



Academia Nacional de Engenharia

Energia Solar no Brasil Situação Atual, Perspectivas e Recomendações

SINOPSE

O uso direto da energia solar, em nível mundial, vem crescendo de forma acelerada nos últimos anos, como resultado de avanços tecnológicos e das acentuadas quedas nos preços dos equipamentos conversores. O Brasil apresenta condições climáticas amplamente favoráveis ao aproveitamento da energia solar, seja para aquecimento de água, seja por conversão direta ou indireta em energia elétrica.

Descreve-se o atual estágio do uso de aquecimento solar no Brasil, mostrando como esta tecnologia pode contribuir para evitar ou postergar empreendimentos de geração de energia elétrica. Ao analisar a geração de energia elétrica por concentração da energia solar, apresenta-se em que condições esta tecnologia pode ser suficientemente competitiva para inserção no sistema elétrico brasileiro. Mostra-se, ainda, como vem crescendo a capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos no país, seja como sistemas integrados diretamente na rede, seja em sistemas individuais para suprimento domiciliar.

Ao analisar as condições atuais e perspectivas para o aproveitamento da energia solar no Brasil, o documento se propõe a apontar os principais impactos e barreiras e, também, sugerir ações para o seu desenvolvimento e consolidação. Para tanto, detalha diversas recomendações consideradas relevantes relacionadas ao desenvolvimento (autoctone) de recursos humanos, à pesquisas básicas e aplicadas, ao desenvolvimento tecnológico e industrial, à padronização, estrutura e ensaios e estrutura laboratorial para rastreabilidade. No que tange ao problema de integração da geração solar à rede elétrica, indica diversas ações visando buscar, desde logo, tal integração para aproveitar todo o potencial dos recursos energéticos centralizados e distribuídos, nos níveis estabelecidos de qualidade e confiabilidade. Diversas recomendações com relação aos aspectos de financiamento e incentivos são feitas, tendo em vista a ampliação do mercado de energia solar no Brasil, sem abdicar da visão de longo prazo de absorção de tecnologia, desenvolvimento tecnológico, equilíbrio da balança de pagamentos e geração de empregos qualificados. Neste sentido, o presente documento visa contribuir para um maior embasamento do debate sobre tema da maior relevância para o setor de energia no Brasil.



Academia Nacional de Engenharia

Energia Solar no Brasil Situação Atual, Perspectivas e Recomendações

SUMÁRIO EXECUTIVO

OBJETIVOS. O Brasil, embora tenha em sua matriz energética predominância de fontes renováveis, nos últimos anos tem feito uso crescente da geração termelétrica a combustíveis fósseis. A longo prazo, os maiores aproveitamentos hidrelétricos deverão estar esgotados, o que irá impor a busca de novas soluções. O Plano Decenal 2014-2023 indica que o percentual da capacidade instalada das grandes usinas hidrelétricas na matriz energética deverá ter uma redução de 66,9 % em 2014 para 59,7 % em 2023. O percentual de capacidade de fontes renováveis deve permanecer aproximadamente constante, 83,2 % em 2014 e 83,8 % em 2023, com destaque para o crescimento da energia eólica dos atuais 3,5 % para 11,5 %. O que se propõe no trabalho é analisar as condições atuais e perspectivas para o aproveitamento da energia solar no Brasil, apontar as principais barreiras e sugerir ações para o seu desenvolvimento e consolidação na matriz energética brasileira.

AQUECIMENTO D'ÁGUA. Considera-se que o uso mais intensivo do aquecimento solar no Brasil teria um impacto significativo na economia de energia e contribuiria para reduzir os riscos em períodos de baixa precipitação pluviométrica, especialmente em horários críticos de demanda elevada do sistema elétrico. O Brasil se destaca pela quantidade de coletores solares térmicos instalados, o 5º no mundo, com 10 milhões de m², correspondendo a uma geração de energia elétrica de 6363 GWh/ano, o que se considera capaz de substituir 1,1 % da capacidade total de usinas geradoras de energia elétrica instaladas. O Brasil dispõe praticamente de todos os insumos necessários para a fabricação de coletores solares térmicos, com capacidade para atender plenamente o mercado nacional. Domina sua tecnologia de projeto e fabricação, buscando no exterior apenas parcerias estratégicas para o desenvolvimento de novos mercados. Para estabelecer critérios de diferenciação qualitativa dos equipamentos disponíveis no mercado, o PROCEL e o INMETRO gerenciam o Programa Brasileiro de Etiquetagem, de caráter voluntário, classificando-os por níveis de eficiência energética. Desta forma, foi possível observar uma expressiva melhoria no desempenho de coletores comercializados no Brasil. Os custos iniciais mais elevados de instalação, em relação ao chuveiro elétrico, representam barreira a ser vencida pela possibilidade de retorno a ser obtido em prazo mais longo. A ampliação do mercado propicia baixar custos de produção, assim como melhores condições de financiamento. Medidas como alterações nos códigos de obras municipais favorecendo a instalação de sistemas de aquecimento solar em novas construções e reformas de porte poderiam induzir a ampliação deste mercado.

GERAÇÃO TERMOSSOLAR. Ainda não existem sistemas de geração termossolar instalados no Brasil. A sua grande vantagem frente à geração fotovoltaica reside na possibilidade de armazenamento térmico de energia, possibilitando a geração firme por períodos longos de baixa ou ausência de insolação por radiação direta. Potencialmente, o custo da energia elétrica gerada pode ser menor com o desenvolvimento da tecnologia. O Brasil possui uma faixa territorial que se estende da região nordeste até os estados da região centro-oeste com níveis adequados de radiação solar (1800 a 2300 kWh/m².ano). A tecnologia mais disseminada é a de cilindros parabólicos com potência



Academia Nacional de Engenharia

instalada típica de 50 a 250 MW, que não são fabricados no Brasil. O custo de instalação no exterior situa-se na faixa de US\$ 6000/kW (sem armazenamento) a US\$ 7300/kW (armazenamento de 6 horas). O custo da energia encontra-se atualmente na faixa de US\$ 110/MWh a US\$ 310/MWh. Projeta-se para 2030 sua redução para US\$ 50/MWh. A eficiência elétrica total de geração termossolar diminui a medida em que o tamanho da planta é reduzido, principalmente para plantas com capacidade inferior a 30 MW. Já para os sistemas fotovoltaicos ela independe do tamanho do sistema. No Brasil não existe uma legislação específica para geração termossolar e os empreendimentos, em princípio, devem participar dos leilões de energia promovidos pela ANEEL. As barreiras para o desenvolvimento da geração termossolar no Brasil são similares às existentes no resto do mundo, compreendendo aquelas relativas às tecnologias e ao mercado de energia elétrica. Em relação às barreiras tecnológicas, é importante acrescentar que a ampliação dos sistemas de armazenamento de energia contribui para o aumento do fator de carga das plantas.

GERAÇÃO FOTOVOLTAICA. Valores de irradiação solar global na faixa entre 2.100 a 2.300 kWh/m².ano são normalmente especificados para maior economicidade de uma planta fotovoltaica de produção de energia elétrica. O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) opera cerca de quinhentas estações meteorológicas automáticas, e disponibiliza ao público em geral dados horários dos últimos 90 dias. Não existe, entretanto, no Brasil um laboratório de referência para calibração dos medidores de energia solar. A China produz cerca de 60 % dos módulos fotovoltaicos no mundo, que tem uma capacidade acumulada instalada estimada em 137,7 GWp. No Brasil, vêm sendo instaladas fábricas nas regiões nordeste e sudeste com capacidade de produção entre 20 e 40 MWp/ano. Nos últimos leilões de energia, têm sido cadastrados e contratados projetos totalizando cerca de 15 GWp, bem mais do que a potência instalada no Brasil estimada em 2012 na faixa de 30 a 40 MWp. Módulos fabricados com silício mono e policristalino, com tecnologia já consolidada, têm cerca de 85 % de participação do mercado e uma vida útil de pelo menos 25 anos. Seu custo na China alcançou um valor mínimo de US\$ 0,42/Wp em 2015. Nos Estados Unidos, em 2014, cerca de 62 % das plantas fotovoltaicas instaladas foram conectadas à rede elétrica, a um preço um pouco menor do que US\$ 3,00/Wp, beneficiando-se da economia de escala devido ao seu tamanho, e do fato de não terem sistemas de armazenamento de energia. O custo da energia elétrica produzida em 2015 na Europa Central e Sul se encontra na faixa entre 0,05 a 0,08 €/kWh. No leilão de energia em 2015 no Brasil, o preço contratado de energia foi de R\$ 309,00/MWh. Desde 2011, o Programa Brasileiro de Etiquetagem Fotovoltaica, coordenado pelo INMETRO, tornou compulsória a realização de ensaios de desempenho e de eficiência nos equipamentos destinados à comercialização. No Brasil ainda não existe um laboratório de referência para atribuir confiabilidade aos resultados dos ensaios realizados, que além do mais não são completos. O desenvolvimento do mercado solar precisa da regulamentação do uso e do aperfeiçoamento da legislação sobre a tributação dos equipamentos e da geração de energia para viabilização da chamada medição líquida virtual, e de melhor estruturação de incentivos à fabricação e comercialização dos equipamentos.

