

## A PROPOSTA DE UMA TIPOLOGIA DE KITS PARA A DISSEMINAÇÃO DA TECNOLOGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

**Ísis Portolan dos Santos** – isisporto@gmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, LabEEE

**Isabel Tourinho Salamoni** – bellll@hotmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, LabEEE

**Ricardo Rütther** – ruther@mbox1.ufsc.br

Universidade de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, LABSOLAR e LabEEE

### 3.6. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

**Resumo.** A geração de energia baseada em combustíveis fósseis é uma das principais causas da poluição global. A utilização da energia solar fotovoltaica (FV) é uma alternativa, que vem sendo usada por diversos países, para diversificar a matriz energética, utilizando uma fonte limpa e inesgotável que é o sol. A partir da integração de módulos fotovoltaicos às edificações é possível gerar energia no ponto de consumo, diminuindo assim as perdas energéticas ocasionadas nas linhas de transmissão e de distribuição. A conexão direta dos sistemas FV à rede elétrica elimina a necessidade de sistemas de baterias e permite que a energia seja utilizada após sua geração por qualquer consumidor que esteja conectado à rede. Este trabalho propõe a criação e disseminação de kits pré-definidos, englobando módulos FV e demais equipamentos para a instalação completa do gerador FV na residência e a sua conexão à rede. Os kits podem ser instalados em quaisquer residências já construídas ou mesmo em novas, facilitando a instalação e eliminando a necessidade e os custos de um projeto de integração específico para cada sistema. A partir do momento em que a utilização dos kits for difundida, uma produção industrial em escala será possível, diminuindo assim o custo do sistema. Uma simulação realizada em um bairro residencial de Florianópolis-SC demonstrou que existe área de telhado suficiente para locação de um kit de 1 kWp em praticamente todas as residências unifamiliares, e que esta geração é capaz de contribuir no suprimento da demanda do bairro. Deste modo um sistema de kits seria um meio de alavancar essa tecnologia no país a partir dos consumidores residenciais. O presente trabalho também ressalta, baseado na análise da legislação atualmente em vigor, a importância de um mecanismo de incentivo específico para a tecnologia FV, bem como a necessidade de readaptar alguns mecanismos legais para dar suporte e inserir no contexto legal essa fonte renovável de energia.

**Palavras-chave:** Energia Solar Fotovoltaica, Tecnologia da Edificação, Energia integrada à Edificação

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização das energias de base fóssil, principalmente após a revolução industrial, gerou vários problemas ambientais da atualidade. Entre eles estão a poluição do ar urbano, a chuva ácida, o desmatamento e a desertificação, a degradação marinha, os alagamentos, a contaminação radioativa e, principalmente o efeito estufa e as mudanças climáticas (Reis, Fadigas et al. 2005). A partir deste degradante cenário ambiental, as energias renováveis surgem como um meio de permitir o contínuo desenvolvimento da humanidade, de uma forma mais sustentável. Em 2007 a alta dos preços dos combustíveis fósseis e alguns interesses políticos encorajaram o crescimento das fontes renováveis em muitos países.

Dentre as energias renováveis a energia FV é uma das fontes com menor impacto ambiental, já que transforma diretamente a luz do sol em energia elétrica, não emite nenhum gás, não provoca ruídos e ainda não necessita de disponibilidade de novas áreas, já que pode ser integrada às edificações. Além disto, a utilização dos geradores solares fotovoltaicos estrategicamente localizados no sistema de distribuição pode trazer grandes vantagens ao setor elétrico (Jardim et al, 2007).

No mundo já existem diversos países com programas nacionais de incentivo à geração fotovoltaica, principalmente integrada às edificações, o que tem causado aumento da produção e diminuição dos preços (Zahedi 2006). Esses países têm investido significativamente nessa fonte de geração, mesmo apresentando níveis de radiação solar relativamente baixos, quando comparados aos do Brasil.

Existem dois tipos gerais de políticas regulatórias de acesso à rede: sistema de preços (*feed-in-tariff*) e sistema de quotas (*Rebates*). No sistema de preços, os operadores da rede ou concessionárias são obrigados a aceitar a energia gerada por fontes renováveis e a pagar uma tarifa mínima fixada. Os preços são diferentes para cada tecnologia, porte e localização. Isso evita que somente as tecnologias mais baratas sejam promovidas e que apenas as áreas mais favorecidas sejam desenvolvidas. O pagamento é garantido por um período de tempo pré-determinado, declinando anualmente e reajustado anualmente para novas entradas. O declínio dos preços pagos a estas fontes de energia reflete a curva de aprendizado da tecnologia (redução de custos de produção em função do aumento cumulativo em capacidade

instalada, atraindo investidores a longo prazo). Esse tipo de política apenas é adotada para sistemas conectados à rede elétrica. A vantagem deste modelo é que não é necessário um investimento inicial por parte do governo.

O sistema de quotas é considerado o inverso do sistema de preços. Nele, ao invés do governo fixar um preço para a tarifa, ele estipula um alvo de potência instalada, ou seja, uma potência pré estabelecida, e confia que o mercado irá determinar o preço da mesma. O governo estipula o mínimo de quota de capacidade ou energia gerada por fontes renováveis de energia e subsidia o custo da instalação dos equipamentos. Esse mandato pode ser aplicado aos consumidores finais, produtores ou distribuidores. As quotas podem ser aplicadas a sistemas isolados ou interligados na rede. Comparado com o sistema de preços, existem relativamente menos experiências com quotas, e essas são maiores nos países desenvolvidos (Holm, 2005). Isso se deve, principalmente, pelo fato de que nesse modelo, é necessário um investimento inicial alto do governo, o que para os países em desenvolvimento torna-se inviável.

