

Sistemas fotovoltaicos e a geração distribuída de eletricidade: Aspectos econômicos e barreiras para sua inserção na matriz elétrica

Roberto Zilles¹, Sérgio Henrique Ferreira de Oliveira², Wilson Negrão Macêdo¹ e

Antônia Sônia Alves Cardoso Diniz³

¹Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo

²Universidade Federal do Maranhão

³Companhia Energética de Minas Gerais

asacd@cemig.com.br

Av. Barbacena 1200/20º/A2 – Belo Horizonte-MG

A expansão da oferta de energia elétrica tradicionalmente é pensada por meio da instalação de grandes usinas de geração, instaladas em regiões onde há disponibilidade de recursos energéticos. Essa forma de planejamento do setor elétrico resolveu e resolve os problemas de abastecimento elétrico. No entanto, como o tempo entre o início da construção de uma grande usina até a sua entrada em operação não é desprezível, é necessário realizar previsões precisas e antecipadas do momento certo de entrada da nova usina, tanto sobre o ponto de vista técnico como financeiro. Isso porque a entrada em operação de uma grande usina geradora representa também uma capacidade instalada adicional, inicialmente ociosa, prevista para abastecer o crescimento da demanda futura. Aliado a esses empreendimentos, é necessária a construção de linhas transmissão que permitam que a energia produzida possa ser levada aos centros de consumo. Adicionalmente, a instalação de grandes plantas geradoras está sempre associada a altos impactos ambientais, além de necessitarem de grandes esforços na reunião do montante financeiro necessário ao empreendimento, o qual, sendo de longo prazo, torna-se mais arriscado, o que aumenta seu custo de capital. Finalmente, a instalação de grandes usinas de geração elétrica está associada à grande disponibilidade do recurso (grandes quedas d'água, por exemplo) algo cada vez mais raro e caro de ser utilizado.

Assim, torna-se atrativo considerar a opção por acompanhar o crescimento da demanda nos centros urbanos, ou em seus setores residenciais, aumentando-se a oferta de eletricidade mediante a instalação de pequenos sistemas fotovoltaicos nos próprios locais de consumo. A figura 1-a apresenta um esquema simplificado da forma tradicional de produção, transporte, distribuição e uso final da energia elétrica. Com o aumento da demanda nas cidades, projeta-se a construção e instalação de novas centrais geradoras (hidroelétricas, termelétricas, nucleares) e novas linhas de transmissão. A geração distribuída de energia considera uma forma alternativa de incrementar a oferta de eletricidade. Trata-se da instalação de sistemas fotovoltaicos, próximos do consumo e, muitas vezes, sobre áreas já ocupadas, com o intuito de postergar investimentos na instalação de novas grandes plantas de geração e suas respectivas linhas de transmissão, além de evitar os impactos ambientais que geralmente acompanham esses grandes empreendimentos, figura 1-b.

