CONSIDERAÇÕES SOBRE AS INDÚSTRIAS DE EQUIPAMENTOS PARA PRODUÇÃO DE ENERGIAS EÓLICA E SOLAR FOTOVOLTAICA E SUAS DIMENSÕES CIENTÍFICAS NO BRASIL[1]

Paulo A. Meyer M. Nascimento[2]

1 INTRODUÇÃO

Muita expectativa existe em torno das modernas fontes renováveis de energia quanto ao seu potencial inovador e de desenvolvimento econômico, modificando significativamente o estilo de vida de nações inteiras. Mazzucato (2014) acredita que a nova revolução industrial seja a revolução verde, propiciada pela crescente participação de fontes renováveis na matriz energética mundial. Em relatório do McKinsey Global Institute, Manyika *et al.* (2013) classificam as energias eólica e solar fotovoltaica como duas das tecnologias que transformarão o mundo na próxima década.

Recente declaração dos líderes do Grupo dos Sete (G7),[3] anunciada ao final da conferência de cúpula dos dias 7 e 8 de junho de 2015, a seis meses da 21ª Conferência do Clima (COP 21), reforça expectativas nesse sentido. O documento enfatiza a necessidade de "profundos cortes" na emissão de gases do efeito estufa, propondo maior empenho de todos os países, ao longo deste século, na redução da intensidade em dióxido de carbono (CO_2) nas suas matrizes energéticas (G7, 2015).

Para o Brasil, à medida que se concretiza um viés mais acentuado a favor de energias limpas, elevam-se as incertezas quanto à efetiva viabilidade da exploração do petróleo na camada do pré-sal. Ao mesmo tempo, expandem-se as oportunidades para o país avançar no desenvolvimento de fontes renováveis de energia. Tendo em vista seu grande potencial para o aproveitamento da luz solar e da força dos ventos na geração de eletricidade, apresenta o Brasil indicadores convergentes com os dos países líderes nessas tecnologias?

Para contribuir com esse debate, este artigo analisa dados secundários e informações contidas em variados relatórios para delinear os atuais contextos – internacional e doméstico – das indústrias de bens de capital na geração de energias eólica e solar fotovoltaica. Adicionalmente, recorre a dados sobre produção científica disponíveis no portal ISI Web of Knowledge (Thomson Reuters, [s.d.]), para se ter uma noção do quão presente e relevante, no debate internacional sobre essas duas fontes de energia renovável, a base científica nacional possa estar. Busca-se, com isso, apresentar uma visão geral dos mercados e da concorrência no âmbito dessas indústrias, bem como situar o Brasil nesses contextos e no domínio científico e tecnológico relevante ao desenvolvimento dessas fontes de energia renovável.

Este artigo está dividido em seis seções, das quais a primeira é esta introdução. A seção 2 delineia o contexto em que florescem as chamadas energias renováveis na matriz energética mundial. A seção 3 fornece ao leitor uma visão da evolução dos mercados globais de sistemas fotovoltaicos e eólicos, enquanto a seção 4 apresenta uma breve discussão acerca do ambiente doméstico desses mercados. A seção 5 vale-se de dados bibliométricos para discutir a dimensão relativa e a visibilidade da base científica brasileira nos campos das energias eólica e solar. Por fim, a seção 6 traz as considerações finais.

---

1. Este artigo é uma versão ampliada de um ensaio produzido para discussão na disciplina *Organização industrial*, ministrada em 2014 no Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal da Bahia (PPGE/UFBA) pelo professor-doutor Hamilton de Moura Ferreira Jr., a quem o autor agradece pelas discussões em aula e pela indicação de algumas referências. Agradece, também, aos colegas do Ipea que participaram de debate interno acerca dos textos deste boletim, em particular os comentários e as sugestões de Gesmar Rosa dos Santos, Fabiano Mezadre Pompermayer, José Mauro de Morais e Graziela Ferrero Zucoloto, que ajudaram a melhorar esta versão do texto. Eventuais erros e omissões remanescentes são de responsabilidade exclusiva do autor.

2. Técnico de Planejamento e Pesquisa do Ipea e doutorando em Economia pela Universidade Federal da Bahia (UFBA).

3. O G7 é formado pelos sete países com economias mais desenvolvidas: Estados Unidos, Alemanha, Japão, Reino Unido, França, Canadá e Itália, além de ter representação também da União Europeia.

2 CONTEXTO GERAL DE DESENVOLVIMENTO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS

Há três décadas e meia a geração de energia, por meio de fontes renováveis, tem adquirido centralidade na pauta de governos mundo afora. As duas crises energéticas da década de 1970 alertaram muitos países quanto à necessidade de reduzir a dependência de suas matrizes energéticas aos combustíveis fósseis. Como resposta, maior importância passou a ser dada à geração de energia por fontes alternativas, a exemplo da solar e da eólica, bem como ao desenvolvimento de biocombustíveis.

Nessa época proliferaram, particularmente nos Estados Unidos, na Alemanha e na Dinamarca, projetos de pesquisa e de desenvolvimento em energia eólica. As políticas que viabilizaram a primeira "corrida eólica" (1980-1985) também impulsionaram o surgimento de um mercado global de painéis fotovoltaicos, dando novo escopo a uma tecnologia que começara a ser implementada mais de 25 anos antes, como gerador de energia para satélites espaciais (Mazzucato, 2014). No Brasil, despontava o Programa Nacional do Álcool (Proálcool).[4]

Se crises energéticas deram um impulso importante nas décadas de 1970 e de 1980, as décadas de 2000 e de 2010 trazem outro contexto histórico. Com efeito, a contínua expansão das energias renováveis na matriz energética mundial já não decorre apenas de crises energéticas, nem tampouco resulta somente de uma perspectiva longínqua de rareamento dos combustíveis fósseis; repercute, outrossim, significativas mudanças nas preferências sociais, espraiando-se, com cada vez mais intensidade e por um número maior de países, a sustentabilidade ambiental como um valor intrínseco ao desenvolvimento econômico.

Disso deriva a diversidade de conferências, de acordos e de protocolos sobre as mudanças climáticas, cujos resultados moldam, em maior ou em menor medida, os arcabouços institucionais dos países signatários, tornando-os mais propícios a políticas de suporte ao desenvolvimento de energias renováveis. Políticas estas que podem ser classificadas, conforme Pernick, Wilder e Belcher (2014), em três categorias: *i) políticas regulatórias* (tarifas *feed-in*, metas de geração de energia e quotas compulsórias de utilização); *ii) incentivos ficais* (subsídios, renúncias fiscais e garantias de pagamento por energia produzida); e *iii) financiamento público* (investimento público direto, crédito facilitado e uso de compras governamentais como instrumento de indução à inovação).

Mazzucato (2014) argumenta que, para além de políticas industriais e de inovação, o Estado costuma ser protagonista (embora muitas vezes esquecido, visto como coadjuvante ou mesmo tratado como antagonista) de muitas das inovações radicais da história. Antes mesmo do estágio em que o capital de risco e os fundos de *private equity* dispõem-se a apostar em uma ideia inovadora (mormente quando a ideia já se mostra mais tangível e já existem protótipos para testes pré-comerciais), é normalmente o Estado quem costuma entrar nos estágios inicial e de arranque. Nestes estágios são extensivamente demandadas pesquisas básicas e aplicadas, que consomem muito dinheiro e sob as quais incidem muito mais probabilidade de fracasso do que de sucesso. São estágios em que, mais do que riscos, vivem-se incertezas. Nesse ponto é que o *Estado empreendedor*[5] faz-se presente e permite que se viabilize, entre muitos fracassos próprios de processos de inovação radical e de fronteira, alguns casos de sucesso que, posteriormente, serão apropriados por empreendedores privados, a quem caberá efetivamente transformá-los em produtos comercializáveis.

O apoio de governos às energias renováveis, quer seja por meio de políticas regulatórias, quer seja por incentivos fiscais, quer seja, ainda, por financiamento público, tem agido como força motriz da inovação nesse setor. A despeito disso, novos investimentos em energias renováveis caíram durante dois anos seguidos (2012 e 2013) em comparação a 2011, voltando a crescer em 2014, como se vê na tabela 1.

4. Por não serem os biocombustíveis foco deste trabalho, não será discutido neste artigo o Proálcool.

5. Título do livro de Mazzucato (2014).

TABELA 1
Tendências globais dos investimentos em energias renováveis
(Em % e US$ bilhões)