No Japão o programa de incentivo à geração FV foi iniciado em 1974, o *Sunshine Project*. A opção pela tecnologia fotovoltaica surgiu da escassez de áreas disponíveis no país, e da concentração de grande população em pequenas áreas. Assim a integração de uma matriz energética junto às edificações parecia uma estratégia viável, ainda que não houvesse uma tecnologia consolidada (Kurokawa and Ikki 2001). Na Austrália o Programa Australiano de Incentivo Fotovoltaico (*Australian Photovoltaic Rebate Programme*) iniciou em 2000. Segundo PARKER (2008) este programa previa um fundo de incentivo para as instalações fotovoltaicas, que a partir de 2002 atingiu cerca de 1000 instalações por ano, utilizando cerca de 95% do fundo, em 2006 este programa foi revisto e uma nova iniciativa previa mais incentivos para desenvolver a tecnologia fotovoltaica com conexão à rede, já que no primeiro programa grande parte dos investimentos foram utilizados para sistemas isolados.

A Alemanha é considerada o país com o mais bem sucedido mecanismo de incentivo às energias renováveis. A chave para esse sucesso é o mecanismo baseado no sistema *feed-in-tarif*. Nesse sistema, o produtor independente de energia que instalar o seu sistema de forma conectada à rede elétrica passa a ser também um mini-gerador. Assim, toda energia gerada é vendida à rede com uma tarifa prêmio, e a demanda continua sendo suprida totalmente pela concessionária (Wenzel, 2007). Os recursos são captados através de um pequeno acréscimo na tarifa de todos os consumidores e são depositados num fundo utilizado para reembolsar (em forma de tarifa prêmio) os consumidores que tenham instalado os sistemas fotovoltaicos. Neste caso, o incentivo é pago gradualmente, como um prêmio por kWh ao longo de vários anos, permitindo que os consumidores recuperem os seus investimentos num período de 10 a 12 anos (Holm, 2005).

A Espanha também é considerada um dos países que apresentam um eficaz mecanismo de incentivo às energias renováveis, também baseado no sistema de preços. Juntamente com a Alemanha, são os países considerados responsáveis pelo aumento da utilização das energias renováveis na Europa. O país deu início ao seu programa, relativamente cedo, em 1980, mesmo assim, em 2004 ainda havia algumas regiões na Espanha com nenhum mecanismo de suporte para os sistemas FV conectados à rede. A situação mudou em 2005, quando todos os governantes regionais passaram a adotar programas de incentivo. Embora os dois países adotem o mesmo sistema de mecanismo, o mecanismo espanhol difere do alemão em alguns aspectos. As principais diferenças estão no período de pagamento das tarifas prêmio, tempo de duração do programa, valores de tarifa prêmio pagos a cada tecnologia por kWh produzido, bem como na redução anual das tarifas (Ragwitz; Huber, 2007).

Esses programas são interessantes, pois estimulam o aumento da fabricação em série. Isso, conseqüentemente reduz o custo da tecnologia, até atingir o momento em que não sejam mais necessários subsídios por parte do governo. Uma análise para os EUA demonstrou que as residências só se tornariam o principal mercado da tecnologia fotovoltaica, quando o preço dos módulos fosse menores que US\$2,00/Wp (Duke, Williams et al. 2005).

No Brasil já há uma parcela considerável de geração de energia produzida por fontes renováveis. Somente a hidroeletricidade, responde por 75% da geração elétrica do país (BEN 2007). Mesmo que a hidroeletricidade seja considerada uma fonte renovável, as grandes centrais hidroelétricas causam danos bastante significativos. Hoje em dia, principalmente as questões sociais e ambientais fazem com que muitas obras de novas usinas sejam retardadas, oneradas ou embargadas, fazendo com que haja um aumento nos custos envolvidos para a sua implantação. Ao mesmo tempo, a maior parte dos potenciais hidrelétricos já foi explorada e os restantes nem sempre se viabilizam, principalmente pelos altos investimentos em linhas de transmissão e distribuição, associados às dificuldades de licenciamento ambiental.

O Brasil possui excelentes níveis de radiação solar, pois está localizado numa faixa de latitude na qual a incidência de radiação solar é muito superior à verificada no restante do mundo. Essa característica coloca o país em vantagem com relação aos países industrializados no que tange à utilização da energia solar FV (Pereira; Martins et al, 2006). Como a geração FV depende fundamentalmente da disponibilidade de radiação solar, países tropicais como o Brasil têm potenciais de geração ainda maiores.

Embora as energias renováveis pareçam ser o caminho para o desenvolvimento sustentável e do grande potencial brasileiro para a aplicação dessas, ainda não há no país uma regulamentação clara e eficaz para atuação das mesmas. Mesmo que o Brasil já tenha dado início ao incentivo às fontes renováveis de energia, a energia solar FV, que é o foco deste trabalho, não tem sido contemplada pela legislação em vigor. Atualmente, somente a hidroeletricidade e a biomassa estão contribuindo significativamente para o suprimento energético do país (Krauter; Kissel, 2005). Portanto, o Brasil carece de uma regulamentação clara e eficaz, bem como de um mecanismo de incentivo apropriado, que possa amparar e dar fomento ao desenvolvimento da energia fotovoltaica.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma tipologia de sistemas fotovoltaicos, como kits, para serem replicados em diversas coberturas de edificações e analisar os mecanismos legais e regulatórios para a implementação dos mesmos. Os kits têm por finalidade, disseminar a tecnologia FV no Brasil, de forma a reduzir os custos envolvidos para a sua aplicação.

