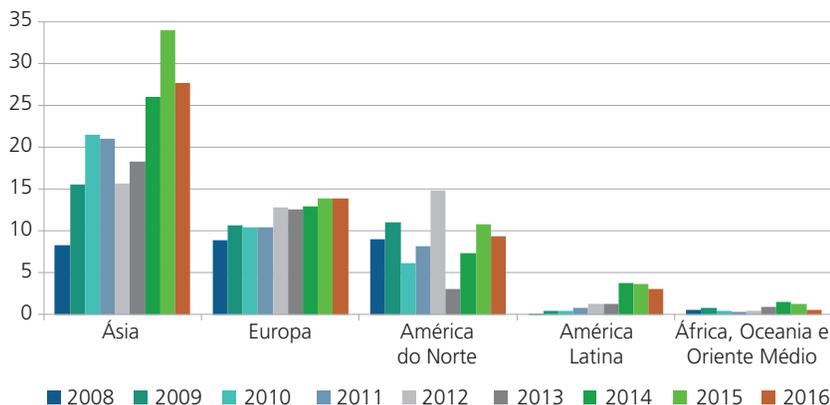
Os motivos para a inserção da energia eólica nas matrizes energéticas variam em cada uma das regiões e em cada país. Podem estar relacionados a:

diversificação e segurança energética, redução da emissão de GEE, combate à mudança climática, redução da dependência externa das fontes convencionais (a exemplo da importação do petróleo ou gás natural), ou derivam da própria expansão acelerada da demanda por energia.

Ásia e Europa são os dois principais mercados continentais (Gráfico 3). A América do Norte também é um mercado relevante, porém seu padrão de crescimento da energia eólica é errático, adicionando, em alguns anos, um volume de capacidade de geração nova muito inferior aos anos de maior crescimento.

A América Latina vem apresentando maior dinamismo nos últimos cinco anos, em grande parte pela expansão no Brasil, que representou mais de dois terços desse mercado na última década. O desenvolvimento da eólica no país acelerou depois da crise energética de 2001, quando se tornou uma opção, por sua celeridade de implantação e flexibilidade locacional, em relação à geração hídrica de grande porte.

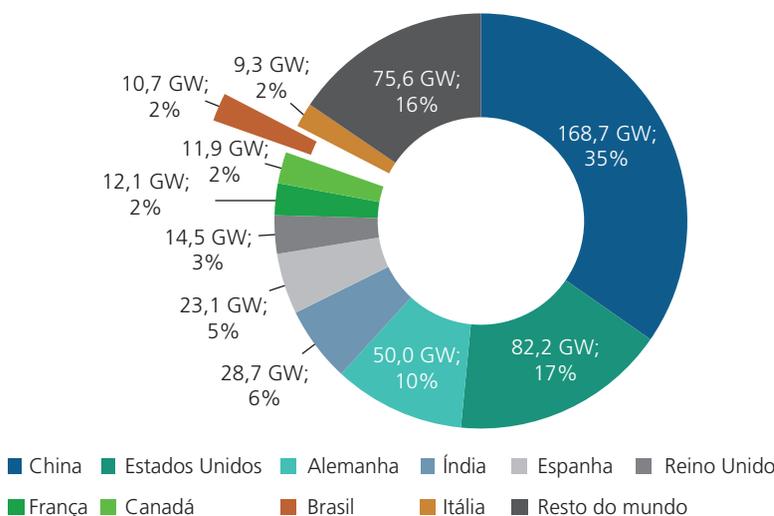
Gráfico 3 | Adição anual de capacidade por região (GW)



Fonte: Elaboração própria, com base em GWEC – GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL.  
*Global Wind Report: Annual Market Update*. Bruxelas, 2016.

A expansão da energia eólica deve se difundir por um número maior de países nos próximos anos. No entanto, os países com escala na adoção da energia eólica, até o presente, não são muitos. Os cinco maiores mercados eólicos do mundo respondem por mais de 70% da capacidade instalada global (Gráfico 4).

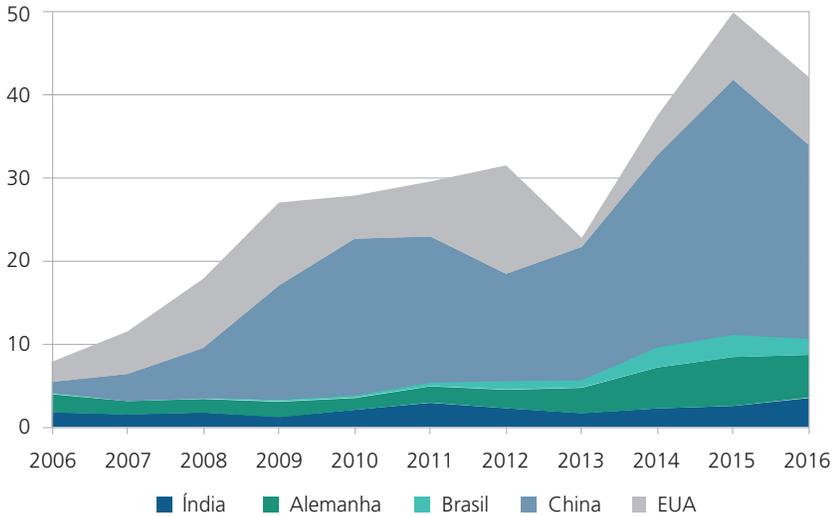
Gráfico 4 | Dez maiores capacidades instaladas até 2016



Fonte: Elaboração própria, com base em GWEC – GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. *Global Wind Report: Annual Market Update*. Bruxelas, 2016.

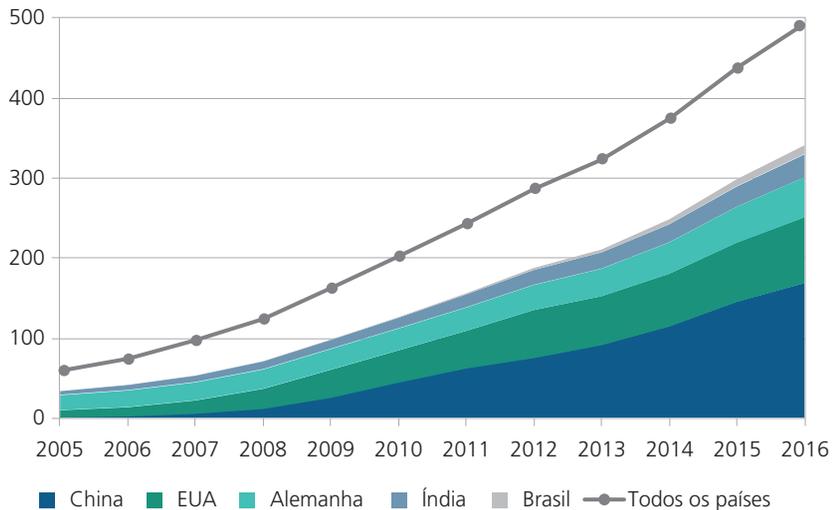
Entre esses países, alguns experimentam um crescimento continuado e significativo, a exemplo de China, Alemanha e Índia; outros um crescimento robusto, porém instável, caso dos EUA; ou, ainda, um crescimento anterior relevante e menos dinâmico no período recente, caso da Espanha. Os quatro primeiros, em conjunto com o Brasil, foram os mercados de maior adição de capacidade em 2016. Juntos, representaram quatro quintos da capacidade adicionada nesse ano. O desempenho desses países está representado nos gráficos 5 e 6.

Gráfico 5 | Adição anual de capacidade (GW)



Fonte: Elaboração própria, com base em GWEC – GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. *Global Wind Report: Annual Market Update*. Bruxelas, 2016.

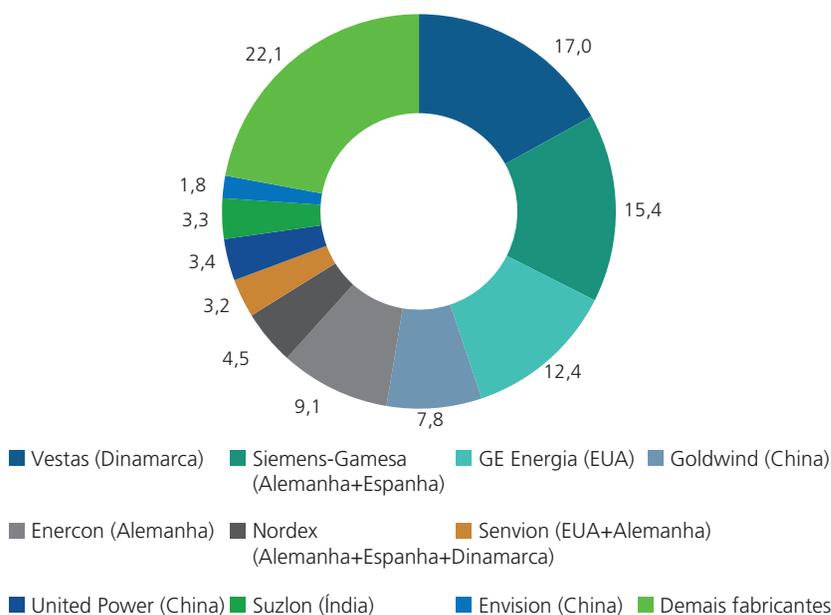
Gráfico 6 | Capacidade instalada dos cinco mercados de maior adição de capacidade em 2016 (GW)



Fonte: Elaboração própria, com base em GWEC – GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. *Global Wind Report: Annual Market Update*. Bruxelas, 2016.