Categoria		2004 (US$ bilhões)	2005 (US$ bilhões)	2006 (US$ bilhões)	2007 (US$ bilhões)	2008 (US$ bilhões)	2009 (US$ bilhões)	2010 (US$ bilhões)	2011 (US$ bilhões)	2012 (US$ bilhões)	2013 (US$ bilhões)	2014 (US$ bilhões)	Crescimento 2013-2014 (%)	Taxa composta anual de crescimento 2004-2014 (%)
1	Investimento total													
1.1	Novos investimentos	45,1	72,9	112,1	153,9	181,8	178,5	237,2	278,8	256,4	231,8	270,2	16,6	17,7
1.2	Transações totais	53,9	99,1	148,1	212,5	241,1	242,7	295,7	352,3	324,1	298,6	339,0	13,5	18,2
2	Novos investimentos, por cadeia													
2.1	Desenvolvimento tecnológico													
2.1.1	Capital de risco (*venture capital*)	0,4	0,6	1,2	2,1	3,2	1,6	2,5	2,5	2,4	0,7	1,0	42,9	8,7
2.1.2	Pesquisa e desenvolvimento (P&D) governamental	1,9	2,0	2,2	2,7	2,8	5,3	4,7	4,6	4,5	4,9	5,1	4,1	9,4
2.1.3	Pesquisa, desenvolvimento & demonstração (PD&D) corporativo	3,2	2,9	3,1	3,5	4,0	4,1	4,2	5,1	5,0	6,6	6,6	0,0	6,8
2.2	Manufatura de equipamentos													
2.2.1	Capital de crescimento próprio	0,3	1,0	3,0	3,6	6,8	2,9	3,1	2,5	1,7	1,4	1,7	21,4	17,1
2.2.2	Mercados públicos	0,3	3,7	9,1	20,7	10,9	13,1	11,4	10,1	3,9	10,5	15,1	43,8	42,8
2.3	Projetos													
2.3.1	Financiamento de ativos	30,4	52,5	84,7	110,4	135,4	120,0	154,6	181,2	163,2	154,6	170,7	10,4	17,0
	do qual é capital reinvestido	*0,0*	*0,2*	*0,7*	*3,1*	*3,7*	*1,9*	*5,6*	*3,3*	*2,9*	*1,9*	*3,6*	*89,5*	-
2.3.3	Microgeração distribuída	8,6	10,3	9,5	14,1	22,3	33,4	62,2	76,1	78,8	54,9	73,5	33,9	21,5
	Investimento financeiro total	**31,4**	**57,6**	**97,3**	**133,7**	**152,7**	**135,6**	**166,1**	**192,9**	**168,1**	**165,4**	**185,0**	**11,9**	**17,5**
	P&D governamental, PD&D corporativo, microgeração distribuída	**13,7**	**15,3**	**14,8**	**20,2**	**29,1**	**42,8**	**71,2**	**85,9**	**88,3**	**66,4**	**85,2**	**28,3**	**18,1**
	Total de novos investimentos	**45,1**	**72,9**	**112,1**	**153,9**	**181,8**	**178,5**	**237,2**	**278,8**	**256,4**	**231,8**	**270,2**	**16,6**	**17,7**
3	Transações relacionadas a fusões e aquisições													
3.1	Reestruturações societárias (*buyouts*)	0,8	3,7	1,8	3,6	5,4	2,2	2,0	3,1	3,3	0,6	2,5	316,7	10,9
3.2	Saídas de investidores de mercados públicos	0,4	2,4	2,7	4,0	1,0	2,5	4,9	0,2	0,4	1,8	1,9	5,6	15,2
3.3	Fusões e aquisições corporativas	2,4	7,6	12,3	20,3	17,6	21,8	19,4	30,1	10,1	15,2	9,8	-35,5	13,6
3.4	Aquisição de projetos e refinanciamento	5,3	12,5	19,1	30,6	35,4	37,8	32,1	40,1	53,8	49,3	54,5	10,5	23,6

(Continua)

(Continuação)

Categoria		2004 (US$ bilhões)	2005 (US$ bilhões)	2006 (US$ bilhões)	2007 (US$ bilhões)	2008 (US$ bilhões)	2009 (US$ bilhões)	2010 (US$ bilhões)	2011 (US$ bilhões)	2012 (US$ bilhões)	2013 (US$ bilhões)	2014 (US$ bilhões)	Crescimento 2013-2014 (%)	Taxa composta anual de crescimento 2004-2014 (%)
4	Novos investimentos, por setor													
4.1	Eólica	17,9	29,1	29,6	61,6	75,2	81,2	98,9	84,2	84,1	89,3	99,5	11,4	16,9
4.2	Solar	12,0	16,3	22,1	38,0	60,8	63,7	103,3	155,7	144,3	119,8	149,6	24,9	25,8
4.3	Biocombustíveis	3,9	9,6	28,4	28,7	19,2	10,2	10,1	10,4	7,0	5,5	5,1	-7,3	2,5
4.4	Biomassa e aproveitamento energético de lixo (*waste-to-energy*)	7,4	9,6	12,1	15,8	16,9	13,9	16,0	17,4	12,4	9,3	8,4	-9,7	1,2
4.5	Pequenas centrais hidroelétricas	2,6	7,2	7,6	7,1	7,8	6,3	5,7	7,2	6,4	5,5	4,5	-18,2	5,1
4.6	Geotérmica	1,2	1,0	1,5	2,0	1,7	2,9	3,0	3,7	1,8	2,2	2,7	22,7	7,7
4.7	Ondas e marés	0,0	0,1	0,9	0,8	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	100,0	24,0
	Total	**45,1**	**72,9**	**112,1**	**153,9**	**181,8**	**178,5**	**237,2**	**278,8**	**256,4**	**231,8**	**270,2**	**16,6**	**17,7**
5	Novos investimentos, por localização geográfica													
5.1	Estados Unidos	5,4	11,6	29,1	33,0	35,1	24,3	35,1	50,0	38,2	36,0	38,3	6,4	19,5
5.2	Brasil	0,8	3,1	5,2	11,8	12,1	7,9	7,7	10,1	7,2	3,9	7,6	94,9	22,7
5.3	Américas (exceto Estados Unidos e Brasil)	1,7	3,3	3,9	5,0	5,8	5,8	12,2	9,2	10,2	12,2	14,8	21,3	21,7
5.4	Europa	23,6	33,6	46,7	66,4	81,6	81,2	111,1	120,7	89,6	57,3	57,5	0,3	8,4
5.5	Oriente Médio e África	0,6	0,8	1,1	2,4	2,3	1,7	4,2	2,9	10,4	8,7	12,6	44,8	31,9
5.6	China	3,0	8,2	11,1	16,6	25,7	39,5	38,7	49,1	2,8	62,6	83,3	33,1	35,3
5.7	Índia	2,7	3,1	4,9	6,3	5,6	4,3	9,0	12,7	7,4	6,4	7,4	15,6	9,6
5.8	Ásia e Oceania (exceto China e Índia)	7,2	9,2	10,0	12,5	13,6	13,7	19,3	24,1	30,5	44,7	48,7	8,9	19,0
	Total	**45,1**	**72,9**	**112,1**	**153,9**	**181,8**	**178,5**	**237,2**	**278,8**	**256,4**	**231,8**	**270,2**	**16,6**	**17,7**

Fonte: Adaptado de McCrone *et al*. (2015).

Antes dos anos de 2012 e 2013, a única outra queda nos novos investimentos se deu em 2009 (ano de maior impacto da crise financeira desencadeada no último trimestre de 2008). As quedas de 2012 e de 2013 atingiram praticamente todas as formas modernas de energia renovável (só em geotérmica houve alguma recuperação em 2013, em relação a 2012). Na distribuição geográfica, os investimentos vinham em queda nas principais potências energéticas, embora seguindo em expansão em países periféricos na produção de energia. Exceção entre os grandes é a China, que segue implementando planos ambiciosos (Mazzucato, 2014). São possivelmente os investimentos chineses (majoritariamente feitos via governo ou corporações, sendo que, na China, estas também são públicas) que seguraram a estabilidade ou frearam a queda dos investimentos governamentais e corporativos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) naqueles anos. Já o capital de risco, que tinha se mantido quase estável nos anos anteriores, reduziu em 67% seus novos aportes entre 2012 e 2013.

Para McCrone *et al.* (2014), o declínio dos investimentos por dois anos sucessivos não é um problema. Segundo esses autores, algumas condições essenciais para o crescimento futuro dos mercados de energias renováveis teriam se firmado em 2013. Nesse sentido, eles destacam a redução dos custos; o retorno da lucratividade de algumas das firmas líderes nessas tecnologias; a proliferação, por diversos países, de mercados que já não dependem de subsídios; e as atitudes positivas de investidores de mercados públicos em relação às energias renováveis.

Generalizar essas condições favoráveis para todas as formas de energia renovável talvez seja o principal equívoco de McCrone *et al.* (2014). Excluindo os painéis fotovoltaicos, as turbinas eólicas e alguns tipos de biocombustíveis, hoje já em fase de consolidação de suas viabilidades comerciais, as demais fontes de energia renovável (a exemplo da geotérmica, da termossolar e da geração por ondas e marés) ainda estão em estágios bem inferiores a isso. Sem suporte de governos, a geração de energia por ondas do mar, por exemplo, ainda em fase inicial de desenvolvimento, simplesmente deixaria de existir.

Na visão de Manyika *et al.* (2013), mesmo as energias solar e eólica ainda não teriam alcançado um patamar que lhes permita prescindir de forte suporte governamental, inclusive de contínuos subsídios. Para os autores, uma inflexão dos investimentos colocaria em risco os benefícios que essas energias potencialmente ainda têm por gerar. Eles ressaltam que progressos em energias solar e eólica podem reduzir a demanda por combustíveis fósseis, mas que avanços também têm ocorrido na exploração de petróleo e gás, reduzindo a competitividade das fontes renováveis de energia. Por fim, questionam se a preocupação das pessoas com a sustentabilidade ambiental será grande o suficiente para motivar governos a continuarem subsidiando as energias renováveis – mesmo em cenários de expansão da oferta de combustíveis fósseis e queda de seus preços.

A julgar pela declaração dos líderes do G7, ao final da conferência de cúpula transcorrida na Alemanha nos dias 7 e 8 de junho de 2015 (G7, 2015), a resposta ao questionamento de Manyika *et al.* (2013) talvez seja afirmativa.

Noticiou-se que teria sido firmado compromisso do G7 com a eliminação dos combustíveis fósseis de suas matrizes energéticas até 2100,[6] embora o documento oficial (G7, 2015) não estabeleça expressamente tal meta. Ainda assim, é possível, em alguma medida, inferi-la, por conta da remissão recorrente ao 5º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) (Pachauri *et al.*, 2014). Nele se afirma que tentativas de contenção do aquecimento global nos patamares atuais exigiriam substanciais reduções da emissão de gases do efeito estufa nas próximas décadas, de forma a buscar aproximar a zero as emissões de CO_2 até o fim do século. Para tanto, seria necessário que, até 2050, 80,0% da eletricidade gerada no mundo fosse proveniente de fontes com baixa intensidade de carbono.[7] Além disso – eis a meta estabelecida em Pachauri *et al.* (2014) que a comunidade internacional espera ser buscada pelo G7 depois da recente declaração de cúpula –, haveria de ser eliminada por completo a utilização de combustíveis fósseis sem o uso de tecnologias de captura e de armazenamento do dióxido de carbono (conhecidas pela sigla CCS, do inglês *carbon capture and storage*).

