



A EXPANSÃO DA OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA NOS CENTROS URBANOS BRASILEIROS POR MEIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

Ricardo da Silva Benedito¹

Roberto Zilles²

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo traçar perspectivas a respeito da produção de eletricidade por meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) no Brasil e de sua inserção em grande escala na matriz elétrica como forma complementar de geração de energia elétrica. Os SFCR trazem diversos benefícios ao Sistema Elétrico e ao ambiente, por produzirem energia de forma limpa e silenciosa, nos próprios locais de consumo, evitando a construção de grandes plantas geradoras e dispensando gastos adicionais com transmissão e distribuição. Em geral, esses sistemas podem ser integrados à arquitetura das edificações, aproveitando-se a cobertura de estruturas pré-existentes no ambiente construído. Ainda assim, e embora apresente elevado potencial solar, o Brasil possuía, ao final de 2009, uma potência instalada de apenas 161,32 kW_p referentes aos SFCR, valor considerado ínfimo comparado, por exemplo, com os 4,5 GW_p instalados somente na Europa no ano de 2008. Este estudo mostra que o custo de geração a partir dos SFCR ainda é elevado, chegando a ser 2,4 vezes maior do que a tarifa residencial média praticada no Brasil, o que inviabiliza comercialmente a tecnologia. Por outro lado, aponta uma tendência de equiparação entre esses dois valores já na próxima década para diversas localidades, o que tornará os SFCR uma alternativa viável. Porém, para que a falta de critérios técnicos adequados não prejudique a disseminação da tecnologia no futuro, faz-se necessária a correta regulamentação da atividade pelos agentes do Setor Elétrico.

Palavras - chave: geração distribuída, sistemas fotovoltaicos, energia solar

¹ Doutorando do Programa de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. Email: risibe@usp.br

² Líder do Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo - IEE/USP - Email: zilles@iee.usp.br. Endereço: Av. Prof. Luciano Gualberto 1289, CEP 05508-010, São Paulo - SP -Tel. 11 3091-2632



ABSTRACT

This paper aims to outline perspectives on the electricity production through Grid-Connected Photovoltaic Systems (GCPS), in Brazil, and its insertion on a large scale in the energy matrix, as a supplementary power generation source. The GCPS bring several benefits to the Electrical Sector and the environment by producing energy cleanly and quietly in the places of consumption, avoiding the construction of large power plants and avoiding additional costs with transmission and distribution. In general, these systems can be integrated into the buildings architecture, taking advantage of the rooftop of pre-existing buildings. But, although it has high solar potential, Brazil had been installed a capacity of only 161.32 kW_p GCPS until December 2009, a value considered negligible compared, for instance, with 4.5 GW_p installed in Europe alone in 2008. This study shows that the cost of generation from a GCPS is still high, reaching to 2.4 times higher than the average residential tariff practiced in Brazil, which turns the technology impracticable commercially. But it shows a trend of equalization between these two values in the next decade for various locations, which will certainly make the GCPS to be considered as an alternative for expanding the energy supply. But for the lack of appropriate technical criteria do not affect the spread of this technology in the future, it is necessary a correct regulation of this activity by the staff of the Electrical Sector.

Keywords: distributed generation, photovoltaic systems, solar energy

1. INTRODUÇÃO

A concepção de SFCR instalados em unidades consumidoras de baixa tensão em centros urbanos pode ser compreendida com o auxílio da Figura 1, adaptada do original disponibilizado por Milestone Solar Consultants³.