Todos esses principais mercados foram estruturados em paralelo à formação de uma cadeia produtiva local. Os países onde a energia eólica mais se difundiu aproveitaram a oportunidade da expansão dessa fonte de energia para o desenvolvimento de uma indústria que absorvesse parte dessa demanda. Os dez maiores fabricantes globais de aerogeradores têm origem nos países onde o mercado de energia eólica mais se desenvolveu no mundo – China, EUA, Alemanha, Índia e Espanha (Gráfico 7).

Gráfico 7 | Participação de mercado dos dez maiores fabricantes (%)



Fonte: Elaboração própria, com base em informações do site da *Windpower Monthly*.

Nota: Referente à capacidade instalada acumulada até 2016.

Mesmo no caso da dinamarquesa Vestas, cujo mercado doméstico é menos relevante no presente em relação a seu faturamento em outros

mercados, a demanda local incentivada por políticas públicas teve papel fundamental para o crescimento da empresa no início do desenvolvimento do setor eólico. Além disso, a proximidade do principal mercado Europeu, a Alemanha, e os incentivos às atividades de P,D&I e à consolidação com outros fabricantes locais de aerogeradores impulsionaram seu crescimento posterior (HOPKINS, 2013). Os dez maiores fabricantes são responsáveis por cerca de 80% da capacidade instalada de geração até o presente e os cinco maiores por mais de 60%.

Há espaço para consolidação nesse mercado. Mesmo a líder, Vestas, não tem uma participação superior a um quinto do mercado global. Esse processo de consolidação já vem ocorrendo, tanto horizontal, com parcerias e fusões entre os fabricantes, quanto vertical, com alguns fabricantes realizando aquisições estratégicas na cadeia de fornecedores (HOPKINS, 2013). As empresas buscam, com isso, aumentar sua participação de mercado, enfrentar a concorrência em um mercado em rápida expansão e posicionar-se nos elos mais relevantes da cadeia produtiva.

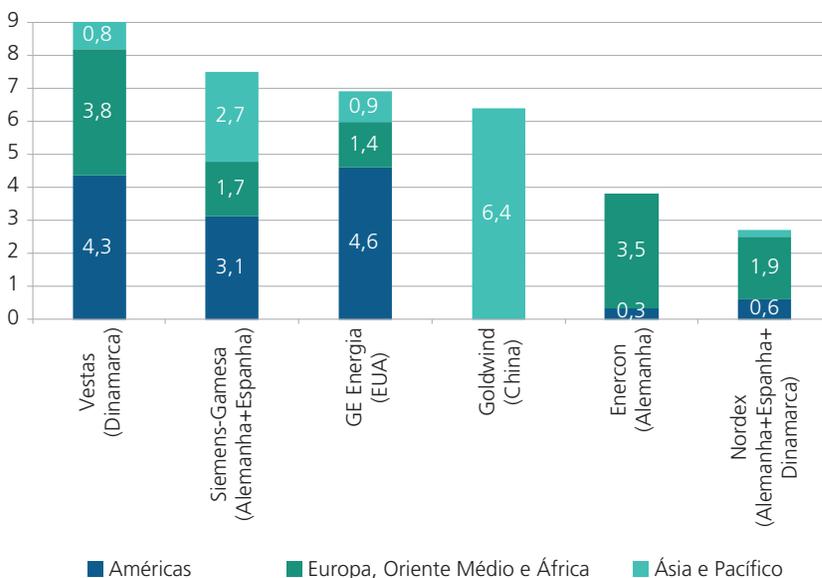
Fusões relevantes como as das divisões de energia da GE e da Alstom, criando a GE Energy, ou entre a Siemens e a Gamesa são exemplos de consolidação horizontal. Ambas foram realizadas nos últimos três anos. Na cadeia produtiva, a aquisição da LM-Wind, líder mundial na fabricação de pás, pela GE, é um exemplo de consolidação vertical.

Para todos os grandes fabricantes, suas economias domésticas ou continentais representam seus principais mercados ou desempenharam papel muito relevante para o ganho de escala inicial que viabilizou o posterior acesso aos mercados externos. A partir desses mercados locais, esses fabricantes constituíram competências técnicas e passaram por uma longa curva de aprendizado, permitindo que se tornassem

competitivos e participassem da dinâmica de concorrência global (HOPKINS, 2013).

Ainda hoje, os mercados locais ou próximos a suas zonas de influência originam a maior parcela da demanda por aerogeradores destes fabricantes (Gráfico 8). A indústria eólica é global, com fortes raízes locais e regionais.

**Gráfico 8 | Mercados dos principais fabricantes (GW)**



Fonte: Adaptado dos sites da *Windpower Monthly* e da *Bloomberg New Energy Finance*.

Nota: Referente à adição de capacidade em 2016.

Os principais fabricantes de aerogeradores de países cujos mercados já vêm sendo desenvolvidos há mais tempo, casos de Vestas, Enercon e Siemens, de origem europeia, construíram suas trajetórias por meio de intensa atividade de P,D&I. As tecnologias eólicas de maior escala de geração simplesmente não existiam até o início da expansão desses mercados (HOPKINS, 2013; LEWIS; WISER, 2005a; 2005b).

No caso dos fabricantes com origem em mercados mais recentes, casos da Suzlon, na Índia, das empresas chinesas e da Gamesa, na Espanha, diferentes estratégias foram utilizadas para acelerar o *catch-up*. De maneira geral, essas empresas desenvolveram-se por meio de parcerias, fusões, aquisições e transferência de *know-how* e tecnologia (LEWIS; WISER, 2005a).<sup>11</sup>

O mercado norte-americano é um meio-termo entre estes dois padrões de desenvolvimento da cadeia produtiva. Contou com fabricantes locais de menor porte no início do desenvolvimento da energia eólica e passou a ter um player global apenas com a entrada da GE no setor a partir da aquisição de empresas fabricantes de aerogeradores, no início do século XXI (HOPKINS, 2013).<sup>12</sup>

Uma vez que as barreiras técnicas e econômicas à entrada são relevantes, grande mobilização de capital e significativos investimentos foram necessários em todos esses casos e receberam apoio de políticas de incentivo definidas por seus países de origem (HOPKINS, 2013).

## Implicações para o desenho das políticas públicas

Há um fato estilizado no desenvolvimento da energia eólica que aponta para uma correlação entre a expansão dessa fonte de energia e sua inserção nas matrizes energéticas e o desenvolvimento de uma indústria a ela associada. A estruturação de políticas industriais foi relevante nesse contexto, como será abordado na próxima seção.

---

<sup>11</sup> A indiana Suzlon instalou seu centro de P,D&I na Alemanha. A espanhola Gamesa estabeleceu parceria com a dinamarquesa Vestas.

<sup>12</sup> A indústria eólica americana regrediu na década de 1990, com a desmobilização das políticas de incentivo. Recuperou espaço no século XXI, em parte, pela retomada dessas políticas.

A escala desses mercados foi um fator fundamental para a implantação e expansão da indústria de energia eólica. Esse processo ocorreu em um número limitado de países, que concentram maior parcela da capacidade de geração eólica no mundo.

A existência de demanda associada a mecanismos de apoio às empresas é importante fator para a criação das competências locais e o incentivo às atividades de P,D&I e engenharia. Sua previsibilidade e sustentabilidade foram fundamentais para a continuidade e o fortalecimento dos processos de *learning by doing, by adapting, by engineering, by deploying* e outras formas de aprendizado ligadas aos retornos crescentes de escala que levam à melhoria dos produtos e processos e aos ganhos de produtividade de longo prazo.

A seguir, na análise das experiências de desenvolvimento da energia eólica na China e nos EUA, vai se verificar que parte do sucesso obtido decorre da combinação de políticas que incentivem a demanda por aerogeradores (*demand-pull*) com políticas pelo lado da oferta (*technology and production push*) e com o aproveitamento das capacidades existentes nos ecossistemas produtivos e de ciência, tecnologia e inovação (C,T&I) locais.

## Políticas industriais no setor eólico

---

O estágio atual de desenvolvimento da indústria eólica no mundo é fruto, sobretudo, da construção de políticas energéticas e industriais de sucesso. Não ocorreu de forma espontânea. O desenvolvimento tecnológico e da manufatura no setor eólico e a difusão das inovações pelos diferentes mercados não se materializaram sem grande apoio do setor público.

Diversos são os motivos para a estruturação de políticas industriais e tecnológicas, e elas foram executadas de forma explícita ou implícita em todos os países que desenvolveram um mercado relevante de energia eólica (LEWIS; WISER, 2005a).

A localização da indústria dá maior flexibilidade à inserção dessa fonte na matriz energética, ao reduzir o *lead-time* necessário para o fornecimento dos aerogeradores aos projetos dos parques eólicos.

Garantia de fornecimento desses equipamentos e domínio sobre o desenvolvimento tecnológico, em especial quando há planos robustos de inserção dessa fonte na matriz energética, são razões para se buscar o adensamento local da indústria eólica e que se alinham ao desenvolvimento do setor de energia nas diversas economias e aos objetivos de segurança energética. Contar com autonomia tecnológica e evitar gargalos no fornecimento são pontos vitais para o planejamento energético de longo prazo.

Incentivar fontes alternativas de energia e uma cadeia local de fornecedores reduz a dependência dos países às fontes fósseis, para as quais questões geopolíticas são tão relevantes. Essa redução é um objetivo alinhado ao da segurança energética.