Como objetivos específicos têm-se: definir uma tipologia de kits, analisar o potencial de geração destes sistemas e, verificar a possibilidade de inserção dos mesmos a partir das legislações existentes ou de reavaliação das mesmas.

## 3. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido a partir da definição das características dos kits de sistemas fotovoltaicos, da análise do potencial de geração que eles teriam se fossem instalados na cobertura das edificações da cidade de Florianópolis-SC, e da análise da legislação existente para dar suporte à implementação da tipologia proposta.

Os kits foram primariamente pensados de modo a facilitar sua integração junto às edificações. Assim, a premissa inicial do sistema foi de que estes devem ocupar uma área relativamente pequena, mais facilmente encontrada nas coberturas, e ainda devem estar localizados na melhor orientação da cobertura. Ou seja, na região com maior incidência solar e mais livre de sombreamento. São propostas duas tecnologias de módulos fotovoltaicos para este sistema, com características diferentes de geração. Foi mantida a mesma área de abrangência e variada a potência instalada. Deste modo foram propostos dois kits, com mesma área, mas diferentes potências, criando também um diferencial de preço entre os sistemas, já que esta tecnologia é comumente vendida por potencial instalado, e não por área. Na proposição do kit também foram definidos os demais elementos que compõe toda instalação, desde o arranjo fotovoltaico, inversores e conexão à rede.

A análise do potencial de geração foi feita a partir de dados obtidos através dos sistemas FV já instalados em Florianópolis. Foram analisados dois sistemas com diferentes tecnologias: Silício amorfo (a-Si) e silício poli cristalino (p-Si). Essas duas tecnologias foram as mesmas adotadas para os kits propostos. Foram coletados os dados de geração média diária mensal e total mensal e anual dos dois sistemas. Os dados foram referentes ao ano de 2007. As duas tecnologias apresentam características diferentes, bem como comportamentos, sob as mesmas condições climáticas. Dessa forma, foi feita uma análise entre os diferentes valores de geração FV obtidos.

Para a simulação do potencial de geração dos kits foi identificado e caracterizado as coberturas das residências de um bairro de Florianópolis, e também foi levantado o consumo deste bairro através de seu alimentador urbano da rede elétrica. A simulação de geração dos kits foi calculada considerando as diferentes inclinações e azimutes dos telhados em que os módulos FV seriam instalados, sendo os valores de inclinação e azimute obtidos através de amostragem de plantas de cobertura de residências unifamiliares do bairro em estudo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O trabalho foi dividido em três etapas para análise específica de cada tema. São elas: a definição dos kits, a análise do potencial de geração dos mesmos e, a análise da legislação existente.

### 4.1 Definição dos sistemas de kits

A tipologia de Kits com a tecnologia fotovoltaica já é encontrada em algumas empresas e fabricantes no mundo. Dentre os associados na EPIA (*European Photovoltaic Industry Association*) encontramos as empresas Solar World, PHOTOWATT, *Solar Solutions*. Os kits dessas empresas são compostos pelos materiais necessários para a instalação de sistemas fotovoltaicos integrados à rede elétrica, com potência variando entre 1,3 e 6,5 kWp. Dentre os componentes fornecidos pelos kits estão os módulos fotovoltaicos, moldura, componentes para fixação na cobertura, inversor, caixa de proteção e conexão à rede, e os cabos e conectores necessários.

Os kits propostos neste trabalho têm abrangência de componentes similares aos kits já existentes, mas a potência e o material utilizado serão compatíveis ao interesse da pesquisa, que é de criar um sistema de fácil disseminação no mercado brasileiro. Sendo assim os kits terão menores potências (considerando os kits mencionados, existentes na Europa) para diminuir o custo de aquisição do mesmo, e também pela utilização de uma área pequena, que pode ser encontrada na maioria das edificações já existentes.

Ao propor uma tipologia para execução em larga escala o custo dos sistemas poderia diminuir. Isso pela produção dos materiais em série, do treinamento facilitado da mão de obra e também pela pré-definição do projeto de instalação. Conforme alguns estudos, quase 20% dos custos de uma instalação fotovoltaica integrada à edificação é referente ao projeto de integração e à instalação em si, ou seja, com um projeto definido e instalação facilitada, os custos dos mesmos seriam diminuídos.

**Kit de silício poli-cristalino.** Este kit será composto de 5 módulos de 200 W de potência cada, resultando em uma instalação de 1kWp. Utilizando valores de módulos com esta potência e com este material, seria interessante uma ligação em série dos módulos, para ser utilizado um inversor de 1000W de potencia nominal. Nesta ligação o inversor

teria que suportar os módulos com tensão de curto circuito de 32,9V e corrente de 7,61A ligados série, para isso teria capacidade para uma potência nominal de 1000W, uma corrente de 7,61 A e uma tensão de 164,5V (Figura 1). Neste sistema o inversor também deveria trabalhar em tensão igual à rede elétrica à qual seria conectado, 60 Hz e 220V no caso de Florianópolis.

