

## Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil

Alexandre Siciliano Esposito  
Paulo Gustavo Fuchs

<http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>

# Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil

Alexandre Siciliano Esposito  
Paulo Gustavo Fuchs\*

## Resumo

O mercado global de energia solar cresceu de forma exponencial nos últimos anos. Várias aplicações de energia solar tornaram-se viáveis economicamente pela expansão dos mercados e pela consequente expansão das escalas de produção. Este artigo contextualiza o Brasil no quadro global de exploração das diversas tecnologias de geração de energia solar. Com base nessa contextualização, são avaliadas as possibilidades de criação de incentivos e de articulação de políticas públicas em prol do uso desse tipo de energia no país, com um olhar sobre o adensamento produtivo e tecnológico local.

---

\*Respectivamente, economista do BNDES e mestre em Ciências Econômicas e engenheiro do BNDES e mestre em Administração de Empresas. Este artigo é de exclusiva responsabilidade dos autores, não refletindo, necessariamente, a opinião do BNDES.

## **Abstract**

The global market for solar energy has grown exponentially in the last years. Several solar energy applications have become economically viable because of the markets expansion and, as a consequence, because of the expansion of the production scale. This paper gives the context in which Brazil is, regarding the global picture of several uses of technologies for solar energy generation. Given this context, it is evaluated the possibilities for the creation of incentives and public policies coordination in favor of this source of energy in the country, with a local supply chain and a local technological development perspectives.

## Introdução

Atualmente, com as aplicações tecnológicas disponíveis, a geração de energia elétrica a partir da radiação solar é obtida pelo efeito fotovoltaico (FV) ou pela heliotermia.

O efeito FV consiste na obtenção de corrente elétrica quando fótons provenientes da radiação solar incidem sobre um material semicondutor previamente purificado e dopado. O material semicondutor mais utilizado no mercado para a geração elétrica fotovoltaica é o silício, também largamente empregado na indústria eletrônica.

A princípio, o desenvolvimento tecnológico do processo de purificação e dopagem de silício esteve intimamente associado ao desenvolvimento da indústria eletrônica, com o advento de componentes eletrônicos tais como diodos e transistores e, depois, com a miniaturização desses componentes, que possibilitou a fabricação dos circuitos integrados, os chamados *chips*.

No passado, o silício purificado era quase todo utilizado como matéria-prima para a confecção de componentes eletrônicos. Parcelas não significativas de silício purificado que não atendiam às tolerâncias de pureza exigidas pela indústria eletrônica eram, na época, destinadas à então incipiente fabricação de células fotovoltaicas utilizadas em painéis solares de uso restrito a algumas aplicações, por exemplo, em satélites aeroespaciais.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> O silício em estado natural (minério) tem impurezas (diversos outros elementos químicos) que devem ser reduzidas para que atinja características de semicondutor, depois da adição de traços de elementos específicos, como boro (B) e fósforo (P) – dopagem. Em linhas gerais, necessita-se de um processo de purificação no qual se reduza o nível de outros elementos químicos para que se atinja 99,9999% de pureza para aplicações em células solares (silício purificado em grau solar – Si-GS), ou 99,9999999% de pureza para aplicações na indústria eletrônica – (silício purificado em grau eletrônico – Si-GE).

A partir da primeira década dos anos 2000, a indústria fotovoltaica consolidou-se nos mercados desenvolvidos pelo aumento da demanda e da escala de produção, que, aliadas a desenvolvimentos tecnológicos específicos, viabilizaram a redução de preços e a consequente penetração maior no mercado. Esse desenvolvimento tecnológico sucedeu-se principalmente na Alemanha, nos Estados Unidos da América (EUA) e no Japão, com participação secundária de Itália, Espanha e Noruega. Destaca-se que, apesar do amadurecimento do mercado fotovoltaico, há ainda várias vertentes de inovações em curso, por exemplo: filme fino, células orgânicas, células multijunção e rota metalúrgica de purificação de silício.

Hoje, os esforços de desenvolvimento tecnológico na indústria fotovoltaica estão concentrados na China, líder atual na produção de painéis fotovoltaicos. Nos EUA, os esforços tecnológicos estão inseridos como uma das vertentes de impulso à retomada do crescimento econômico (dado pelo Recovery Act, o qual se voltará a mencionar mais adiante), enquanto no Japão o direcionador provém da política energética pós-Fukushima. Ressalta-se que a Alemanha, apesar de ser o principal mercado e um dos grandes centros desenvolvedores de tecnologia, encontra-se em declínio relativo.

A segunda forma de geração de energia elétrica pela irradiação solar, denominada geração heliotérmica, termossolar ou também *concentrated solar power* (CSP), consiste basicamente na geração de eletricidade por meio da conversão da energia solar em energia térmica, e posterior conversão desta última em energia elétrica. Dessa forma, uma planta baseada nessa modalidade de geração emprega em seus estágios finais as tecnologias já amplamente conhecidas e maduras utilizadas nas centrais termelétricas. Sua peculiaridade está na forma e na eficiência de conversão da irradiação solar em energia térmica por meio de campos solares responsáveis pela concentração da radiação solar e posterior transferência dessa energia concentrada a um meio de propagação e acúmulo.

Resumidamente, os fatores-chave na geração heliotérmica, que necessitam de esforços de pesquisa, desenvolvimento e inovação (P,D&I), são: aumento da eficiência na concentração da radiação solar para maior geração de calor; redução de perdas na absorção de calor por meio de ar e de fluidos, como água, óleos e sais fundidos; desenvolvimento de alternativas de armazenamento de calor, utilizando-se materiais como cerâmica e outros. Sobre isso, destaca-se que as tecnologias heliotérmicas têm P,D&I concentradas principalmente na conversão da energia solar em energia térmica e, também, em sistemas de armazenamento de energia.

Os EUA e a Espanha concentram as pesquisas tecnológicas e as plantas-piloto termossolares, muito por conta de suas vocações naturais, oriundas das altas irradiações solares nas regiões semiáridas de seus territórios. A Alemanha participa como principal desenvolvedora de tecnologia e fornecedora de materiais e bens de capital para o segmento termossolar, sobretudo com a instalação de plantas na Europa, África e Oriente Médio.

Dado o potencial de aproveitamento dessa energia, depreende-se que a energia solar está no centro das discussões e definições de política energética de diversos países desenvolvidos e emergentes. Suas implicações são transversais, pois o uso da energia solar permite: redução do uso de combustíveis fósseis, redução de emissões de gases de efeito estufa, geração de empregos qualificados, desenvolvimento tecnológico e criação de valor, vetores da sustentabilidade ambiental, social e econômica.