Minimizar a exposição ao risco cambial derivado da importação de equipamentos e manter uma balança comercial de bens manufaturados equilibrada são razões adicionais que sustentam as iniciativas de adensamento industrial no setor eólico (PLATZER, 2012).<sup>13</sup>

Gerar empregos qualificados na indústria e evitar o vazamento de renda são outros motivos que levaram os países a articular suas políticas

---

<sup>13</sup> Nos EUA, a importação de componentes eólicos quintuplicou entre 2005 e 2008. Incentivos à localização reduziram pela metade esse volume até 2011.

energéticas a políticas de industrialização na cadeia eólica. Buscam, com isso, os efeitos multiplicadores de emprego e renda na economia que são impulsionados pelo adensamento produtivo local.

Fortalecer o Sistema Nacional de Inovação (LUNDVALL, 1992) e os encadeamentos nas atividades produtivas e de P,D&I, alinhando política energética, industrial e de ciência e tecnologia, também é aspecto levado em consideração pelos países na formulação da estratégia de desenvolvimento, tratando o adensamento produtivo relacionado à energia eólica como uma oportunidade.

## Estratégias de desenvolvimento e mecanismos de incentivo direto e indireto

A sustentação de uma demanda mínima foi vital para os objetivos de viabilizar o desenvolvimento de fabricantes nacionais de aerogeradores no início da curva de crescimento e expansão da energia eólica nos principais mercados, a exemplo do que ocorreu nos EUA, na Dinamarca e na Alemanha. A combinação da demanda com mecanismos de incentivo pelo lado da oferta, em especial, os recursos direcionados às atividades de P,D&I, impulsionou esses mercados “*first movers*” (LEWIS; WISER, 2005a; 2005b).

Por outro lado, a escala atingida de forma acelerada nos mercados mais recentes foi viabilizada pela maior maturidade da tecnologia. Ela permitiu a combinação das estratégias de adensamento produtivo local e de atração do investimento estrangeiro direto na cadeia produtiva com as estratégias direcionadas ao desenvolvimento dos fabricantes nacionais de aerogeradores. China e Índia são exemplos de sucesso (LEWIS; WISER, 2005a; 2005b). Nesses países, os fabricantes nacionais de aerogeradores

beneficiaram-se de um ambiente onde outros fabricantes internacionais constituíram capacidade fabril local, e uma cadeia de fornecedores de bens e serviços estabeleceu-se.

Adotaram-se diferentes mecanismos e abordagens na estruturação das políticas, a depender de cada objetivo. Contrapartidas e incentivos à localização foram utilizados para atração de investimento direto, impulsionando a geração de emprego e renda local. Políticas de incentivo às atividades de P,D&I e a estruturação de parcerias estratégicas para a transferência de tecnologia foram opções mais comumente usadas para o desenvolvimento dos fabricantes nacionais de aerogeradores (LEWIS; WISER, 2005a; 2005b).<sup>14</sup> A depender da escala desses mercados, essas abordagens foram combinadas com sucesso.

Os mecanismos de incentivo aplicados em todos esses casos podem ser categorizados como incentivos diretos (lado da oferta) – políticas de apoio diretamente relacionadas à atividade produtiva –, ou como indiretos (lado da demanda) – relacionados à criação de demanda por aerogeradores ou à redução dos custos de investimento nos parques eólicos. O Quadro 1 expõe os principais mecanismos adotados para o desenvolvimento da energia eólica nos diversos países.

A seguir, há um breve panorama sobre as principais políticas adotadas nos EUA e na China. A escolha desses dois países deve-se à relevância de seus mercados, os dois maiores do mundo, e às abordagens distintas de ambos quanto aos principais mecanismos de incentivo ao setor eólico.

---

<sup>14</sup> A *joint venture* estabelecida entre Gamesa e Vestas com o apoio do governo espanhol é um exemplo.

**Quadro 1 | Mecanismos de incentivo direto e indireto**

Mecanismos de incentivo direto	Mecanismos de incentivo indireto
Requisitos de conteúdo local	<i>Feed-in tariffs</i> *
Margens de preferência ou incentivos à localização	Metas de participação em energia eólica
Créditos tributários e incentivos fiscais	Leilões de energia
Crédito à exportação	Incentivos financeiros
Programas de certificação e testes	Créditos tributários e incentivos fiscais
<i>Grants</i> e créditos equalizados	Encomendas tecnológicas
Políticas comerciais	Incentivos à compra voluntária de energia
Apoio aos fornecedores via mercado de capitais**	Apoio à geração via mercado de capitais**

Fonte: Adaptado de LEWIS, J.; WISER, R. *Fostering a renewable energy technology industry: an international comparison of wind industrial policy support mechanisms*. *Journal of Energy Policy*, v. 35, issue 3, p. 1.844-1.857, 2005a e LEWIS, J.; WISER, R. *A review of international experience with policies to promote wind power industry development*. Prepared for the Energy Foundation China Sustainable Energy Program. São Francisco: Center for Resource Solutions, 2005b.

\* Mecanismo pelo qual se remunera a uma taxa incentivada a geração de energia despachada na rede elétrica.

\*\* Incluído a partir de Lazonick e Hopkins (2013).

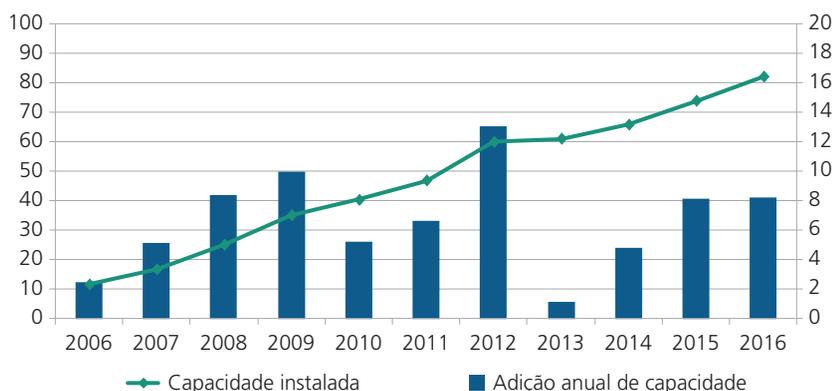
## Políticas de incentivo ao setor eólico nos Estados Unidos da América

O mercado eólico americano é o segundo maior mercado global de geração por meio dessa fonte de energia. Atingiu 82 GW de capacidade instalada em 2016, uma participação de 17% da capacidade instalada mundial.

Desse total, mais de 70 GW de capacidade de geração foram adicionados entre 2007 e 2016 (Gráfico 9), uma adição anual média superior a 7 GW, que gerou investimentos da ordem de US\$ 10 bilhões ao ano.<sup>15</sup> Apesar da participação pouco expressiva na matriz energética, a energia eólica foi responsável por mais de 5% da geração de eletricidade nos EUA em 2016.

<sup>15</sup> Irena (2016) estima investimento de US\$ 1,5 bilhão por GW nos EUA.

Gráfico 9 | Capacidade instalada e adição anual nos EUA (GW)



Fonte: Elaboração própria, com base em GWEC – GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. Global Wind Report: Annual Market Update. Bruxelas, 2016.

Também nos EUA as políticas energética e industrial estiveram unidas, com os objetivos de aumentar a participação das fontes de energia limpa na matriz energética, fortalecer a indústria local e gerar empregos qualificados.

De forma direta ou indireta, é o governo federal, em conjunto com os estados da Federação, que dita o ritmo da incorporação da energia eólica, ao direcionar incentivos a essa fonte de energia (LAZONICK; HOPKINS, 2013).<sup>16</sup>

Mecanismos diretos e indiretos foram utilizados para esse fim. *Grants*, créditos tributários e incentivos fiscais, como contrapartidas à geração de emprego na manufatura, e crédito à exportação de aerogeradores e seus componentes são exemplos dos diretos. Encomendas tecnológicas

<sup>16</sup> Os EUA são o único país signatário do Protocolo de Kyoto que não ratificou o acordo. Esse *gap* da política energética americana é parcialmente coberto por mecanismos de incentivo às fontes renováveis de âmbito federal e das unidades da Federação.

pelo Departamento de Energia (DoE) (LAZONICK; HOPKINS, 2013)<sup>17</sup> e outras agências federais e estaduais, programas de *net metering*,<sup>18</sup> exigências mínimas de participação das fontes renováveis na geração em esfera estadual (Renewable Portfolio Standards) e mercado de créditos de geração de energia limpa (Renewable Energy Credits) são exemplos de mecanismos indiretos.

A indústria eólica nos EUA dispunha, em 2011, de cerca de 470 fabricantes, diante de poucas dezenas em 2004. Emprega, no presente, mais de cem mil pessoas, cerca de um terço na manufatura, diante de cerca de trinta mil em 2005 (WISER; BOLINGER, 2012).

O crescimento da cadeia produtiva, incentivado pelas políticas do setor, viabilizou que, em média, 70% dos componentes dos aerogeradores instalados nos EUA tenham sido manufaturados localmente em 2011, em relação a 35% no biênio 2005-2006 (WISER; BOLINGER, 2012).

Essas iniciativas permitiram que os custos dos aerogeradores e da geração da energia eólica caíssem no país. Até 2014-2015, eram superiores apenas aos encontrados na China. Essa queda ocorreu em paralelo à elevação do fator de capacidade dos aerogeradores instalados (IRENA, 2016).<sup>19</sup>

Apesar disso, os EUA contam somente com um fabricante nacional de grande porte com participação relevante no mercado internacional, a GE, e obtiveram apenas relativo sucesso em desenvolver outros *players* com presença internacional nos demais elos da cadeia produtiva (LEWIS; WISER, 2005a; 2005b).

---

17 Cerca de US\$ 20 bilhões foram investidos pelo DoE em P,D&I de energia solar e eólica entre 1992 e 2012.

18 Sistema de compensação de energia no qual o consumidor-gerador de energia abate dos seus próprios custos o excedente despachado na rede elétrica.