INTEGRAÇÃO COM A REDE ELÉTRICA. A penetração das novas energias renováveis no Sistema Elétrico Brasileiro ainda é relativamente pequena, embora esteja se ampliando de forma acelerada. Com o seu crescimento, o operador do sistema elétrico tem como desafio considerar a maior resiliência do sistema para cenários operativos contendo grande parcela de geração intermitente. O resultado alcançados pelos operadores nacionais da Europa no dia do eclipse parcial em 2015 demonstrou que a inserção de grandes montantes de energia solar fotovoltaica é possível



Academia Nacional de Engenharia

utilizando-se ferramentas de previsão de geração ao longo do dia e planejamento de operação, com integração das fontes de geração. A interconexão com a rede de energia elétrica, frente à opção de manter os sistemas isolados, possibilita maior confiabilidade, qualidade da tensão, potência de partida dos equipamentos, transações de energia e ações de eficiência energética. Para melhor aproveitamento destas características, devem-se adotar padrões de comunicação, regras claras de interconexão, planejamento e operação integrados, regulação e políticas adequadas. Para otimizar a conexão das novas instalações de energia solar sem causar efeitos danosos a rede, podem-se usar inversores inteligentes, que permitem ampliar a capacidade de hospedagem dos circuitos das distribuidoras para conectar uma maior quantidade de recursos energéticos distribuídos. O uso de baterias avançadas permite a constituição de sistemas mistos, microrredes, e, até, independentes da rede. Da mesma forma, podem ser usados sistemas de acumulação de energia em larga escala com aproveitamento da energia excedente.

IMPACTOS. A inserção das tecnologias de geração solar em larga escala terá impacto em todos agentes do setor elétrico, como empresas de distribuição, consumidores, agentes de financiamento, fabricantes de equipamentos e componentes, empresas de projeto e instalação de sistemas. Dentre as formas de aproveitamento solar, o aquecimento d'água é a que se encontra em estágio mais avançado de produção nacional de equipamentos e componentes, mas ainda necessita de investimentos para evoluir para sistemas de maior eficiência e ganhar competitividade frente as tecnologias em uso e disseminadas em todo o mundo. A geração fotovoltaica tem perspectiva de crescimento significativo em função dos leilões de energia já realizados e programados. Depende fortemente da importação dos módulos fotovoltaicos e de componentes. Com o seu crescimento acelerado, deve-se analisar o impacto sobre a balança de pagamentos, considerando-se a inexistência de unidades de produção de silício grau solar no país. E, também, a produção de módulos fotovoltaicos em volume compatível com o que está sendo contratado nos leilões. Nos últimos anos têm-se observado novas rotas de produção e concepção de células fotovoltaicas, às quais o Brasil não tem tido acesso, podendo propiciar saltos tecnológicos imprevisíveis. Consequentemente, na ausência de políticas de desenvolvimento tecnológico, não se visualiza independência ou liderança brasileira. A implantação da geração termossolar depende atualmente da importação da totalidade dos componentes da parcela solar da planta, cabendo à engenharia nacional e à indústria brasileira apenas a realização de obras civis e a fabricação de estruturas metálicas do campo solar. A indústria brasileira poderia contribuir com os equipamentos de processamento da energia térmica para geração de energia elétrica.

RECOMENDAÇÕES. A ampliação da participação da energia solar no setor energético brasileiro abrange diversos aspectos de natureza técnica, financeira e estratégica. Este trabalho apresenta várias recomendações para que os objetivos sejam alcançados. A geração de energia elétrica dos tipos fotovoltaica e termossolar é intensiva em desenvolvimento tecnológico e depende da garantia de continuidade dos leilões de energia renovável para a retenção de recursos humanos e implantação de fábricas de componentes. Haverá, por outro lado, maior demanda por recursos humanos de nível superior e de nível médio para atender as necessidades de um crescente mercado de geração solar. Neste aspecto, recomenda-se fortalecer o desenvolvimento de profissionais de nível superior, com conhecimentos necessários ao amplo entendimento das tecnologias de aproveitamento da energia solar, para atuarem em pesquisas básica e aplicada, desenvolvimento de projetos de engenharia e transferência de tecnologia de materiais e equipamentos utilizados.



Academia Nacional de Engenharia

Recomenda-se, também, o fortalecimento da capacitação de profissionais de nível médio para instalação, operação e manutenção dos sistemas. No âmbito industrial, recomenda-se criar programas de difusão de processos modernos e automatizados de fabricação, para redução dos custos de produção e ganhos de eficiência dos componentes comercializados. No âmbito de desenvolvimento tecnológico, recomenda-se, incentivar a alocação de recursos para pesquisa básica e aplicada, principalmente em sistemas de armazenamento de energia. No âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem, recomenda-se estruturar um laboratório de referência para rastrear as medições feitas, revisar os procedimentos de teste e classificação dos componentes, e ampliar o número de testes exigidos para avaliação de desempenho. Em relação à integração da geração solar à rede elétrica, recomenda-se desenvolver estratégias para planejamento e operação da rede, políticas e regulamentos claros de interconexão e integração, além de avaliar e implementar tecnologias avançadas de distribuição. Até pelo menos a consolidação do mercado de geração distribuída, recomenda-se garantir a continuidade dos incentivos proporcionados pela Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL, evitar em âmbito nacional a cobrança de ICMS da energia compensada ou vendida à rede elétrica, reexaminar o modelo de negócios das distribuidoras, responsáveis pelas transações de energia, operação e manutenção da rede elétrica, e incentivar, através de políticas fiscais, a criação de novas formas de negócios, como, por exemplo, o *leasing* de equipamentos. Para aumento da competitividade e sustentabilidade da indústria nacional de fabricação dos componentes, recomenda-se reavaliar as existentes e criar outras linhas de financiamento. Para maior ampliação do mercado, recomenda-se criar incentivos e linhas específicas de financiamento para consumidores residenciais, habitações populares e aquisição de casa própria, tanto para aquecimento como para geração fotovoltaica, além de estudar alterações nos códigos municipais de obras no sentido de favorecer a instalação dos sistema.



Academia Nacional de Engenharia

Energia Solar no Brasil Situação Atual, Perspectivas e Recomendações

1. Introdução

O mundo encontra-se diante do grande desafio de mitigar as mudanças climáticas, sendo instado a fazer cada vez mais a opção por fontes renováveis de energia, não emissoras de dióxido de carbono.

Neste contexto, o Brasil, embora tenha em sua matriz de energia elétrica predominância de fontes renováveis, nos últimos anos tem feito uso crescente da geração termelétrica a combustíveis fósseis, seja para fazer face aos períodos de chuvas insuficientes nas áreas de drenagem dos reservatórios, seja mesmo para compensar os atrasos nas obras de novas usinas de geração (hidrelétricas, termelétricas, eólicas e nucleares) e de sistemas de transmissão de energia elétrica. Entretanto, de acordo com o Plano Decenal 2014-2023 (PDE 2014-2023) a proporção da capacidade instalada de geração com fontes renováveis deve permanecer percentualmente praticamente constante (83,2% em 2014 e 83,8% em 2023), com destaque para o crescimento da geração eólica de 3,5% para 11,5% da capacidade instalada nacional. A capacidade instalada das demais fontes renováveis (PCH, biomassa e solar) deve apresentar ligeiro crescimento percentual no período (11,3% para 12,7%) e a da geração termelétrica um pequeno decréscimo (16,8% para 16,2%). Em anos recentes, a ANEEL vem promovendo regularmente leilões de energia para geração fotovoltaica e geração eólica.

A mais longo prazo é preocupante o cenário visualizado para 2030, época em que os maiores aproveitamentos hidroelétricos brasileiros deverão estar esgotados, o que irá impor a busca de novas soluções. O PDE 2014-2023 indica que a participação das grandes usinas hidrelétricas na capacidade instalada nacional terá uma redução de 66,9% em 2014 para 59,7% em 2023.