Para o Brasil, no que se refere à política energética, a energia solar é mais uma entre as diversas opções que o país detém, como hidroeletricidade, energia eólica, biomassa, entre outras. Como há múltiplas opções energéticas e o preço relativo é ainda adverso para as tecnologias de energia solar disponíveis, sua aplicação é, até este momento, desconsiderada para uso imediato em grande escala.

Com base no contexto exposto, este artigo tem por objetivo descrever e analisar a situação do Brasil no que se refere às tecnologias de geração de energia solar, com ênfase nos potenciais de ação de política pública para a exploração dessa fonte de energia, com adensamento produtivo e tecnológico, ou seja, sem gerar significativa dependência tecnológica e produtiva de fornecedores do exterior.

Para tanto, o estudo está estruturado da seguinte forma. A introdução traça um panorama geral sobre a energia solar no mundo. A segunda seção busca caracterizar as cadeias tecnológicas para a geração de energia solar, a fim de mapear as oportunidades para o Brasil. Com base nessa caracterização, na terceira seção expõe-se um panorama do mercado global, com vistas a dimensionar quais graus de defasagem e esforço o país terá de enfrentar para se inserir nesse mercado. A quarta seção descreve quais são as possíveis ações de política pública que o Brasil pode perseguir.

## **Caracterização das cadeias tecnológicas de energia solar**

Em linhas gerais, pode-se dizer que existem duas cadeias de valor para as principais tecnologias de geração de energia solar. Para as tecnologias de heliotermia, há uma estrutura mais horizontalizada, na qual a cadeia de valor é eminentemente baseada na concepção dos projetos básico e executivo, bem como a posterior integração de materiais, equipamentos, processos, estruturas e serviços. Dominam o segmento empresas integradoras ou “epcistas”.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Empresas “epcistas” são aquelas que fornecem o projeto e executam todas as etapas de implementação de um empreendimento até sua entrada em operação, responsabilizando-se até mesmo pela *performance* inicial de um empreendimento. Essa expressão vem do inglês *engineering, procurement and construction* (EPC) e significa que a empresa contratada para implantar um determinado empreendimento responsabiliza-se pela engenharia do projeto, pela contratação de fornecedores e por sua construção.

As tecnologias fotovoltaicas, por outro lado, têm uma cadeia de valor mais verticalizada, na qual há etapas de beneficiamento industrial de alto valor agregado, além dos serviços de instalação e montagem, que representam parte substancial do preço final dos sistemas fotovoltaicos. O Quadro 1 busca consolidar as principais características das duas vertentes tecnológicas e suas diferenças.

Quadro 1

### Principais características das opções tecnológicas

Modalidades	Tecnologias	Perfil industrial	Estágio do desenvolvimento tecnológico	Padrão de concorrência
Fotovoltaica	Painéis rígidos (silício cristalino)	Vertical: mais etapas; menos integrado, concentração industrial nas etapas iniciais da cadeia (purificação do silício); atomizado no <i>downstream</i>	Desenvolvimento em etapas do processo de fabricação: maior eficiência energética e escala de produção, novas tecnologias de aplicação de contatos metálicos	Principal: preço e escala de produção; P,D&I com foco em redução de custos e aumento da eficiência
	Filmes finos (silício amorfo, compostos policristalinos etc.)	Vertical: menos etapas; mais integrado	Desenvolvimento em etapas do processo de fabricação: maior durabilidade (redução da degradação), novos processos de deposição em substratos	Principal: preço e escala de produção; P,D&I com foco em redução de custos e aumento da eficiência
	Novas tecnologias: <i>painting</i> e célula orgânica (OPV)	Vertical: menos etapas; mais integrado	Fronteira tecnológica: no caso da tecnologia OPV, integrado com a indústria eletrônica	Esforços de P,D&I para viabilização econômica

(Continua)



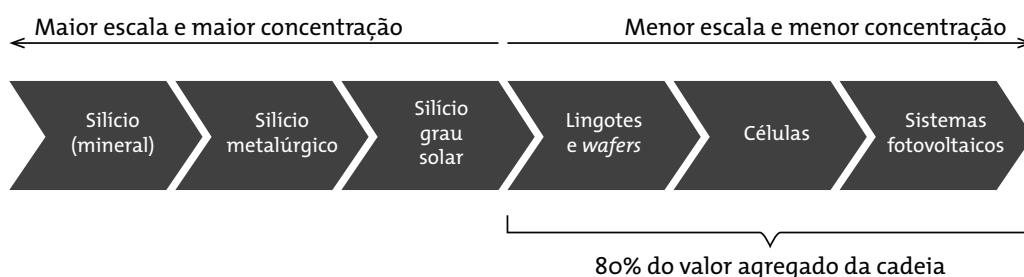
(Continuação)

Modalidades	Tecnologias	Perfil industrial	Estágio do desenvolvimento tecnológico	Padrão de concorrência
Heliotermia	Quatro tecnologias conhecidas: espelhos parabólicos; disco parabólico; fresnel; torre	Horizontal: necessidade de maior escala de produção (torres, principalmente)	Fronteira tecnológica: desenvolvimento focado em: retenção/ absorção de calor; redução de custos; aumento na eficiência	Esforços de P,D&I para aumento de eficiência e viabilização econômica; integração de serviços para contratos chave-na-mão

Fonte: Elaboração própria.

Percebe-se que são várias as tecnologias disponíveis, contudo os painéis fotovoltaicos de silício cristalino ainda dominam o mercado, pois representam cerca de 80% das vendas entre as tecnologias de FV. Em segundo lugar, vêm os filmes finos, com um pouco menos de 20% do mercado. Assim, para caracterizar com maior clareza os potenciais de desenvolvimento tecnológico no Brasil, as duas principais cadeias produtivas de FV estão ilustradas nas figuras 1 e 2.

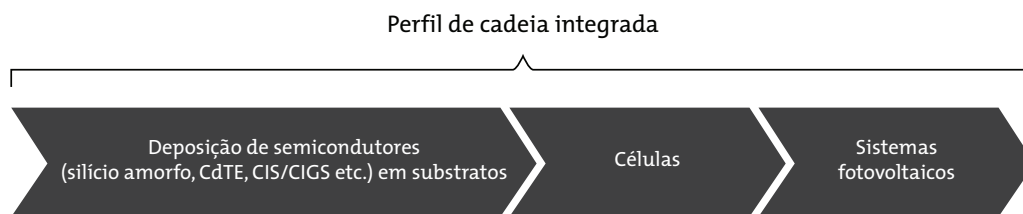
Figura 1  
Cadeia produtiva de silício cristalino



Fonte: Elaboração própria.