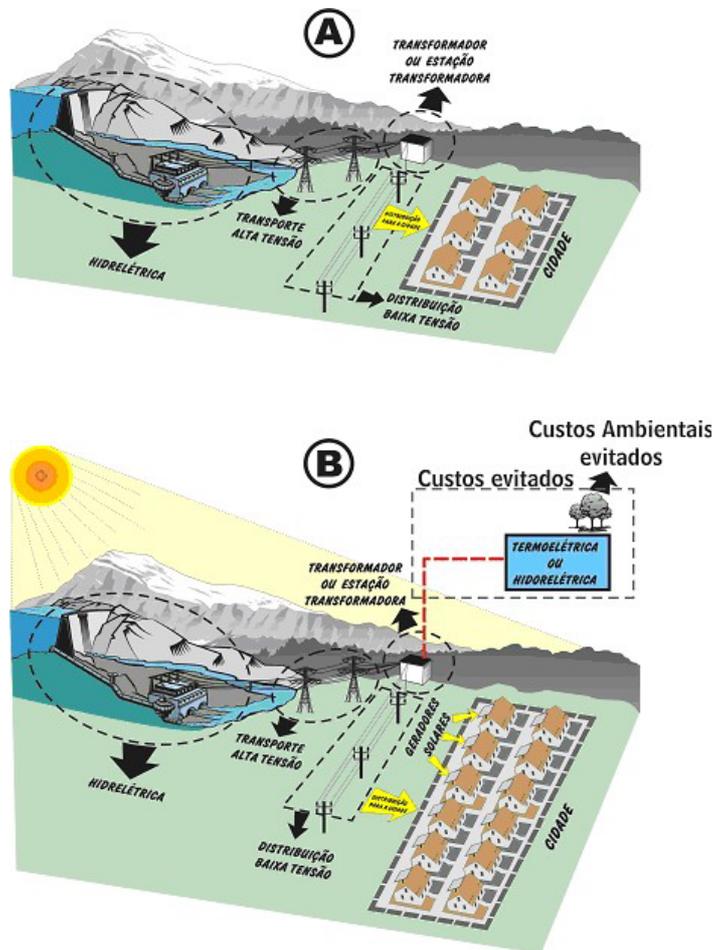


Figura 1 (a) Diagrama esquemático de um sistema elétrico incluindo a geração, transmissão e distribuição de eletricidade; (b) Diagrama esquemático de um sistema elétrico considerando a geração distribuída com sistemas fotovoltaicos

Com relação à falta de espaço para a instalação de novos geradores de eletricidade nos centros urbanos, a tecnologia fotovoltaica pode ser utilizada em áreas já ocupadas, como telhados de residências, coberturas de estacionamentos, coberturas de postos de gasolina, sobre edifícios públicos, para citar apenas alguns exemplos. As figuras 2 e 3 ilustram duas dessas instalações.



Figura 2. Sistema de 12 kW_p, integrado na fachada do prédio da administração do IEE-USP.



Figura 3. Sistema fotovoltaico integrado a um estacionamento do IEE-USP. Produção de eletricidade ao mesmo tempo em que fornece sombra aos carros

Em função de suas características, os sistemas fotovoltaicos são uma opção tecnicamente interessante para ser utilizada na geração distribuída de eletricidade. É uma tecnologia modular; o que permite a instalação de sistemas pequenos e sua futura expansão conforme haja necessidade, disponibilidade de espaço e de recursos financeiros. Os sistemas fotovoltaicos não emitem poluentes de qualquer tipo durante a geração de eletricidade; o que permite sua instalação em residências ou comércios por onde transitam pessoas, sem oferecer riscos de intoxicação ou acidentes. Portanto, podem oferecer eletricidade aos centros urbanos sem, com isso, aumentar os já graves problemas ambientais existentes nesses locais.

Impactos ambientais e energy pay-back time

Em relação às questões ambientais, pode-se afirmar que a tecnologia solar fotovoltaica não gera qualquer tipo de efluentes sólidos, líquidos ou gasosos durante a produção da eletricidade. Também não emite ruídos nem utiliza recursos naturais esgotáveis. Dentro desse tema, há dois tópicos que ainda permanecem em discussão: a emissão de poluentes e gastos energéticos durante o processo de fabricação dos módulos e as reais possibilidades de reciclagem dos mesmos, depois de terminada sua vida útil.

Atualmente, considerando a conexão à rede de sistemas instalados sobre edificações, a tecnologia solar fotovoltaica levará entre 2,5 e 3 anos para restituir toda a energia gasta na produção dos módulos, isso considerando sua aplicação em localidades com níveis médios de irradiação solar, 1700 kWh/m².ano [1]. A emissão de poluentes no processo de fabricação não é alta e já é fortemente controlada. Isso ocorre por dois principais motivos: em primeiro lugar, a indústria fotovoltaica tem grande interesse em preservar sua imagem de indústria limpa e amiga do meio ambiente e, portanto, possui estratégias de controle de emissões bastante cuidadosas. Em segundo lugar, o próprio processo de fabricação das células e montagem dos módulos exige o uso de ambientes controlados e limpos, o que obriga a indústria a utilizar processos de controle de emissão muito mais restritivos do que os requeridos para a manutenção da saúde humana [2].