19 O fator de capacidade é uma medida da eficiência de geração. Nos EUA, elevou-se de 30% para 35%, entre 2000 e 2014.

A volatilidade e a intermitência dos mecanismos de incentivo nos EUA, a despeito dos relevantes recursos já canalizados com o fim de viabilizar o investimento produtivo e a expansão da geração de energia, aumentam as incertezas quanto à evolução do mercado americano de energia renovável.

O incentivo mais duradouro e responsável pelo maior volume de recursos é um mecanismo indireto de crédito tributário para a geração de energia renovável, o Production Tax Credit (PTC), da esfera federal. Mesmo o PTC necessitava de renovação periódica com aprovação do Congresso e, em alguns anos, enfrentou dificuldades para a destinação de orçamento.<sup>20</sup>

Esse perfil de *stop-and-go* das políticas é apontado como uma das principais dificuldades enfrentadas pelo setor produtivo no país e é responsável por um adensamento industrial menos efetivo e intenso que o possível, considerando a escala já atingida do mercado americano (LAZONICK; HOPKINS, 2013).

O mercado de capitais, que poderia funcionar como alternativa ao viabilizar a captação de recursos tanto pelos fabricantes quanto pelos investidores em energia e, portanto, cumprir o papel do apoio direto ou indireto, tem garantido um volume de recursos muito inferior ao já destinado pelo setor público (LAZONICK; HOPKINS, 2013).

Os maiores desafios para o contínuo desenvolvimento da indústria eólica nos EUA seguem sendo a expansão do apoio público, a maior sustentabilidade das políticas e a manutenção do arranjo institucional que tornou possível os avanços até hoje.

---

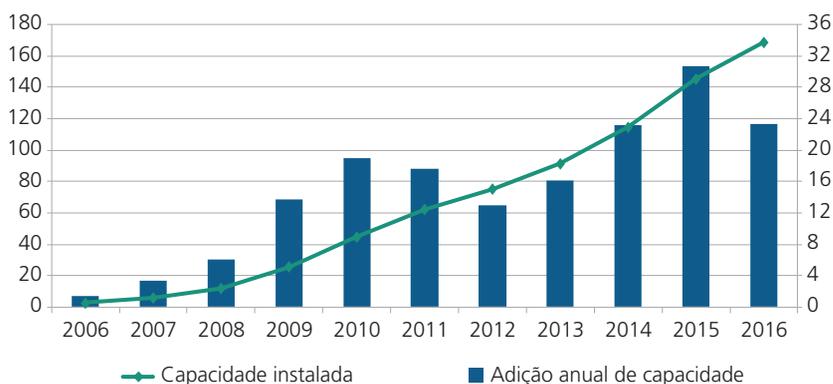
<sup>20</sup> O PTC expirou em 2012 e foi renovado em 2013, o que levou à antecipação de projetos em 2012 e a uma baixa adição de capacidade em 2013. Ver Gráfico 9 e Lazonick e Hopkins (2013).

## Políticas de incentivo ao setor eólico na China

A China é a líder global na geração eólica e atingiu 168 GW de capacidade instalada em 2016, uma participação de 35% da capacidade instalada global. Com os EUA, responde por mais da metade da capacidade instalada no mundo (GWEC, 2016).

Desse total, mais de 100 GW de capacidade de geração foram adicionados no quinquênio 2012-2016 (Gráfico 10), uma adição anual média superior a 20 GW e que gerou um investimento da ordem de US\$ 30 bilhões ao ano.<sup>21</sup> Em 2015 e 2016, a China foi responsável por quase metade da adição anual de capacidade de geração eólica no mundo. Os planos quinquenais indicativos do governo chinês mantêm esse elevado volume de adições anuais até o início da próxima década.

Gráfico 10 | Capacidade instalada e adição anual na China (GW)



Fonte: Elaboração própria, com base em GWEC – GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. Global Wind Report: Annual Market Update. Bruxelas, 2016.

21 Irena (2016) estima um investimento de US\$ 1,5 bilhão por GW na China.

De forma distinta dos EUA – onde a energia eólica se expandiu, em parte, com o objetivo de conversão da infraestrutura de energia existente, mesmo caso da Alemanha no *Energiewende* –,<sup>22</sup> na China, a crescente demanda por nova geração de energia foi o principal vetor da expansão da energia eólica (IEA, 2017).

A política industrial e tecnológica recebeu imensa atenção do governo chinês desde o início do desenvolvimento da energia eólica no país. Mecanismos de apoio direto com o objetivo de viabilizar o adensamento produtivo local e a criação de uma cadeia de fornecedores de bens e serviços ligada ao setor eólico foram articulados a mecanismos indiretos para inserção dessa fonte na matriz energética desde a década de 1990.

Um exemplo disso é o *Ride the Wind Program*, de 1995, que tinha como visão induzir a demanda por geração eólica a ser contratada pelo governo, estabelecer parcerias produtivas entre empresas chinesas e fabricantes internacionais e incentivar a concorrência local na cadeia produtiva (LIAO, 2016).

À criação da demanda por geração eólica, combinaram-se mecanismos diretos por meio do incentivo a *joint ventures*, como forma de viabilizar a absorção de novas competências pelas empresas nacionais associadas a acordos de transferência de tecnologia, que, em geral, se estabeleciam pelo licenciamento de patentes e pelo desenvolvimento e a adaptação dos sistemas para fabricação local.

Na virada do século, a inserção da energia eólica na matriz foi acelerada e o uso de incentivos indiretos, expandido. Programas de concessão de energia (*Wind Concession Programs*) foram criados para a aquisição de maior escala dessa fonte de energia a preços que viabilizaram os projetos

---

22 Iniciativa do governo alemão que visa a transição para uma economia de baixo carbono.

de geração e foram combinados a requisitos de compras locais de aerogeradores, de forma a direcionar essa demanda para a indústria nascente.

Nesse período, os projetos ganharam escala e atingiram centenas de megawatts de capacidade de geração. Esses programas de concessão de energia contavam com garantias de conexão ao *grid* e foram complementados pelo estabelecimento de *feed-in tariffs* de modo a pulverizar a demanda e incentivar projetos de geração de menor porte. O investimento estrangeiro direto, em conjunto com o suporte às empresas nascentes nacionais, desempenhou papel relevante na criação de capacidade na manufatura.

Exigências de conteúdo local mínimo e que se elevavam gradualmente, combinadas a créditos subsidiados e *grants* para as atividades de P,D&I, foram utilizadas tanto na cadeia produtiva quanto para a implantação dos parques eólicos (ZHANG *et al.*, 2013; 2016).<sup>23</sup>

Políticas comerciais, barreiras técnicas e tarifárias foram estabelecidas conforme a indústria eólica se desenvolvia e incidiam sobre a importação de aerogeradores e dos principais pacotes que o integram.

Em 2009, a China ultrapassou os EUA e passou a ser o país que mais adiciona capacidade de geração eólica no mundo anualmente. De forma distinta dos EUA, isenções fiscais e créditos tributários foram menos utilizados e tiveram um papel secundário.

A maior fatia do *funding* para os projetos de geração e transmissão de energia provinha do governo, principalmente, via investimento das empresas estatais e programas estruturados pelo China Development Bank (CDB) e outros grandes bancos chineses. O financiamento público

---

<sup>23</sup> As políticas de conteúdo local foram executadas na China até sua entrada na Organização Mundial da Saúde (OMC), em 2009, quando foram descontinuadas.

foi relevante como mecanismo de incentivo indireto para a viabilização dos parques de geração, mas também como incentivo direto, no financiamento subsidiado às empresas da cadeia produtiva.

No presente, a China dispõe de três fabricantes nacionais entre os dez maiores do mundo. A Goldwind é a líder no mercado doméstico e está entre os cinco maiores fabricantes globais. Há mais de meio milhão de pessoas trabalhando na indústria eólica chinesa (GWEC, 2016).

O país tem o menor custo de geração de energia eólica. Os preços dos aerogeradores caíram quase pela metade entre 2008 e 2015 (IRENA, 2016). As enormes escalas do mercado chinês foram determinantes nesse processo e aceleraram a queda dos custos dos aerogeradores no mercado global.

O nível de utilização da capacidade produtiva flutuou bastante e, em alguns momentos, gerou relevante capacidade ociosa nessa indústria, que passa, ainda, por um processo de crescimento e consolidação, marca do desenvolvimento da indústria da China também em outros setores.

Há outros dois pontos de atenção: (i) a relativamente baixa potência média dos aerogeradores instalados no país, que atingiu apenas 1,7 MW em 2014 (IRENA, 2016);<sup>24</sup> e (ii) o fator de capacidade médio dos novos projetos, que não atinge 25%. Ambos os aspectos relacionam-se com o desenvolvimento acelerado do setor. Pela menor complexidade técnica, o *catch-up* dos fabricantes chineses deu-se primeiramente nos modelos de aerogeradores de menor potência e fator de capacidade.

Apesar disso, a política energética chinesa, associada a uma firme política industrial, obteve sucesso em criar o maior mercado mundial

---

24 Ante aproximadamente 3 MW na Dinamarca, 2,7 MW na Alemanha, 2 MW no Brasil e 1,9 MW nos EUA.

de energia eólica e em capacitar a indústria chinesa para a futura expansão dessa fonte de energia. A viabilização de grandes fabricantes de aerogeradores chineses demonstra o êxito desse processo.

## Implicações para o desenho das políticas públicas

O desenvolvimento da indústria eólica nos casos estudados foi fruto da capacidade desses países de realizar políticas públicas agressivas. Os avanços observados hoje não decorreram de um movimento espontâneo do progresso técnico e das instituições. Os elementos que construíram as distintas trajetórias da indústria eólica nesses países se reuniram pouco a pouco, interagindo uns com outros e fortalecendo uns aos outros. Resultaram de como as políticas públicas foram estruturadas.