6. Ver Bremer (2015), Carrel e Martin (2015), Grandelle (2015), Mathiesen (2015) e Ming (2015).

7. Em 2010 era 30%.

G7 (2015) não se compromete expressamente com essa meta, embora o texto sugira que estejam no horizonte desses países as ações e as metas delineadas em Pachauri *et al.* (2014). O compromisso efetivamente transcrito em G7 (2015) remete à redução, até 2050, da emissão de gases do efeito estufa na ordem de 40% a 70%, em comparação aos níveis registrados para 2010, além de outras ações de financiamento e de apoio a iniciativas de combate ao aquecimento global, em especial em países vulneráveis da África, da América Latina e Caribe e da Ásia e Pacífico. Percebe-se, pois, que a declaração do G7 busca, em verdade, demarcar posição. De um lado, coloca pressão sobre a China, a Rússia e os países em desenvolvimento para que definam seus posicionamentos antes da COP 21; de outro, atribui aos países do G7 o papel de protagonistas no avanço das chamadas tecnologias limpas pelo continente africano e por países pobres das Américas e do Oriente, próximas fronteiras mercadológicas da revolução verde vislumbrada por autores como Mazzucato (2014).

As intenções externadas pelo G7, contudo, ainda são de eficácia futura incerta, por alguns motivos.

Primeiro, a exploração comercial em grande escala do gás de xisto já é vista como uma revolução dos combustíveis fósseis (Cueto-Felgueroso e Juanes, 2013; Melikoglu, 2014; Wang *et al.*, 2014). Segundo, o anúncio é visto com reservas por alguns setores e países, dada a resiliência de países europeus em cumprir metas de redução de emissão de CO_2 anteriormente fixadas para 2020 (Grandelle, 2015). Terceiro, o abandono de combustíveis fósseis sem CCS significaria uma profunda readequação nas matrizes energéticas das principais economias do planeta. De acordo com dados referentes a 2012 publicados pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2014), 86,5% do suprimento mundial de energia primária ainda advinha, naquele ano, de combustíveis fósseis – petróleo, carvão e gás natural – e de energia nuclear. Estima-se que as nações do G7 sejam responsáveis por 48% de todas as emissões de CO_2 provenientes de combustíveis fósseis e da produção de cimento ao longo da história.[8]

Some-se a isso o cumprimento de metas dessa natureza estarem sempre sujeitas a variações na trajetória tecnológica, na geopolítica e até nas preferências sociais. Além disso, a meta de redução das emissões de CO_2, até 2050, de 40,0% a 70,0%, em relação aos níveis de 2010, não se distancia muito de metas semelhantes ou até mais ambiciosas que já haviam sido estabelecidas por alguns dos próprios países do G7. Estados Unidos e Reino Unido, por exemplo, trabalham com metas de redução das emissões de CO_2, até 2050, respectivamente de 83%, sobre os níveis de 2005, e de 80%, sobre os níveis de 1990 (Mathiesen, 2015).

A despeito das questões geopolíticas envolvidas e do justificável ceticismo, G7 (2015) tem o poder simbólico de uma decisão estratégica e, mesmo passível de entraves até sua concretização, sinaliza uma disposição de superar a era dos combustíveis fósseis (Ming, 2015). Se colocada em prática, significará um movimento em dois sentidos. Por um lado, um declínio mais acentuado do petróleo, que poderá ver afetada a viabilidade da sua exploração no pré-sal, do carvão, em declínio já há bastante tempo, e do gás natural, o que poderá limitar a uma promessa o gás xisto. Por outro, em paralelo, seria de se esperar uma ascendência mais célere e pronunciada das fontes renováveis ao longo deste século.

Antes da declaração do G7, relatório mais recente de McCrone *et al.* (2015), do qual advêm os dados da tabela 1, já introduzia um otimismo ao cenário de investimentos em fontes renováveis. Os autores destacam que os investimentos aumentaram significativamente após dois anos de queda, as fontes renováveis (excluindo grandes hidroelétricas) alcançaram 100 gigawatts (GW) de instalações pela primeira vez e os países em desenvolvimento (com China à frente, mas com destaque também para o Brasil, a Índia e a África do Sul) aproximam-se bastante do montante de investimentos dos países desenvolvidos, além de terem sido

8. Estimativas feitas pelo autor a partir dos dados levantados até 2011 por Tom Boden, Gregg Marland e Bob Andres, disponíveis em: <http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/tre_coun.html>, com acesso em 16 jun. 2015. Métodos de coleta dos dados estão descritos em Boden, Marland e Andres (2009). Os dados mais antigos da série alcançam, para alguns países, o ano de 1751. Os dados mais recentes, até a data de acesso para a elaboração deste texto, são de 2011.

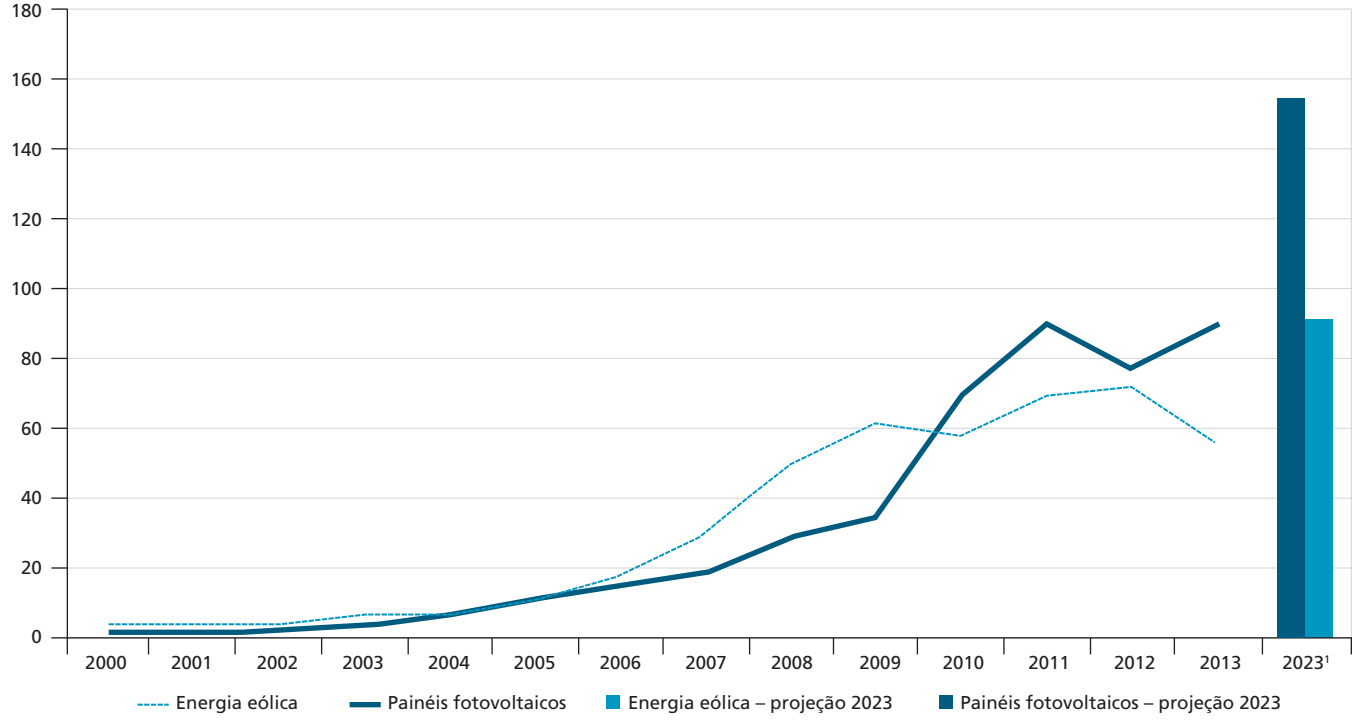
registradas estatísticas recordes para o financiamento de energia solar na China e no Japão, e de energia eólica *offshore* na Europa (McCrone *et al.*, 2015). Destaque-se, contudo, que o capital de risco, a despeito de haver crescido em 2014, encontra-se ainda muito abaixo dos níveis que apresentava até 2012.

Na próxima seção serão apresentados alguns dados que ajudam a perceber melhor o tamanho dos mercados globais de energias solar e eólica.

3 OS MERCADOS GLOBAIS DE EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS E POR AEROGERADORES

Os mercados de painéis solares fotovoltaicos e de equipamentos e instalações para a geração de energia eólica movimentaram, juntos, em 2013, cerca de US$ 150 bilhões em todo o mundo. É uma ordem de grandeza dez vezes superior ao que movimentavam em 2004. Estima-se que, até 2023, esses mercados façam circular quantias em torno de US$ 250 bilhões (Pernick, Wilder e Belcher, 2014). O gráfico 1 mostra essa evolução.

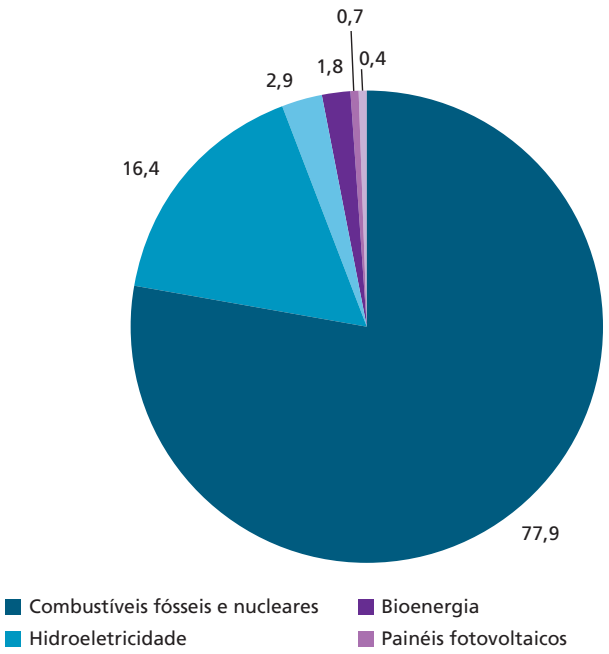
GRÁFICO 1
Mercado global de energias eólica e solar fotovoltaica no período 2000-2013 e projeção para 2023
(Em US$ bilhões)



Fonte: Pernick, Wilder e Belcher (2014).
Elaboração do autor.
Nota: [1] Os dados referentes a 2023 advêm de projeções publicadas na obra citada.

Em 2010, o mercado de equipamentos para a geração de energia solar superou o de energia eólica em termos de divisas, e a perspectiva é que seu crescimento siga sendo maior, pelo menos até 2023, alargando essa diferença (perceba que a última observação plotada no gráfico 1 refere-se, na verdade, a uma projeção do tamanho dos dois mercados em 2023). Em termos de participação na produção mundial de eletricidade, a energia eólica ainda é mais representativa do que a solar, como mostra o gráfico 2.