Na imagem, um conjunto de módulos fotovoltaicos (1) instalados sobre o telhado da edificação ou sobre suportes fixados em solo converte a energia luminosa em energia elétrica. Uma caixa de proteção (2) permite desconectar o sistema quando necessário. A eletricidade produzida apresenta-se na forma de corrente contínua, a qual é incompatível com a maioria dos equipamentos elétricos, uma vez que esses geralmente funcionam em corrente alternada. Daí a necessidade de um inversor (3), equipamento

3 Disponível em: < <http://milestonesolar.com/images/gridtiesolar.png>>. Acesso em: <19 jul 2010>.



cuja principal função é converter a corrente contínua fotogerada em corrente alternada, com frequência e tensão compatíveis com as da rede elétrica. No esquema, o inversor está ligado ao quadro geral de conexões (4), no qual também estão ligados os cabos que levam energia aos equipamentos que compõem a carga (5). Um interruptor AC (6) permite interromper o fornecimento de energia vinda da concessionária, e o medidor (7) é bidirecional, girando num sentido quando a unidade consumir energia da rede de distribuição (8) e no sentido oposto quando a unidade enviar energia à rede.

Dependendo da finalidade da planta e da presença ou não de incentivos à energia fotogerada, diversas formas de conexão do sistema são possíveis, como descrito por BENEDITO, R.S. et al (2008).

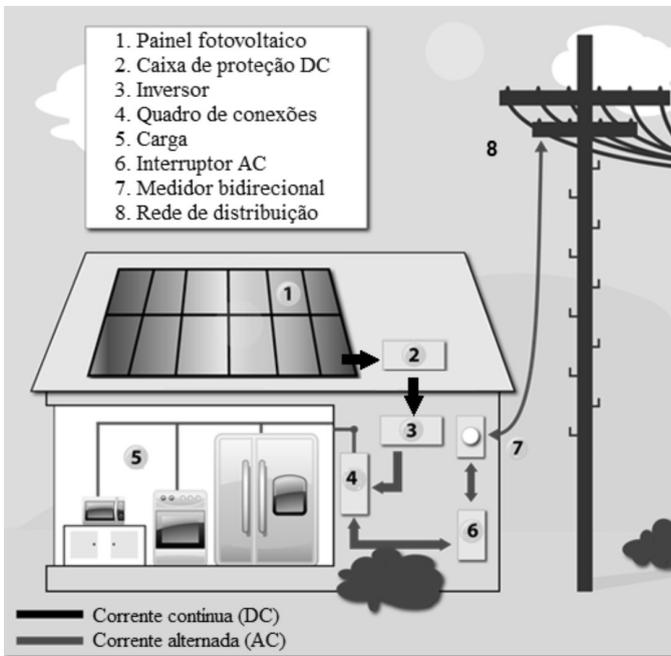


Figura 1: Diagrama de um SFCR residencial

Sendo assim, o diagrama da Figura 1 apresenta apenas uma das possibilidades de configuração, na qual o SFCR fornece energia para suprir total ou parcialmente o consumo da residência e, nos momentos em que houver excedentes na produção de eletricidade, esses serão injetados na rede elétrica. Medidores adicionais também poderão ser instalados para se conhecerem separadamente as quantidades de energia produzidas pelo SFCR, compradas da rede e consumidas pelos equipamentos de monitoramento.



Como a tecnologia dos SFCR possui caráter modular, a oferta de energia para um dado conjunto de unidades consumidoras pode ser planejada de acordo com a demanda específica daquela região, evitando-se a construção de grandes empreendimentos, como hidrelétricas. Ademais, devido ao fato de produzirem eletricidade nos próprios locais de consumo, os SFCR dispensam gastos adicionais com transmissão e distribuição. Quando em funcionamento, eles operam de forma silenciosa, sem emissão de poluentes, aproveitando a energia radiante incidente nos próprios locais de instalação.

As aplicações para esses sistemas são as mais diversas possíveis, como ilustram as imagens a seguir. A Figura 2, por exemplo, apresenta um SFCR de 3 kW_p no estacionamento do IEE/USP. O detalhe é que a estrutura dos módulos serve como elemento de sombreamento aos carros ao mesmo tempo em que produz eletricidade. Já a Figura 3 mostra um sistema de 1,5 kW_p montado sobre um bote flutuante, no Restaurante Lampião, às margens do Rio São Francisco, em Piranhas – AL. A instalação tem o formato de um Tucunaré, peixe bastante saboreado na região, configurando-se, dessa forma, em mais um atrativo turístico do local (BARBOSA, E. et al, 2008).