Figura 2

## Cadeia produtiva de filmes finos



Fonte: Elaboração própria.

Nota: CdTE: telureto de cádmio; CIS: disseleneto de cobre e índio; CIGS: disseleneto de cobre, índio e gálio.

No 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. No que tange aos filmes finos, há interesse de empresas estrangeiras em instalarem-se no país, mas até o momento não há fabricação local.

## Panoramas mundial e nacional

O mercado de instalações de energia solar recrudescceu bastante na última década, sobretudo nos últimos três anos, com fortes incrementos anuais, que, somente entre 2011 e 2012, superaram 30 GWp/ano. A energia fotovoltaica representa mais de 97% desse mercado, com capacidade instalada acumulada até 2012 de 102 GWp. A energia heliotérmica, por sua vez, atingiu 2,5 GWp em 2012 [EPIA (2013); REN21 (2013)].

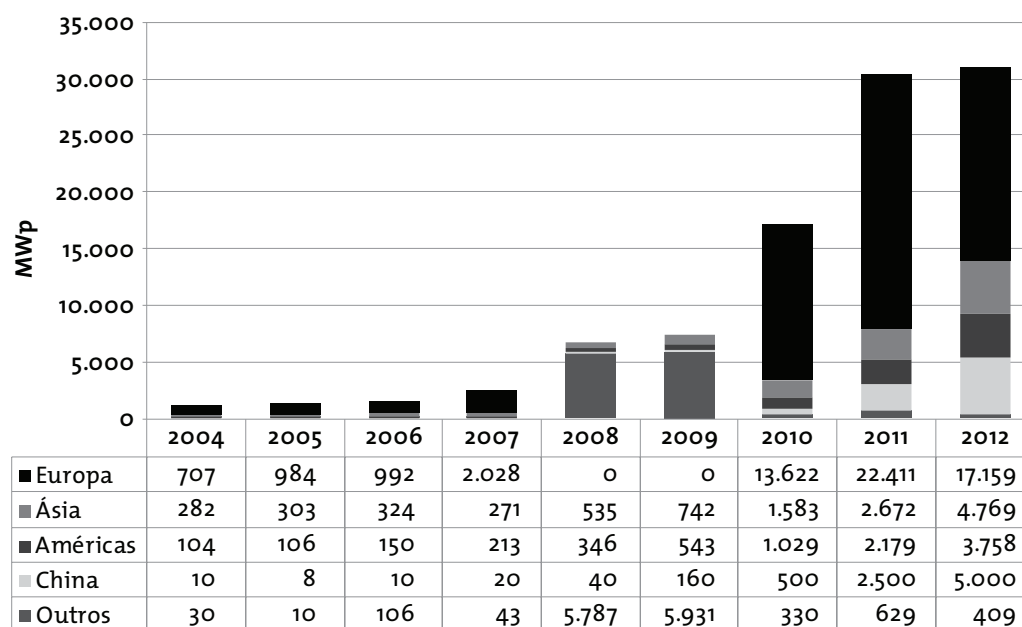
A energia termossolar ainda é muito concentrada em plantas-piloto voltadas a pesquisa e desenvolvimento, não obstante o recente aumento da presença de instalações com escala de mercado

já viáveis comercialmente. As ações em desenvolvimento estão localizadas nos EUA e na Espanha, sendo a Alemanha a principal fornecedora de tecnologia e equipamentos para a Espanha. De acordo com a agência de cooperação técnica alemã Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), os EUA concentram as iniciativas em desenvolvimento, com cerca de 11 GWp, seguidos pela Espanha, com 4,5 GWp, e pela China, com 2,5 GWp.

Em relação ao mercado fotovoltaico, cabe destacar onde se concentram demanda e oferta e qual o posicionamento competitivo dos países e empresas envolvidas. Os gráficos 1, 2, 3 e 4 demonstram que a Europa, notadamente a Alemanha, é o principal mercado consumidor, enquanto a China reúne os principais fabricantes de painéis fotovoltaicos.

Gráfico 1

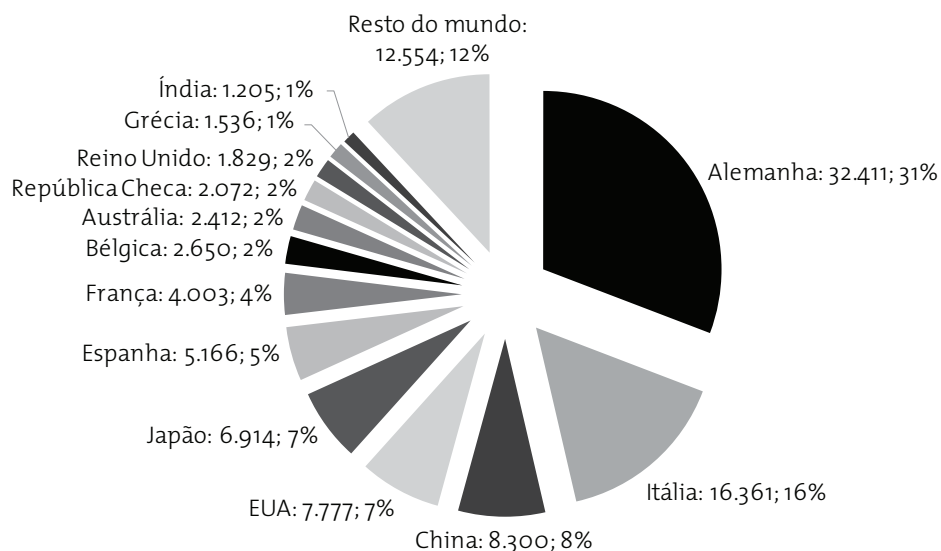
### Expansão da instalação de painéis fotovoltaicos no mundo



Fonte: EPIA.