Considerando o oeste europeu, pode-se dizer que a emissão de CO₂ para uma unidade de geração fotovoltaica está entre 50 e 60 g/kWh, que é consideravelmente menor do que as emissões das plantas térmicas que utilizam combustíveis fósseis, entre 400 e 1000 g/kWh. Por outro lado, esse parâmetro é ainda alto se comparado com outros recursos renováveis disponíveis, tais como energia eólica e biomassa, que apresentam taxas de emissão abaixo das 20 g/kWh [3].

A indústria fotovoltaica utiliza alguns gases tóxicos e explosivos e líquidos corrosivos na sua linha de produção; por exemplo: Cd, Pb, Se, Cu, Ni e Ag. A presença e a quantidade desses materiais depende fortemente do tipo de célula que está sendo produzido. Como dito acima, as necessidades intrínsecas ao processo produtivo das indústrias fotovoltaicas obrigam a adoção de métodos de controle bastante rigorosos, o que minimiza a emissão desses elementos ao longo do processo produtivo dos módulos. A reciclagem do material utilizado nos módulos fotovoltaicos já é um procedimento técnico e economicamente viável, principalmente para aplicações concentradas e em larga escala. Existem métodos que prevêm a reciclagem de parte significativa do vidro, EVA e metais (Te, Se e Pb), entre 80% e 96 %. Outros metais como Cd, Te, Sn, Ni, Al e Cu deverão ser dispensados ou poderão ser reciclados através de outros métodos [4].

Aspectos econômicos da produção de eletricidade com sistemas fotovoltaicos

Já existem nichos de mercado nos quais os sistemas fotovoltaicos encontram-se em situação de maior competitividade. Esse nicho, hoje em dia, restringe-se às diferentes situações da eletrificação rural de países em desenvolvimento, onde os altos custos de expansão das linhas de transmissão e distribuição ou as restrições ambientais encarecem e dificultam significativamente a eletricidade proveniente da rede elétrica. Nestes locais, as opções concorrentes aos sistemas fotovoltaicos, como a geração térmica a diesel, por exemplo, também enfrentam fatores limitadores que aumentam seus custos de geração, principalmente relacionados à dificuldade de acesso às localidades.

Em muitas situações da eletrificação rural nos países em desenvolvimento, não é correto comparar diretamente o custo da eletricidade produzida pelos sistemas fotovoltaicos com o custo de outras fontes. Nos casos dos sistemas rurais, isolados da rede, freqüentemente a utilização da eletricidade solar fotovoltaica não substitui o uso de outras fontes de eletricidade. Portanto, a discussão da viabilidade da aplicação dos sistemas fotovoltaicos deve considerar os custos evitados na compra de velas e querosene para iluminação, pilhas, recarga de baterias, etc.

No caso da conexão de sistemas fotovoltaicos à rede, a energia dos sistemas fotovoltaicos é disponibilizada no ponto de consumo ou, mais especificamente, na rede de distribuição. Portanto, os seus custos devem ser comparados aos custos da energia convencional da rede de distribuição, depois de incluídos o custo e as perdas relativas ao transporte.

O cálculo do custo do kWh produzido pelos sistemas fotovoltaicos não requer grandes sofisticções matemáticas. Pelo contrário, basta a utilização de uma ferramenta básica da micro-economia. Mas, apesar da fácil determinação, o valor atribuído ao custo do kWh fotovoltaico apresenta diferenças entre as diversas fontes disponíveis na literatura. Mesmo entre os técnicos da área, os valores divulgados apresentam disparidades. Torna-se mais comum, portanto, verificarmos a divulgação do preço do W_p do módulo e, em algumas situações, do W_p *turn-key*¹ da instalação.