Essas institucionalidades e os mecanismos utilizados distinguem-se entre os dois casos estudados. Não há um receituário único que os diversos países tenham adotado para estimular o desenvolvimento dessa fonte de energia e da própria indústria local a ela relacionada.

Em comum, há a predominância de políticas *demand-led* auxiliadas por sua concertação com os mecanismos de incentivo pelo lado da oferta. A criação da demanda foi uma condição necessária para a expansão da geração eólica, porém não suficiente para o adensamento produtivo. A capacidade de direcioná-la para a indústria local foi crucial para o desenvolvimento de uma cadeia local de fornecedores. A sustentabilidade da demanda no mercado doméstico é que viabilizou os compromissos de longo prazo, que são essenciais para a tomada de decisão de investimento na manufatura (CHANG; ANDREONI, 2016).<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> A esse respeito, destaca-se o conceito de *commitments under uncertainty*, elaborado por esses dois autores.

## Desenvolvimento da energia eólica no Brasil

O setor de energia no Brasil passou por enorme ciclo de expansão a partir da virada para o século XXI. A crise energética do início da primeira década foi sucedida por um volume de investimentos que mais que dobrou a capacidade de fornecimento no sistema elétrico brasileiro. A matriz elétrica foi de uma capacidade instalada de geração de 73 GW em 2000 para 150 GW em 2016 (BRASIL, 2007a; 2007b) – uma expansão realizada em uma década e meia que supera, por exemplo, duas vezes a capacidade instalada de geração elétrica da Argentina.<sup>26</sup>

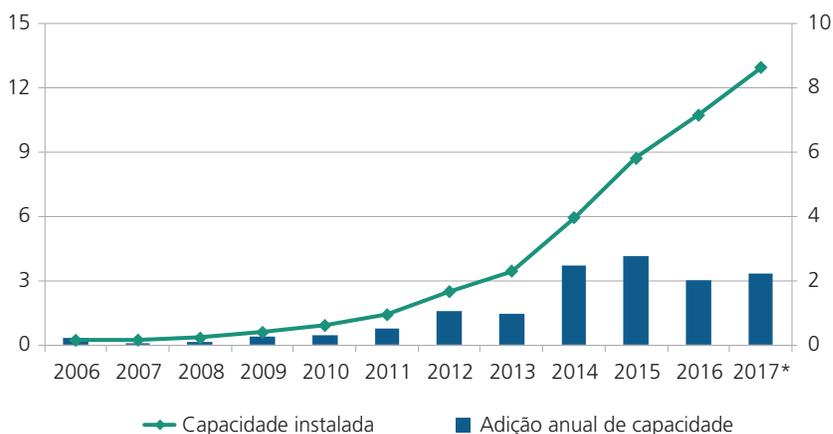
A trajetória do setor eólico no Brasil insere-se nesse contexto e teve relação com a busca por alternativas para a expansão da geração de energia e para a diversificação da matriz elétrica brasileira. A capacidade instalada de geração eólica, que era insignificante em 2005, superou 10 GW em 2016 e ficou próxima a 13 GW em 2017, como ilustra o Gráfico 11.<sup>27</sup>

No quinquênio 2012-2016, a eólica foi responsável por mais de um quinto da expansão de capacidade da matriz elétrica brasileira. O Brasil passou a estar entre os dez maiores países, em capacidade instalada de geração eólica, e entre os cinco maiores mercados, nos últimos três anos.

<sup>26</sup> A capacidade instalada de geração elétrica da Argentina era de 33,9 GW em 2016, de acordo com site da Cammesa.

<sup>27</sup> Na COP 21, o Brasil assumiu o compromisso de expandir a participação das fontes renováveis alternativas na matriz elétrica de 28% para 33% em 2030.

Gráfico 11 | Capacidade instalada e adição anual no Brasil (GW)



Fonte: Elaboração própria, com base em EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA.

Plano decenal de expansão de energia 2026. Rio de Janeiro, 2016 e ABEEÓLICA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. Boletim anual de geração eólica. São Paulo, 2016.

\* Estimativa.

As jazidas de ventos brasileiras têm imenso potencial de geração.<sup>28</sup> Os ventos na região Nordeste são constantes, estáveis, direcionais e regulares, viabilizando maior eficiência na geração. O vento Classe Brasil atinge um fator de capacidade médio de 40% (BRASIL, 2007a; 2007b), muito superior ao dos quatro maiores mercados de geração eólica do mundo (IRENA, 2016).<sup>29</sup>

Além disso, o perfil da geração eólica é complementar ao da geração solar e hídrica. Os melhores ventos ocorrem no fim da tarde e início da noite, fora do período de maior insolação, e estão distribuídos entre julho e novembro, período de menor intensidade pluviométrica na

<sup>28</sup> BRASIL (2007a; 2007b) estimam um potencial de 300 GW no Brasil. Três regiões geográficas concentram maior potencial de geração eólica no Brasil: o litoral da região Nordeste, em especial sua porção norte, o interior da Bahia e o Rio Grande do Sul.

<sup>29</sup> O fator de capacidade atinge aproximadamente 35% nos EUA, 25% na Alemanha, 24% na China e 19% na Índia.

região Nordeste. Permitem, portanto, melhor planejamento do uso dos recursos energéticos, até mesmo em regiões de maior escassez na geração.

A exploração de parques eólicos em novas regiões com boas qualidades de vento e a adoção de modelos de aerogeradores de maior potência nos novos projetos de geração permitirão ganhos adicionais no fator de capacidade e redução dos custos de geração nos próximos anos.<sup>30</sup>

Todas essas potencialidades impulsionaram a adoção da energia eólica no país. No entanto, os resultados já obtidos não foram alcançados sem o apoio de uma política energética que foi estruturada e articulada com diversos mecanismos de incentivo diretos e indiretos, viabilizando a expansão da capacidade de geração e da indústria a ela relacionada. O Quadro 2 compila os principais mecanismos.

#### Quadro 2 | Mecanismos de incentivo no Brasil

Mecanismos de incentivo direto	Mecanismos de incentivo indireto
Metodologia de credenciamento de aerogeradores do BNDES	Contratos longos com tarifas incentivadas: Proinfa (preço fixo como nos modelos de <i>feed-in</i> )
Financiamento à cadeia produtiva via bancos públicos	Leilões incentivados de compra de energia (modelo concorrencial de contratação)
<i>Grants</i> e cláusulas regulatórias de apoio a P,D&I: P&D Aneel	Financiamento público aos parques de geração eólica: BNDES, BNB e outros
Incentivos fiscais estendidos aos fornecedores: Reidi (regime especial tributário)	Incentivos fiscais para geração de energia: Reidi (regime especial tributário)
Instrumentos de mercado de capitais via bancos públicos na cadeia produtiva	Instrumentos de mercado de capitais via bancos públicos na geração de energia

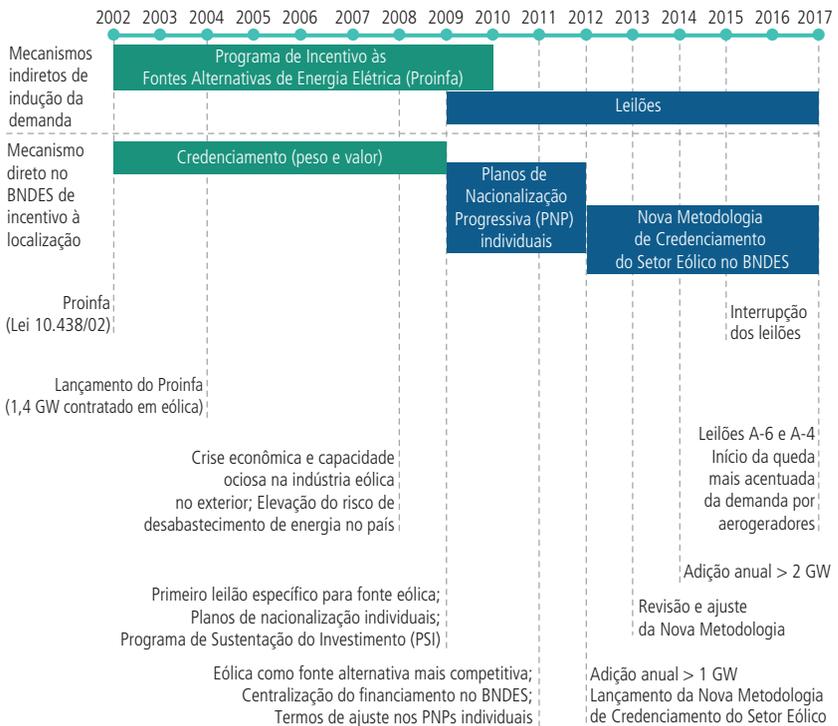
Fonte: Elaboração própria, com base em LEWIS, J.; WISER, R. Fostering a renewable energy technology industry: an international comparison of wind industrial policy support mechanisms. *Journal of Energy Policy*, v. 35, issue 3, p. 1.844-1.857, 2005a e LEWIS, J.; WISER, R. *A review of international experience with policies to promote wind power industry development*. Prepared for the Energy Foundation China Sustainable Energy Program. São Francisco: Center for Resource Solutions, 2005b.

30 Os projetos de engenharia dos aerogeradores utilizados no país são baseados em condições de ventos distintas das brasileiras. A tropicalização dos projetos impulsionaria a redução dos custos de geração.