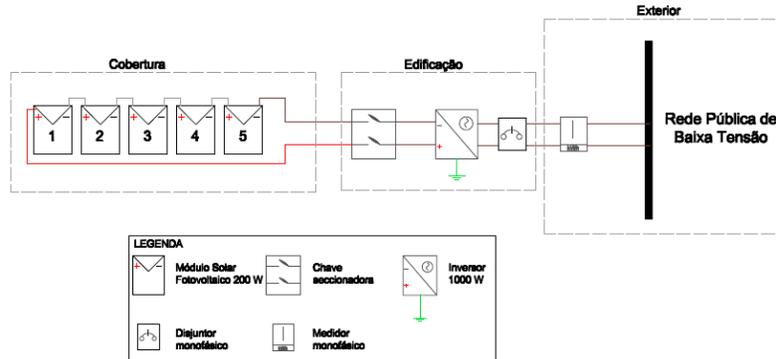


Figura 1 – Diagrama elétrico do kit de 1 kWp

Este kit ocupará uma área de 7,05 m<sup>2</sup> na cobertura da edificação, ou seja, terá área semelhante ao kit de 0,5 kWp, e também terá a distribuição dos módulos lado a lado (Figura 2). Deste modo não haverá diferença física na área de cobertura necessária, e o investidor poderá escolher pelo kit com menor custo inicial ou de maior potência para geração fotovoltaica.

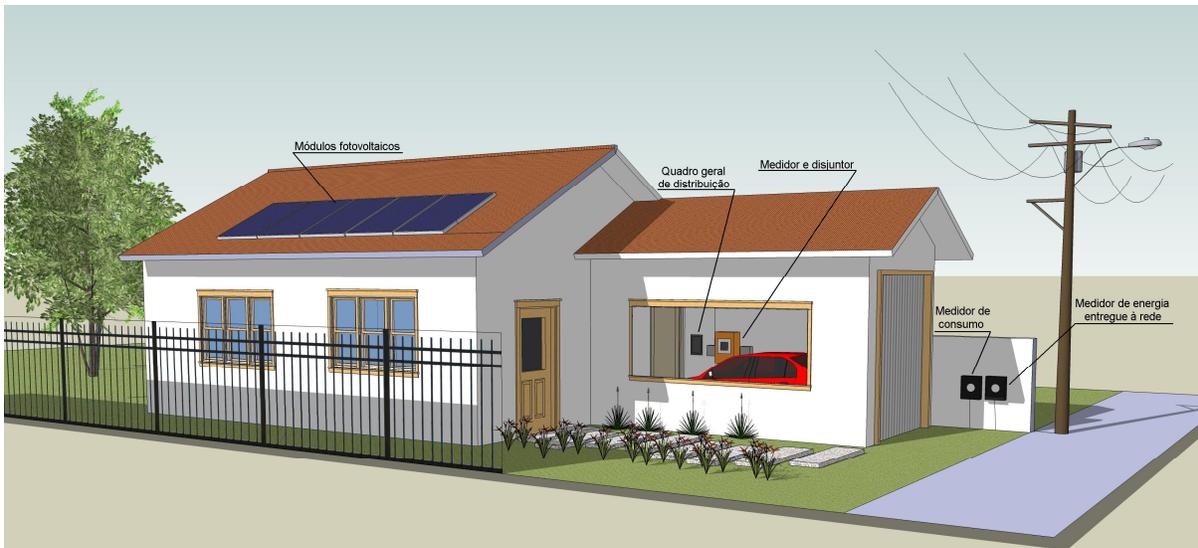


Figura 2 – Proposta de integração do kit na edificação, e localização dos equipamentos utilizando a tecnologia de silício policristalino.

**Kit de silício amorfo.** Este kit será composto por módulos flexíveis de silício amorfo com potencia total de 500Wp. É proposto que este kit seja composto de 4 módulos de 125 W de potência, tal como os que já existem no mercado. Sendo conectados os quatro módulos em série, será necessário um inversor que suporte uma potência nominal de 500W, e considerando a tensão de curto circuito dos módulos (41V) e a corrente (4,13A) o inversor proposto suportaria uma tensão de operação de 200V e corrente de até 7A (Figura 1). Como é proposto que os kits sejam utilizados para conexão à rede elétrica, o inversor também deverá transformar a corrente na frequência e tensão da rede, 60 Hz e 220V no caso de Florianópolis.

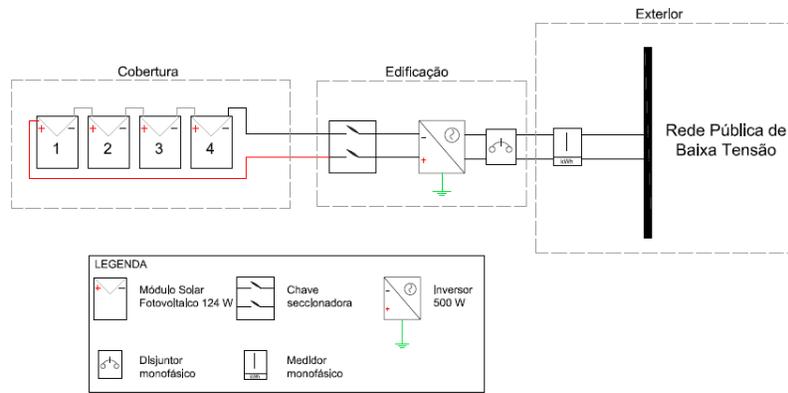


Figura 3 – Diagrama elétrico da instalação do kit de 500W

Este kit ocupará uma área de cobertura de 7,88 m<sup>2</sup>, e como cada módulo possui uma geometria bastante linear, é proposto que os módulos sejam fixados lado a lado na moldura, resultando em um retângulo de 5,01 m de comprimento e largura de 1,58 m (Figura 4).



Figura 4 – Proposta de integração do kit e localização dos equipamentos utilizando a tecnologia de filmes finos.

#### 4.2 Análise do potencial de geração de duas tecnologias fotovoltaicas em Florianópolis

A partir de dois sistemas fotovoltaicos já instalados em Florianópolis-SC, foi possível estimar a geração de energia elétrica de cada kit ao longo do ano. Um dos sistemas já existentes encontra-se na Casa Eficiente, uma parceria da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), da Eletrosul (Eletrosul Centrais Elétricas) e da Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras). O outro sistema utilizado como base de dados é o sistema de instalado na própria UFSC, junto ao LABSOLAR (Laboratório de Energia Solar).