O custo da eletricidade produzida (em US\$/kWh) no caso dos sistemas fotovoltaicos depende da amortização do capital investido inicialmente e da operação e manutenção do sistema. A amortização do investimento inicial depende fortemente da taxa de desconto considerada. Por sua vez, a operação e manutenção do sistema interferem pouco no custo da energia, visto que não passam de aproximadamente 1% do investimento inicial por ano. Nesse caso, obviamente, não é necessário considerar custos de substituição de baterias, pois estes sistemas não as utilizam. Com a equação (1) é possível determinar o custo da eletricidade produzida por sistemas fotovoltaicos.

$$C = \left[\frac{r \times (1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + OM \right] \times \frac{Inv}{87,6 \times CF} \quad (1)$$

na qual:

C, é o custo da energia produzida pelo sistema; em centavos de US\$ por kWh

r, é a taxa de desconto anual considerada para o investimento (%); valor adimensional

n, é o tempo de vida útil do investimento; em anos

OM, representa os gastos com a manutenção e operação > 1% do investimento inicial; na expressão entra um valor adimensional (1% = 0,01)

Inv., é o investimento inicial, *turn-key*, do sistema; em US\$/kW

CF, é o fator de capacidade esperado para o sistema; valor adimensional.

As figuras 4 e 5 apresentam os resultados obtidos com a equação (1) para fatores de capacidade entre 10% e 30%, considerando $r = 6\%$ e 12% , respectivamente. São apresentadas curvas para dois valores do investimento inicial, US\$/kW_p, *turn-key* da instalação; custo atual de 6,000.00 US\$/kW e perspectiva de redução para os próximos 5 anos de 3,000.00 US\$/kW.

¹ Custo Turn-key é definido como o custo total de instalação de um sistema pronto para operar.

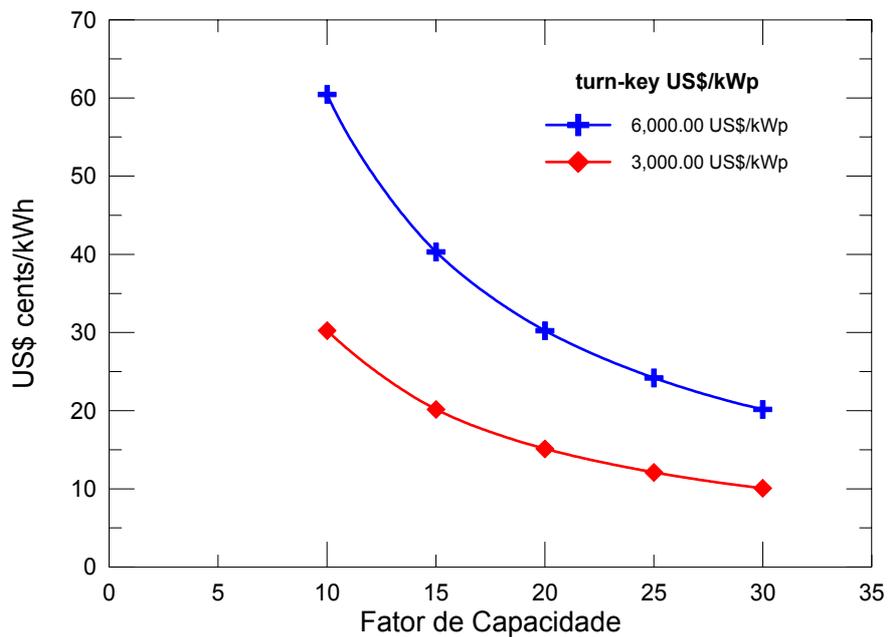


Figura 4. Custo do kWh, em centavos de dólar, em função do fator de capacidade e do custo do kW_p *turn-key* para $r = 6\%$