Os três mecanismos fundamentais para o desenvolvimento recente da indústria eólica no Brasil foram: (i) os mecanismos de indução da demanda (Proinfa e leilões); (ii) o financiamento público aos parques de geração; e (iii) as regras de localização associadas ao financiamento dos parques no BNDES.

A linha do tempo (Figura 1) apresenta a evolução desses mecanismos e será detalhada nas seções posteriores, que descrevem como os mecanismos evoluíram e foram articulados, impulsionando a expansão da energia eólica em paralelo ao adensamento industrial.

**Figura 1 | Linha do tempo da indústria eólica no Brasil**



Fonte: Elaboração própria.

## O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

O primeiro programa nacional de relevo com foco nas energias renováveis foi o Proinfa, instituído pela Lei 10.438, de 26 de abril de 2002. Tinha como finalidade aumentar a participação da energia elétrica produzida em fontes eólicas, pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e biomassa no Sistema Interligado Nacional (SIN).

A coordenação do programa esteve a cargo do Ministério de Minas e Energia (MME), a quem competia a definição das diretrizes, a elaboração do planejamento, a fixação do valor econômico de cada fonte e o monitoramento do programa. Sua execução ficava a cargo da Eletrobras, responsável pela compra da energia. Os principais bancos públicos que prestaram apoio ao Proinfa foram o BNDES e o Banco do Nordeste do Brasil (BNB).<sup>31</sup> O programa previa a contratação de até 3,3 GW, distribuídos igualmente entre as três fontes alternativas incluídas no programa.

Tarifas incentivadas foram definidas como forma de viabilizar projetos de geração em cada uma das fontes alternativas.<sup>32</sup> O recebimento dos projetos de geração se dava por chamadas públicas. Eram recebidos, avaliados e contratados via Eletrobras.

O programa obteve grande êxito nas fontes hídrica (PCHs) e eólica; a eólica captou maior interesse por parte dos investidores.<sup>33</sup> Houve, assim, uma mudança de paradigma na contratação de energia renovável alternativa no Brasil. O programa criava a demanda por projetos de geração em contratos de longo prazo de até vinte anos, diferenciava a tarifa de

31 Banco do Brasil e Caixa Econômica Federal foram também agentes repassadores dos recursos do BNDES.

32 A tarifa estipulada situava-se entre R\$ 180 e R\$ 204 por MWh.

33 A geração pela biomassa não atingiu 1,1 GW, abrindo espaço para a geração eólica, que contratou 1,4 GW.

contratação de forma a viabilizar economicamente esses projetos e dava publicidade ao processo ao realizar a seleção via chamamento público.

A incerteza quanto ao volume gerado de energia, e, conseqüentemente, quanto à receita futura dos empreendimentos, elevava a percepção de risco na concessão de crédito.<sup>34</sup> A disponibilização de crédito via bancos públicos foi um aspecto fundamental para o sucesso do programa.

A existência de contratos de longo prazo e a centralização da contratação na Eletrobras reduziram a percepção de risco desses empreendimentos e alavancaram a capacidade de financiamento.

Além disso, BNDES e MME trabalharam em conjunto na estruturação do programa, na definição da modelagem do preço e na estrutura dos modelos de contratos de compra e venda de energia, suas cláusulas e prazos, modelos de garantias, necessidade orçamentária e custo de capital, entre outras questões relevantes para o chamamento público de projetos e para a concessão de crédito ao investimento.

## Aprendizados do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica e impactos na cadeia produtiva

O Proinfa funcionou como um piloto para a inserção das fontes renováveis na matriz elétrica, demonstrando a viabilidade da geração eólica no Brasil. Disponibilizou a escala inicial para sua posterior expansão e foi a principal fonte de aprendizado para o aprimoramento do modelo de desenvolvimento dessa fonte alternativa no país.

---

<sup>34</sup> A modelagem financeira via *project finance* utilizava as receitas da geração de energia como colateral e para o cálculo da alavancagem do projeto. Essa modelagem não era trivial. Não havia histórico sobre os níveis de geração eólica no país, apenas referências internacionais.

A combinação da existência de uma demanda assegurada pelo Proinfa com a relevância do financiamento para a viabilização dos projetos e o importante papel do BNDES como principal *funding* para esse fim criaram o arranjo institucional que propiciou a inserção da energia eólica na matriz elétrica.<sup>35</sup>

A participação dos bens de capital no investimento nos parques eólicos é elevada quando comparada a outras fontes de energia. Os aerogeradores representam, no Brasil, entre 70% e 80% do investimento total. Assim, financiar a implantação dos parques eólicos é, predominantemente, apoiar aquisição e implantação dos aerogeradores.

No caso do BNDES, o financiamento à aquisição de bens de capital está ligado a sua fabricação local,<sup>36</sup> assumindo a função de mecanismo de incentivo direto ao adensamento produtivo.

Assim, a articulação do financiamento público à regra de credenciamento no BNDES direcionou parcela relevante da demanda para a indústria local. Esse modelo mostrou o caminho para o casamento da política energética com a política industrial e evoluiu, posteriormente, em novos mecanismos de incentivo tanto indireto, com os leilões de energia, quanto direto, por meio dos ajustes nas regras de credenciamento dos equipamentos no BNDES.

O Proinfa teve um impacto limitado na cadeia produtiva. Poucas novas entrantes no mercado brasileiro se credenciaram no BNDES.<sup>37</sup> Apesar de

---

35 As receitas em moeda local, os longos prazos dos contratos e os volumes de investimento nos parques eólicos tornam o financiamento em moeda local uma variável fundamental para a viabilidade dos projetos. Ressalta-se que o financiamento público não era obrigatório na chamada de projetos.

36 A fabricação local é comprovada pela inclusão dos aerogeradores no Cadastro de Fornecedores Informartizado (CFI) da Agência de Financiamento a Máquinas e Equipamentos (FINAME) do BNDES.

37 Nesse momento, empresas já credenciadas exportavam a partir do Brasil, casos da Tecsis e Wobben.

o programa ter criado a demanda por aerogeradores, a sustentabilidade da demanda não estava garantida e faltava planejamento para distribuí-la no tempo. Como já exposto, regularidade e maior escala da demanda são variáveis essenciais para o adensamento produtivo no setor eólico (LEWIS; WISER, 2005a; 2005b).

## Novo modelo de desenvolvimento do setor elétrico e a energia eólica

Em paralelo à implantação dos projetos do Proinfa, o Governo Federal mudou o modelo de desenvolvimento do setor elétrico criando o ambiente regulado para a contratação de energia por intermédio de leilões.<sup>38</sup> O modelo de leilões incentivou a concorrência por menores tarifas, uma inovação relevante em relação ao modelo de contratação por tarifa fixa do Proinfa.

A inserção de novas fontes renováveis foi expandida, em parte, pela elevação do risco de desabastecimento de energia durante 2008. Realizou-se, assim, Leilão de Energia de Reserva (LER), destinado à contratação de energia eólica em 2009.<sup>39</sup> O LER marcou a retomada do setor com uma procura expressiva.<sup>40</sup> Um dos motivos para tamanha procura foi a queda na demanda por energia relacionada à crise econômica mundial.

Nesse período, a demanda global por energia despencou e o ritmo de expansão da energia eólica desacelerou em diversos países. A adição anual de capacidade de geração eólica estacionou em patamar próximo a 40 GW no triênio 2009-2011 (Gráfico 1), o que elevou a capacidade

38 Foi criado também o ambiente livre (Lei 10.848, de 15 de março de 2004).

39 O LER tinha como finalidade elevar a segurança no fornecimento de energia.

40 Mais de 13 GW em propostas e contratação de 1,8 GW, com deságio de cerca de 21%.

ociosa dessa indústria no exterior. Esse aspecto conjuntural motivou o maior interesse da indústria eólica internacional pelo mercado doméstico brasileiro.

Como forma de credenciar novos fabricantes de aerogeradores e, com isso, viabilizar o financiamento dos investidores nos parques eólicos, o BNDES passou a estruturar Planos de Nacionalização Progressiva (PNP).

A lógica dos PNPs já fora usada em outros setores. Nela, muda-se a forma de credenciamento dos equipamentos, saindo da aferição da fabricação local pelo peso e pelo valor do aerogerador para a priorização de algumas etapas produtivas e itens de maior complexidade, que são definidos com base em um diagnóstico do setor e da base industrial já estabelecida no país.<sup>41</sup>

Maior índice de fabricação local dos aerogeradores ou incorporação gradual de maior número de itens fabricados localmente implicava maior participação no financiamento aos aerogeradores nos parques de geração, o que incentivou maior localização do processo produtivo.

A demanda gerada pelo leilão, seguida de novos leilões, aliada à disponibilidade de financiamento de longo prazo a taxas atrativas<sup>42</sup> e às regras de credenciamento do BNDES, incentivou tanto o investimento nos parques de geração quanto novos credenciamentos de fabricantes de aerogeradores.<sup>43</sup>

---

41 Os PNPs eram negociados individualmente com a empresa interessada no credenciamento.

42 O Programa de Sustentação do Investimento (PSI), que estabelecia taxas incentivadas, aumentou a atratividade do financiamento público.

43 Onze fabricantes de aerogeradores firmaram PNPs com o BNDES: Wobben, Gamesa, GE, Vestas, Impsa, WEG, Alstom, Siemens, Acciona, Suzlon e Führländer. À exceção da empresa brasileira WEG, todas tinham histórico no setor eólico. Posteriormente, alguns desses fabricantes foram descredenciados por não cumprirem os marcos estabelecidos.

Grandes empresas transnacionais credenciaram-se no BNDES e assumiram compromissos de localização da fabricação dos aerogeradores. Até os primeiros leilões, a maioria realizava, com raras exceções, apenas a montagem local e dispunha de um corpo de engenharia ligado ao setor eólico muito limitado.