O arranjo da Casa Eficiente possui potência de 2,25 kWp, abrangendo 30 módulos de silício policristalino (p-Si), assim este sistema demonstra o potencial de geração da tecnologia de p-Si na cidade de Florianópolis, a mesma que é utilizada no kit de 1 kWp. O sistema do LABSOLAR possui potência de 2,078 kWp, se utilizando de módulos de silício amorfo (a-Si) depositado sobre vidro e será utilizado para a estimativa de geração do kit de 0,5 kWp.

Os dados de geração destes sistemas são do ano de 2007, e apresentam a geração total mensal do sistema, dividida pela sua potência instalada, ou seja, a geração de cada tecnologia por kWp instalado. Assim a estimativa de geração dos kits foi obtida pela multiplicação da potência dos kits pela geração dos sistemas já instalados por potência instalada (Tabela 1).

A geração dos sistemas existentes ao longo do ano foi diferente, gerando mais ou menos energia sobre um mesmo potencial instalado e também, sobre as mesmas condições climáticas e mesmos níveis de irradiação solar. Assim percebe-se que existem alguns fatores que atingem de formas diferentes a geração fotovoltaica entre diferentes

tecnologias. O sistema de silício policristalino apresentou geração maior que o sistema de silício amorfo, enquanto que o esperado era que o sistema baseado na tecnologia de a-Si tivesse uma maior geração para o mesmo potencial instalado. A tecnologia de a-Si apresenta um rendimento maior quando submetida a altas temperaturas, portanto o seu yield deveria ser maior do que o da tecnologia baseada em p-Si. Alguns fatores podem ter contribuído para que essa distorção ocorresse. O tempo de operação do sistema influencia significativamente no rendimento do gerador, visto que o sistema encontra-se em operação há cerca de 10 anos. De acordo com estudos já realizados, o gerador sofre uma degradação anual no seu rendimento em cerca de 1%. Outro fator relevante que foi identificado no ano de 2007, no sistema do LABSOLAR, foi de que dois dos quatro inversores do sistema estão apresentando problemas, resultando na queda de produção da energia.

Tabela 1 – Geração dos sistemas existentes e potencial de geração

	Geração dos sistemas existentes para 1kWp (kWh)		Potencial de geração dos kits (kWh)	
	Casa Eficiente de (p-Si)	LABSOLAR de (a-Si)	kit de 1 kWp (p-Si)	Kit de 0,5 kWp (a-Si)
Jan	151,56	120,72	151,56	60,36
Fev	102,8	105,55	102,80	52,78
Mar	121,45	113,35	121,45	56,68
Abr	104,31	99,44	104,31	49,72
Mai	77,95	70,11	77,95	35,06
Jun	88,89	69,01	88,89	34,51
Jul	80,27	73,44	80,27	36,72
Ago	74,5	55,52	74,50	27,76
Set	93,33	83,35	93,33	41,68
Out	90,32	85,99	90,32	43,00
Nov	106,67	99,07	106,67	49,54
Dez	113,12	95,05	113,12	47,53
	TOTAL ANUAL		1205,17	535,30

Os kits não têm a finalidade de suprir toda a demanda energética da edificação e nem de que a energia gerada seja consumida pela mesma, mas sim de iniciar a utilização desta tecnologia de energia renovável. Devido ao fato de que atualmente o preço da energia fotovoltaica é relativamente superior ao da energia convencional, faria mais sentido que toda a energia gerada pelo sistema fosse vendida para a rede, baseado no sistema de preços. Dessa forma, seria pago uma tarifa prêmio para cada kWh gerado a um preço mais compatível ao custo de geração. O que ocorre é que ainda não existe no Brasil uma legislação específica que apóie ou incentive esse mecanismo, de forma clara ou eficaz.

Além dos kits possibilitarem a venda da energia gerada para a rede, os kits ainda estariam contribuindo para auxiliar no suprimento da demanda do alimentador da região correspondente. Uma análise para um alimentador em Florianópolis-SC demonstrou que a inserção dos kits, na cobertura das residências supridas pelo alimentador em questão, poderia contribuir para o aumento da capacidade de suprimento energético do alimentador.

A análise do potencial de contribuição em um alimentador urbano da rede elétrica foi feita no bairro Santa Mônica em Florianópolis. O alimentador em questão, que abastece esse bairro é o alimentador TDE-05. O bairro foi escolhido por representar um local de uso misto, contando com edificações comerciais, de serviço e residenciais. Assim, poderia ser aliado o consumo diurno (característico das edificações de comércio e serviço) com a disponibilidade de áreas de cobertura das residências unifamiliares. O alimentador que serve este bairro possui uma abrangência ainda maior, abastecendo também outros bairros vizinhos. Dessa forma, a área de estudo se limitou à área do bairro, correspondendo a 23,5% da área total do alimentador.

No Modelo 1 e Modelo 2 foi estimada a geração de um kit em cada residência unifamiliar, sendo este sempre locado na porção melhor orientada do telhado (com maior nível de radiação), e sendo considerado o nível de radiação da inclinação e o azimute desta locação. No Modelo 3 e Modelo 4 foi considerada a instalação de módulos FV em toda área de cobertura disponível nas residências unifamiliares do bairro, e foi calculado o nível de radiação de cada parcela dos telhados a partir dos diferentes azimutes e inclinações. A definição dos azimutes e inclinações dos quatro modelos foi encontrada a partir da análise de uma amostra das plantas de cobertura de 31 residências unifamiliares do bairro Santa Mônica, com identificação de cada água do telhado com sua inclinação, orientação e área.