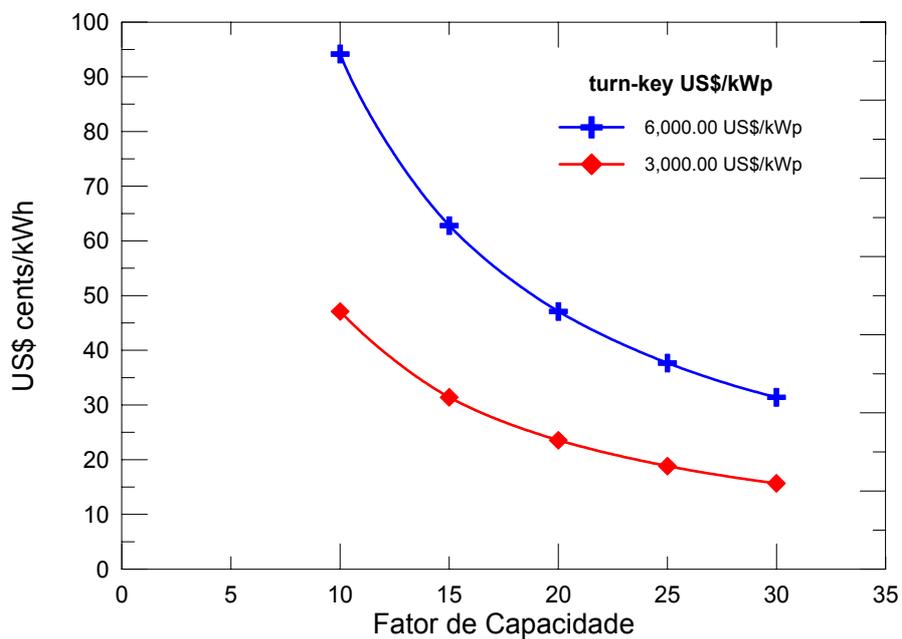


Figura 5. Custo do kWh, em centavos de dólar, em função do fator de capacidade e do custo do kW_p *turn-key* para $r = 12\%$

Como é de se esperar, podemos verificar que para fatores de capacidade maiores obtemos menores custos para o kWh produzido. Entretanto, este parâmetro, por causa da aleatoriedade da

disponibilidade do recurso solar, encontra-se limitado a valores inferiores a 20%. A tabela I apresenta os desempenhos, produtividade global anual e fator de capacidade, registrados para alguns sistemas instalados em diferentes regiões do planeta.

Tabela I. Desempenho de diferentes sistemas fotovoltaicos conectados à rede

<i>Sistema</i>	<i>Final Yields (kWh/kWp)</i>	<i>Capacity Factor (%)</i>
Serre Ph Plant – IT [12]	1183	13,5
Austin [13] – TX, EUA	1221	13,9
Field test proj. – JAP [14]	896 (valor médio)	10,2
LabSolar UFSC – BR [4] (aSi)	1300	14,8
LSF/USP – BR	1531	17,4

Tomando-se um valor médio de 14% para o fator de capacidade e o custo turn-key de uma instalação de 6,000.00 US\$/kW, temos, a partir das figuras 4 e 5, valores atuais de 43 US\$, 67 US\$ cents por kWh, para taxas e anuais de desconto de 6% e 12%, respectivamente. Entretanto, com a perspectiva de redução dos custos turn-key de 6,000.00 para 3,000.00 US\$/kW, nos próximos 5 anos veremos, para taxas e anuais de desconto de 6% e 12%, no final desta década, custos da ordem de 22 a 34 US\$ cents por kWh, respectivamente.

Como se pode constatar, o custo da energia produzida por sistemas fotovoltaicos é atualmente alto em relação à energia convencional gerada a partir de fontes hídricas, térmicas, nucleares, etc., o que representa uma forte barreira à sua disseminação. Uma forte contra-argumentação aos altos custos da eletricidade produzida pelos sistemas fotovoltaicos é a constatação da evolução da curva de aprendizagem da tecnologia fotovoltaica, que vem mostrando um decréscimo significativo desde o início de sua utilização para aplicações terrestres, em 1970, ver figura 6 [5].