A maior fonte primária de energia do planeta é oriunda do sol, da qual derivam a da biomassa, do vento, das ondas, das correntes marinhas e dos potenciais hidrelétricos. Estima-se que a energia solar que chega à atmosfera seja cerca de 10.000 vezes maior do que o atual consumo mundial de energia primária. O uso direto da energia solar vem crescendo de forma acelerada nos últimos anos, como resultado de avanços tecnológicos e das acentuadas quedas nos preços dos equipamentos conversores. O Brasil apresenta condições climáticas amplamente favoráveis ao aproveitamento da energia solar, seja para aquecimento de água, seja por conversão direta ou indireta em energia elétrica.

O aquecimento solar permite evitar ou postergar empreendimentos de geração de energia elétrica, significando neste sentido a adoção de medida de otimização ou eficiência energética e, assim, pode ser classificada como geração virtual.

A geração fotovoltaica ou por concentradores solares apresenta um desafio particular ao sistema elétrico devido à sua maior intermitência, podendo impactar a qualidade da energia e a estabilidade da rede. Entretanto, existem modelos de previsão meteorológica, que combinados com imagens de satélites em tempo real, permitem orientar a previsão do perfil de geração com algumas horas de antecedência. Estas informações podem ser eficientemente utilizadas pelo Operador Nacional do Sistema para planejar a inserção de quantidades significativas de energia solar na matriz



Academia Nacional de Engenharia

elétrica do país, sem prejuízos ao Sistema Interligado Nacional. Adicionalmente, a intermitência da fonte solar pode ser compensada por sistemas de acumulação de energia (usinas hidrelétricas reversíveis, ar comprimido, hidrogênio) ou baterias e pela adoção de novos procedimentos operacionais visando alinhar demanda e fornecimento. As mudanças dos sistemas de geração centralizada para distribuída colocará um novo desafio para as concessionárias de energia elétrica. A simples introdução na rede elétrica de centenas ou milhares de pequenos sistemas modulares de geração fotovoltaica independentes irá requerer mudanças profundas no modelo de gestão de rede existente. Neste sentido, a implantação de redes inteligentes será fundamental.

O que se propõe no texto a seguir é analisar as condições atuais e perspectivas para o aproveitamento da energia solar no Brasil, apontar as principais barreiras e sugerir ações para o seu desenvolvimento e consolidação, possibilitando assim a ampliação do debate sobre o tema.

2. Aquecimento Solar

Considera-se que o uso mais intensivo do aquecimento solar no Brasil teria um impacto significativo na economia de energia e contribuiria para diminuir os riscos em períodos de baixa precipitação pluviométrica, especialmente em horários críticos de demanda elevada do sistema elétrico. O chuveiro elétrico, um vilão para o setor elétrico, é responsável por aproximadamente 6% de toda a energia elétrica produzida no Brasil e, em horário de pico, representa em média 40% do consumo de energia elétrica residencial no país. Assim, a ampliação do mercado para os aquecedores termossolares interessa ao setor elétrico, pois, eles propiciariam a redução da pressão sobre a expansão do setor elétrico, além do que, concorreriam para a mitigação dos gases de efeito estufa, na hipótese de necessidade de ampliação da geração termelétrica no país.

A capacidade instalada de aquecimento termossolar no mundo supera, atualmente, a de energia eólica e é bem superior a dos sistemas fotovoltaicos. Embora ainda bastante distante de muitos países, em termos de capacidade de aquecimento solar por habitante (32º numa lista de 57 países), o Brasil se destaca pela quantidade total de coletores solares instalados (5º maior) e tem Belo Horizonte como um bom exemplo a ser disseminado por outras cidades brasileiras. Em 2013, o Brasil tinha quase 10 milhões de m² de coletores instalados (1m² → 0,7 kW_{th}), correspondendo a uma geração anual de energia elétrica de 6.363 GWh (5,1% do consumo total residencial), o que se considera capaz de substituir a capacidade total de usinas de 1.397 MW (1,1% da capacidade total instalada, incluindo autoprodutores). Se esta quantidade de coletores fosse quadruplicada hoje, o Brasil se equipararia à Turquia, 10ª maior do mundo em termos de kW_{th}/1000 hab.

Os sistemas domésticos de aquecimento de água, individuais, são geralmente pequenos sistemas com um coletor de tamanho entre 3m² e 6m², com o reservatório térmico entre 150 litros e 300 litros. Esses sistemas podem ser projetados para suprir de 30% a até 100% da demanda de água quente de uso doméstico (híbridos, combinados a um esquema de retaguarda de outra fonte), sendo função da área do coletor solar, do tamanho do reservatório e das condições locais de clima. Um sistema de aquecimento para uma casa com quatro pessoas custa hoje aproximadamente R\$2.000, que pela economia na conta de luz, pode oferecer retorno em três anos.

Os coletores solares para aquecimento de água, adotados conforme aplicações particulares são de placa plana – fechada ou aberta – ou tubos a vácuo. Os coletores de placas planas fechados são instalados em um invólucro (com tampa de vidro) que propicia a redução das perdas de energia



Academia Nacional de Engenharia

para o ambiente, tanto do absorvedor como do circuito de fluido trocador de calor e os protege de degradação. Os coletores abertos, não protegidos por invólucro, são utilizados principalmente para o aquecimento de piscinas.

A eficiência energética dos coletores depende, basicamente, do absorvedor – a base preta vista através do vidro, responsável por cerca de 90% da eficiência do produto. Todos os coletores têm um circuito através do qual o fluido de transferência de calor circula (água no caso dos aquecedores solares de água). Para minimizar as perdas de calor e maximizar a eficiência do sistema, a eficiência da troca de calor entre este circuito e o absorvedor deve ser maximizada.

O coletor de tubo de vácuo é formado por um conjunto de tubos de vidro verticais, com vácuo interno, ligados entre si na parte superior do coletor. A água ou fluido circula por esse conjunto de tubos e transferem o calor à água que circula na parte superior do coletor. A grande vantagem desse coletor é que as perdas térmicas por convecção são eliminadas no ambiente a vácuo, porém a desvantagem é o custo e o risco do coletor perder o vácuo com entrada de ar no tubo, reduzindo muito a eficiência do sistema.

O reservatório térmico é o elemento mais caro de um sistema de aquecimento solar. Os reservatórios térmicos convencionais, também chamados de *boilers*, são normalmente feitos de aço inoxidável, cobre ou aço carbono, para volumes de até 15 mil litros. Possuem duas superfícies, uma interna e outra externa, separadas por um isolante térmico que em geral é lã de vidro. Podem ser horizontais ou verticais.

Os sistemas de aquecimento de água híbridos são adotados, atualmente, como padrão nas habitações de interesse social (HIS) financiadas pela Caixa Econômica Federal, nas companhias de habitação (como CDHU em São Paulo, COHAB em Minas Gerais), no Programa “Minha Casa, Minha Vida” e em projetos de eficiência energética das concessionárias de energia elétrica. Hoje, no Brasil, mais de 40 mil casas (HIS) usam aquecedores solares. Certamente, a maior disseminação do uso de aquecimento solar contribuirá para baratear os custos dos equipamentos.

Além das instalações para edificações unifamiliares, destaca-se a disseminação de sistema solar de aquecimento centralizado de água em edificações multifamiliares que, no Brasil, tem na cidade de Belo Horizonte (MG) os melhores exemplos. Desde 1985 o uso desses sistemas vem se intensificando e atualmente já existem em Belo Horizonte mais de três mil instalações de grande porte, tornando a cidade referência internacional em instalações de aquecimento solar de água para edificações multifamiliares.

O país dispõe de praticamente todos os insumos necessários para fabricação, com capacidade para atender plenamente o mercado nacional. O país domina a tecnologia de projeto e de fabricação de aquecedores solares, buscando no exterior apenas parcerias estratégicas para o desenvolvimento de novos mercados. Edificações com restrições de área para a acomodação adequada dos coletores solares, no entanto, podem requerer dispositivos mais eficientes, o que justificaria a importação para adequar o projeto. Atualmente, existem cerca de 200 empresas nacionais que fabricam sistemas de aquecedores solares, sendo que 40 delas detêm mais de 80% do mercado. Já em 2008, a capacidade produtiva da indústria nacional era estimada em dois milhões de m². As indústrias brasileiras desenvolveram tecnologia 100% nacional ao longo dos últimos 40 anos e, desde 1997, podem submeter seus produtos a avaliação de desempenho térmico dentro do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) Solar e Selo PROCEL.