GRÁFICO 2
Participação de energias renováveis na produção mundial de eletricidade: estimativa do cenário no final de 2013
(Em %)



Fonte: REN21 (2014).
Elaboração do autor.

Destaca-se, mais uma vez, agora pelo gráfico 2, que os combustíveis fósseis e nucleares ainda são as grandes fontes de produção global de eletricidade. Apesar do quadro geral ainda ser este, as energias renováveis têm paulatinamente ganhado espaço na geração de eletricidade, muito por conta, inclusive, do fato de que grande parte das políticas de suporte às fontes renováveis serem destinadas justamente ao setor elétrico. É crescente a participação das energias renováveis na produção de eletricidade. Em 2013 elas perfizeram mais de 56% das adições líquidas à capacidade global de geração de eletricidade, havendo representado parcelas bem maiores em muitos países. O ano de 2013 já foi o sexto seguido em que as fontes renováveis representam a maior parcela da capacidade marginal de geração de eletricidade na União Europeia, e o primeiro na China (REN21, 2014) – que, também pela primeira vez, em 2013, investiu mais em energias renováveis do que toda a Europa (McCrone *et al.*, 2015).

Por sinal, a participação da indústria chinesa nos últimos anos tem crescido significativamente, tanto no mercado de turbinas eólicas quanto no de painéis fotovoltaicos.

3.1 A indústria eólica: principais *players* e o papel dos governos

Depois de dois anos (2012 e 2013) em que a indústria de equipamentos de energia eólica retraiu-se na maioria dos principais mercados, exclusive na China (Pernick, Wilder e Belcher, 2014), o ano de 2014 foi de recuperação significativa (Broehl, Labastida e Hamilton, 2015; McCrone *et al.*, 2015). Isto teria decorrido largamente de políticas direcionadas a acelerar as instalações em três países-chave – China, Alemanha e Estados Unidos –, além de ter sido um ano muito bom também no Brasil, outro importante mercado e no qual foi triplicada, em 2014, as novas instalações para geração de energia eólica (Broehl, Labastida e Hamilton, 2015).

Atualmente, as maiores firmas de manufatura de turbinas eólicas, ou aerogeradores, são a Vestas (Dinamarca), a Siemens (Alemanha) e a GE Energy (Estados Unidos). Tradicionalmente a líder é a Vestas, mas para 2014 há pelo menos duas fontes de estimativas diferentes desse mercado: para Broehl, Labastida e Hamilton (2015), o ano passado teria terminado com a Vestas em primeiro lugar, a Siemens em segundo e a GE Energy em terceiro; já para a Make Consulting (Siemens..., 2015; Zawadzki, 2015), a liderança em 2014 foi da Siemens, com a GE Energy em segundo lugar e a Vestas em terceiro (perdendo sua tradicional liderança, embora a participação de

mercado das três seja muito próxima). Afora essas três, as maiores produtoras de bens de capital para energia eólica costumam incluir firmas de nacionalidade chinesa, espanhola, indiana e outras alemãs (Krogsgaard *et al.*, 2014).

Classificação encontrada em Hader (2010) e seguida por autoras como Melo (2013) e Podcameni (2014) distribui as firmas de manufatura de turbinas eólicas em três categorias: grandes corporações industriais, firmas de vanguarda ou pioneiras e *players* regionais com foco de atuação dentro de mercados crescentes.

As grandes corporações industriais, que, em regra, entram nesse mercado por aquisições, até fins da década de 2000 respondiam por quase um terço da capacidade instalada de energia eólica no mundo. Os principais expoentes desse grupo são a GE Energy e a Siemens. A primeira adquiriu a Enron Wind, em 2002, que, por sua vez, havia adquirido, em 1997, a Zond, uma das pioneiras do período que Mazzucato (2014) chama de "primeira corrida eólica" (1980-1985). A segunda entrou nessa indústria após adquirir, em 2004, a dinamarquesa Bonus, outra firma de vanguarda na década de 1980. Outras grandes companhias, caracterizadas por expressivas economias de escopo que também atuam no setor são a Alstom, a Mitsubishi, a Samsung, a Acciona e a United Technologies Corporation.

Adicione-se que, não apenas por meio de aquisições, a expansão de grandes corporações em indústrias de energia costuma também estar associada às suas elevadas inversões em pesquisa, desenvolvimento e demonstração (PD&D), bem como ao protagonismo em consórcios com os governos, principalmente nos Estados Unidos, na Alemanha e no Japão. Daí buscam incorporar concorrentes de pequeno porte que porventura tenham conseguido inovar primeiro em alguma prototipagem. Mazzucato (2014) ressalta que são as grandes corporações, com o apoio dos governos, que dominam a pesquisa, desenvolvimento e demonstração (PD&D) nas indústrias de energia renovável. Santos (2014) discute essa dinâmica no setor sucroenergético, no qual essas grandes corporações também costumam se fazer presentes e conduzir estratégias análogas.

Hader (2010) chama de firmas de vanguarda ou pioneiras as que se posicionaram como desenvolvedoras originais dessa tecnologia, ganharam escala e seguem *players* de relevo no setor, sem ainda haverem sido adquiridas por grandes corporações. Essas firmas terminaram a década de 2000 com mais de 50% do mercado de equipamentos e de instalações para geração de energia eólica.

O principal expoente dessa categoria é a Vestas. Segundo Mazzucato (2014), a partir de bem-sucedidos projetos de P&D apoiados pelo governo dinamarquês, a Vestas expandiu-se para o setor em fins da década de 1970 e soube aproveitar as oportunidades surgidas na já mencionada primeira corrida eólica de 1980-1985. Ela valeu-se particularmente de incentivos fiscais do estado americano da Califórnia para se tornar grande exportadora de aerogeradores e de equipamentos afins. Terminados os incentivos, em fins de 1985, a Vestas decaiu e chegou a falir, ressurgindo, de forma rápida, unicamente como produtora de turbinas eólicas, abandonando completamente o negócio de máquinas agrícolas, que era seu principal escopo de atuação antes de entrar na indústria de energia eólica (Mazzucato, 2014). Atualmente, a Vestas produz a partir de dezenas de países, inclusive a partir do Brasil.

Integram também o grupo das firmas de vanguarda a espanhola Gamesa e as alemãs Enercon e Nordex. Já outras pioneiras da corrida eólica de 1980-1985, como a dinamarquesa Bonus e a norte-americana Zond, tornaram-se aquisições de grandes corporações, atualmente sendo, como já mencionado, respectivamente Siemens e GE. Outra firma colocada por Hader (2010) nesse grupo, a norte-americana Clipper, fundada em 2001 pelo mesmo empreendedor que estabeleceu a Zond em 1980, foi adquirida em 2010 pelo conglomerado norte-americano United Technologies Corporation.

Por fim, os *players* regionais têm por foco de atuação mercados crescentes. Esses fabricantes, responsáveis por cerca de 20% da capacidade instalada global de energia eólica, detêm grandes participações em seus mercados domésticos, mas ainda reduzida presença em outros mercados. Os maiores exemplos de *players* regionais são as fabricantes chinesas, apesar de estas, mesmo com atuação majoritariamente regional, frequentarem assiduamente os ranques de maiores firmas globais do ramo. Em 2014, quatro firmas chinesas (Goldwind, Guodian United Power, Ming Yang e Envision) estavam entre as dez maiores fornecedoras de turbinas eólicas no mundo (Broehl, Labastida e Hamilton, 2015), sendo que, em 2013, a Goldwind teria chegado a assumir a vice-liderança mundial (Krogsgaard *et al.*, 2014), tendo caído para a quarta posição em 2014 por conta de sua reduzida presença fora da China (Broehl, Labastida e Hamilton, 2015).

As firmas chinesas – não apenas a Goldwind – concentram suas atividades em seu mercado doméstico, e nisso perderam, em 2014, muitas oportunidades decorrentes do bom ano para energia eólica na Alemanha, nos Estados Unidos e no Brasil (Broehl, Labastida e Hamilton, 2015). Mesmo com baixa penetração em mercados externos, firmas chinesas costumam, desde 2010, frequentar a lista dos dez maiores fabricantes globais desses equipamentos, principalmente devido à conjunção de dois fatores: *i)* os incentivos introduzidos em 2005 pela lei chinesa de energia renovável; e *ii)* a ampla dimensão do mercado interno chinês (Wang, Qin e Lewis, 2012). Como dito antes, porém, a atuação das firmas chinesas do setor ainda é bastante circunscrita ao próprio mercado chinês, razão pela qual seguem vistas como *players* regionais. Não se deve perder de vista, contudo, que já iniciam sua expansão para outros países. A título de exemplo, a Goldwind já instala aerogeradores em seis continentes, segundo informações reportadas em seu *site* na internet.[9]

Enquanto as firmas chinesas são *players* regionais que se desenvolveram a partir de seus próprios mercados, a argentina Impsa desenvolveu-se com foco no mercado brasileiro (Podcameni, 2014). O Brasil também dispõe de um *player* regional de turbinas eólicas, a WEG. Trata-se de uma empresa viabilizada no setor com apoio do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) (Azevedo *et al.*, 2012) e que começou a produzir aerogeradores em 2011 (Podcameni, 2014).

O que foi exposto neste trabalho indica que as grandes firmas de vanguarda e os *players* regionais do setor estabeleceram-se às custas de considerável apoio governamental. Sem isso, possivelmente o desenvolvimento tecnológico na indústria de energia eólica estivesse em estágio bem aquém ao que apresenta hoje. Justamente por ser atualmente uma tecnologia em vias de maturação e já dominada por grandes firmas, quiçá coubesse questionar, em outros estudos, em que medida seriam viáveis o crescimento e a consolidação de uma nova firma de vanguarda, sem que esta rapidamente viesse a se tornar mais uma aquisição das grandes que já operam nessa indústria.