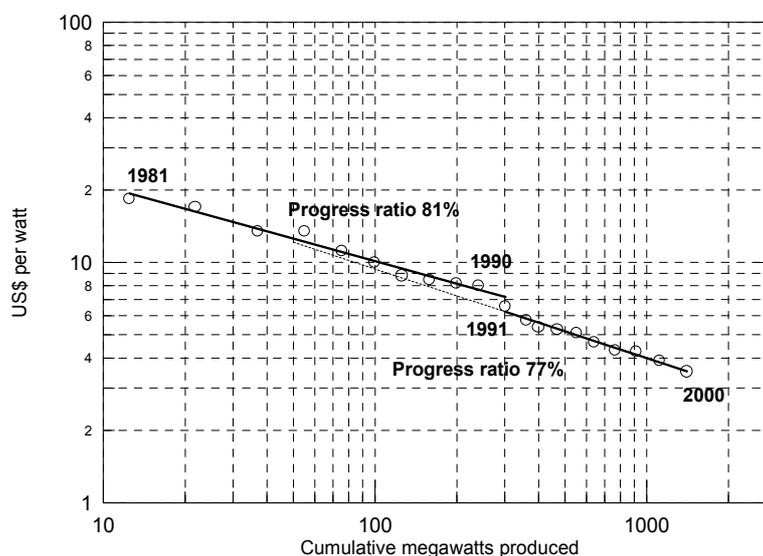


Figura 6. Curva de aprendizagem da tecnologia solar fotovoltaica.[9]

Por outro lado, o custo da energia elétrica convencional vem crescendo significativamente, assim sendo, vislumbra-se um momento em que esses custos serão equiparados. Essa perspectiva é

um dos fatores que motivam a busca por mecanismos de incentivo capazes quebrar com essa grande dificuldade da tecnologia fotovoltaica – ser cara por não ter mercado e não ter mercado por ser cara – buscando, principalmente, a estruturação de um mercado virtual, inicialmente sustentado, capaz de manter a tendência descendente da curva de aprendizagem da tecnologia. Com isso, espera-se a queda do custo da energia produzida por sistemas fotovoltaicos e o estabelecimento de condições de existência de um mercado real e livre para coexistir e competir com as demais tecnologias existentes, sem mais necessitar ser sustentado por mecanismos de incentivo.

Barreiras à inserção dos sistemas fotovoltaicos de forma mais expressiva na matriz energética

É praticamente consenso entre os especialistas do setor fotovoltaico considerar a barreira financeira como a principal dificuldade a ser superada para a inserção mais agressiva dos sistemas fotovoltaicos no suprimento de eletricidade. No entanto, para propor a disseminação das unidades de geração fotovoltaica como forma complementar de geração elétrica, sabe-se que, além da questão econômica, existem outros aspectos também importantes de serem considerados. Entre eles, destaca-se a necessidade de elaboração de um conjunto de normas técnicas e de uma regulamentação específica a essa atividade, por exemplo como ocorreu na Alemanha e Espanha.

Até os dias de hoje, a forma encontrada para superar a barreira econômica foi mediante a implementação de mecanismos governamentais de incentivo às novas tecnologias de geração de eletricidade. Com os mecanismos de incentivo financeiro, criam-se mercados incentivados para que essas tecnologias possam se desenvolver e, conseqüentemente, promover a diminuição de seus custos.

Possíveis mecanismos de incentivo

Existe um amplo espectro de possibilidades e diferentes tentativas de se incentivar a disseminação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, instalados em edificações residenciais, comerciais e/ou públicas. No conjunto dos mecanismos já implementados, não há diferença significativa entre as normas técnicas estabelecidas. As principais diferenças encontram-se na especificação de onde sairá o dinheiro para o incentivo, quanto será e de que forma se fará o pagamento.