O Modelo 1 com aplicação do kit de 1kWp de p-Si e, o Modelo 2 com aplicação do kit de 0,5kWp de a-Si. Estes kits foram locados em cada uma das 496 residências existentes no bairro Santa Mônica, ou seja, cada modelo considerou a inserção de 496 kits no alimentador TDE-05. Na Tabela 2 podem ser observados os valores de energia disponibilizada pelo alimentador e os valores potenciais de energia gerada pelos Modelos 1 e 2. Em ambos, a área de telhado ocupada pelos kits foi de somente 5% da área de telhado existente nas residências do bairro. Isso demonstra que

as residências possuem grande área de telhado disponível e poderiam ser instalados mais de um kit em cada edificação, como foi simulado para os Modelos 3 e 4.

Tabela 2 – Consumo mensal do alimentador TDE-05 e potencial de geração mensal do Modelo 1 e 2

	Consumo mensal TDE-05 (kWh)	Geração mensal do Modelo 1 (kWh)	Contribuição do Modelo 1	Geração mensal do Modelo 2 (kWh)	Contribuição do Modelo 2
Jan	3.368.947,2	70.806,16	2,10%	28.199,13	0,84%
Fev	3.112.586,6	48.026,35	1,54%	24.655,55	0,79%
Mar	3.829.114,3	56.739,30	1,48%	26.477,56	0,69%
Abr	3.237.086,6	48.731,80	1,51%	23.228,31	0,72%
Mai	3.161.352,2	36.416,87	1,15%	16.377,08	0,52%
Jun	3.042.892,1	41.527,84	1,36%	16.120,13	0,53%
Jul	3.191.376,6	37.500,73	1,18%	17.154,94	0,54%
Ago	3.216.805,5	34.805,09	1,08%	12.968,98	0,40%
Set	3.066.353,3	43.602,13	1,42%	19.469,83	0,63%
Out	3.241.383,6	42.195,91	1,30%	20.086,51	0,62%
Nov	3.163.321,3	49.834,35	1,58%	23.141,88	0,73%
Dez	3.374.201,4	52.847,67	1,57%	22.202,84	0,66%
TOTAL					
ANUAL	39.005.420,8	563.034,21	1,44%	250.082,74	0,64%

A contribuição dos kits gira em torno de 1% da energia disponibilizada pelo alimentador (Tabela 2), chegando a 2% (quando utilizados os kits de p-Si no mês com maior nível de radiação solar) e a 0,5% (quando utilizados os kits de a-Si no mês com menor nível de radiação solar). Assim, ao cobrir uma área de 0,181% do alimentador, é possível contribuir com 1,44% na energia anual disponibilizada pelo mesmo. Embora estes valores pareçam reduzidos, quando se leva em consideração a área coberta com módulos FV (área de 496 kits), essa é cerca de 8 vezes menor do que o percentual de contribuição energético no alimentador. Isso demonstra que neste alimentador o percentual de contribuição energético dos kits será sempre maior que o percentual de área por eles ocupado. Quando consideradas todas as residências do alimentador, e não somente as do bairro Santa Mônica, a contribuição será mais significativa. O mesmo ocorrerá quando for considerada a instalação de mais de um kit em cada residência, ou ainda, se os kits forem também instalados em outros tipos de edificações.

Como a aplicação de um kit em cada residência apresentou um potencial de contribuição um tanto limitada, com valores em torno de 1%, o estudo foi ampliado. A fim de verificar o potencial de contribuição de toda área de cobertura existente nas residências do bairro Santa Mônica, foram desenvolvidos os Modelos 3 e 4. Enquanto nos Modelos 1 e 2 foi utilizado somente um kit por residência, resultando na utilização de 5% da área total de cobertura, nos Modelos 3 e 4 foi utilizado 100% da área de cobertura disponível. No Modelo 3 utilizou-se a tecnologia de p-Si e no Modelo 4 a tecnologia de a-Si.

Tabela 3 – Consumo mensal do alimentador TDE-05 e potencial de geração mensal do Modelo 3 e 4

	Consumo mensal TDE-05 (kWh)	Geração mensal do Modelo 3 (kWh)	Contribuição do Modelo 3	Geração mensal do Modelo 4 (kWh)	Contribuição do Modelo 4
Jan	3.368.947,2	1.541.953,63	45,77%	544.524,62	16,16%
Fev	3.112.586,6	1.045.875,12	33,60%	476.098,19	15,30%
Mar	3.829.114,3	1.235.618,03	32,27%	511.281,19	13,35%
Abr	3.237.086,6	1.061.237,68	32,78%	448.538,17	13,86%
Mai	3.161.352,2	793.054,14	25,09%	316.241,06	10,00%
Jun	3.042.892,1	904.356,41	29,72%	311.279,36	10,23%
Jul	3.191.376,6	816.657,55	25,59%	331.261,50	10,38%
Ago	3.216.805,5	757.954,25	23,56%	250.430,81	7,79%
Set	3.066.353,3	949.528,45	30,97%	375.961,95	12,26%
Out	3.241.383,6	918.905,07	28,35%	387.870,05	11,97%
Nov	3.163.321,3	1.085.248,04	34,31%	446.869,24	14,13%
Dez	3.374.201,4	1.150.869,59	34,11%	428.736,46	12,71%
TOTAL					
ANUAL	39.005.420,8	12.261.257,95	31,43%	4.829.092,60	12,38%

A utilização de uma maior área de cobertura permitiu também maiores percentuais de contribuição na energia do alimentador. Utilizando 4,12% da abrangência do alimentador foi possível contribuir na energia disponibilizada pelo mesmo, em 12% com a utilização da tecnologia de a-Si e de 30% com a utilização dos módulos de p-Si. Deste modo,

percebe-se que a tecnologia FV pode ter uma contribuição significativa no suprimento da demanda energética das edificações das áreas urbanas, principalmente nos bairros com uso misto, como o demonstrado neste artigo.