Figura 2: SFCR de 3,0 kW_p no estacionamento do IEE/USP.

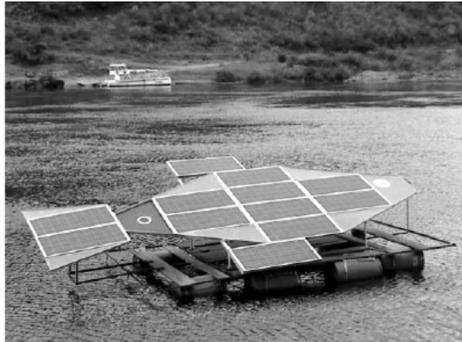


Figura 3: SFCR de 1,5 kW_p do Restaurante Lampião – AL

2. ESTADO DA ARTE DOS SFCR NO BRASIL E NO MUNDO

Até o final de 2009, o país havia instalado 39 SFCR, dos quais 35 encontravam-se em funcionamento, totalizando uma potência operacional de 161,32 kW_p (BENEDITO, R.S., 2009). Entre Janeiro e Maio de 2010, foi registrada a entrada em operação de mais 5 sistemas, os quais não estão contabilizados neste trabalho.



Como se pode observar na Tabela 1, a maior parte dessas instalações está situada nas regiões Sudeste e Sul, e os projetos que lhes deram origem encontram-se vinculados a universidades, concessionárias de energia e centros de pesquisa, com uma pequena participação da iniciativa privada.

A pequena potência instalada, o fato de a maior parte dessa potência situar-se em estados com menor potencial solar e a baixa participação de capital privado nos projetos revelam o atual desinteresse comercial na tecnologia, o que certamente tem relação com os elevados custos de instalação de um SFCR.

Tabela 1 - SFCR em operação no Brasil até Dezembro de 2009

LOCAL	SISTEMAS	POTÊNCIA (kW _p)
Universidade Federal de Santa Catarina - LabSolar	3	13,2
Universidade de São Paulo – LSF	4	16,1
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	1	4,8
Universidade Federal de Pernambuco – Grupo FAE	3	5,7
Universidade Federal de Juíz de Fora	1	31,7
Universidade Federal do Pará - GEDAE	1	1,6
Universidade Estadual de Campinas – LH2	1	7,5
CEPEL - Centro de Pesquisas em Energia Elétrica	1	16,0
CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina	3	4,2
CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais	4	11,0
Eletrosul Centrais Elétricas S.A.	2	14,3
Tractebel Energia	3	6,0
Intercâmbio Eletro Mecânico - Porto Alegre	1	3,3
ClínicaHarmonia - São Paulo	1	0,9
GREENPEACE - Sede São Paulo	1	2,9
Residências Particulares	2	3,9
Solaris (Leme -SP)	1	1,0
Grupo Zeppini	2	17,1
TOTAL	35	161,32

Mas, em termos mundiais, incentivos proporcionados por países-chave vêm diminuindo essa barreira econômica, e a potência acumulada tem crescido vertiginosamente. A Figura 4 mostra a evolução da potência



acumulada nos países membros do PVPS (Photovoltaic Power Systems Programme), entre 1992 e 2008.