Gráfico 2

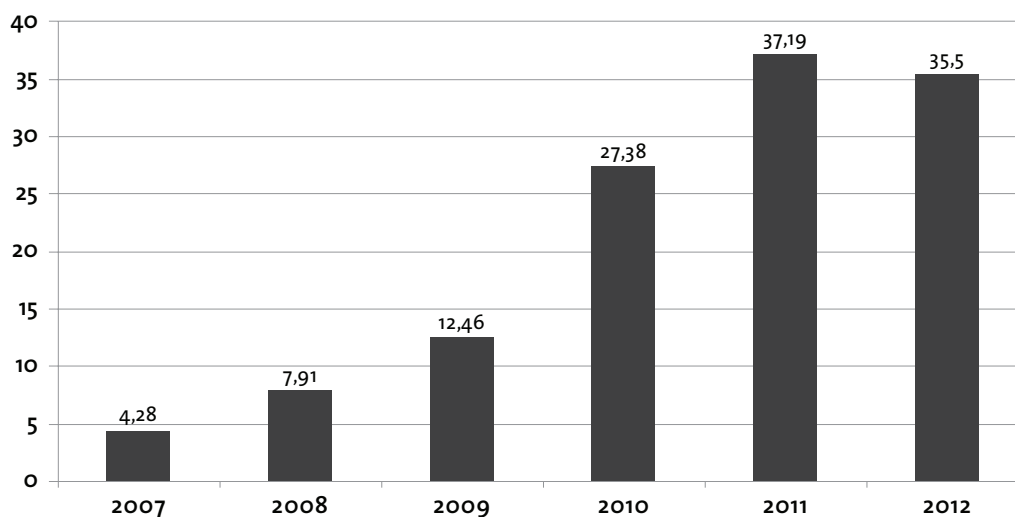
### Composição da instalação de painéis fotovoltaicos em 2012 (MWp e %)



Fonte: EPIA.

Gráfico 3

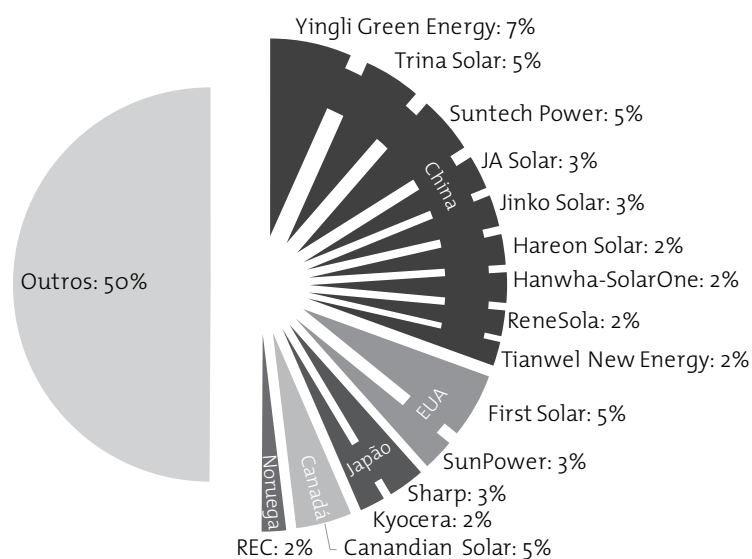
### Capacidade de produção de painéis fotovoltaicos no mundo (GWp)



Fonte: REN21.

Gráfico 4

### Principais fabricantes de painéis fotovoltaicos no mundo



Fonte: EPIA.

A liderança de mercado chinesa é resultado de um movimento recente de suas empresas, que iniciaram seus processos de produção pelas etapas finais da cadeia fotovoltaica (montagem de sistemas fotovoltaicos), nas quais as escalas de produção são menores e o mercado é mais atomizado (maior contestabilidade). Esse foi um movimento que em uma primeira fase contou com a importação de bens de capital europeus, bem como com a importação de células ou de silício purificado em grau solar.

Hoje a China já dispõe de fabricação própria desde o silício purificado até a fabricação de células e painéis fotovoltaicos. Ou seja, o país caminhou para etapas de maior escala e concentração industrial por meio de um processo de *catching-up* tecnológico que pode ser sintetizado em duas formas (não necessariamente sequenciais): engenharia reversa e aprendizado por meio das tecnologias importadas da Europa, dos EUA e do Japão, bem como pela aquisição de empresas, mais recentemente.

Como exemplo de aquisição chinesa, destaca-se a compra da norueguesa Elkem, que realiza P,D&I de purificação de silício pela rota metalúrgica, mais eficiente em termos energéticos que a rota química convencional (processo Siemens). Outro exemplo é o recente anúncio de interesse de compra pela State Grid (estatal chinesa do setor elétrico) da espanhola Abengoa, que investe em P,D&I e é integradora de projetos de biocombustíveis, calhas parabólicas e torres termossolares.

A agressividade chinesa fez despertar nos EUA e na Europa movimentos defensivos com a aplicação de medidas *antidumping*, tendo em vista a prática suspeita de preços predatórios por parte dos fabricantes chineses naquele país.

A comprovação de tal prática é incerta, mas os sinais são evidentes, pois várias falências de empresas americanas e europeias ocorreram nos últimos dois anos. Os casos mais emblemáticos são da norte-americana Solindra (heliotermia), da alemã Q-Cells, que foi uma das líderes mundiais de FV há três anos, e da alemã Centrotherm. A Centrotherm é a empresa alemã mais relevante de bens de capital para produção de FV. Ainda nesse contexto, cabe destacar a saída da Siemens, com a venda de sua divisão de energia solar, que acumulava prejuízos consideráveis. A empresa criou a base da tecnologia de purificação do silício (a chamada rota Siemens), sendo, portanto, outro caso emblemático do declínio alemão.

A reação dos países europeus a essa conjuntura tem sido guiada mais por questões fiscais dos tesouros nacionais do que por questões comerciais e tecnológicas. Espanha e Itália estão eliminando subsídios à produção de bens de capital e ao desenvolvimento tecnológico da energia solar. A exceção é a Alemanha, porém destaca-se que houve embate recente entre os poderes Executivo e Legislativo daquele país sobre a continuidade das políticas de fomento à energia solar.

Nos EUA, as energias alternativas, bem como as redes elétricas inteligentes, foram os principais motivadores do Recovery Act, lançado por Barack Obama em 2009. A intenção era recuperar o crescimento econômico por meio do desenvolvimento de novas tecnologias associadas a diversos setores prioritários, com notório destaque para infraestrutura e energia.

Contudo, a quebra da Solindra em 2011, um mês após a concessão de subvenções econômicas regulamentadas pelo Recovery Act, e as denúncias de favorecimento dessa empresa por supostas ligações com um dos assessores do presidente macularam a iniciativa. Importante ressaltar que o recrudescimento da produção de gás não convencional (*shale gas*) nos EUA, por meio de novas tecnologias de fraturamento de rocha, fez o preço do gás natural despencar, deslocando as demais fontes energéticas, desde o tradicional carvão até as tecnologias mais caras alternativas, como a solar e a eólica.