### **4.3 Análise da legislação existente como suporte à energia fotovoltaica conectada à rede elétrica**

No Brasil, o sistema de preços, já existiu com a Lei no 9.648/1998 que estabeleceu a livre negociação de compra e venda de energia elétrica entre concessionários, permissionários e autorizadas, condicionada às restrições definidas no inciso I, alíneas a e b, o qual limitava as liberdades dos contratos para o período de 1998 a 2002. A partir do ano de 2003 os montantes de energia e de potência passaram a ser contratados com uma redução gradual à razão de 25% do montante referente ao ano de 2002.

Como forma de limitar o repasse dos preços da energia elétrica comprada pelas distribuidoras e permissionárias para as tarifas de fornecimento aos consumidores finais dentro das regras determinadas pela Lei no 9.648/1998, a ANEEL publicou a Resolução no 266/1998, estabelecendo uma metodologia de cálculo para o repasse, criando assim um Valor Normativo – VN. A Resolução no 233/1999 definiu um valor específico para cada fonte, orientando, dessa forma, o Valor Normativo (VN) a ser um dispositivo favorável ao uso de fontes de energia renovável de maior custo de produção. Assim, foi permitido o repasse dos custos de geração às tarifas, como forma de viabilizar o estabelecimento competitivo dessas fontes.

A Resolução 233 foi revogada e substituída pela Resolução 248, de 6 de Maio de 2002, que ainda se encontra em vigor. Essa atualizou procedimentos para cálculos dos limites de repasse dos preços de compra de energia elétrica, para as tarifas de fornecimento, a partir da Lei no 10.438, de 26 de Abril de 2002, que criou a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), visando o desenvolvimento energético dos Estados e a competitividade da energia produzida a partir das fontes eólica, PCHs, biomassa, gás natural e carvão mineral nacional (ANEEL; 2004). Na revisão da Resolução 233 de 1999, que resultou na Resolução 248 de 2002, a energia solar fotovoltaica não foi contemplada, devido aos altos custos para a sua utilização.

Atualmente, geração de energia fotovoltaica conta com os seguintes benefícios e vantagens legais: de acordo com a Lei nº 9.074/95 e Resolução ANEEL nº 112/99, conta com o benefício da autorização não onerosa, para potência acima de 5.000 kW, ou simples comunicação ao poder concedente, quando tiver potência até 5.000 kW. A Lei nº 9.991/00, alterada pela Lei nº 10.438/2002 beneficia através da isenção da aplicação anual de no mínimo 1% de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor.

Quando conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN), conta com o benefício de redução não inferior a 50% nas tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, quando apresentar uma potência de até 30.000 kW (Lei nº 9.427/1996). Ainda nesse limite de potência, pode comercializar energia elétrica diretamente com consumidor cuja carga seja maior ou igual a 500kW, no chamado Ambiente de Contratação Livre (ACL) (Lei nº 9.427/1996).

No ACL há a livre negociação entre os Agentes Geradores, Comercializadores, Consumidores Livres, Importadores e Exportadores de energia, sendo que os acordos de compra e venda de energia são pactuados por meio de contratos bilaterais. Nesse ambiente há liberdade para se estabelecer volumes de compra e venda de energia e seus respectivos preços (CCEE, 2008).

Como fonte alternativa, pode comercializar a energia no Ambiente de Contratação Regulada (ACR), nos leilões específicos de compra de energia proveniente de fontes alternativas, com contratação de 10 até 30 anos e possibilidade de repasse integral de preços às tarifas. Esse benefício apenas é válido uma vez que a contratação seja precedida de chamada pública realizada pelo próprio Agente de Distribuição e com montante limitado a 10% do mercado do distribuidor (Decreto nº 5.163/2004).

A contratação no ACR é formalizada através de contratos bilaterais regulados, denominados Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR), celebrados entre Agentes Vendedores (comercializadores, geradores, produtores independentes ou autoprodutores) e Compradores (distribuidores) que participam dos leilões de compra e venda de energia elétrica. Participam do Ambiente de Contratação Regulada - ACR - os Agentes Vendedores e Agentes de Distribuição de energia elétrica.

Dessa forma, conclui-se que no arcabouço legal vigente, é possível instalar e comercializar a energia FV tanto no ACR quanto no ACL, embora não faça sentido comercializar essa energia no ACR, pelo seu elevado custo. Portanto, a forma mais viável e simplificada, atualmente para comercializar a energia FV é através do ACL. Nesse mercado, os geradores solares fotovoltaicos de até 5.000kWp (Resolução Normativa da ANEEL 112/1999) podem operar e a energia gerada por estas instalações pode ser comercializada. O desafio passa então a ser a identificação de consumidores especiais ou consumidores livres que estejam dispostos a pagar um preço diferenciado por uma energia (solar) diferenciada.

São considerados consumidores especiais, todos aqueles consumidores com potência instalada superior a 500 kW e consumidores livres, todos aqueles consumidores com potência instalada superior a 3MW a uma tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV. Fica facultado a essa classe de consumidores o direito de opção de compra total ou parcial, de um Produtor Independente de energia elétrica.