Academia Nacional de Engenharia

Para estabelecer critérios de diferenciação qualitativa dos equipamentos para aquecimento solar disponíveis no mercado, o PROCEL e o INMETRO gerenciam o programa PBE Solar de caráter compulsório, baseado no uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) em que os equipamentos são classificados por níveis de eficiência energética representados por faixas coloridas ("A" a "E"). O Selo PROCEL, de caráter voluntário, é concedido anualmente aos equipamentos que apresentam os melhores índices de eficiência energética nas suas respectivas categorias. Do início da concessão do Selo PROCEL e da ENCE até hoje foi possível observar uma expressiva melhoria no desempenho dos coletores comercializados no país. A média da eficiência energética dos coletores solares, modalidade banho, etiquetados em 2000, era de 51,3% e atingiu em 2011, o nível médio de 55,7%.

Além dos programas em nível governamental, existe um programa conduzido pelo Departamento Nacional de Aquecimento Solar (Dasol) da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), denominado Qualisol Brasil – Programa de Qualificação de Fornecedores de Sistemas de Aquecimento Solar e que engloba fabricantes, revendas, projetistas, instaladoras e manutenção, com o objetivo de garantir ao consumidor a qualidade de fornecedores de sistemas de aquecimento solar.

Os custos iniciais mais elevados de instalação, em relação ao chuveiro elétrico, representam barreira a ser vencida pela possibilidade de retorno a ser obtido em prazo mais longo. Este será tanto mais rápido, quanto melhores forem as condições iniciais de compra. A ampliação do mercado propicia baixar os custos de produção, assim como as condições melhores de financiamento. Medidas como alterações nos códigos de obras municipais favorecendo a instalação de sistemas termossolares em novas construções e reformas de porte poderiam induzir a ampliação do mercado de aquecimento solar.

3. Geração de Energia Elétrica por Concentração da Energia Solar

As plantas de geração termossolar produzem energia elétrica a partir da conversão da energia solar em calor com alta temperatura com emprego de diferentes arranjos de espelhos e de concentradores da radiação solar direta. A terminologia utilizada de uma forma genérica para as tecnologias de aproveitamento da energia solar na produção de energia elétrica é "Sistemas de Concentração de Energia Solar" mais conhecida pelo termo em inglês **C**oncentrated **S**olar **P**ower - **CSP**. Os sistemas CSP se baseiam em quatro tecnologias básicas: Cilindros Parabólicos, Torre Central, Refletor Fresnel e Discos Parabólicos.

O calor produzido pela concentração da energia solar é utilizado em um ciclo térmico convencional de potência, com emprego de turbinas a vapor ou a gás, ou com a utilização de motores *Stirling*.

As aplicações cobrem uma faixa de potência bastante ampla (kW a MW) dependendo da tecnologia utilizada. Alguns sistemas prevêem a armazenagem de energia para utilização durante períodos de baixa insolação ou até mesmo durante a noite. Os projetos mais recentes procuram combinar a utilização da energia solar com sistemas convencionais de geração termelétrica (gás natural, carvão, biomassa) para aumento da eficiência global do sistema e recebem a denominação de Ciclo Combinado Solar Integrado (**I**ntegrated **S**olar **C**ombined **C**ycle – **ISCC**).



Academia Nacional de Engenharia

Os projetos pioneiros de geração termossolar, com potência nominal de 25 kW a 10 MW, tiveram início na década de 1980, influenciados pelas crises do petróleo. O primeiro grande avanço tecnológico se deu com a produção em série de concentradores parabólicos e possibilitou a construção das primeiras plantas comerciais de geração de energia elétrica que foram instaladas no deserto de Mojave nos USA (Califórnia).

Em 2014 a potência de geração termossolar instalada no mundo era de aproximadamente 4.027 MW distribuída majoritariamente nos USA e Espanha, sendo 3.521 MW com tecnologia de cilindros parabólicos, 459 MW através da tecnologia de torre central e 47 MW utilizando refletores Fresnel. Cada uma das tecnologias apresenta vantagens e desvantagens, dependendo do nicho de mercado a ser atendido, porém as plantas de geração com emprego de cilindros parabólicos têm dominado o cenário comercial.

A grande vantagem da geração termossolar frente à tecnologia de geração fotovoltaica reside na possibilidade de armazenamento térmico da energia, possibilitando a operação firme por períodos longos de baixa ou ausência de insolação por radiação direta. Potencialmente, com o desenvolvimento da tecnologia, o custo da energia elétrica gerada pode ser menor.

O aproveitamento da energia solar a partir de tecnologias de CSP pressupõe a existência de níveis elevados de radiação solar direta (DNI), condições topográficas adequadas, baixa incidência de ventos e, para as aplicações de grande porte é importante haver disponibilidade de infraestrutura de acesso (rodovias), disponibilidade de água para os sistemas convencionais de geração de vapor e acesso ao sistema interligado para conexão à rede. O Brasil possui uma faixa territorial que se estende da região nordeste até os estados da região centro-oeste com níveis adequados de radiação solar direta (1.800 a 2.300 kWh/m².ano). Na região do semi-árido encontram-se os sítios com maior disponibilidade de radiação solar direta com destaque para os municípios de Januária e Itacarambí situados no norte de Minas Gerais com DNI respectivamente de 2400 a 2550 kWh/m².ano.

Como ainda não existem sistemas de geração termossolar instalados no Brasil, as referências de custo provêm de referências externas seja de organizações internacionais (Agência Internacional de Energia, Banco Mundial, ONU/IPCC) ou de plantas em operação. Os custos de investimento das plantas de geração termossolar dependem de diversos fatores dentre os quais se encontram a potência instalada, o nível de radiação direta normal na localidade, a tecnologia empregada e a existência ou não de sistemas de armazenamento de energia.

A tecnologia mais disseminada é a de cilindros parabólicos com potência instalada típica na faixa de 50 a 250 MW. O custo de instalação situa-se na faixa de US\$6.000 a US\$7.300/kW sendo que o valor inferior corresponde a uma planta sem armazenamento de energia e o limite superior a uma instalação com capacidade de armazenamento de energia por 6 horas. Estes valores referem-se a localidades com um nível de radiação de 2.000 kWh/m².ano. Uma alternativa para a tecnologia de cilindros parabólicos que recentemente vem sendo implementada em pequenas plantas de demonstração é a tecnologia de concentradores Fresnel. O custo de instalação é menor, pois utiliza refletores lineares ao invés de parabólicos, porém como a eficiência resultante do sistema é inferior, o custo da energia gerada é similar. A tecnologia de torre central tem custo de instalação da mesma ordem de grandeza da tecnologia de cilindros parabólicos, porém tem uma potência econômica na faixa de 10 a 30 MW. Por outro lado, a tecnologia de discos parabólicos se presta melhor à geração distribuída com unidades de potência nominal de 25 kW.



Academia Nacional de Engenharia

Os custos de investimento e de geração de sistemas solares possuem uma característica própria que os diferenciam de outros sistemas de geração, que é a dependência da quantidade de irradiação solar captada pelos seus coletores. Neste aspecto, os sistemas com concentração diferem dos sistemas fotovoltaicos. Enquanto os sistemas com concentração produzem eletricidade a partir da componente direta da irradiação solar, os sistemas fotovoltaicos são capazes de gerar eletricidade a partir da componente de radiação solar difusa. O custo da energia gerada por sua vez depende do custo de instalação, do fator de capacidade da planta, dos custos de operação e manutenção e da taxa de desconto utilizada. O fator de capacidade da planta está intimamente ligado ao armazenamento de energia e à legislação de cada país quanto à utilização máxima de outros combustíveis nos sistemas de complementação (back-up). De acordo com a Agência Internacional de Energia os custos anuais de O&M situam-se na faixa US\$0,12 a US\$0,27/MWh. Nas plantas em operação com armazenamento térmico, o fator de capacidade encontra-se na faixa de 35 a 42%. Com base nestas considerações, o custo da energia gerada em plantas com tecnologia de cilindros parabólicos encontra-se atualmente na faixa de US\$110 a US\$310/MWh, utilizando-se taxas de desconto de 3% a 10%. Projeta-se para 2030, um custo de geração próximo a US\$50/MWh para plantas de grande porte instaladas em localidades com radiação direta normal de, no mínimo, 2000 kWh/m².ano. O Brasil possui na região do semi-árido, diversas localidades com este nível de radiação direta normal.