Com efeito, o panorama mundial é de um mercado aquecido, com crescimento notável, porém sobreofertado em cerca de 40% por conta do “efeito China” [EPIA (2013)]. A própria China começa a sofrer as consequências desse contexto. No segmento de FV, empresas acumularam prejuízos e estão sendo socorridas pelos governos locais. É o caso de um dos líderes mundiais, a chinesa Suntech. Para agravar o quadro chinês, notícias recentes reportam que a segunda e a terceira maiores produtoras de FV (Yingli e Trina) estão com trajetória de prejuízos similar à Suntech.

Assim, mesmo na China, há casos de empresas que estão em falência ou insolvência. Entretanto, várias outras empresas surgem, o que denota uma característica peculiar: certa volatilidade da estrutura de oferta mundial desse mercado, com alto poder de contestabilidade de posições de domínio e liderança. Essa característica introduz uma janela de oportunidade para o Brasil, mesmo em sua posição de defasagem temporal. De fato, este é um momento oportuno.

tuno de entrada, enquanto a estrutura de oferta da indústria mundial de energia solar ainda não se consolida.

No Brasil, a energia solar está na agenda de discussão da política industrial, no âmbito do Plano Brasil Maior (PBM), conjuntamente com os biocombustíveis e a energia eólica. Contudo, a geração solar ainda não consta nos cenários de planejamento energético do Ministério de Minas e Energia, o que significa que não há sinalização de realização de leilões exclusivamente para essa fonte energética nos curto e médio prazos. Esse fato é consequência de uma percepção de que a energia solar não é competitiva com as demais fontes renováveis para projetos de grande escala.

Apesar dessa percepção dos formuladores da política energética brasileira, há indicações fortes de que a aplicação competitiva da energia solar no país aproxima-se. O primeiro indício advém do declínio do preço equivalente da energia solar para aplicações em geração distribuída,<sup>3</sup> que, em alguns estados da federação, já se iguala ou se situa abaixo da tarifa final das concessionárias de eletricidade. Ou seja, confere competitividade à aplicação da energia solar, no que se denomina mercado por paridade de rede.

Outro indício de atratividade da geração solar foi a exitosa Chamada Pública Estratégica de P&D 13, realizada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) em janeiro de 2012, para fomentar a aplicação de diversas tecnologias solares de geração de energia. Foram 18 projetos selecionados, que correspondem a cerca de R\$ 400 milhões de investimento e 25 MWp de potência instalada.

Por fim, destaca-se que empresas estão estruturando planos de negócios para comercialização de painéis fotovoltaicos a consumidores finais de energia. Essas empresas são em sua maioria atores

---

<sup>3</sup> A geração distribuída é aquela que se efetua no local onde é consumida, sem a necessidade de uso dos sistemas de transmissão ou distribuição de energia.



do setor elétrico ou empresas integradoras de sistemas fotovoltaicos. Evidência disso é o fato de um grupo de cerca de quarenta empresas ter formado fórum de discussão no âmbito da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee) para propor agenda pública de fomento à energia solar.

## **Aspectos institucionais e mecanismos de incentivo à energia solar**

No mundo, há duas principais vertentes de promoção para a geração de energia solar: o *feed-in tariff* e o *net metering*. A primeira predomina na Europa, notadamente na Alemanha, e também foi adotada no Japão. Em linhas gerais, consiste no pagamento de uma tarifa (usualmente com valores acima das tarifas finais de energia), pelas concessionárias de energia locais, para a geração de energia produzida pelas instalações de energia solar. O custeio dessa tarifa em geral é assumido pelos tesouros nacionais (modelo espanhol) ou rateado por todos os consumidores de energia (modelo alemão).

O *net metering*, por sua vez, tem por finalidade regular a troca de energia entre concessionária e usuários de energia solar. Créditos são acumulados nas concessionárias quando há excedentes de energia (geração solar supera consumo local). Débitos são acumulados quando o inverso ocorre (o consumo local supera a geração solar). Há um balanço realizado pelas concessionárias no momento do faturamento das contas de energia, no qual créditos acumulados compensam débitos. Esse modelo de comercialização de energia é o que predomina nos EUA e o que foi recentemente regulamentado no Brasil pela Resolução Aneel 482, de 17 de abril de 2012.

Tanto o *feed-in tariff* quanto o *net metering* não dependem, no início de sua aplicação, da implantação das chamadas redes elétricas inteligentes. Para mais detalhes sobre o tema, ver artigo “Redes

elétricas inteligentes (*smart grid*): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local” publicado nesta edição da *Revista do BNDES*. Porém, considerada a natureza da geração solar (intermitente), que depende de condições naturais e climáticas, há possibilidade de ocorrência de distúrbios nos parâmetros de qualidade (tensão, frequência e harmônicos), além da própria gestão do fluxo de energia, que requer automação e gerenciamento das redes do setor elétrico com maior inteligência. Este é um dos motivos pelos quais as agendas de política industrial dos principais países situados na fronteira tecnológica (Japão, EUA, Alemanha e China) integram as temáticas das fontes alternativas de energia com a implantação das redes elétricas inteligentes.

Há outras formas de fomento a energias alternativas, como a realização de leilões públicos e/ou aplicação de cotas compulsórias de aquisição de energia por parte das concessionárias do setor elétrico, que geralmente são empregadas de forma complementar aos mecanismos de *feed-in tariff* ou *net metering*.

Outro aspecto relevante, que está estritamente associado ao desenvolvimento de novas tecnologias, é a aplicação de políticas de subsídios e subvenções. Regimes fiscais especiais são formas comuns de subsídio encontradas nos principais países, entre os quais a Alemanha, os EUA e o Japão são os casos mais notórios.

No Brasil, há três regimes fiscais que beneficiam diretamente a geração de energia solar:

- Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (Reidi), criado pela Lei 11.488/2007;
- Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (Padis), instituído pela Lei 11.484/2007; e
- Lei de Informática (11.077/2004).

Embora esses regimes fiscais brasileiros confirmem indiretamente alguns benefícios e incentivos às tecnologias solares, não são apropriados, pois foram instituídos para outras finalidades. O Reidi, por exemplo, ao reduzir os pagamentos do Programa de Integração Social (PIS), do Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (Pasep) e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (Cofins) para toda a infraestrutura, afetou transversalmente todas as fontes de energia, sem fazer diferenciação por prioridades ou méritos de desenvolvimento tecnológico estratégico.