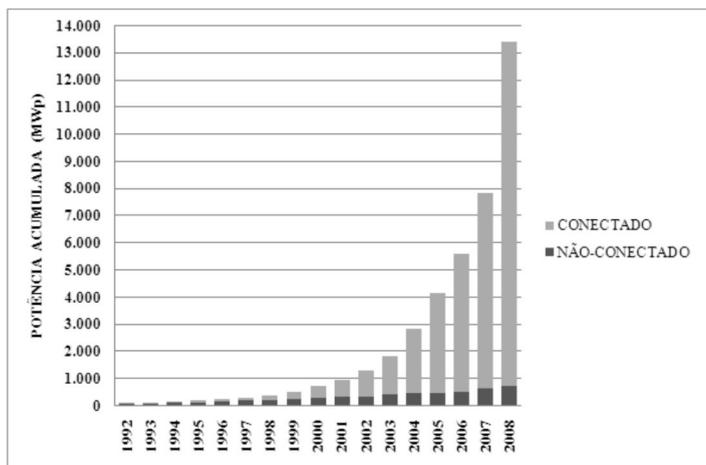


Figura 4: Evolução da potência instalada nos países membros do PVPS entre 1992 e 2008

Nesses países, a potência dos sistemas fotovoltaicos instalados chegou a $13,4 \text{ GW}_p$ ao final de 2008, sendo que, desse total, $12,7 \text{ GW}_p$ ou 94,5% correspondiam a sistemas conectados à rede (IEA, 2009).

Somente em 2008, foram instalados $5,7 \text{ GW}_p$, um crescimento de 150% em relação ao ano anterior. A Espanha e a Alemanha, juntas, respondem por 75 % desse acréscimo. Corroborando esses dados, recente estudo divulgado pela EPIA (European Photovoltaic Industry Association) mostrou que, em 2008, foram instalados $4,5 \text{ GW}_p$ somente na Europa, o que já representa cerca de 19% do incremento da potência instalada no continente. O mesmo trabalho propõe que, criadas as condições necessárias, a eletricidade gerada por módulos fotovoltaicos suprirá até 12% da demanda na Europa, em 2020 (EPIA, 2010).

3. CUSTO MÉDIO DA ELETRICIDADE GERADA POR UM SFCR NO BRASIL

O custo (C) da eletricidade gerada a partir de um SFCR depende de uma série de fatores, como o investimento inicial (I_{nv}) na aquisição e montagem de equipamentos, o custo de operação e manutenção do sistema



($O&M$), o tempo de vida útil da planta (N), a taxa de desconto adotada (r) e, essencialmente, o fator de capacidade da instalação (CF).

Utilizando-se a expressão proposta por ZILLES e OLIVEIRA (1999), apresentada na Equação 1, a qual relaciona todos os parâmetros acima, foram estimados os custos de geração para dez localidades.

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

Para o cálculo do fator de capacidade, partiu-se de dados históricos de irradiação, estimados com base em dados de estações meteorológicas em terra - através do software Radiasol 2.1 e do estabelecimento de uma potência nominal de 1 kW_p. Para a estimativa do custo de capital inicial (turn key), considerou-se a opção pela importação dos módulos e inversores e pela nacionalização da mão de obra e demais equipamentos - o investimento inicial necessário encontrado foi de US\$ 8.500,00 /kW_p. A composição exata desse custo encontra-se devidamente descrita por BENEDITO, R.S. (2009). Por fim, considerou-se uma taxa de desconto de 7% ao ano, uma vida útil de 25 anos e um custo de OM anual correspondente a 1% do investimento inicial. Os resultados podem ser visualizados na Figura 5. Os valores foram ajustados para serem expressos em US\$/kWh.

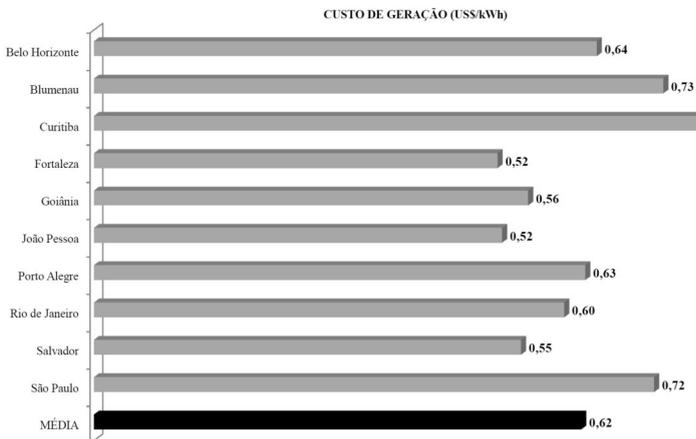


Figura 5: Custo de Geração a partir de um SFCR para as 10 localidades selecionadas