Com a continuidade da demanda e sua maior escala, a energia eólica passou a ser a segunda fonte de energia mais competitiva no país em 2011, atrás apenas da geração hidrelétrica de grande porte.<sup>44</sup> Também nesse ano, o Governo Federal centralizou o financiamento ao setor eólico no BNDES,<sup>45</sup> reforçando a importância do Banco como principal agente financiador das fontes renováveis e aumentando a potência de sua política de credenciamento dos aerogeradores (BNDES, 2017).<sup>46</sup>

A sustentação do ciclo de expansão da energia eólica e a revisão dos PNPs<sup>47</sup> motivaram o BNDES a uma inovação interna relevante no principal mecanismo de incentivo direto, sua metodologia de credenciamento. Em 2012, foi lançada a Nova Metodologia de Credenciamento do Setor Eólico, o primeiro conjunto de regras para o credenciamento de equipamentos para um setor específico.

Na nova metodologia, definiram-se, para todo o setor, em vez de individualmente por fabricante, as etapas produtivas a serem realizadas localmente e o nível mínimo de localização para alguns dos componentes críticos do aerogerador. A localização gradual dessas etapas foi distribuída no tempo de forma a viabilizar o adensamento da cadeia de fornecedores e teve como base a avaliação pela equipe técnica do BNDES

---

44 A tarifa da energia eólica atingiu R\$ 134,02/MWh em 2011 e R\$ 109,69/MWh em 2012.

45 O BNB deixou de prestar seu apoio ao setor eólico.

46 O BNDES apoiou 74% da capacidade de geração eólica no Brasil entre 2003 e 2015.

47 Alguns fabricantes não cumpriram as metas e foram descredenciados.

perante inúmeros fornecedores, fabricantes do setor eólico e de setores relacionados, bem como diversas associações de classe.

Para as etapas e elementos que contavam com uma base industrial já estabelecida, ficou definido um *ramp-up* mais acelerado, caso das torres e seus principais componentes. Nos componentes mais complexos que, contudo, podiam passar a ser fabricados localmente em períodos não muito longos, exigiu-se, primeiramente, a fabricação local e, posteriormente, a aquisição de insumos. Esse foi o caso das pás. Nos pacotes de grande complexidade e sem uma base industrial já existente, níveis inferiores de localização foram estabelecidos, elevando-se, também gradualmente, com o tempo e permitindo a fabricação local de itens de maior valor agregado e conteúdo tecnológico, como feito para alguns dos componentes do pacote de conversão eletromecânica de energia.<sup>48</sup>

Com isso, houve a implantação gradual da cadeia produtiva, que envolveu novos investimentos *greenfield* e *brownfield* e entrada de novas empresas, por meio de investimento estrangeiro direto e da diversificação de empresas já estabelecidas no país. A base industrial metal-mecânica nacional teve importante papel nesse processo.

Os fabricantes de aerogeradores adotaram distintas estratégias de localização. Alguns verticalizaram as etapas de produção, saindo do pacote de conversão eletromecânica de energia e investindo na fabricação local do pacote aerodinâmico. Outros qualificaram fornecedores locais ou optaram pela atração de parcerias de sucesso já existentes no exterior.

Algumas novas empresas de pás eólicas estabeleceram-se no país, outras expandiram sua capacidade instalada. Diversos fornecedores de torres

---

<sup>48</sup> Entre 2013 e 2014, algumas etapas da nova metodologia se demonstraram barreiras técnicas ou econômicas e foram postergadas pelo período de seis meses.

metálicas e de concreto realizaram investimentos, em geral, em regiões próximas aos parques eólicos. Mais de uma centena de empresas passou a integrar a cadeia de fornecedores de aerogeradores e seus componentes.

O investimento produtivo, por vezes, associou-se a um processo de desconcentração regional da manufatura. Embora o estado de São Paulo tenha permanecido como principal polo da base metal-mecânica, algumas empresas estabeleceram-se nas regiões Nordeste e Sul.<sup>49</sup>

Empresas instalaram-se nos estados da Bahia, de Pernambuco, do Ceará, do Rio Grande do Norte e do Rio Grande do Sul. Alguns desses estados buscaram se posicionar como polos produtivos regionais – casos de Suape, em Pernambuco; Pecém, no Ceará; e Rio Grande, no Rio Grande do Sul.

A expansão anual da capacidade de geração superou 2 GW em 2014. As políticas energéticas, de financiamento e industrial continuaram a caminhar em paralelo e se complementaram. A localização da indústria viabilizou a queda nos prazos de implantação dos parques eólicos.<sup>50</sup>

Fabricantes restabeleceram-se ou saíram do mercado (por exemplo, Vestas e Impsa, respectivamente), alguns por dificuldades financeiras. Outros fundiram-se globalmente e consolidaram fatia relevante do mercado nacional (por exemplo, fusão entre as divisões de energia da GE e da Alstom). Casos de verticalização na cadeia produtiva em âmbito global também alteraram a dinâmica de concorrência no país (por exemplo, aquisição da LM-Wind pela GE). Novos entrantes nacionais elevaram seus investimentos em P,D&I ou expandiram sua capacidade produtiva (por exemplo: WEG, aerogeradores; Engebasa,

---

49 Os custos logísticos são relevantes no setor eólico.

50 Os prazos de implantação dos parques eólicos reduziram-se de dois para cerca de um ano.

torres metálicas; e Uniforja, flanges) e o investimento estrangeiro direto se intensificou (por exemplo: Gestamp, torres; Iraeta, flanges; e SKF Kaydon, rolamentos).

Os leilões continuaram a ser realizados com frequência até 2015, quando foram interrompidos em razão da crise econômica no país e da queda na demanda por energia. A carteira de projetos existente vai se estender até 2018-2019, quando se espera queda expressiva na demanda por aerogeradores.

Os dois leilões realizados no fim de 2017 viabilizam encomendas de aerogeradores apenas a partir da próxima década.<sup>51</sup> O triênio 2018-2021 será de expressiva queda na demanda. A interrupção do processo que se desenrolava implica ajustes na cadeia produtiva.

A estratégia das empresas passou a ser a busca por oportunidades no mercado externo, em especial na América Latina. Esse não é um processo simples. O aspecto logístico é relevante para alguns componentes. Outros ainda não atingiram a competitividade em custo. Além disso, os volumes expressivos que vinham sendo contratados e produzidos no Brasil não são facilmente absorvidos por outros mercados. O acesso reduzido a linhas de crédito à exportação no país é mais um desafio nesse quadro.

Como nos demais mercados com escala, a demanda doméstica é fundamental para a indústria eólica local. A manutenção da base industrial instalada e a recuperação do dinamismo na cadeia produtiva são relevantes para a retomada e a futura expansão da energia eólica no Brasil. A experiência recente indica alguns caminhos para isso, que serão apontados na seção final.

---

51 Nos leilões de energia nova A-4 e A-6 (dezembro de 2017), atingiu-se o menor custo histórico da energia eólica.

## Recomendações para o setor eólico e para as políticas industriais

O Quadro 3 assinala os principais mecanismos em cada um dos casos estudados.

Quadro 3 | Mecanismos de incentivo direto e indireto

Direto	EUA	China	Brasil	Indireto	EUA	China	Brasil
Requisitos de conteúdo local		x		<i>Feed-in tariffs</i>	x	x	x
Margens de preferência ou incentivos à localização		x	x	Metas de participação em energia eólica	x	x	
Créditos tributários e incentivos fiscais	x		x	Leilões de energia		x	x
Crédito à exportação	x	x	x	Incentivos financeiros		x	x
Programas de certificação e testes		x		Créditos tributários e incentivos fiscais	x		x
<i>Grants</i> e créditos equalizados	x	x	x	Encomendas tecnológicas	x	x	
Políticas comerciais	x	x		Incentivos à compra voluntária de energia	x	x	x
Apoio aos fornecedores via mercado de capitais	x		x	Apoio à geração via mercado de capitais	x		x

Fonte: Elaboração própria, com base em LEWIS, J.; WISER, R. Fostering a renewable energy technology industry: an international comparison of wind industrial policy support mechanisms. *Journal of Energy Policy*, v. 35, issue 3, p. 1.844-1.857, 2005a; e LEWIS, J.; WISER, R. *A review of international experience with policies to promote wind power industry development*. Prepared for the Energy Foundation China Sustainable Energy Program. São Francisco: Center for Resource Solutions, 2005b.

A evolução da energia eólica no Brasil pode ser apontada como um caso de referência de combinação da política energética à política industrial. O Quadro 4 contém algumas estatísticas sobre esse processo.

### Quadro 4 Energia eólica no Brasil

Capacidade instalada	Superou 10 GW em cerca de uma década; investimento superior a R\$ 60 bilhões (aproximadamente R\$ 6 bilhões/GW). 2017 = 12,7 GW (nona maior capacidade global); 503 usinas instaladas. 2015-2017: entre os cinco maiores mercados mundiais Desenvolvimento regional e redistribuição geográfica da geração para a região Nordeste.
Fator de capacidade	Aproximadamente 40%, o maior entre os principais países geradores de energia eólica. Maior que 60% em alguns parques e períodos do ano.
Custos de geração de energia	Fonte alternativa mais competitiva do país (2011); atingiu o menor preço histórico em 2017, inferior à geração hídrica de grande porte. Terceiro menor custo médio de geração global, atrás apenas de China e EUA, maiores mercados mundiais.
Emprego	Mais de 150 mil empregos diretos e indiretos na cadeia produtiva de energia eólica.
Cadeia produtiva	Mais de cem novas empresas na cadeia de fornecedores. Seis grandes fabricantes de aerogeradores com plantas fabris estabelecidas. Um fabricante nacional de aerogeradores. Base metal-mecânica diversificou sua atuação para eólica de maneira relevante. Desconcentração regional da manufatura da região Sudeste para as regiões Sul e Nordeste.
Custos de fabricação dos aerogeradores	Em queda com os ganhos de escala do mercado; alguns dos componentes críticos do aerogerador são exportados.
Prazo para implantação dos parques de geração	Próximo a um ano no presente; superava dois anos no início dos leilões.
Potência média dos aerogeradores em novos empreendimentos	Aproximadamente 2 MW, inferior apenas a Alemanha e Dinamarca e superior a China, Índia e EUA.
Redução de emissão de CO <sub>2</sub>	21.823.688 toneladas de CO <sub>2</sub> por ano.