Uma economia de escala é fundamental para a que ocorra uma redução substancial do custo da eletricidade na geração termossolar e, portanto, requer um mercado para as diferentes tecnologias nas regiões com maior potencial de geração. Nesta linha de raciocínio, foram desenvolvidos os programas de geração termossolar na Espanha e nos Estados Unidos e a iniciativa de criação de um projeto integrado de geração na região do Mediterrâneo (Norte da África), com exportação de energia elétrica para a Europa.

De uma forma geral, locais com altos índices de irradiação tendem a favorecer os sistemas de geração termossolar e os locais com menores índices de irradiação tendem a favorecer os sistemas fotovoltaicos. Por este motivo, atualmente os sistemas com concentração só tem sido utilizados em regiões com irradiação direta normal acima de 1900 kWh/m².ano.

Outra diferença fundamental entre os sistemas de geração termossolar e fotovoltaicos refere-se à relação entre a eficiência elétrica total e o tamanho da planta. A eficiência elétrica total de sistemas de geração termossolar diminui na medida em que o tamanho da planta é reduzido, principalmente em plantas consideradas pequenas, com capacidades inferiores a cerca de 30 MW. Já para sistemas fotovoltaicos, a eficiência independe do tamanho do sistema. Estes efeitos afetam diretamente os custos de geração.

Nos estágios iniciais de implantação da tecnologia de geração termossolar diversos países promoveram incentivos tarifários que foram modificados e atenuados na medida em que o número de instalações de geração se ampliou ou que começaram a surgir distorções de mercado ou impactos econômicos que não puderam ser absorvidos pelo governos.

De acordo com uma análise recente da Bloomberg Finance L.P. (New Energy Outlook 2015, June 2015), a nível internacional os subsídios para a geração a partir de fontes renováveis, incluída a geração termossolar, tendem a desaparecer a partir de 2018, com exceção da geração eólica *offshore* que deverá receber incentivos até pelo menos 2030. Esta análise está baseada em uma previsão bastante otimista com relação à penetração das fonte renováveis no horizonte de 2040,



Academia Nacional de Engenharia

estimando que as mesmas participem com 60% da ampliação das fontes de geração e correspondendo a cerca de 5.800 GW. No Brasil não existe uma legislação específica para geração termossolar e os empreendimentos, em princípio, devem participar dos leilões de energia promovidos pela Aneel. Da mesma forma, o modelo do setor elétrico brasileiro não prevê subsídios ou esquemas de tarifas *feed-in*, praticadas em diversos países para incentivar a implantação de sistemas de geração a partir de fontes renováveis.

Desta forma as barreiras para o desenvolvimento da geração termossolar no Brasil são similares às existentes no resto do mundo compreendendo aquelas relativas às tecnologias e ao mercado de energia elétrica. Em relação às primeiras, destacam-se a necessidade de aumento da eficiência ótica e a refletância dos concentradores solares, acompanhada da redução de custo dos mesmos; o aumento da conversão da energia solar que engloba diversos itens como a melhoria do desempenho dos receptores, o desenvolvimento de materiais para altas temperaturas, e de fluidos térmicos com estabilidade acima de 450°C. Ainda em relação às barreiras tecnológicas é importante acrescentar a ampliação dos sistemas de armazenamento de energia para aumento do fator de carga das plantas. Não menos importantes são as barreiras de mercado presentes em todos os países envolvendo custo de capital elevado, riscos técnicos e financeiros e sistemas convencionais de geração mais atrativos. Nos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, a estas barreiras de mercado devem ser acrescentadas outras relacionadas a incertezas das políticas energéticas e dos planos de expansão, falta ou deficiência de instrumentos legais e regulatórios, infraestrutura ainda deficiente e ausência de políticas tarifárias para incentivo aos investimentos em geração termossolar.

4. Geração Fotovoltaica de Energia Elétrica

Valores de irradiação solar global na faixa entre 2100 a 2300 kWh/m².ano (respectivamente, 5,7 a 6,3 kWh/m².dia) são normalmente especificados para maior economicidade de uma planta fotovoltaica de produção de energia elétrica. Estes valores são encontrados com maior frequência nos estados brasileiros da Bahia, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Paraíba, Minas Gerais, Goiás e Piauí, embora grande parte do território nacional possua níveis de irradiação solar adequados para a implantação de projetos de geração fotovoltaica. Na região amazônica e no litoral brasileiro a irradiação solar é normalmente mais baixa. O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) opera cerca de quinhentas estações meteorológicas automáticas e disponibiliza ao público em geral, valores médios horários dos parâmetros meteorológicos durante os últimos 90 dias. Há, contudo, necessidade de um laboratório de referência para calibração de piranômetros e pireliômetros, para garantia de confiabilidade nas medições. Alguns laboratórios utilizam instrumentos rastreados ao exterior para sua calibração local independente, sem, entretanto, fazerem parte de uma rede de calibração com estrutura para atribuir confiabilidade.

O mercado mundial de células e módulos fotovoltaicos é composto de mais de dez grandes produtores de *ingot/wafers* de silício grau solar e mais de dez grandes produtores de módulos fotovoltaicos, a maioria localizada na Ásia. A produção de módulos fotovoltaicos não é necessariamente verticalizada por questões econômicas. A China é o maior produtor mundial de módulos fotovoltaicos (cerca de 60 %), seguindo-se Taiwan, Japão, Malásia, Alemanha e USA, todos com menos de 20 %,cada.



Academia Nacional de Engenharia

No Brasil são fabricados em pequena escala módulos fotovoltaicos, controladores de carga, inversores e baterias, estruturas de suporte e componentes elétricos. Os fabricantes de módulos fotovoltaicos utilizam componentes importados, como ingot/wafers de silício grau solar, apesar de o Brasil ser um dos maiores produtores de silício grau metalúrgico. Com o interesse crescente pela geração fotovoltaica novas fábricas de módulos fotovoltaicos vêm sendo instaladas nas regiões nordeste e sudeste do país com capacidade de produção entre 20 MW/ano e 400 MW/ano. Em Valinhos (SP), já existe uma fábrica com capacidade de 180 MW/ano em operação; outra de 40 MW está sendo construída no estado de Alagoas; há outros exemplos de empreendimentos em curso no nordeste e sudeste, com capacidade de produção entre 20 MW/ano e 170 MW/ano, além do anúncio de uma fábrica de 400 MW/ano em Campinas (SP).

Desde 2011, o Programa Brasileiro de Etiquetagem Fotovoltaica, coordenado pelo INMETRO, tornou compulsória a realização de ensaios de desempenho e de eficiência nos equipamentos para geração fotovoltaica destinados a comercialização. Para tanto, utiliza laboratórios designados, nacionais ou estrangeiros, com a finalidade de garantia de qualidade para o consumidor e estimular a competitividade na indústria. No Brasil ainda não existe um laboratório de referência para atribuir confiabilidade às medições realizadas pelos laboratórios designados, muito embora o INMETRO já tenha uma infraestrutura de laboratório primário para realizá-la. Os poucos testes atualmente exigidos pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem Fotovoltaica do INMETRO, realizados por laboratórios designados nacionais ou estrangeiros, seguem os padrões internacionais (IEC) para ensaios, porém seria interessante que os mesmos fossem ampliados, de forma a garantir qualidade, segurança e confiabilidade dos equipamentos fabricados e comercializados no país. Os ensaios dos módulos fotovoltaicos com até 2 m² de superfície são feitos de forma padronizada com equipamentos que simulam a irradiação solar através de lâmpadas de Xenônio e filtros, produzindo um espectro padrão denominado AM 1,5. São medidas a tensão de circuito aberto, a corrente de curto circuito, a tensão e a corrente para o ponto de máxima potência, todos nas condições padronizadas de temperatura (25 °C) e irradiância solar (1000 W/m²). Para estimativa de desempenho em condições de operação, correções devem ser aplicadas. Para isto, deve ser utilizado o coeficiente de temperatura da eficiência do módulo, ainda não medido pelos laboratórios. Estes equipamentos usados pelos laboratórios designados no Brasil, não têm sido submetidos a verificações sistemáticas de desempenho.

Inversores de até 10 kW são testados pelos diferentes laboratórios. Assim, devem ser desenvolvidos procedimentos para maiores potências. Da mesma forma, os procedimentos de ensaios devem ser revistos para incorporar aspectos metrológicos que garantam a repetibilidade controlada dos resultados.