Considerando-se os sistemas fotovoltaicos adquiridos por proprietários ou responsáveis por edificações comerciais, residenciais ou públicas, de uma forma geral, podemos separar os incentivos existentes em três. Dois tipos básicos e um terceiro que representa uma mistura dos dois primeiros: o incentivo à potência instalada e o incentivo à energia gerada e o incentivo misto. O critério de classificação escolhido considera duas formas de repasse do volume financeiro reunido para o incentivo. Por um lado, utiliza-se o recurso para pagar toda a energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos de forma antecipada e à vista; por outro, escolhe-se remunerar o investimento ao longo do tempo, de forma parcelada, conforme a energia produzida é colocada à disposição das distribuidoras.

Os dois tipos de incentivo podem promover a disseminação dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, assim como consolidar um mercado para essa aplicação da tecnologia. Resta então considerar as possibilidades existentes e desenvolver uma forma que maximize a chance de

sucesso da iniciativa. A seguir, apresentam-se as definições dos dois tipos de incentivos acima categorizados.

Incentivo à potência instalada

O incentivo à potência instalada cobre parte ou todo o investimento inicial da instalação – aquisição e instalação dos equipamentos. Ao pagar apenas parte do custo do sistema, dentro do ponto de vista do cliente-proprietário, o custo da energia gerada pelo seu sistema fotovoltaico pode ser igual ou menor do que a energia convencional. Se considerarmos um contexto no qual os custos da energia convencional tendem a crescer, tornando-se cada vez maiores do que o custo da energia produzida pelo sistema fotovoltaico, crescem também as vantagens para usuário, pois este ou estará consumindo a energia que produziu ou estará “trocando-a” com a energia fornecida pela rede (que, segundo essa hipótese, é mais cara do que a produzida por ele).

Incentivo à energia gerada

O incentivo à energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos caracteriza-se pelo pagamento, com valores incentivados, da energia produzida pelos sistemas fotovoltaicos, ou seja, valores que no mínimo remunerem o investimento inicial na compra e instalação do sistema. Dessa forma, o proprietário da edificação e do sistema fotovoltaico seria um tipo especial de produtor independente de energia, já que realizará um determinado investimento numa atividade produtiva com o objetivo de receber uma remuneração por sua produção. Portanto, nesse caso, o cliente-proprietário estará se apropriando de uma renda financeira ao vender sua produção energética.

Uma das dificuldades enfrentadas por esse tipo de incentivo é o alto risco financeiro associado à falta de confiabilidade na estabilidade econômica por períodos de dezenas de anos. Isso porque o alto investimento inicial será remunerado apenas em longo prazo, tipicamente entre 20 e 25 anos. No entanto, há formas de contornar esse problema, sobre-remunerando a energia gerada por um tempo determinado ou deixando que a concessionária assuma o risco do longo prazo, “comprando” à vista toda a produção energética do sistema de um determinado período futuro.

Além dessa dificuldade, essa forma de mecanismo de incentivo pressupõe a organização prévia do setor elétrico, para que este seja capaz de gerenciar e organizar essa nova estrutura produtiva, que deverá coexistir com as formas tradicionais de gerenciamento do setor elétrico. Essa nova organização refere-se, principalmente, à criação de setores responsáveis por tarefas como cadastrar as novas pequenas unidades geradoras; fiscalizar o cumprimento das normas técnicas de segurança e produtividades mínimas; monitorar a operação dos sistemas; contabilizar a eletricidade gerada por cada sistema; remunerar os diversos clientes-proprietário pela energia que seus sistemas produziram e incluir a energia proveniente dos sistemas fotovoltaicos no planejamento elétrico do setor, contribuindo com o gerenciamento da oferta de energia proveniente das diferentes fontes disponíveis.