Observa-se que o custo de geração é inversamente proporcional ao fator de capacidade do SFCR. Dessa forma, nas cidades da Região Nordeste (Fortaleza, João Pessoa e Salvador), onde o recurso solar é mais intenso, o custo de geração é mais barato. Em contrapartida, localidades menos privilegiadas quanto à disponibilidade de radiação solar, como Blumenau, Curitiba e São Paulo, apresentam custo de geração superior à média.

4. TENDÊNCIA À PARIDADE TARIFÁRIA

No Brasil, o custo de geração a partir de um SFCR integrado a uma edificação de porte residencial é, em média, 2,4 vezes maior que a tarifa praticada pelas distribuidoras locais, as quais revendem energia produzida a partir de fontes convencionais. Sendo assim, em termos atuais, a tecnologia ainda não é competitiva. Mas esse quadro tende a mudar em poucos anos, já que, se por um lado o custo de equipamentos fotovoltaicos vem sofrendo uma redução significativa, por outro a tarifa cobrada pela energia convencional torna-se cada vez mais cara.

Um estudo feito por IEA (2007) mostra que, entre 1996 e 2006, o custo dos sistemas fotovoltaicos em alguns mercados-chave sofreu redução superior a 40%. A EPIA sugere uma redução de 8% ao ano até 2020, tendo em vista o aumento da produção e os avanços tecnológicos esperados (EPIA, 2010). Por outro lado, segundo consta num estudo do MME (Ministério de Minas e Energia), a energia fornecida ao setor residencial no Brasil deixou de estar entre as dez mais baratas do mundo, em 1995, para ser a 20ª mais cara em 2008, neste caso estando à frente de Estados Unidos, China e Índia (MME, 2009).

Se as tendências de queda no custo de equipamentos fotovoltaicos e de alta na tarifa se confirmarem, vislumbra-se, dentro de alguns anos, um momento em que haverá a equiparação entre o custo de geração por meio de SFCR e o valor da tarifa sobre energia convencional entregue ao consumidor final. Essa equiparação vem sendo chamada, na literatura, de *paridade tarifária*, e poderá ocorrer em menos de uma década, para diversas localidades brasileiras.

Assumida a premissa da paridade, foi desenvolvido um modelo para se estimar em quanto tempo ela ocorrerá para as mesmas 10 localidades já citadas nesse estudo. Pressupôs-se uma redução percentual constante (*RED*) de 5% ao ano no custo de geração (*C*). Esse valor é considerado compatível



com o verificado por IEA (2007) entre 1996 e 2006 (5%) e conservador em relação ao estimado por EPIA (2010) entre 2010 e 2020 (8%). Também foi assumido um aumento anual (AUM) constante de 6% ao ano na tarifa residencial (T_o) praticada atualmente, percentual inferior ao reajuste anual médio de 8,1% aplicado à tarifa residencial entre 1997 e 2009, segundo dados divulgados pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

Benedito, R.S. (2009) demonstrou que o tempo de paridade (n_{PAR}), para cada localidade selecionada, em função dos parâmetros citados anteriormente, pode ser encontrado a partir da aplicação da Equação 2.

$$n_{PAR} = \frac{\log(T_o/C)}{\log[(1 - RED) / (1 + AUM)]} \quad (2)$$

A Figura 6 mostra os resultados encontrados na simulação. Nas cidades com maior tarifa e cujos SFCR apresentam maior fator de capacidade, a paridade dar-se-á em menos tempo. É o que ocorre, por exemplo, nas capitais Fortaleza e João Pessoa. Por outro lado, em locais onde a incidência de radiação solar é menor e a tarifa praticada é inferior à média, como São Paulo e Blumenau, a equiparação só ocorrerá após pelo menos uma década. Um caso à parte é Belo Horizonte, onde o recurso solar disponível não é superior à média, mas, por ter uma tarifa cara, verificará a paridade antes de Salvador, na ensolarada Região Nordeste.