Nos casos do Padis e da Lei de Informática, há reduções de impostos e contribuições (Imposto sobre Produtos Industrializados – IPI, PIS, Pasep, Cofins, Imposto de Renda, entre outros) condicionadas a investimentos em P,D&I. Com isso, estão um passo à frente do Reidi, pois vinculam isenções a gastos em desenvolvimento tecnológico. Contudo, foram instituídos para atividades correlatas e/ou com forte aderência às tecnologias solares (como a indústria de semicondutores), e, por esse motivo, não abrangem atividades relevantes das cadeias produtivas solares (inversores e materiais, por exemplo). Com efeito, necessita-se de normativo fiscal que trate especificamente de uma política de incentivo às tecnologias solares, a fim de beneficiar etapas sensíveis da cadeia produtiva.

Além desses regimes fiscais, há o Convênio 101/1997 do Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz), que concedeu isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) nos projetos com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica. Há algumas críticas ao Convênio 101 do Confaz, por exemplo: tratamento equânime entre os produtos importados e os fabricados no país; e exclusão de alguns equipamentos da lista de benefícios, como os inversores de corrente, e também de componentes de centrais heliotérmicas. Dessa forma, assim como os regimes fiscais federais, o Convênio 101 também necessitaria de

mudanças para englobar toda a cadeia de valor da energia solar, e, além disso, incorporar mecanismos de adensamento tecnológico.

Ainda com respeito à política tributária, cabe ressaltar o desestímulo à produção no Brasil de painéis fotovoltaicos, uma vez que para o módulo do painel importado as alíquotas de ICMS e IPI são zero, enquanto para a importação de suas partes e peças, visando à montagem do módulo no país, aplica-se ICMS de 18% e IPI entre 5% e 15%. Neste último caso, a isenção está limitada à célula fotovoltaica propriamente dita, o que prejudica sobremaneira a agregação de valor local, que seria decorrente da montagem doméstica dos painéis solares.

Complementares aos regimes fiscais, as políticas de subvenções (*grants*) são mecanismos poderosos de indução ao desenvolvimento de novas tecnologias, pois aceleram seu processo, e, quando associadas à inovação, não recebem sanções internacionais no âmbito da Organização Mundial do Comércio (OMC). O caso mais exemplar desse tipo de política é o norte-americano, que para a energia solar é ilustrado pelo Recovery Act. O Departamento de Energia dos EUA (DOE) destaca em suas exposições o poder da política de subvenções quando comparado ao do uso de isenções fiscais, pois, ao ser direcionada a atividades pré-industriais de maior risco, acelera a tomada de decisão e os envolvimento financeiros de entes privados, sobretudo do mercado de capitais.

Além da política de subvenções para a indústria, o DOE emprega uma política voltada para o suporte do sistema financeiro às tecnologias, que é a concessão de garantias do tesouro em projetos de alto risco tecnológico. Ou seja, de forma ampla, por meio de subvenções e garantias do tesouro, o governo dos EUA induz empresas e bancos a envolverem-se em atividades de maior risco tecnológico, assumindo parte relevante desse risco.

## Perspectivas e oportunidades para desenvolvimento tecnológico

O potencial de aplicações para energia solar no Brasil é expressivo. Para ilustrá-lo, o Instituto Ideal de Santa Catarina indica as seguintes características do país:<sup>4</sup>

- O menor nível de irradiação solar no Brasil é 40% superior ao maior nível de irradiação solar na Alemanha, que detém o maior mercado de energia solar do mundo e cujo território é equivalente ao estado de São Paulo.
- Se fossem instalados sistemas fotovoltaicos sobre o lago da Usina Hidrelétrica de Itaipu (área de 1.350 km<sup>2</sup>), a energia elétrica gerada seria equivalente à metade da demanda nacional.

Complementarmente, para reforçar as estimativas do Instituto Ideal, aponta-se que a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) estimou que todo o consumo de energia do Sistema Interligado Nacional, verificado em 2011, poderia ser atendido com o recobrimento com painéis fotovoltaicos de uma área de 2.400 km<sup>2</sup> – cerca da metade da área do município de Salvador (BA). Essas medidas foram estimadas para uma irradiação anual de 1.400 kWh/m<sup>2</sup>/ano, considerada baixa para as mensurações realizadas no Brasil. A Região Nordeste tem irradiação em patamares acima de 2.000 kWh/m<sup>2</sup>/ano.

No lado da oferta de equipamentos e sistemas, a indústria de energia solar no país ainda está em construção. No início da cadeia produtiva há atores relevantes que já fabricam silício em grau metalúrgico (Si-GM). São os principais: Minas Ligas, Rima, Dow

---

<sup>4</sup> Informações apresentadas em eventos, como o InovaFV, promovido anualmente em Campinas, São Paulo, pela Unicamp.

Corning<sup>5</sup> e Ligas de Alumínio S.A. Dentre esses, destacam-se as iniciativas das brasileiras Minas Ligas (em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo e o BNDES) e Rima de investir em P,D&I na rota metalúrgica de produção do silício em grau solar (Si-GS). A Unicamp, em parceria com a produtora brasileira de FV Dya, também está realizando P,D&I na rota metalúrgica, cujo projeto está com crédito aprovado no BNDES, com recursos do Fundo Tecnológico (Funtec).<sup>6</sup>

Em relação a P,D&I no país, destacam-se ainda os investimentos da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS), que firmou acordo de cooperação com o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica da Eletrobras – Cepel) e da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (Cetec-MG) em purificação de silício na rota química. Segundo o Cepel, a PUC-RS atingiu em seus painéis solares, em testes laboratoriais, níveis de eficiência energética superiores aos de produtos equivalentes no mercado.

No que toca ao mercado mundial de purificação do silício, resalta-se que há concentração em poucos atores. Os mais relevantes atualmente são: OCI Chemical Corporation (Coreia do Sul), Golden Concord Holdings Limited (GLC – China), Wacker (consórcio de empresas químicas alemãs), Hemlock (consórcio nipo-americano, liderado por Dow Corning e Mitsubishi), Renewable Energy Corporation (REC – Noruega) e SunEdison (EUA).

No Brasil, há possibilidade de realização de investimentos por parte de transnacionais da Europa e dos EUA, seja na fabricação de painéis fotovoltaicos, seja na purificação de Si-GS. Porém, a conjuntura é de vulnerabilidade financeira de boa parte das empresas

---

<sup>5</sup> Empresa norte-americana que também produz silício em grau solar na rota química e realiza P,D&I na rota metalúrgica.