Além disso, talvez partindo de recentes teses de doutorado, como as de Camillo (2013) e Podcameni (2014), caberia oportunamente uma análise mais detalhada das políticas de apoio à energia eólica aplicadas em diferentes países, mapeando-as quanto à sua natureza regulatória, de incentivo fiscal ou de investimento público. Seria também pertinente avaliar em que medida elas promoveram e/ou promovem o crescimento e a consolidação de empresas, como a dinamarquesa Vestas e a chinesa Goldwind, ou se, em alguma medida, facilitaram a decisão de grandes conglomerados, a exemplo da GE e da Siemens, de entrarem nessa indústria. Por fim, valeria a contextualização da política brasileira nesse quadro mais geral, além de avaliações do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) e dos investimentos do BNDES em energias renováveis.

3.2 A indústria de energia solar fotovoltaica: principais *players* e o papel dos governos

Duas são as vertentes tecnológicas hoje difundidas para a geração de energia elétrica por radiação solar: uma em que a geração se dá pelo efeito fotovoltaico e outra em que ocorre pela heliotermia. A primeira vertente centra-se no aproveitamento da radiação solar para obter corrente elétrica a partir de materiais semicondutores, normalmente à base de silício. A segunda vertente, igualmente conhecida como termossolar, ou como energia solar concentrada, recorre à conversão da energia solar em energia térmica para, a partir desta, obter energia elétrica, valendo-se, nessa etapa final, de tecnologias já amplamente difundidas em centrais termelétricas (Esposito e Fuchs, 2013). O foco, neste trabalho, é a fonte de energia solar associada à primeira vertente, que remete à indústria de painéis fotovoltaicos.

Atualmente, a indústria de painéis fotovoltaicos é dominada por grandes firmas chinesas, concentrando-se também na China a fronteira tecnológica do setor. Incentivos pós-Crise de 2009, a partir do American Recovery and Reinvestment Act (Arra) vêm também, em certa medida, colocando os Estados Unidos na corrida tecnológica dos painéis fotovoltaicos, enquanto no Japão o catalisador nesse sentido vem da

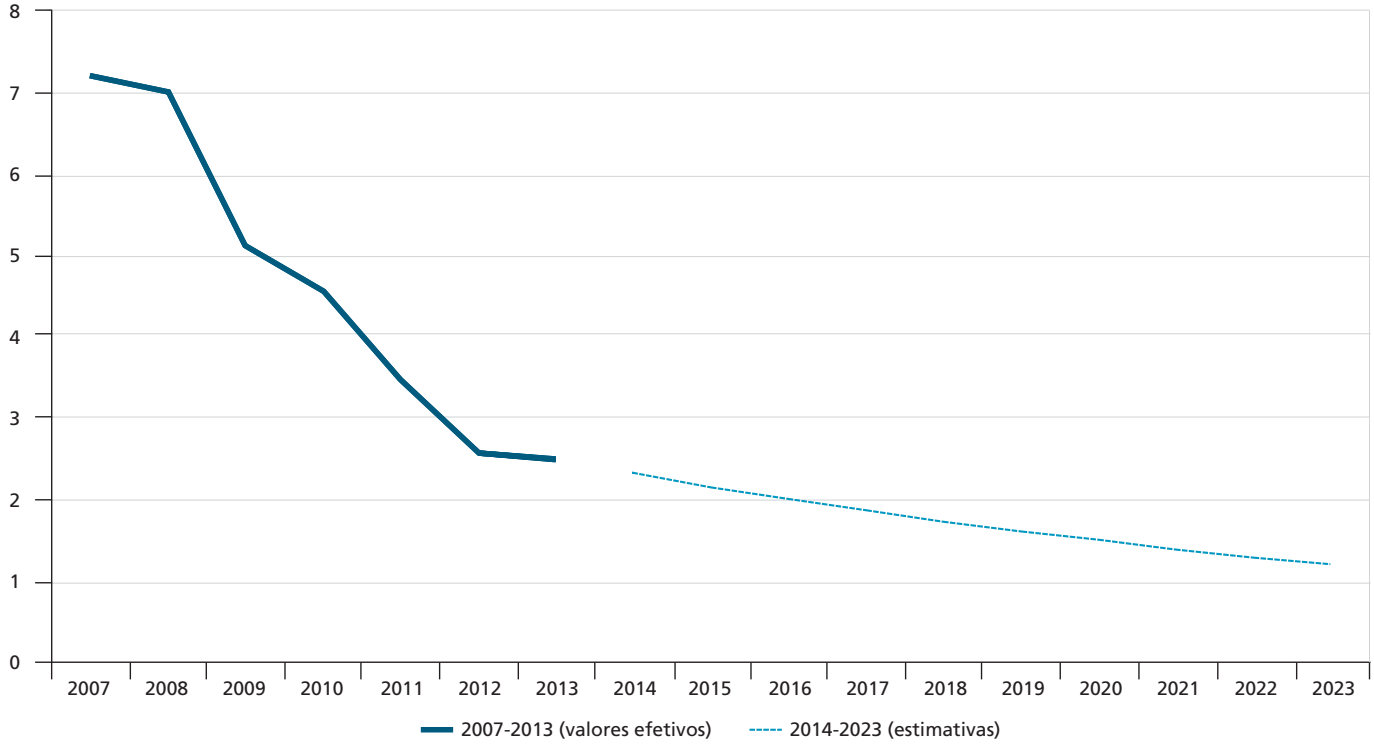
9. Disponível em: <http://goo.gl/4YaHpv>. Acesso em: 28 maio 2015.

política energética pós-Fukushima (Esposito e Fuchs, 2013). Seja impulsionado por um estado de raízes intervencionistas (no caso da China), seja por políticas anticíclicas em resposta à crise econômica (no caso dos Estados Unidos), ou seja ainda por catástrofes naturais que impuseram ampla revisão da política energética (no caso do Japão), o desenvolvimento tecnológico recente da indústria de painéis fotovoltaicos tem se dado em um cenário no qual ganha centralidade nas políticas tecnológica e energética de três economias nacionais com peso global. Apesar de todo o potencial que possui para a geração de energia solar, a grande maioria dos sistemas fotovoltaicos instalados no Brasil é importada, havendo uma única fabricante nacional de painéis fotovoltaicos (Ferraz, 2012), a Dya (Esposito e Fuchs, 2013).[10]

Um bom objeto de pesquisa, que foge ao escopo deste trabalho, seria investigar se, e em que medida, essas políticas contribuíram para a queda nos preços internacionais – normalmente atribuída à competição agressiva das grandes firmas chinesas, acusadas, inclusive, de *dumping* pelos Estados Unidos e pela Europa, conforme Esposito e Fuchs (2013). O gráfico 3 mostra como o preço médio dos sistemas fotovoltaicos tem caído significativamente nos últimos anos, com perspectivas de seguir caindo nos próximos anos.

GRÁFICO 3

Média global de preços de sistemas fotovoltaicos: preços médios verificados (2007-2013) e estimativas (2014-2023)



Fonte: Pernick, Wilder e Belcher (2014).
Elaboração do autor.
Obs.: Preço médio em dólares por watt dos equipamentos totalmente instalados.

Costuma-se atribuir ao barateamento da tecnologia nos últimos anos muito da forte expansão recente da energia propiciada por painéis fotovoltaicos, como também as perspectivas otimistas de crescimento do mercado global dessa indústria, a exemplo da projeção ilustrada no gráfico 1 (seção 2). O barateamento da tecnologia favorece a expansão de sua adoção, mas significa, igualmente, não se tratar mais de uma tecnologia nascente. Consequentemente, o Brasil perde a oportunidade tecnológica que havia anos atrás no desenvolvimento de painéis fotovoltaicos. De todo modo caberia, oportunamente, investigar as possibilidades de sucesso do país no desenvolvimento de tecnologias de fronteira no âmbito da energia solar.

10. De acordo com Esposito e Fuchs (2013, p. 93), "[n]o Brasil, há empresas nas etapas iniciais da cadeia de silício cristalino (como Minas Ligas e Rima) e na última etapa, de montagem de painéis (como Dya, antiga Tecnometal). Porém, as etapas intermediárias encontram-se ainda pouco desenvolvidas".

4 O BRASIL NOS MERCADOS DE ENERGIAS SOLAR FOTOVOLTAICA E EÓLICA

Iniciativas de apoio tanto à produção quanto à pesquisa e ao desenvolvimento em energias renováveis têm sido recorrentes nos planos e nas políticas industriais brasileiros (ABDI, 2014; Santos, 2015). Particularmente em relação às fontes alternativas de energia elétrica, destacam-se o programa de P&D regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel),[11] os financiamentos do BNDES[12] e o Proinfa. Este artigo se concentrará na discussão em torno deste último.

O Proinfa existe desde 2002 e busca primordialmente diversificar a matriz energética brasileira, principalmente por meio de incentivos à geração em empreendimentos de produtores independentes autônomos e sua integração ao Sistema Interligado Nacional (SIN). O Proinfa beneficia as pequenas centrais hidrelétricas e a geração baseada em fontes eólica e de biomassa (CCEE, 2012). Deixa de fora, portanto, as fontes de energia solar. Não à toa, as diferenças são marcantes entre o estágio de desenvolvimento dos mercados de uma e de outra fonte no país.

Inicialmente, o Proinfa apostava em investimento direto estrangeiro (IDE), ao estabelecer metas de conteúdo local mínimo para os empreendimentos beneficiados. A necessidade de se constituir um mercado eólico rápido levou ao abandono dessas exigências (Podcameni, 2014) – contexto em que surge o Programa Emergencial de Energia Eólica (Proeólica), vigente entre 2001 e 2004 (Ruiz, Rodríguez e Bermann, 2007). A partir de 2009, a proliferação de leilões de energia eólica trouxe, nos anos seguintes, subsidiárias das principais transnacionais para o Brasil, mas não foram implementados instrumentos que promovessem um processo de transferência tecnológica (Podcameni, 2014). Em 2011, com apoio do BNDES (Azevedo *et al.*, 2012), a brasileira WEG começa a produzir aerogeradores e, em 2012, o BNDES altera suas regras de financiamento e aumenta as exigências de conteúdo tecnológico da cadeia produtiva concentrada no Brasil – uma política cujos resultados ainda estão por se consolidar para, assim, poderem ser avaliados (Podcameni, 2014).