Fontes: ABEEÓLICA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. *Boletim anual de geração eólica*. São Paulo, 2016; BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. *Livro Verde: nossa história como ela é*. Rio de Janeiro, 2017; BRASIL. Ministério de Minas Energia. *Matriz Energética Nacional 2030*. Colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME, EPE, 2007a; BRASIL. Ministério de Minas Energia. *Plano Nacional de Energia 2030*. Colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME, EPE, 2007b; EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Caracterização do recurso eólico e resultados preliminares de sua aplicação no sistema elétrico: recursos energéticos*. Rio de Janeiro, ago. 2013; EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Plano decenal de expansão de energia 2026*. Rio de Janeiro, 2016; e IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. *The power to change: solar and wind cost reduction potential 2025*. Abu Dhabi, jun. 2016.

Com base na sistematização proposta por Lewis e Wiser (2005a; 2005b) e na análise feita para o caso brasileiro, apresentam-se, a seguir, uma síntese das ideias expostas no decorrer do artigo e algumas reflexões sobre as políticas estruturadas para o desenvolvimento da energia eólica e da cadeia produtiva a ela relacionada:

- Todos os países que desenvolveram um mercado relevante de energia eólica tiveram sucesso em desenvolver uma indústria local. Esse processo transcorreu com participação do setor público e com a articulação das políticas energéticas a políticas industriais e tecnológicas. A indústria eólica é global com raízes locais e regionais.
- A existência de demanda por geração eólica foi um elemento fundamental para a expansão da manufatura nos diversos países. Uma demanda perene, sustentável e previsível foi condição necessária para o adensamento produtivo local. A indução da demanda foi crucial para o contínuo desenvolvimento dessa indústria e da própria energia eólica.
- O desenvolvimento dessa indústria viabilizou ganhos de produtividade e redução dos custos de geração da energia eólica. A difusão da energia eólica se beneficiou do avanço da manufatura a ela relacionada. Sua expansão acelerada nos próximos anos depende da continuidade desse processo.
- Mecanismos de incentivo direto complementaram a existência da demanda e incentivaram a localização da cadeia produtiva. A sustentabilidade das políticas foi essencial para o desenvolvimento de uma indústria local nos países com maior escala de geração eólica.
- Não houve um arranjo institucional único e mais benéfico ao investimento industrial. Tampouco houve uma hierarquia sobre

os melhores mecanismos de incentivo. Cada país construiu sua história particular de desenvolvimento da energia eólica, conformando e adaptando suas instituições e seus mecanismos em um processo gradual e de intenso aprendizado. Esse aprendizado ocorreu durante o desenvolvimento da energia, e não de forma prévia a ele.

- As políticas industriais não passaram pelo *phasing-out* por meio do alcance de metas estáticas e previamente definidas. Ao contrário, o desenrolar dessas políticas aproxima-se de um processo gradual e sustentável de *phasing-in* em um contexto extremamente dinâmico e de enorme incerteza e que tem o objetivo de empurrar a fronteira do desenvolvimento adiante. A avaliação, a compreensão do estágio de desenvolvimento e a revisão dos objetivos a serem alcançados é que levaram a novas abordagens, à realocação de instrumentos, à combinação de iniciativas e mecanismos e à decisão de fortalecer ou retirar incentivos.
- A experiência brasileira também obteve sucesso em expandir a geração eólica no país e em localizar uma cadeia produtiva de bens e serviços. Contou, para isso, com mecanismos de incentivo à demanda, que evoluíram até o modelo dos leilões de energia, e com mecanismos diretos, que estabeleceram requisitos de localização associados ao financiamento público dos parques de geração.
- De forma distinta dos demais países que desenvolveram mercados relevantes de geração eólica, a participação de mercado do único fabricante nacional de aerogeradores no Brasil é, ainda, muito pequena. Este, por sinal, é o aspecto mais crítico da experiência brasileira de desenvolvimento do setor eólico e tem origem na própria estrutura industrial predominantemente transnacional do país. Ressalta-se que a escala do mercado bra-

sileiro na última década foi superior às existentes no início do desenvolvimento da geração eólica, quando alguns dos principais fabricantes de aerogeradores desenvolveram-se nos demais países. Nos mercados mais recentes, a escala dos investimentos permitiu o desenvolvimento de novos fabricantes nacionais conjugado à atração de investimento estrangeiro direto na cadeia produtiva. O desenvolvimento desse elo relevante da cadeia produtiva brasileira passaria pela manutenção dos mecanismos indiretos de indução da demanda e dos mecanismos diretos de localização associados ao financiamento e pela complementação desses mecanismos com maior apoio às atividades de P,D&I na cadeia produtiva, de forma a viabilizar a absorção de tecnologias e maior capacidade de projeto nas empresas nacionais.

Com a ciência de que todos esses pontos são controversos, espera-se que este artigo tenha, ao menos, o efeito de incentivar a reflexão acerca deles. O adensamento produtivo, industrial e tecnológico é, na visão dos autores, um dos caminhos para a mitigação dos efeitos decorrentes da mudança climática, a garantia da segurança energética no longo prazo e o próprio desenvolvimento do Brasil.

## Referências

---

BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. *Livro Verde: nossa história como ela é*. Rio de Janeiro, 2017.

BRASIL. Lei n. 10.438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa). Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/2002/L10438.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2002/L10438.htm)>. Acesso em: 7 fev. 2018.

- \_\_\_\_\_. Lei n. 10.848, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/l10.848.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.848.htm)>. Acesso em: 7 fev. 2018.
- \_\_\_\_\_. Ministério de Minas Energia. *Matriz Energética Nacional 2030*. Colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME; EPE, 2007a.
- \_\_\_\_\_. Ministério de Minas Energia. *Plano Nacional de Energia 2030*. Colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME; EPE, 2007b.
- CHANG, H.-J.; ANDREONI, A. Industrial policy in a changing world: basic principles, neglected issues and new challenges. *Cambridge Journal of Economics 40Years Conference*. Cambridge, 2016.
- DAVID, P. Clio and the economics of QWERTY. *American Economic Review*, n. 75, p. 332-337, 1985.
- DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, n. 11, p. 147-162, 1982.
- EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Caracterização do recurso eólico e resultados preliminares de sua aplicação no sistema elétrico: recursos energéticos*. Rio de Janeiro, ago. 2013.
- \_\_\_\_\_. *Plano decenal de expansão de energia 2026*. Rio de Janeiro, 2016.
- GWEC – GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. *Global Wind Report: Annual Market Update*. Bruxelas, 2016.
- HOPKINS, M. *The makings of a champion or wind innovation for sale: the Wind industry in the United States 1980-2011*. Cambridge, MA: The Academic-Industry Research Network, ago. 2013. (AIR Working Paper #13-08/02.)
- IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook 2017*. OECD Publishing, Paris, 2017.
- IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. *The power to change: solar and wind cost reduction potential 2025*. Abu Dhabi, jun. 2016.
- LAZONICK, W.; HOPKINS, M. *Soaking up the sun and blowing in the wind: the clean tech needs patient capital*. Cambridge, MA: The Academic-Industry Research Network, 2013. (AIR Working Paper #13-08/01.)

LEWIS, J.; WISER, R. Fostering a renewable energy technology industry: an international comparison of wind industrial policy support mechanisms. *Journal of Energy Policy*, v. 35, issue 3, p. 1.844-1.857, 2005a.

———. *A review of international experience with policies to promote wind power industry development*. Prepared for the Energy Foundation China Sustainable Energy Program. São Francisco: Center for Resource Solutions, 2005b.

LIAO, Z. The evolution of wind energy policies in China (1995–2014): An analysis based on policy instruments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 56, p. 464-472, abr. 2016.

LUNDVALL, B. A. *National Systems of Innovation Systems: towards a theory of innovation and interactive learning*. London: Pinter Publishers, 1992.

PLATZER, M. D. U.S. *Wind turbine manufacturing: federal support for an emerging industry*. Congressional Research Service Report for Congress. Washington, DC, 2012.

WISER, R.; BOLINGER, M. *2011 Wind Technologies Market Report*. U.S. Department of Energy, Berkeley, Calif.: Lawrence Berkeley National Laboratory, ago. 2012.

ZHANG, S. *et al.* Interactions between renewable energy policy and renewable energy industrial policy: a critical analysis of China's policy approach to renewable energy. *Journal of Energy Policy*, n. 62, p. 342-353, 2013.

ZHANG, Y. *et al.* Wind energy rejection in China: current status, reasons and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Review*, n. 66, p. 322-344, 2016.

## Sites consultados

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE – <[about.bnef.com](http://about.bnef.com)>.

CAMMESA – <[www.cammesa.com](http://www.cammesa.com)>.

WINDPOWER MONTHLY – <[www.windpowermonthly.com](http://www.windpowermonthly.com)>.