No mercado, existem atualmente três gerações de tecnologia fotovoltaica. A primeira delas, é uma tecnologia consolidada e com mais elevadas eficiências em produtos comercialmente disponíveis. As células são do tipo silício monocristalino e policristalino. Têm cerca de 85 % de participação no mercado e têm uma vida útil de, pelo menos, 25 anos. Os fabricantes garantem uma degradação máxima de 10 % da eficiência nominal em 10 anos, e 20% em até 25 anos. A segunda geração, utiliza tecnologias associadas à maior disponibilidade de materiais, e têm menor eficiência e menor vida útil. Tem modesta participação no mercado e são do tipo silício amorfo, disseleneto de cobre, índio (CIS), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). A terceira geração é uma tecnologia emergente, com potencial de elevadas eficiências, com o custo ainda não competitivo. São dos tipos multijunção, sensibilizadas por corante, orgânicas ou poliméricas. Existem



Academia Nacional de Engenharia

alguns laboratórios no Brasil, inclusive o do INMETRO, pesquisando, há alguns anos, células solares orgânicas e poliméricas, bem como sensibilizadas por corantes.

Os preços de módulos de primeira geração (silício mono e policristalino) alcançaram um mínimo de US\$ 0,42/Wp¹ em 2015, sendo que deste valor US\$ 0,07/Wp são devidos ao silício, US\$ 0,10/Wp devidos à produção do *ingot/wafer*, US\$ 0,09/Wp devidos à célula e US\$ 0,16/Wp devidos à montagem do módulo. Na Alemanha o custo total chegou a US\$ 0,60/Wp.

O volume mundial de instalações fotovoltaicas em 2013 foi de 37,0 GWp, atingindo uma capacidade acumulada instalada de 137,7 GWp. A China foi o país que mais instalou módulos fotovoltaicos em 2014 (10,6 GWp), seguidos de Japão (9,7 GWp), USA (6,2 GWp), UK (2,3 GWp) e Alemanha (1,9 GWp). Os países com maior capacidade instalada até 2014 foram Alemanha (38,2 GWp), China (28,1 GWp), Japão (23,3 GWp), Itália (18,5 GWp) e USA (18,3 GWp).

Em 2012, a ABINEE estimou em cerca de 30 a 40 MWp a potência instalada no Brasil. Para a participação no leilão de energia de reserva realizado em outubro de 2014, foram cadastrados cerca de 400 projetos num total de 10,8 GWp, com 40 % na Bahia, 11% em Pernambuco, 11% no Rio Grande do Norte e 11% no Piauí, seguindo a preferência dos maiores valores de irradiação solar encontrados. Foi contratado cerca de 1 GW, a um preço de cerca de R\$ 215/MWh. Em agosto de 2015 foi realizado um novo leilão de energia fotovoltaica, tendo sido contratado cerca de 1 GWh a um preço de R\$309/MWh. Todos os projetos referem-se à geração fotovoltaica centralizada.

O Programa Luz para Todos (LpT) do Governo Federal possibilitou que 2,9 milhões famílias do meio rural, das quais 1,4 milhões na região Nordeste, saíssem da escuridão, majoritariamente através da extensão de redes elétricas, mas também, pela instalação de sistemas fotovoltaicos em comunidades isoladas, principalmente na região Norte.

Projeções da EPE, com base no estudo de disponibilidade de telhados para instalação de painéis fotovoltaicos (Nota Técnica DEA 19/14 - Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil - Condicionantes e Impactos, EPE, outubro 2014) indicam que em 2023 estarão instalados 835 MWp, nos setores residencial e comercial.

Do total de 6,2 GWp instalados nos USA em 2014, cerca de 62 % foram conectadas a rede elétrica, 20 % instalações residenciais e 18 % não residenciais. Os preços de sistemas instalados residenciais e não residenciais são função do seu tamanho, com valores médios em 2014 de (a) US\$ 4,50/Wp, para potências menores do que 10 kW, (b) US\$ 3,97/Wp, para valores de potência na faixa entre 10 e 100 kWp, e, (c) US\$ 3,52/Wp, para valores de potência maiores do que 100 kWp. Os sistemas conectados à rede elétrica têm um preço um pouco menor do que US\$ 3,0/Wp, beneficiando-se da economia de escala devido ao seu maior tamanho, e do fato de não terem sistemas de armazenamento de energia.

Uma estimativa do custo da energia fotovoltaica gerada durante um período de operação de 25 anos por usinas conectadas à rede de energia elétrica, pode ser feita a partir do custo de instalação de US\$ 3,00/Wp (US\$ 3.000/kWp), e de uma irradiação solar de 6,0 kWh/m².dia, equivalente a $6 * 365 * 25 = 54.750$ kWh/m² durante o período de 25 anos, que é, por definição, a energia gerada no período por uma planta solar com potência de 1 kWp. O custo da energia gerada

¹ Wp (watt-pico) = refere-se à potência elétrica do painel solar em condições padrão de irradiação (1000 W/m²) e temperatura (25°C).



Academia Nacional de Engenharia

seria portanto igual a $3.000/54.750 = \text{US\$ } 0,055/\text{kWh}$, sem considerar os custos de operação e de manutenção. Também não está considerada a taxa de desconto para aferir o tempo de retorno do investimento. Os valores encontrados em 2015 para a Europa Central e Sul estão na faixa de € 0,05 a € 0,08/kWh.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), através de seu Projeto Estratégico da Chamada 13/2011, intitulado "Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira", investiu também em todas etapas da tecnologia de sistemas fotovoltaicos, objetivando sua viabilização no Brasil. Sistemas com capacidade na faixa de 0,5 a 3 MWp foram instalados ou se encontram em processo de instalação, totalizando cerca de 24 MWp.

Com recursos do Programa de P&D a Eletronorte e a Chesf iniciarão, a partir de janeiro de 2016, a instalação de sistemas de geração de energia solar com painéis fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de usinas hidrelétricas. Os sistemas serão instalados nos reservatórios das usinas de Balbina e Sobradinho. Cada usina contará com um sistema de painéis flutuantes com capacidade de gerar 5 MWp, com o objetivo de coletar informações para o potencial uso da tecnologia em larga escala. O projeto tem uma duração prevista de 3 anos com um custo estimado de R\$ 100 milhões. Além das empresas de geração participam do projeto a Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da UFPE (FADE), Fundação de Apoio Rio Solimões (UNISOL) e pelas empresas WEG e Sunlution.

Com o projeto pretende-se avaliar, além das questões específicas da geração solar fotovoltaica, as vantagens de aproveitar infraestrutura já existente de transformadores e de linhas de transmissão, e de dispensar a necessidade de aquisição ou aluguel de terras e licenciamentos ambientais.

O crescimento do mercado fotovoltaico está associado a diferentes fatores. Entre eles, o seu custo decrescente pelos baixos custos dos painéis provenientes da China e da redução da quantidade de mão de obra de instalação, que é uma fração considerável do custo total. As opções de financiamento para o consumidor final têm contribuído para o crescimento do mercado, assim como uma política estável e de regulamentação, com crédito de impostos para redução de emissões de CO₂.

O financiamento e o fomento econômico são realizados por FINEP, BNDES e ANEEL, que, entre outras finalidades, apoiam empresas brasileiras no desenvolvimento e domínio tecnológico da cadeia produtiva fotovoltaica (além da termossolar e eólica), englobando desde a purificação de silício em grau solar, *wafers* e as células derivadas, assim como células de outros materiais e equipamentos de condicionamento de potência utilizados nos sistemas fotovoltaicos, como inversores. O BNDES publicou em agosto de 2014 as regras para o credenciamento e apuração de conteúdo local de módulos e sistemas fotovoltaicos, que exige a nacionalização progressiva de componentes e processos específicos ao longo do plano, como a fabricação nacional de células de silício cristalino a partir de 2020. Algumas empresas produtoras de módulos fotovoltaicos foram instaladas no Brasil com este tipo de financiamento.

No segundo semestre de 2014 os aerogeradores e os equipamentos de geração fotovoltaica foram incluídos como itens financiáveis através do Construcard, da Caixa Econômica Federal. Com o cartão, é oferecida a possibilidade à pessoa física de adquirir os equipamentos de microgeração e



Academia Nacional de Engenharia

quitar o financiamento em até 240 meses, entretanto com taxas de juros ainda elevadas para o padrão financeiro da maioria dos consumidores residenciais.