O Brasil tem um dos maiores mercados de energia eólica do mundo e, em 2014, tornou-se o quarto com maior número de novas instalações (Broehl, Labastida e Hamilton, 2015). Espera-se que, ao final de 2015, o país tenha movimentado R$ 25 bilhões (Azevedo *et al.*, 2012). O ano de 2014 foi recorde para a indústria eólica no Brasil, com a conversão, em projetos completos, de um número expressivo de contratos de geração firmados nos anos recentes – praticamente triplicando as novas instalações em solo brasileiro e adicionando 2,8 GW de energia elétrica ao sistema (Broehl, Labastida e Hamilton, 2015).

Para se ter uma ideia do tamanho do incremento de 2014, a capacidade instalada total do Brasil no ano anterior (2013) era de 3,5 GW, e o país era apenas o oitavo do mundo que mais expandia anualmente essa sua capacidade (Gwec, 2014). A fonte eólica é a segunda mais barata da matriz brasileira e as turbinas envolvidas em sua geração são fabricadas não apenas pelas grandes firmas internacionais, como também pela primeira marca 100% nacional, a WEG, apoiada, como já mencionado, pelo BNDES (Azevedo *et al.*, 2012). O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2022) tem por meta alcançar, até 2022, 17 GW de capacidade instalada – o que daria para atender a cerca de 9,5% do consumo final de eletricidade do país (Gwec, 2014).

Já a capacidade instalada de energia solar fotovoltaica no Brasil é irrisória, mesmo tendo atingido, desde 2012, a *grid parity*, isto é, nivelado o custo de produzi-la ao da eletricidade vendida pelas distribuidoras de energia. Sua expansão no Brasil tem se dado sobretudo *off-grid*, ou seja, para soluções específicas desconectadas da rede geral de distribuição. O grande catalisador dessa expansão é uma política governamental, o *Luz para Todos* (Ferraz, 2012).

Assim, o uso desse tipo de energia no Brasil ainda é reduzido e concentrado na microgeração distribuída, ou seja, microgeradores dispersos na rede elétrica, interligados ou não à rede centralizada (no caso brasileiro, a maioria não está interligado). A expansão do mercado de energia solar fotovoltaica no Brasil pode trazer oportunidades de ganho tanto para os microgeradores quanto para o sistema elétrico (Cabello e Pompermayer, 2013), mas o grande limitador ao desenvolvimento dessa indústria no país é a ausência de um marco regulatório bem-definido (Ferraz, 2012). A paridade foi alcançada graças aos altos preços da eletricidade fornecida *on-grid*, não em decorrência de uma maior

11. A esse respeito, ver Pompermayer, De Negri e Cavalcante (2011).

12. Ver Costa, Casotti e Azevedo (2009) e Podcameni (2014).

eficiência da tecnologia fotovoltaica disponível no Brasil (Ferraz, 2012). Em nível global, desde a entrada agressiva da China nesse mercado, os preços dessa tecnologia têm caído bastante – ver gráfico 3 supracitado (Esposito e Fuchs, 2013; Mazzucato, 2014; Pernick, Wilder e Belcher, 2014).

A queda nos preços deve reverter a percepção de que a energia solar não seja tão competitiva quanto as demais fontes renováveis para projetos de grande escala (Esposito e Fuchs, 2013), mas, por ser uma fonte intermitente, recomenda-se que sua conexão à rede elétrica no Brasil ocorra em caráter complementar (Moehlecke *et al.*, 2010). A geração de energia elétrica por esse meio ocorre em horário distinto ao de pico de consumo da rede elétrica, mas instrumentos de regulação tarifária eficientes poderiam ser implementados para contornar esse problema (Cabello e Pompermayer, 2013).

Mesmo sendo um dos maiores mercados de energia eólica do mundo e de ter grande potencial para energia solar e para outras fontes renováveis de geração de energia, o Brasil, na visão de Santos (2015), está entre os países que estão deixando passar a oportunidade de desenvolver e de ganhar mercados em bens de capital relacionados às energias eólica, solar e de biomassa. Quiçá pela ausência de uma visão de longo prazo de governos e de empresários – como se pode depreender da leitura de Santos (2015) –, o Brasil praticamente se limitou a ser um mercado consumidor desses equipamentos. Isto apesar de o potencial das fontes alternativas de energia e a necessidade de investimentos em suas tecnologias serem questões discutidas no país pelo menos desde a década de 1960 (Leite, 1997).

As políticas mais recentes, embora ainda negligenciem o potencial da energia solar fotovoltaica, contribuíram para a consolidação do Brasil como um dos principais mercados eólicos do planeta. Trata-se, com efeito, fundamentalmente de um mercado consumidor, não ocorrendo no país inovações relevantes para essa indústria. Como coloca Podcameni (2014),

> os elos ao longo da cadeia produtiva são fracos, as políticas não se articulam entre si, assim como os grupos de pesquisa. As políticas industriais, de mercado e tributária não possuem articulação com as de CTI. Da mesma forma, estas últimas também não se articulam com estratégias de produção e tecnológica, e o que temos são políticas desarticuladas e pontuais que raramente produzem o esperado. O sistema de capacitação em energia eólica por sua vez não consegue se articular com as fortes capacitações existentes no país, inibindo processos inovativos (Podcameni, 2014, p. 264-265).

À conclusão semelhante chega uma outra tese recente sobre o setor. Em análise sobre a pertinência das políticas brasileiras de inovação em energia eólica, iniciadas com o Proinfa, Camillo (2013) aduz que

> (i) houve um claro descompasso entre o estágio de desenvolvimento da tecnologia no Brasil e no mundo; (ii) as políticas brasileiras de inovação em energia eólica focaram predominantemente a esfera do mercado, prescindido de uma esfera fundamental de promoção, a das políticas tecnológicas e, por consequência, da realização de esforços de aprendizado; e, ainda, (iii) tendo em vista o momento que o país entrou na indústria, o caminho poderia ter sido diferente, caso as políticas de mercado, de desenvolvimento industrial e de ciência e tecnologia tivessem convergido para promover a inovação (Camillo, 2013, p. IX).

A próxima seção apresenta dados bibliométricos como insumos para uma discussão do potencial brasileiro de vir a se tornar não apenas um mercado consumidor de equipamentos e de instalações para a geração de energias eólica e fotovoltaica, como também uma referência tecnológica nessas duas indústrias.

5 PRODUÇÃO CIENTÍFICA COMO PARÂMETRO ADICIONAL PARA ANALISAR O POTENCIAL DO BRASIL NO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E EÓLICOS

Publicações científicas podem ser entendidas como um importante canal de transferência de tecnologia entre universidades e centros de pesquisa, de um lado, e firmas, de outro.[13] Dados sobre a evolução

13. Usando dados de 2004 do Diretório de Grupos de Pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Póvoa e Rapini (2010) reportam que, no Brasil, a interação tecnológica entre academia e setor produtivo ocorreria, sobretudo, por meio de publicações e de relatórios, de troca informal de informações, de treinamento e de consultoria.

da produção científica de um país em uma determinada área de conhecimento podem ajudar, portanto, a perceber se tal país dispõe de massa crítica suficientemente consolidada para desenvolver competências tecnológicas em setores específicos (Nascimento, 2012). A existência de uma base científica consolidada e internacionalmente reconhecida aumenta as possibilidades de que, em articulação com o setor produtivo, chegue-se a avanços tecnológicos.

Como visto, a produção brasileira de bens de capital para a geração de energia eólica é concentrada em transnacionais que se estabeleceram no país atraídas por um crescente mercado consumidor doméstico e por incentivos governamentais. Haveria, no país, uma base científica de projeção internacional, quer seja ela preexistente, quer seja decorrente da consolidação do mercado brasileiro de energia eólica? As críticas de Podcameni (2014) e de Camillo (2013) à fragilidade do sistema nacional de inovação em energia eólica sugerem que não. No caso da energia solar fotovoltaica, ainda incipiente no país, é de se esperar que seja reduzida a base científica nacional dedicada a essa fonte de energia renovável. Ocorre que, sem isso, torna-se, a princípio, mais difícil o sucesso de iniciativas destinadas a transferências de tecnologia e, mais ainda, de tentativas de estimular a inovação em cadeias produtivas concentradas no Brasil.

Valendo-se de dados do diretório dos grupos de pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Santos (2014) conclui que as infraestruturas utilizadas no Brasil para P&D em energias renováveis são de pequeno porte – embora, como aduzem Mazzucato (2014) e o próprio Santos (2014), sejam grandes corporações que, com forte apoio estatal, dominem a P&D e os mercados nesses setores. Como seria o desempenho das bases científicas brasileiras atuantes na P&D em energia solar e em energia eólica em um contexto de infraestruturas reduzidas?

Será feito, neste artigo, um exercício muito simples para extrair alguma informação nesse sentido, recorrendo-se à coleção principal *Web of science*, do portal ISI Web of Knowledge (Thomson Reuters, [s.d.]), disponível a assinantes do portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

Em primeiro lugar, contabilizou-se o número de artigos completos publicados entre 2001 e 2015[14] e indexados pelo *Web of science* sob o índice *science citation index expanded* (SCI-Expanded). A partir disso ordenou-se o resultado da busca de acordo com a "nacionalidade" que o portal atribui aos artigos a partir do país de residência informado por seus autores (esta técnica costuma ensejar dupla contagem de muitas das publicações levantadas, mas é a melhor forma de se associar a produção científica a países). Em seguida, limitou-se a amostra aos cinquenta países com maior número de artigos publicados nesse período (referidos adiante como *top* 50). O filtro seguinte foi restringir as observações àquelas que o *Web of science* classifica como da área de pesquisa energia e combustíveis (*energy & fuels*, em inglês).

Dividiu-se, então, a amostra em duas: de um lado, artigos sobre energia eólica; de outro, artigos sobre energia solar fotovoltaica. Para fins de simplicidade, optou-se por não utilizar, na busca, termos que remetessem a equipamentos nem a tecnologias específicas dessas duas fontes de energia renovável, limitando-se a termos de caráter geral que permitissem encontrar artigos pertinentes e que evitassem incorporar à amostra de artigos sobre energia solar fotovoltaica os que fossem sobre energia termossolar (ver no apêndice, ao final deste artigo, os termos usados nessa busca final).