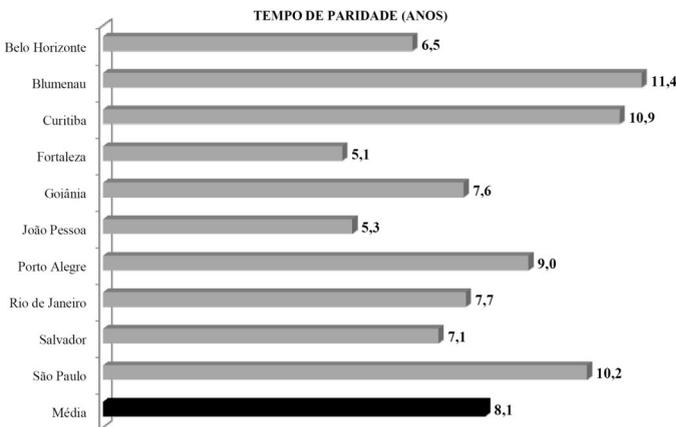


Figura 6: Tempo de paridade para as 10 localidades selecionadas



Os resultados obtidos para o tempo de paridade são semelhantes aos obtidos por outros autores, os quais utilizaram metodologias distintas, como é o caso de SALAMONI, I.T. (2009).

5. A NECESSIDADE DE REGULAMENTAÇÃO DOS SFCR

A legislação brasileira ampara a implantação de SFCR, desde a permissão de funcionamento da planta, passando pela efetivação da conexão às redes de distribuição, até as regras de uma possível comercialização da energia produzida. Mas uma questão que se coloca em discussão é o fato de não haver uma legislação específica para esses sistemas, de forma que o enquadramento legal que se faz da tecnologia é baseado em Leis e Decretos mais genéricos do Sistema Elétrico, “remendados” com a expedição de Resoluções pela ANEEL. Outro ponto importante é a ausência de regulamentação para os SFCR, fato que poderá comprometer a disseminação da tecnologia, num provável contexto de paridade tarifária.

O Decreto Federal Nº 2003/1996 libera da necessidade de Concessão Pública ou Autorização centrais geradoras com potência menor que 5 MW, estando estas obrigadas apenas a efetuar o Registro junto à ANEEL para entrar em operação. O texto, porém, contempla apenas centrais hidroelétricas e termoeelétricas, não fazendo menção direta às centrais de outras fontes de energia. Visando-se a abarcar também as centrais eólicas e de outras fontes de energia, incluindo as fotovoltaicas, tornou-se necessária a publicação da Resolução ANEEL Nº 112/1999.

O requerente do Registro de um SFCR pode ser enquadrado em duas categorias: AP (Autoprodutor) ou PIE (Produtor Independente de Energia). No primeiro caso, o proprietário, que pode ser pessoa física, empresa ou grupo de empresas reunidas em consórcio, produzirá energia para consumo próprio, podendo comercializar apenas o excedente de sua produção. Se, por outro lado, o requerente for reconhecido como PIE, a planta irá produzir energia destinada exclusivamente à comercialização. Nesse sentido, um dos defeitos da legislação é o fato de apenas pessoas jurídicas poderem ser classificadas como PIE, o que impediria o investimento, por parte de pessoas físicas, em SFCR com o objetivo exclusivo de vender energia às concessionárias locais, como já ocorre em países da Europa, nos casos em que essa atividade se mostrasse viável economicamente.

A possível comercialização da energia proveniente de geração



distribuída, inclusive de SFCR, teve seu mercado definido pelo Decreto Nº 5163/2004, que o considera composto pelas concessionárias de distribuição. Estas devem atender a 100% da demanda dos seus consumidores e, para isso, podem adquirir até 10 % das suas necessidades energéticas junto a geradores distribuídos.