A certificação dos componentes de sistemas fotovoltaicos tornou-se compulsória para sua comercialização no Brasil a partir de 2011, com critérios definidos em 2014. Módulos ensaiados de silício monocristalino e policristalino com eficiência superior a 13,5 %, e de filmes finos com eficiência superior a 9,5 % recebem a classificação A. Desta forma, os diferentes módulos podem ser comparados quanto à sua eficiência no ponto de máxima potência nas condições padrão, juntamente com outros parâmetros de desempenho, e disponibilizados ao consumidor para decisão de sua aquisição, levando-se em consideração o custo. A publicação do Programa Brasileiro de Etiquetagem "Orientações Gerais para Fabricantes e Importadores sobre a Regulamentação de Equipamentos para Geração de Energia Fotovoltaica" define os requisitos para comercialização dos sistemas no Brasil. A eficiência média atual de muitos módulos fotovoltaicos é superior a 14,5%, ou seja, as classificações de eficiência do INMETRO estão bastante defasadas frente aos avanços tecnológicos do setor. Em consequência disso, grande parte dos equipamentos ensaiados no Brasil são classificados como categoria "A", o que não viabiliza ao consumidor uma fácil diferenciação entre produtos de melhor e pior qualidade. Desse modo, é necessária uma reestruturação do modelo de classificação de módulos fotovoltaicos com base nas melhores práticas internacionais. Adicionalmente, para melhor suportar a tomada de decisão do consumidor final, ensaios para determinação do coeficiente de temperatura devem ser exigidos para que ele possa simular a geração de energia do equipamento em condições reais de operação.

A certificação e a normatização são caracterizadas por várias normas da ABNT, que definem os procedimentos para ensaios, documentação, e avaliação de desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

A regulação, pela Resolução 482/2012 da ANEEL, permite, basicamente, que os consumidores instalem pequenos geradores em suas unidades consumidoras e injetem a energia excedente na rede em troca de créditos, que poderão ser utilizados em um prazo de 36 meses.

A tributação é fundamentada pela legislação CONFAZ Convênio ICMS 101/97, que estabelece que não seja recolhido ICMS de módulos e células fotovoltaicas em nenhum estado da Federação. Porém, esta medida não se estende a outros equipamentos, como inversores, estruturas de suporte, cabos, conectores e medidores. O PLS nº 317/2013 propõe a isenção do IPI sobre dispositivos fotossensíveis semicondutores, incluídas as células fotovoltaicas, mesmo montadas em módulos ou em painéis, entre outros componentes. O Convênio ICMS 6/2013 do CONFAZ, estabelece a incidência do ICMS sobre o consumo bruto de eletricidade proveniente da distribuidora, antes de qualquer compensação da geração própria. O montante de energia elétrica gerada que não é consumido instantaneamente é exportado à rede de distribuição e, ao ser compensado em outra oportunidade, será tributado. Esta resolução do CONFAZ está sendo modificada (Convênio ICMS 16/2015), estabelecendo que a tributação incida apenas sobre a diferença entre o que é consumido e o que é exportado para a distribuidora. Vários estados da federação já aderiram a esta nova resolução. A publicação da REN ANEEL 517/2012 modificou o sistema de compensação estabelecido pela REN ANEEL 482/2012, permitindo somente que a compensação fosse realizada em unidades consumidoras de mesma titularidade (mesmo CPF ou



Academia Nacional de Engenharia

CNPJ). Essa mudança reduziu a aplicabilidade da chamada medição líquida virtual (*virtual net metering*)².

A Lei 13.169/2015 aprovada em 06.10.2015 torna oficial a cobrança do PIS e Cofins apenas sobre o líquido de energia consumida em unidades com micro e minigeração distribuída. Adicionalmente, reduz uma série de tributos (imposto de importação, PIS, Cofins, IPI e IRPJ) sobre máquinas e equipamentos responsáveis pela fabricação de módulos e células fotovoltaicas. Como contrapartida, as empresas que se beneficiarem desse programa devem investir em atividades de P&D&I.

O Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), lançado pelo governo Federal, que abrange as novas fontes renováveis de geração de energia elétrica inclui, além da redução de impostos, fontes de financiamento que poderão alavancar investimentos de R\$ 100 bilhões até 2030.

5. Integração com a Rede Elétrica

A penetração das novas energias renováveis no Sistema Elétrico Brasileiro ainda é relativamente pequena, embora esteja se ampliando de forma acelerada. Como já ocorre em outros países, o plano de ampliações e reforços do operador do sistema elétrico tem sido desenvolvido já considerando a necessidade de maior resiliência do sistema para cenários operativos contendo grande parcela de geração intermitente. Por exemplo, no Havaí 12% das residências já contam com sistemas de geração individuais, de longe a maior porcentagem nos Estados Unidos. Outros estados, como a Califórnia e Arizona e países como Japão e Alemanha, seguem pelo mesmo caminho, enfrentando uma crescente tendência à autogeração. Em 2014, aproximadamente 7% da eletricidade na Alemanha foi gerada por painéis solares, e não de maneira uniforme - nos dias de semana ensolarados a geração solar chegou a atingir 35% e até 50% nos fins de semana.

O grande teste na Europa veio com o eclipse parcial do sol em 20 de março de 2015. A perda de geração pela passagem da Lua entre o Sol e a Terra foi estimada como o equivalente a perda de 80 centrais geradoras de tamanho médio. Afinal, o efeito do eclipse foi minimizado por céus nublados no sul da Alemanha e no norte da Itália mas, mesmo assim, varias providencias tiveram de ser tomadas pelos operadores da rede europeia para evitar o pior, tais como aumentar a potência de *back-up* e cortar preventivamente cargas em algumas indústrias intensivas em energia (alumínio e outras). Um eclipse não ocorre todos os dias, mas com o crescimento da geração solar em residências, comercio e na indústria, constituindo efetivas mini-centrais injetando energia na rede, os operadores estão tendo que executar manobras semelhantes quase diariamente. O descuido e a falta de integração da geração solar na operação dos diversos sistemas pode levar a variações, surtos e quedas, de voltagem, devido a sua natureza intermitente, causando *brownouts* e *blackouts*.

O resultado alcançado pelos operadores nacionais da Europa no dia do eclipse demonstrou que a inserção de grandes montantes de energia solar fotovoltaica é possível utilizando-se ferramentas de previsão de geração ao longo do dia e planejamento da operação, com integração das fontes de geração.

² Medição líquida virtual corresponde à compensação de créditos e débitos de um mesmo consumidor (CPF ou CNPJ) em pontos de medição diferentes.



Academia Nacional de Engenharia

A qualidade do fornecimento de energia elétrica é fundamental, sobretudo para os modernos equipamentos digitais. Para manter a qualidade da energia, as empresas de distribuição, tais como a HECO - Companhia Elétrica Havaiana, estão procurando se adaptar à crescente tendência de produzir eletricidade individualizada, o que impõe maiores pressões sobre a infraestrutura existente, como a necessidade de novos alimentadores e linhas de transmissão, e diminui a receita das empresas. Cabe destacar que a geração distribuída não deve ser encarada como oponente ou concorrente das distribuidoras, mas uma evolução para uma nova estrutura de negócio, com maior participação dos consumidores.

A maior penetração dos recursos energéticos distribuídos na rede elétrica é não só inevitável como desejável. A interconexão com a rede, frente à opção de manter os sistemas isolados, possibilita maior confiabilidade, qualidade da tensão, potência de partida para os equipamentos, transações de energia através dos sistemas de *net-metering* ou *feed-in*, e, ações de eficiência energética. Por outro lado, os benefícios potenciais para a rede, advindos dos recursos energéticos distribuídos, se evidencia através de, entre outros aspectos: otimização das operações de distribuição, melhoria da resiliência do sistema elétrico, redução do impacto ambiental, postergação dos aumentos de capacidade, programas de gestão da demanda e redução de perdas.

Para o pleno aproveitamento de todo o valor dos recursos energéticos centralizados e distribuídos é importante evoluir para uma completa integração da rede através de sua modernização, adoção de padrões de comunicação e regras claras de interconexão, planejamento e operação integrados, regulação e políticas adequadas³.

Como conectar as novas instalações de energia solar sem causar efeitos danosos na rede, acentuando os benefícios da geração distribuída? A resposta pode estar nos inversores inteligentes, nas novas baterias e sistemas de acumulação de energia em larga escala com aproveitamento da energia excedente. A adoção de inversores inteligentes permite ampliar a capacidade de hospedagem dos circuitos das distribuidoras para conectar uma maior quantidade de recursos energéticos distribuídos. As baterias avançadas, tais como as anunciadas pela TESLA, de 7 e 10 kWh, para 2016, permitem a constituição de sistemas mistos, microrredes, e, até, independentes da rede. Ressalta-se que o armazenamento e as redes inteligentes não são pré-requisitos à geração distribuída, mas são ferramentas positivas para ampliar a sua penetração.