Por fim, registrou-se, para toda a produção de artigos publicados e para as respectivas amostras sobre tópicos de energias eólica e solar fotovoltaica, a participação brasileira no total, a posição relativa do país e o número médio de citações por artigo (de brasileiros e de residentes em algum dos cinquenta países com maior produção de artigos no período).[15] Os resultados são informados na tabela 2.

---

14. Período escolhido arbitrariamente, limitando a busca à produção científica deste século. A produção relativa ao ano de 2015 se atém ao que já havia sido indexado pelo *Web of science* até 12 de junho de 2015, data da última atualização da base no momento da busca.

15. Indicador bibliométrico bastante difundido desde sua proposição por Hirsch (2005), o fator H não foi utilizado neste trabalho por ser muito sensível ao tamanho da amostra, reduzindo bastante sua pertinência para comparações como as que são feitas na tabela 2.

TABELA 2
Indicadores para uma análise do desempenho da produção científica brasileira sobre energias eólica e solar fotovoltaica[1]

Área	Indicador			
	Desempenho do Brasil		Número médio de citações por artigo	
	Total de artigos (%)	Posição relativa	Brasil	*Top* 50
Energia eólica	1,2	25	8,68	13,14
Energia solar fotovoltaica	1,4	22	10,85	16,22
Todas as áreas	2,5	14	n/d	n/d

Fonte: Portal ISI Web of Knowledge (Thomson Reuters, [s.d.]).
Elaboração do autor.
Nota: [1] Relativo a artigos científicos publicados entre 2001 e 2015 e indexados na coleção principal do *Web of science*.
Obs.: n/d: dado não disponível (relatórios de citações não são gerados pelo portal para resultados que superem 10 mil observações).

Percebe-se que a participação brasileira é bem menor na produção de artigos científicos sobre uma e outra das fontes de energia ora investigadas do que na produção em todas as áreas. No período compreendido entre 2001 e 2015, pesquisadores cujo endereço informado fica no Brasil foram autores ou coautores de 2,5% de todos os artigos indexados pelo índice SCI-Expanded da coleção principal do *Web of science*. Isto faz do Brasil, nessa indexação, o 14º maior produtor mundial de artigos científicos no período. Nesses mesmos anos, 1,4% dos artigos sobre energia solar fotovoltaica e 1,2% dos artigos sobre energia eólica tiveram a participação de ao menos um autor sediado no Brasil, colocando o país, respectivamente, na 22ª e na 25ª posição nessas áreas. Além disso, a visibilidade internacional da produção científica nacional nessas duas áreas, medidas em termos de número de citações por artigo, esteve abaixo da média observada para os *top* 50, como pode-se ver nas duas últimas colunas da tabela 2.

Ainda que tenha sido esse um mero exercício ilustrativo, percebe-se que a produção científica brasileira em ambos os temas é de pequena escala. A reduzida produção científica pode ser sinal de baixa capacidade tecnológica para inovar nesses setores. Sem uma base científica consolidada e internacionalmente reconhecida, tende o Brasil a permanecer na condição de país seguidor na indústria de bens de capital para a geração de energia eólica, mesmo dispondo de amplo mercado interno e por mais que se venha a incentivar o desenvolvimento de componentes nacionais.

No caso da energia solar, trata-se de limitante a um possível crescimento da ainda nascente indústria nacional. No advento de uma política de incentivo destinada ao desenvolvimento de painéis fotovoltaicos nacionais, a ausência de uma base científica relevante significaria perder oportunidades de desenvolver componentes genuinamente brasileiros, sem mencionar que limitaria a tecnologia nacional à reprodução do que é descoberto, desenvolvido e patenteado lá fora.

Em suma, em ambos os casos a baixa capacidade de produção científica significa distanciar-se da fronteira tecnológica e dos ganhos que costumam ser proporcionados pelo pioneirismo no desenvolvimento e na comercialização de novos produtos e processos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve por propósito apresentar sucintamente os cenários internacional e doméstico de desenvolvimento das tecnologias e dos mercados relacionados aos bens de capital para a geração de energia solar fotovoltaica e de energia eólica, refletindo sobre a inserção do Brasil nessas indústrias. Subsidiariamente buscou-se discutir se o país dispõe de bases científicas de relevo, sem as quais a identificação de oportunidades tecnológicas torna-se mais difícil.

Tal qual se depreende de Manyika (2013) e de Mazzucato (2014), muitas deverão ser as oportunidades para a geração de energia, à medida em que se acelere o desenvolvimento das tecnologias concernentes a sistemas fotovoltaicos e eólicos. Esse deverá ser um prognóstico tão mais palpável quanto sejam colocados em prática planos e políticas governamentais direcionados a uma eventual eliminação completa dos combustíveis fósseis sem CCS, tal qual muitos têm inferido, desde o anúncio de G7 (2015), como meta a ser alcançada até 2100 pelas sete nações

mais desenvolvidas do mundo. Se o G7 caminhar mesmo nesse sentido, a extração em grande escala do petróleo da camada do pré-sal poderá estar cada vez mais comprometida. Porém, o potencial do Brasil para o aproveitamento de fontes renováveis de energia, se bem explorado, poderá abrir várias oportunidades para o país.

A despeito do seu enorme potencial solar, o Brasil ainda tem um incipiente mercado de energia solar. Trata-se de um mercado que cresce rapidamente em escala global e no qual ainda existem oportunidades tecnológicas. Decerto não tardará ao Brasil ser instado a ampliar a participação de fontes solares em sua matriz energética, mas, ao fazê-lo, já não estará em posição dianteira na corrida tecnológica do setor. Além disso, dispõe de restrita base científica e tecnológica na área. Isto tudo tenderá a restringir, mas não inviabilizar, possíveis ambições futuras de erigir uma indústria dinâmica e inovadora a partir do potencial solar brasileiro.

O potencial eólico do país tem sido mais bem aproveitado do que o solar, mas tão somente o potencial como mercado consumidor. As tecnologias associadas à geração de energia eólica são apropriadas por firmas estrangeiras, embora haja um competidor nacional no ramo. Considerando o estágio de maturação tecnológica, a acentuada escala das firmas líderes globais (a maioria das quais também atua no Brasil) e o tamanho reduzido da produção científica nacional sobre os temas pertinentes à energia eólica, é de se esperar que o país enfrente grandes dificuldades para sair da condição de seguidor tecnológico.

Mesmo com a dimensão atual do mercado de energia eólica brasileiro e das condições climáticas favoráveis à ampliação da geração de energia solar em muitas partes do país, em termos tecnológicos o Brasil é um *latecomer*. Isto não inviabiliza aspirações a buscar algum protagonismo tecnológico nesses dois setores, como outros *latecomers* (China, Espanha e Índia, por exemplo) têm conseguido.

Além das condições externas favoráveis, a crescente saturação da hidroeletricidade na matriz energética brasileira poderá vir a ser um outro fator de peso a impulsionar o país nesse sentido. Será necessário, contudo, que as futuras políticas industriais e de CT&I tenham foco nos nichos tecnológicos ainda pouco desenvolvidos dessas duas indústrias e/ou em transferências tecnológicas. Do contrário, será grande o risco de seguir basicamente montando no país equipamentos desenvolvidos alhures.

Deve-se analisar, também, em que medida não seria mais eficaz o país direcionar parte do foco de suas políticas para energias renováveis a setores em que já se tenha algum domínio tecnológico (como biocombustíveis) ou para áreas em que, de tão incipientes, ainda podem ser vistas como novas (a exemplo da geração de eletricidade por ondas do mar ou por energia solar concentrada).

REFERÊNCIAS

ABDI – AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Relatório técnico de acompanhamento de política industrial**. Brasília: ABDI, 2014.

AZEVEDO, R. L. S. *et al.* **Comunicação**: Brazil Windpower 2012. Rio de Janeiro: BNDES, 2012. Disponível em: <https://goo.gl/Hdku6V>. Acesso em: 28 maio 2015.

BODEN, T. A.; MARLAND, G.; ANDRES, R. J. **Global, regional, and national fossil-fuel CO2 emissions**. Oak Ridge: US Department of Energy, 2009. v. 10.

BREMER, I. Here are 5 reasons the G7 Summit was a disappointment. **Time**, 12 Jun. 2015. Disponível em: <http://goo.gl/31ZDjl>.

BROEHL, J.; LABASTIDA, R. R.; HAMILTON, B. **World wind energy market update 2015**: A BTM navigant wind report. Londres: Navigant Research, 2015.

CABELLO, A. F.; POMPERMAYER, F. M. **Energia fotovoltaica ligada à rede elétrica**: atratividade para o consumidor final e possíveis impactos no sistema elétrico. Brasília: Ipea, 2013. (Texto para Discussão, n. 1812).

CAMILLO, E. V. **As políticas de inovação da indústria de energia eólica**: uma análise do caso brasileiro com base no estudo de experiências internacionais. Campinas: Unicamp, 2013.

CARREL, P.; MARTIN, M. G7 leaders bid 'Auf Wiedersehen' to carbon fuels. **Reuters**, 8 Jun. 2015. Disponível em: <http://goo.gl/cQ3ZWD>.

CCEE – CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatório de geração e garantia física do Proinfa**. [S.l.]: CCEE, set. 2012.

COSTA, R. A; CASOTTI, B. P.; AZEVEDO, R. L. S. Um panorama da indústria de bens de capital relacionados à energia eólica. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 29, p. 229-277, 2009.

CUETO-FELGUEROSO, L.; JUANES, R. Forecasting long-term gas production from shale. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 49, p. 19660-19661, Dec. 2013.

ESPOSITO, A. S.; FUCHS, P. G. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, n. 40, p. 85-113, 2013.

FERRAZ, C. 2012 será o ano da energia solar fotovoltaica no Brasil? **Infopetro**, 9 abr. 2012. Disponível em: <https://goo.gl/7BQeSA>. Acesso em: 22 dez. 2014

GRANDELLE, R. Líderes do G7 prometem afastar economias dos combustíveis de carbono. **O Globo**, 8 jun. 2015. Disponível em: <http://goo.gl/j2sqeU>. Acesso em: 11 jun. 2015.

G7 – GROUP OF SEVEN. Leader´s declaration. *In*: G7 MEETING, Schloss Elmau, 7-8 Jun. 2015. **Annals…** Schloss Elmau: G7, 2015.