<sup>6</sup> Fundo do BNDES que conta com recursos não reembolsáveis para instituições de Ciência e Tecnologia.

européias e americanas, por conta do aumento da concorrência provocado pela China.

No que toca à produção local de FV, no Brasil há a Dya, que atinge o conteúdo local mínimo para o Credenciamento de Fabricantes Informatizado (CFI) do BNDES.<sup>7</sup> A empresa dispõe de uma linha de produção de 25 MWp/ano e intenciona expandir sua capacidade produtiva.

Em heliotermia, há algumas iniciativas de desenvolvimento tecnológico, como é o caso da empresa Solinova (em parceria com a Universidade de São Paulo – USP), mas são mais distantes do mercado do que as tecnologias de FV. Ressalta-se ainda a intenção de grupos espanhóis, como Abengoa, de trazer ao Brasil sua experiência com torres e calhas parabólicas heliotérmicas.

O Brasil é visto por grupos nacionais e estrangeiros como um dos mercados potenciais relevantes para a implantação de tecnologias de geração solar, levando em conta três principais fatores: intensa irradiação solar, recente regulamentação do *net metering* pela Aneel e a proximidade da paridade de rede<sup>8</sup> em todo o território nacional.

Apesar do contexto internacional de sobreoferta e de forte competição, a estrutura industrial mundial ainda não está consolidada, e, portanto, cabe ao país aproveitar essa janela de oportunidade. Para tanto, há necessidade endereçar algumas questões que inibem o desenvolvimento da indústria no país:

---

<sup>7</sup> O CFI é o credenciamento realizado pelo BNDES com a finalidade de atestar se determinada máquina ou equipamento tem conteúdo nacional relevante, o que o torna elegível para financiamento por meio de suas linhas de crédito.

<sup>8</sup> Paridade de rede é uma expressão cujo significado consiste na proximidade entre as tarifas de energia elétrica que os consumidores pagam às concessionárias de energia e as tarifas que seriam necessárias para viabilizar a aquisição e instalação de sistemas fotovoltaicos nos pontos de consumo.

1. É necessário articular as políticas industrial e de inovação com a política energética. A energia solar ainda é cara quando comparada às diversas fontes convencionais de energia que o país explora. Porém, para viabilizar o mercado e iniciar trajetória de declínio de preços, é necessária a criação de demanda inicial em larga escala (*utility scale*). Ou seja, há um paradoxo entre o que é causa e o que é efeito entre as políticas industrial e energética, que somente poderá ser rompido com a aceitação de uma tarifa mais cara para a energia solar no início de sua implantação no país.
2. Política de massificação das redes elétricas inteligentes. A energia solar e a energia eólica são fontes intermitentes que geram distúrbios na rede elétrica. Consequentemente, para que sua penetração cresça sem restrições no longo prazo, é necessário tornar as redes elétricas mais inteligentes.
3. Inadequação dos regimes fiscais existentes (Reidi, Padis etc.), que atendem parcialmente às tecnologias de energia solar e em alguns casos desestimulam a produção local de módulos FV, necessitando-se, assim, de um regime fiscal dedicado ao tema.
4. Ainda sobre os aspectos fiscais, cabe destacar que os Estados brasileiros entenderam que o *net metering* recentemente instituído pela Aneel é passível de incidência do ICMS. Há o entendimento de que o *net metering* seria uma forma de comercialização de energia, e portanto uma atividade tributável. Independentemente das polêmicas e discussões sobre os fatos originadores para cobrança de impostos e contribuições, é inegável que o ICMS inviabilizará a aplicação no *net metering* no país, pois eliminará a paridade de rede já alcançada em boa parte do Brasil.



5. O alto custo da energia elétrica praticado no Brasil, apesar de contribuir para a paridade de rede nas aplicações de geração distribuída, inibe a produção de Si-GS, cujo processo eletrointensivo na rota química demanda, no mínimo, cerca de cinco vezes mais energia elétrica do que a consumida na fabricação do alumínio (por tonelada produzida).
6. Para amenizar essa questão, o governo federal lançou recentemente o pacote de redução do custo da energia (Lei 12.783/2013), que, por meio das normas de renovação de concessões, busca baixar os preços finais da energia elétrica. Contudo, as implicações imediatas da referida lei são a redução do faturamento das empresas, com consequente redução dos gastos de P,D&I, além de diminuir o próprio interesse em investir, sobretudo em segmentos de maior risco, como aqueles que envolvam inovação.
7. Atraso no apoio às iniciativas de P,D&I. Para ilustrar tal fato, basta destacar que as pesquisas de purificação de silício ainda estão concentradas em universidades ou instituições tecnológicas, enquanto no mundo estão centradas nas empresas, em fases já de início de produção industrial. São exemplos a canadense CaliSolar e a norueguesa Elkem (recentemente comprada pela Bluestar, pertencente à China National Chemical Corporation), que investem na rota metalúrgica de Si-GS.
8. Necessidade de capacitação e treinamento de pessoas, seja para atividades de P,D&I, seja para a posterior massificação de tecnologias, com níveis mais altos de complexidade na instalação, operação e manutenção de ativos.

## Conclusões

É inegável que o Brasil apresenta oportunidades para aproveitamento da energia solar. Apesar de estar com atraso em diversas vertentes – no desenvolvimento tecnológico, na implantação de cadeias produtivas para o setor, no próprio uso da energia solar –, o mercado ainda não está fechado para a inserção do país.

No mundo, a estrutura do mercado ainda não está consolidada, evidenciando certa fluidez, com empresas surgindo e outras saindo do mercado.

Decerto, o caminho a ser trilhado não é trivial, pois o Brasil deve realizar esforços em todas as suas esferas de concepção de política pública para que alcance efetivamente os demais países.

Essas ações permeiam questões fiscais, regulatórias, energéticas, industriais e devem ser articuladas; caso contrário, o país correrá o risco de ser um importador das tecnologias de energia solar quando a estrutura do mercado global estiver consolidada. Quanto maior for o atraso na articulação das políticas de fomento à energia solar, maior será o esforço tecnológico e maiores serão os custos fiscais e financeiros para alcançar os demais países.

É uma questão de tempo para que as tecnologias de energia solar tornem-se de fato competitivas, sem subsídios, não somente para aplicações em geração distribuída, mas também em projetos de grande escala. Quando esse momento chegar, e se nada for feito para a criação de uma indústria local, o país abrirá mais uma vertente de déficit comercial com o mundo, ao lado do já expressivo déficit comercial em componentes eletrônicos.