Incentivo à potência e à energia

São incentivos mistos, criados para remunerar, de forma incentivada, a energia produzida pelos sistemas e todo ou parte do investimento inicial necessário para a compra e instalação do sistema. Nesse sentido, procura-se organizar as vantagens encontradas em cada tipo de incentivo, de forma a minimizar as dificuldades encontradas por cada um deles. Assim, os altos investimentos iniciais ficam amortizados pelo incentivo à potência instalada e o longo período de retorno do investimento diminui em função da remuneração incentivada à energia produzida pelos sistemas.

Essa forma de incentivo demanda uma estrutura organizada e um volume de recursos financeiros mais robusto ou uma inserção mais lenta dos sistemas fotovoltaicos, uma vez que uma vez que um pagamento à vista (incentivo à potência) com pagamentos em longo prazo (incentivo à energia).

Considerações gerais

É importante que um programa de incentivos à geração de eletricidade com sistemas fotovoltaicos procure formas de reunir todos que estejam diretamente envolvidos, procurando dividir responsabilidades e contabilizar vantagens. Os principais agentes envolvidos com a inserção dos sistemas fotovoltaicos são: governos, sociedade como um todo, proprietários dos sistemas fotovoltaicos, concessionárias e fabricantes. Cada um dos agentes listados tem ou pode vir a ter algum benefício ou interesse na inserção dos sistemas fotovoltaicos como fonte alternativa de geração de eletricidade e, portanto, cada um poderá contribuir para que a iniciativa de incentivar essa atividade aconteça de forma clara e justa. Portanto, um passo importante será o de identificar as vantagens e estimar qual a contribuição possível para cada um dos agentes envolvidos.

A inserção dos sistemas fotovoltaicos é interessante ao fabricante de módulos fotovoltaicos por razões óbvias. Para os outros agentes envolvidos (governos, sociedade, proprietários e concessionárias) a utilização de sistemas fotovoltaicos representa um aumento (mesmo que pequeno) na capacidade de produção de eletricidade por um recurso renovável cuja tecnologia de aproveitamento não agride o meio ambiente. O que contribuirá com a diminuição nas emissões de poluentes e trará flexibilidade à matriz energética, já que representa um processo de diversificação dos recursos energéticos considerados. As grandes dificuldades são o alto preço a ser pago pela opção e a necessidade de formulação e construção de uma estrutura capaz de gerenciar essa atividade.

Portanto, cabe à sociedade optar pela inserção dos sistemas fotovoltaicos e pelo ganho de maturidade no uso de recursos energéticos renováveis. Aos governos cabe responder a esse anseio, implementando mecanismos de incentivo ao uso dos sistemas fotovoltaicos e regulamentando essa atividade. Cabe também aos governos montar a estrutura organizacional dessa atividade, além de fiscalizá-la. Cabe ao fabricante garantir a oferta de equipamentos homologados segundo normas específicas e a divisão com a sociedade da renda adquirida graças ao aumento e consolidação do mercado fotovoltaico – o que significa repassar ao consumidor a diminuição dos custos de produção decorrentes do crescimento de seu mercado. O estabelecimento destas condições de contorno, inclusive nas grandes cidades dos países em desenvolvimento, permitirá manter o crescimento atual da indústria fotovoltaica e conseqüentemente obter, no futuro, reduções substantivas no custo dos sistemas.

Referências

- [1] Alsema, E. A., ***Energy Pay-back Time and CO₂ Emissions of PV Systems***. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 8:17-25, 2000.
- [2] Fthenakis, V. M. and Moskowitz, P. D., ***Photovoltaics: Environmental, Health and Safety Issues and Perspectives***. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 8: 27-38, 2000.
- [3] Alsema, E. A. and Nieuwlaar, E., ***Energy Viability of Photovoltaic Systems***. Energy Policy, 28: 999-1010, 2000.
- [4] Fthenakis, V. M., ***End-of-life Management and Recycling of PV Modules***. Energy Policy, 28: 1051-1058, 2000.

[5] Parente, V., Goldemberg, J. and Zilles R., ***Comments on Experience Curves for PV Modules***. Progress in Photovoltaics Research and Applications, 8: 571-574, 2002.