GWEC – GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **Annual market update 2013**: navigating the global wind power market. Bruxelas: GWEC, Apr. 2014. (Global Wind Report 2013). Disponível em: <http://goo.gl/CnjYzt>.

HADER, M. **From pioneer to mainstream**: evolution of wind energy markets and implications for manufacturers and suppliers. Hamburg: Roland Berger, 2010. Disponível em: <https://goo.gl/TC7nP6>.

HIRSCH, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)**, v. 102, n. 46, p. 16569-16572, Nov. 2005.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key world energy statistics 2014**. Paris: IEA, 2014. Disponível em: <http://goo.gl/91R2cY>. Acesso em: 11 jun. 2015.

KROGSGAARD, P. *et al.* **World market update 2013**: a BTM wind report. Chicago: Navigation Research, Apr. 2014.

LEITE, A. D. **A energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

MANYIKA, J. *et al.* **Disruptive technologies**: advances that will transform life, business, and the global economy. [S.l.]: McKinsey Global Institute, May 2013.

MATHIESEN, K. G7 fossil fuel pledge is a diplomatic coup for Germany's 'climate chancellor'. **The Guardian**, 8 Jun. 2015. Disponível em: <http://goo.gl/0LIjST>.

MAZZUCATO, M. **O estado empreendedor**: desmascarando o mito do setor público *vs* setor privado. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2014.

MCCRONE, A. *et al.* **Global trends in renewable energy investment 2014**: key findings. Frankfurt: Frankfurt School; Unep Centre; Bloomberg, 2014.

_____. **Global trends in renewable energy investment 2015**. Frankfurt: Frankfurt School; Unep Centre; Bloomberg, 2015.

MELIKOGLU, M. Shale gas: analysis of its role in the global energy market. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 37, p. 460-468, 2014.

MELO, E. Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade. **Estudos Avançados**, v. 27, n. 77, p. 125-142, jan. 2013.

MING, C. Urgência para o petróleo. **Estadão**, 9 jun. 2015. Disponível em: <http://goo.gl/WZgghe>.

MOEHLECKE, A. *et al.* **Energia solar fotovoltaica no Brasil**: subsídios para tomada de decisão. Brasília: CGEE, maio 2010. (Série Documentos Técnicos 02-10).

NASCIMENTO, P. A. M. M. Capacitações científicas em telecomunicações. *In*: KUBOTA, L. C. *et al.* (Eds.). **Tecnologias da informação e da comunicação**: competição, políticas e tendências. Brasília: Ipea, 2012. p. 245-268.

PACHAURI, R. K. *et al.* **Climate change 2014**: synthesis report. Genebra: IPCC, 2014.

PERNICK, R.; WILDER, C.; BELCHER, J. **Clean energy trends 2014**. San Francisco: Clean Edge, Mar. 2014.

PODCAMENI, M. G. VON B. **Sistemas de inovação e energia eólica**: a experiência brasileira. 2014. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://goo.gl/jmel4y>.

POMPERMAYER, F. M.; DE NEGRI, F.; CAVALCANTE, L. R. (Orgs.). **Inovação tecnológica no setor elétrico brasileiro**: uma avaliação do programa de P&D regulado pela Aneel. Brasília: Ipea, 2011.

PÓVOA, L. M.; RAPINI, M. S. Technology transfer from universities and public research institutes to firms in Brazil: what is transferred and how the transfer is carried out. **Science and Public Policy**, v. 37, n. 2, p. 147-159, 2010.

REN21 – RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY. **Renewables 2014 – Global Status Report**. Paris: REN21 Secretariat, 2014. Disponível em: <http://goo.gl/zs5PMC>.

RUIZ, B. J.; RODRÍGUEZ, V.; BERMANN, C. Analysis and perspectives of the government programs to promote the renewable electricity generation in Brazil. **Energy Policy**, v. 35, n. 5, p. 2989-2994, May 2007.

SANTOS, G. R. Infraestrutura de pesquisa em energias renováveis no Brasil. **Radar: tecnologia, produção e comércio exterior**, v. 35, p. 7-18, out. 2014.

_____. **Financiamento público da pesquisa em energias renováveis no Brasil**: a contribuição dos fundos setoriais de inovação tecnológica. Brasília: Ipea, 2015. (Texto para Discussão, n. 2047).

SIEMENS world no1 OEM in 2014, says Make Consulting. **Wind Power Monthly**, 9 Mar. 2015. Disponível em: <http://goo.gl/dBNYYF>. Access: 13 Jun. 2015.

THOMSON REUTERS. **ISI Web of Knowledge [v5.13.1]**. [S.l.]: [s.d.]. Disponível em: <http://goo.gl/tunbPg>. Acesso em: 14 Jun. 2015.

WANG, Q. *et al*. Natural gas from shale formation – the evolution, evidences and challenges of shale gas revolution in United States. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 30, p. 1-28, 2014.

WANG, Z.; QIN, H.; LEWIS, J. I. China's wind power industry: policy support, technological achievements, and emerging challenges. **Energy Policy**, v. 51, p. 80-88, Dec. 2012.

ZAWADZKI, S. Siemens tops global wind turbine market, Vestas slips, GE rises. **Reuters**, Copenhagen, 9 Mar. 2015. Disponível em: <http://goo.gl/XYbdRv>.

APÊNDICE

Explica-se, a seguir, como foi feita a busca por artigos no portal ISI Web of Knowledge (Thomson Reuters, [s.d.]).

Para o levantamento dos dados apresentados na seção 5 deste artigo, foram feitas buscas avançadas na coleção principal *Web of science* do portal ISI Thomson Reuters Web of Knowledge, restritas ao índice *science citation index expanded* (SCI-Expanded) e a artigos como tipo de documento. No dia da busca, o portal estava atualizado até 12 de junho de 2015. Não foi limitado o período da busca, mas a amostra contém apenas artigos publicados entre 2001 e 2015, o que se obteve inserindo, no campo de busca avançada, a seguinte solicitação: PY=(2001 OR 2002 OR 2003 OR 2004 OR 2005 OR 2006 OR 2007 OR 2008 OR 2009 OR 2010 OR 2011). Esta foi a primeira busca feita. Em seguida, por meio da ferramenta *analyze results*, foi solicitado o ordenamento dos resultados iniciais da busca por *coutries/territories*, limitando, a partir disso, a amostra aos artigos referentes aos cinquenta países com maior produção. Na sequência, refinou-se a busca para a *web of science category*, definida como *energy & fuels*.

As buscas podem ser replicadas de forma mais direta colocando-se no campo de busca avançada da coleção principal do *Web of science* os termos a seguir descritos (lembrando-se de limitar a busca a artigos e ao índice SCI-Expanded).

Para energia eólica obteve-se 6.846 artigos, dos quais 81 tiveram a participação de ao menos um coautor cujo endereço informado fica no Brasil:

> WC=(ENERGY FUELS) AND TS=wind AND TS=(*energ* OR *power* OR *turbine* OR *blade* OR *rotor*) AND PY=(2001 OR 2002 OR 2003 OR 2004 OR 2005 OR 2006 OR 2007 OR 2008 OR 2009 OR 2010 OR 2011 OR 2012 OR 2013 OR 2014 OR 2015) AND CU=(USA OR PEOPLES R CHINA OR GERMANY OR JAPAN OR ENGLAND OR FRANCE OR ITALY OR CANADA OR SPAIN OR INDIA OR SOUTH KOREA OR AUSTRALIA OR RUSSIA OR BRAZIL OR NETHERLANDS OR TAIWAN OR SWITZERLAND OR SWEDEN OR TURKEY OR POLAND OR BELGIUM OR IRAN OR DENMARK OR ISRAEL OR SCOTLAND OR AUSTRIA OR FINLAND OR GREECE OR MEXICO OR PORTUGAL OR CZECH REPUBLIC OR NORWAY OR SINGAPORE OR ARGENTINA OR SOUTH AFRICA OR NEW ZEALAND OR HUNGARY OR EGYPT OR IRELAND OR ROMANIA OR UKRAINE OR MALAYSIA OR THAILAND OR SAUDI ARABIA OR CHILE OR WALES OR PAKISTAN OR SLOVENIA OR SLOVAKIA OR SERBIA)

Para energia solar fotovoltaica obteve-se 4.682 artigos, dos quais 66 tiveram a participação de ao menos um coautor cujo endereço informado fica no Brasil:

> WC=(ENERGY FUELS) AND TS=(solar AND *photovoltaic* NOT CSP NOT concentrat* solar* NOT thermo) AND TS=(*power* OR *energ* OR panel* OR technolog* OR *thin film*) AND PY=(2001 OR 2002 OR 2003 OR 2004 OR 2005 OR 2006 OR 2007 OR 2008 OR 2009 OR 2010 OR 2011 OR 2012 OR 2013 OR 2014 OR 2015) AND CU=(USA OR PEOPLES R CHINA OR GERMANY OR JAPAN OR ENGLAND OR FRANCE OR ITALY OR CANADA OR SPAIN OR INDIA OR SOUTH KOREA OR AUSTRALIA OR RUSSIA OR BRAZIL OR NETHERLANDS OR TAIWAN OR SWITZERLAND OR SWEDEN OR TURKEY OR POLAND OR BELGIUM OR IRAN OR DENMARK OR ISRAEL OR SCOTLAND OR AUSTRIA OR FINLAND OR GREECE OR MEXICO OR PORTUGAL OR CZECH REPUBLIC OR NORWAY OR SINGAPORE OR ARGENTINA OR SOUTH AFRICA OR NEW ZEALAND OR HUNGARY OR EGYPT OR IRELAND OR ROMANIA OR UKRAINE OR MALAYSIA OR THAILAND OR SAUDI ARABIA OR CHILE OR WALES OR PAKISTAN OR SLOVENIA OR SLOVAKIA OR SERBIA)

Ressalte-se que o portal é atualizado constantemente, o que significa que os resultados podem variar de um dia para o outro. Importante reportar a data informada pelo portal como da última atualização feita até o momento da busca. No caso deste trabalho, a coleção principal do *Web of science* disponível no portal ISI Thomson Reuters Web of Knowledge estava atualizada até 12 de junho de 2015.