Felizmente, porém, há um processo em curso de coordenação das diversas questões de políticas públicas. Para ilustrar isso, destacam-se as seguintes evidências:

- A existência do grupo de trabalho de energias renováveis no âmbito do Brasil Maior, que é o plano de política industrial do atual governo federal, no qual o tema energia solar é prioridade. Esse grupo é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. A parceria entre esses dois ministérios é exemplo de estruturação de coordenação entre as políticas energética e industrial.
- O lançamento do Plano Inova Energia, no âmbito do Programa Inova Empresa, no qual o BNDES, em conjunto com Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) – atual Agência Brasileira da Inovação – e Aneel, realizou chamada pública de projetos de inovação para fomentar o desenvolvimento tecnológico em redes elétricas inteligentes, energia solar, energia eólica e eficiência energética veicular. As três instituições estimavam uma demanda de R\$ 3 bilhões, mas as empresas que se inscreveram na chamada pública apontaram iniciativas de mais de R\$ 13 bilhões, o que indica que há várias iniciativas de desenvolvimento tecnológico em curso no mercado.
- A recente permissão para projetos de geração de energia solar ingressarem em leilões públicos de energia elétrica já evidencia a intenção, por parte dos formuladores de política energética, de permitir e fomentar o ingresso dessa fonte de energia na matriz energética.

Esses fatos são oportunos e contribuem para uma inflexão no quadro brasileiro de desarticulação de políticas públicas para energia solar.

## Referências

ABINEE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira. *Nota Técnica s/n*, jun. 2012. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>. Acesso em: ago. 2012.

BRASIL. Lei 11.077, de 30 de dezembro 2004. Altera a Lei 8.248, de 23 de outubro de 1991, a Lei 8.387, de 30 de dezembro de 1991, e a Lei 10.176, de 11 de janeiro de 2001, dispondo sobre a capacitação e competitividade do setor de informática e automação e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, 31 dez. 2004 (retificada nas edições de 14 jan. 2005 e 16 fev. 2005). Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2004/Lei/L11077.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L11077.htm)>. Acesso em: 25 jan. 2013.

\_\_\_\_\_. Lei 11.484, de 31 de maio 2007. Dispõe sobre os incentivos às indústrias de equipamentos para TV Digital e de componentes eletrônicos semicondutores e sobre a proteção à propriedade intelectual das topografias de circuitos integrados, instituindo o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (Padis) e o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Equipamentos para a TV Digital (PATVD); altera a Lei 8.666, de 21 de junho de 1993; e revoga o Art. 26 da Lei 11.196, de 21 de novembro de 2005. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, 31 mai. 2007a (edição extra). Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11484.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11484.htm)>. Acesso em: 25 jan. 2013.

\_\_\_\_\_. Lei 11.488, de 15 de junho 2007. Cria o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infra-Estrutura (Reidi); [...]; e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, 15 jun. 2007b. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11488.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11488.htm)>. Acesso em: 25 jan. 2013.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Energia Elétrica. Altera a Resolução Normativa 77, de 18 de agosto de 2004. *Resolução 481/2012*. Brasília:

Aneel, abr. 2012a. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012481.pdf>>. Acesso em: abr. 2012.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Energia Elétrica. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. *Resolução 482/2012*. Brasília: Aneel, abr. 2012b. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: abr. 2012.

\_\_\_\_\_. Lei 12.783, de 11 de janeiro de 2013. Dispõe sobre as concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sobre a redução dos encargos setoriais e sobre a modicidade tarifária; altera as leis 10.438, de 26 de abril de 2002, 12.111, de 9 de dezembro de 2009, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e 10.848, de 15 de março de 2004; revoga dispositivo da Lei 8.631, de 4 de março de 1993; e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, 14 jan. 2013, p. 1. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2013/lei/L12783.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/L12783.htm)>. Acesso em: 25 jan. 2013.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira. *Nota Técnica s/n*, Rio de Janeiro, mai. 2012. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos\\_23/NT\\_EnergiaSolar\\_2012.pdf](http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf)>. Acesso em: mai. 2012.

EPIA – EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION. *Global Market Outlook for Photovoltaics 2013-2017*. Bruxelas, 2013. Disponível em: <[http://www.epia.org/fileadmin/user\\_upload/Publications/GMO\\_2013\\_-\\_Final\\_PDF.pdf](http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/GMO_2013_-_Final_PDF.pdf)>. Acesso em: 15 ago. 2013.

ESTADOS UNIDOS. *American Recovery and Reinvestment Act of 2009*. Making supplemental appropriations for job preservation and creation, infrastructure investment, energy efficiency and science, assistance to the unemployed, and State and local fiscal stabilization, for the fiscal year ending September 30, 2009, and for other purposes. Disponível em:

<<http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/BILLS-111hr1enr/pdf/BILLS-111hr1enr.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2013.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Technology Roadmap – Concentrating Solar Power*. Paris (França): IEA, 2010a. Disponível em: <[http://www.iea.org/papers/2010/csp\\_roadmap.pdf](http://www.iea.org/papers/2010/csp_roadmap.pdf)>. Acesso em: jun. 2012.

\_\_\_\_\_. *Technology Roadmap – Solar photovoltaic energy*. Paris (França): IEA, 2010b. Disponível em: <[http://www.iea.org/A169A4E9-4A4D-4B23-9EDC-2499A91B629A/FinalDownload/DownloadId-8BF9D447FFA26576118F7BDD87A8C9B1/A169A4E9-4A4D-4B23-9EDC-2499A91B629A/papers/2010/pv\\_roadmap.pdf](http://www.iea.org/A169A4E9-4A4D-4B23-9EDC-2499A91B629A/FinalDownload/DownloadId-8BF9D447FFA26576118F7BDD87A8C9B1/A169A4E9-4A4D-4B23-9EDC-2499A91B629A/papers/2010/pv_roadmap.pdf)>. Acesso em: jun. 2012.

\_\_\_\_\_. *Trends In Photovoltaic Applications – Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2010*. Paris (França): IEA, 2011. Disponível em: <[http://www.ieapvps.org/index.php?id=1&eID=dam\\_frontend\\_push&docID=898](http://www.ieapvps.org/index.php?id=1&eID=dam_frontend_push&docID=898)>. Acesso em: jun. 2012.

REN21 – RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21<sup>ST</sup> CENTURY. *Renewables Global Status Report (GSR)*. Paris, 2013. Disponível em: <[http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/GSR2013\\_lowres.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/GSR2013_lowres.pdf)>. Acesso em: 15 ago. 2013.