O acesso às redes de distribuição se dá mediante solicitação junto à concessionária, a qual deverá estabelecer os pré-requisitos mínimos para conectar a central geradora, com base no PRODIST - Procedimentos de Distribuição (ANEEL, 2008).

Enfim, nota-se que os diversos aspectos que envolvem a produção de eletricidade através de SFCR (permissão para funcionamento, conexão à rede e comercialização da energia) são contemplados pela lei, mas de forma genérica e não específica. Uma regulamentação séria, discutida previamente entre especialistas de universidades, ANEEL, MME, concessionárias de energia, fabricantes de equipamentos fotovoltaicos e empresas instaladoras é crucial. Através da definição de parâmetros técnicos referentes a dimensionamento, segurança, desempenho e qualidade da energia, evitar-se-á a instalação de sistemas mal configurados, que provoquem acidentes e que não atinjam padrões mínimos de produtividade e de compatibilidade com equipamentos elétricos e redes de distribuição.

6. CONCLUSÃO

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede têm sua viabilidade técnica comprovada, com diversas possibilidades de utilização no ambiente construído e inúmeras vantagens ao Sistema Elétrico brasileiro e ao ambiente. Mas o elevado custo de geração a partir desses sistemas constitui uma barreira econômica inicial à sua inserção em larga escala na matriz elétrica. A potência operacional instalada em território nacional, ao final de 2009, era de apenas 161,32 kW_p, sendo a maioria dos projetos ligados a pesquisa e desenvolvimento, o que demonstra o desinteresse comercial pela tecnologia. A principal contribuição desse estudo foi corroborar os resultados de outros trabalhos em relação ao fato de que, em menos de uma década, o custo de geração deixará de ser o ponto nevrálgico da questão, pois se visualiza uma tendência à paridade tarifária para diversas localidades. O principal problema que se pode ter, no futuro, e que tem de ser enfrentado a partir de agora, é o aprimoramento da legislação que regula a geração



distribuída, pavimentando-se o caminho para a criação de um sólido mercado de equipamentos fotovoltaicos, caso os planejadores do Sistema Elétrico assimilem as vantagens de se expandir a oferta de energia elétrica por meio dos SFCR.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição, Brasília, 2008.

BARBOSA, E., et al. **Grid-connected system of Lampião Restaurant – NE/Brazil**. In: X WREC- World Renewable Energy Congress, 2008, **CD-ROM**. Glasgow: WREC, 2008.

BENEDITO, R. S.. Caracterização da Geração Distribuída de eletricidade por meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

BENEDITO, R. S., MACEDO, W. N.; ZILLES, R.. A produção de eletricidade com sistemas fotovoltaicos conectados à rede: barreira econômica, pontos de conexão e mecanismos de incentivo, II CBENS - II Congresso Brasileiro de Energia Solar, Florianópolis, 2008.

EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION (EPIA). Solar Photovoltaic Electricity: A mainstream power source in Europe by 2020, Brussels - Bélgica, 2010.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Photovoltaic Power Systems Programme. Trends in photovoltaics applications: Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2008, Suíça, 2009.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Photovoltaic Power Systems Programme. Trends in photovoltaics applications: Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2006, Suíça, 2007.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Departamento de Gestão do Setor Elétrico. Informe Tarifário: Energia Elétrica, Brasília, 2009.

SALAMONI, I.T. Um programa residencial de telhados solares para o Bra-



sil: diretrizes de políticas públicas para a inserção da geração fotovoltaica conectada à rede elétrica. Florianópolis, 2009. 187p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

ZILLES, R. , Oliveira, S. H. F. O Preço do W_p e o Custo do kWh Fornecido por Sistemas Interligados à Rede Elétrica, VIII CBE - Congresso Brasileiro de Energia, ANAIS, pp 743-748, Rio de Janeiro, 1999.