Tal como aconteceu com os telefones celulares, que já quase substituíram totalmente os telefones fixos, a futura ampliação do sistema elétrico nos países em desenvolvimento poderá estar fortemente baseada em recursos energéticos distribuídos, integrados à rede elétrica.

6. Impactos

A inserção das tecnologias de geração solar em larga escala, incluído o aquecimento solar de água, certamente terá impacto em todos os agentes do setor elétrico com destaque para os consumidores e para as empresas de distribuição, mas extensivo a outros setores como agentes de financiamento, fabricantes de equipamentos e componentes, empresas de projeto e instalação de sistemas, etc. Pelo exposto anteriormente, a geração solar de energia elétrica, quando inserida no

³The Integrated Grid, EPRI, Relatório Técnico 30020022733, Fevereiro 2014.



Academia Nacional de Engenharia

contexto da geração distribuída, poderá ter impacto importante na forma de negócio das empresas de distribuição.

Dentre as formas de aproveitamento da energia solar, o aquecimento de água é a que se encontra em estágio mais avançado quanto à questão de produção nacional de equipamentos e componentes, mas ainda necessita de investimentos para evoluir para sistemas de maior eficiência e ganhar competitividade frente às tecnologias em uso e disseminadas por todo o país.

A geração fotovoltaica, com uma pequena base instalada, porém com perspectiva de crescimento significativo em função dos leilões de energia já realizados e programados, depende fortemente da importação de módulos fotovoltaicos e demais componentes dos sistemas. No médio prazo há que se analisar o impacto de um crescimento acelerado da geração fotovoltaica na balança de pagamentos, considerando-se a inexistência de unidades de produção de silício grau solar no país para a fabricação de células solares e, também, de produção de módulos fotovoltaicos em volume compatível com a energia que está sendo contratada nos leilões. Outro aspecto importante refere-se à independência tecnológica no campo da geração fotovoltaica. Nos últimos anos tem-se observado novas rotas de produção ou de concepção de células fotovoltaicas indicando que existem incertezas que podem propiciar saltos tecnológicos imprevisíveis. Ganhos de eficiência e mudanças na tecnologia básica de produção têm sido frequentes neste campo, não havendo no Brasil acesso tempestivo às fontes que os originam. Consequentemente, na ausência de políticas de desenvolvimento tecnológico neste campo, este poderá vir a ser um segmento da área de energia no qual, diferentemente de outras fontes energéticas, não se visualiza independência ou liderança brasileira. Ressalte-se, entretanto, que o plano de nacionalização progressiva do BNDES para os empreendimentos por ele financiados prevê a fabricação de células fotovoltaicas a partir de 2020. Este plano, no entanto, não elimina a necessidade de uma política estruturada de P&D&I para toda a cadeia produtiva.

Quanto à geração termossolar, a implantação de qualquer planta com as tecnologias mencionadas dependerá de importação da totalidade dos componentes da parcela solar da planta, cabendo à engenharia e à indústria brasileira apenas a realização de obras civis e a fabricação de estruturas metálicas do campo solar. No que se refere à parcela de geração de energia elétrica das plantas poderia haver contribuição da indústria (caldeiras, turbinas a vapor, geradores, etc.).

7. Recomendações

Conforme mencionado, a ampliação da participação da energia solar no setor energético brasileiro abrange diversos aspectos de natureza técnica, financeira e estratégica.

A geração de energia elétrica fotovoltaica e termossolar são intensivas em desenvolvimento tecnológico e dependem da garantia de continuidade dos leilões de energia renovável para a retenção de recursos humanos e implantação de fábricas de componentes. Haverá, por outro lado, maior demanda por recursos humanos de nível superior e de nível médio para atender as necessidades de um crescente mercado de geração solar.

Assim sendo, são feitas as recomendações seguintes:



Academia Nacional de Engenharia

- Fortalecer o desenvolvimento de profissionais com conhecimentos em ciência dos materiais, eletrônica e termodinâmica, fundamentais nas tecnologias de aproveitamento da energia solar.
- Incentivar a alocação de recursos para pesquisa básica e aplicada nas áreas acima mencionadas.
- Criar programas de formação de recursos humanos de nível superior com capacitação para o desenvolvimento de projetos nas áreas de geração solar térmica e geração fotovoltaica e de nível médio com capacitação para instalação, operação e manutenção de sistemas de geração térmica e elétrica.
- Garantir a transferência de tecnologia de materiais e equipamentos utilizados na geração fotovoltaica e termossolar na fase inicial de implantação e crescimento da demanda no Brasil.
- Incentivar o desenvolvimento de projetos com foco em sistemas de armazenamento de energia, como forma de ampliar o fator de capacidade das fontes de geração intermitente.
- Criar, no âmbito da indústria, programas de difusão de processos modernos e automatizados de fabricação, para obtenção de ganhos de eficiência e redução dos custos de produção dos componentes principais de sistemas de geração solar.
- Revisar os procedimentos de ensaios para componentes dos sistemas de geração solar no sentido de incorporar aspectos metroológicos que garantam repetibilidade controlada dos resultados.
- Estruturar, no Brasil, um Laboratório de Referência para rastreabilidade com o objetivo de atribuir confiabilidade às medições realizadas pelos laboratórios de calibração de componentes de sistemas de aproveitamento da energia solar para fins energéticos.
- Reestruturar o modelo de classificação de módulos fotovoltaicos com base nas melhores práticas internacionais.
- Ampliar o número de testes exigidos pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO, principalmente o de determinação do coeficiente de temperatura, de forma a garantir qualidade, segurança e confiabilidade dos equipamentos fabricados e comercializados no país.
- Garantir a continuidade dos incentivos proporcionados pela Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL, no mínimo, até a consolidação do mercado de geração distribuída.

No que tange ao problema de integração da geração solar à rede elétrica, ainda que ele não seja significativo atualmente, dado o baixo percentual da geração por esta via, é importante buscar desde logo tal integração para aproveitar todo o potencial dos recursos energéticos, centralizados e distribuídos, nos níveis estabelecidos de qualidade e confiabilidade.

Para tanto, recomenda-se:

- Adotar regras claras de interconexão da geração solar, centralizada e distribuída, incorporar tecnologias de comunicação e a utilização de padrões adequados.



Academia Nacional de Engenharia

- Desenvolver estratégias de integração da geração solar no planejamento e operação da rede.
- Avaliar e implementar tecnologias avançadas de distribuição e visando maior confiabilidade, incluindo equipamentos, tais como os inversores inteligentes.
- Reexaminar o modelo de negócios das distribuidoras, que além das transações de energia são responsáveis pela manutenção dos serviços da rede elétrica (back-up, qualidade da voltagem, fornecimento de potência de partida e outros).
- Criar políticas e regulamentos que possibilitem a integração, sem prejuízo da qualidade e confiabilidade do fornecimento de energia elétrica.

Com relação aos aspectos de financiamento e incentivos, tendo em vista a ampliação do mercado de energia solar no Brasil, cabem as seguintes recomendações:

- Criar linhas específicas de financiamento para os consumidores residenciais, tanto para a instalação de sistemas de aquecimento de água, quanto de geração de energia elétrica, com prazos e juros atrativos.
- Criar incentivos à utilização da tecnologia de aquecimento solar e de geração fotovoltaica nos financiamentos de casa própria e de habitações populares.
- Estudar alterações nos códigos municipais de obras no sentido de favorecer a instalação de sistemas termossolares para aquecimento de água e de geração fotovoltaica em novas construções.
- Incentivar, através de políticas fiscais, a criação de novas formas de negócio entre consumidores e distribuidoras ou empresas prestadoras de serviços que viabilize a implantação e manutenção de sistemas de geração fotovoltaica ou de aquecimento de água por meio de *leasing* dos equipamentos.
- Criar linhas de financiamento para aumento da competitividade e sustentabilidade da indústria nacional voltada para a fabricação de componentes para sistemas de aquecimento solar e geração fotovoltaica.
- Evitar, em âmbito nacional, a cobrança de ICMS da energia compensada ou vendida por micro e pequenos geradores às Concessionárias de distribuição de energia elétrica.

Elaborado pelo Comitê de Energia da Academia Nacional de Engenharia - ANE em 08.12.2015, revisado em 28.02.2016.

Supervisão geral : Jerzy Z.L. Lepecki

Coordenador e Co-autor : Eduardo T. Serra

Co-autores : Acher Mossé, Agenor Mundim, Alcir de Faro Orlando

Colaboradores : José E. Moreira, Marcos Oliveira, Nelson Martins, Walter Mannheimer, Witold Lepecki