A grande questão é que atualmente, o preço da energia solar fotovoltaica ainda é bastante alto, quando comparado ao preço de outras energias, principalmente com o da geração convencional. Dessa forma, sem um mecanismo de incentivo que estimule a produção em série e a competitividade dessa fonte, se torna mais difícil encontrar

consumidores livres ou especiais, que vejam vantagem em consumir uma energia limpa, que ainda apresenta um custo elevado.

Caso já houvesse no Brasil um mecanismo de incentivo baseado no sistema de preços, que contemplasse a tecnologia FV, a energia produzida pelos kits apresentados poderia ser toda vendida para a rede convencional a um preço fixo, previamente estipulado para a energia fotovoltaica, na forma de tarifa prêmio por cada kWh gerado. Esses custos seriam diluídos entre todos os consumidores, excluindo os de baixa renda.

Estudos desenvolvidos por Salomoni *et al.* (2008), apresentados nessa mesma conferência, mostram que, embora a geração fotovoltaica ainda não seja competitiva com a geração convencional em nenhum país, tendo esse um mecanismo de incentivo de sucesso ou não, o seu custo está declinando ao longo dos anos. Por outro lado, não há nenhuma estimativa de redução de custos para a geração convencional. Resultados preliminares indicam que a paridade tarifária entre a energia FV e a convencional deverá ocorrer na próxima década, entre 2015-2020, na maioria das capitais brasileiras, sem a necessidade de subsídios. O mesmo estudo ainda ressalta a importância da existência de um mecanismo de incentivo específico à tecnologia FV, baseado no sistema de preços, como forma de preparar o Brasil e o setor energético, em termos de aceitação, maturidade e domínio tecnológico, para o momento em que a paridade tarifária for atingida.

## 5. CONCLUSÕES

A tecnologia FV já está disponível no mercado, disponibilizando os equipamentos necessários para a montagem dos kits propostos. Os kits propostos neste trabalho apresentam vantagens em relação aos já existentes nos países desenvolvidos do hemisfério norte, principalmente pelo menor potencial instalado e utilização de pequena área de cobertura. Como menores potenciais têm também menores preços para aquisição, isso facilita o investimento privado já que no Brasil ainda não há um programa de incentivo à esta tecnologia. A área definida nos kits deste trabalho também apresenta um tamanho reduzido e, como foi visto no estudo do bairro Santa Mônica em Florianópolis, é encontrada na maioria das residências e em locais privilegiados da cobertura, com adequada orientação e inclinação, e sem interferência de sombreamentos.

A proposta de dois kits com potenciais diferentes também facilita a disseminação, já que o preço seria diferente, mas possuiriam o mesmo aspecto visual da instalação. Isso permitiria que um investidor com menor poder aquisitivo já obtivesse um exemplar da tecnologia FV, um kits de 0,5kWp de a-Si, mas saberia que seu retorno em geração seria menor, comparado com o kit de 1kWp de p-Si que possui maior custo de aquisição mas maior potencial de geração.

A simulação da instalação dos kits em um bairro de Florianópolis demonstrou que o sistema de kits tem a contribuir na demanda do alimentador que abastece o local. Uma inserção somente nas residências unifamiliares de uma parte do alimentador apresentou uma contribuição de cerca de 1,44%, que corresponderia a 563,03 MWh/ano inseridos na energia disponível pelo alimentador. Embora pareça pequeno este percentual, em comparação com área coberta por módulos fotovoltaicos, ela corresponde a um valor ainda menor, de 0,18% da área total coberta pelo alimentador. Em percentual, a contribuição de energia dos kits no alimentador é cerca de oito vezes maior que a área que os mesmos utilizam da área total do alimentador.

A tipologia dos kits pode ser um meio de iniciar a inserção da tecnologia fotovoltaica no Brasil através dos consumidores residenciais, e também de ser um modo de contribuir para a geração da energia elétrica utilizada nas cidades. A tipologia dos kits também possibilita que sejam instalados em outros tipos de edificações que não as residenciais e que sejam instalados em maior número na mesma edificação, dependendo das características do telhado. Isso permitirá o aumento da contribuição dos mesmos na energia disponibilizada pelos alimentadores.

O aumento da utilização das fontes renováveis de energia no Brasil, em especial da energia fotovoltaica, pode favorecer o estabelecimento da geração distribuída num país de dimensões continentais, permitindo uma maior diversificação da matriz energética e auxiliando no suprimento dessa crescente demanda. Dada sua localização geográfica, o Brasil é particularmente privilegiado por ter níveis de radiação solar superiores aos das nações desenvolvidas e, portanto, dispõe de grande potencial para o aproveitamento da energia solar.

## 6. REFERÊNCIAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.org.br>>. Acesso em 2008.

Bakos, G. C.; Soursos, M.; Tsagas, N. F. Techno economic assessment of a building-integrated PV system for electrical energy saving in residential sector. *Energy and Buildings*. Issue 8, v.35, p.757-762, 2003.

BEN. Balanço Energético Nacional 2007: Ano base 2006: Resultados Preliminares. Ministério de Minas e Energia, 2007.

BP. BP Statistical Review of World Energy June 2007. BP company. Londres, 2007.

- Burger, B.; Rüter, R. Inverter sizing of grid-connected photovoltaic systems in the light of local solar resource distribution characteristics and temperature. *Solar Energy*. Issue 1, v.80, p.32-45, 2006.
- CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Disponível em: <www.ccee.org.br> Acesso em 5/2008.
- Duke, R.; Williams, R.; Payne, A. Accelerating residential PV expansion: demand analysis for competitive electricity markets. *Energy Policy*. Issue 15, v.33, p.1912-1929, 2005.
- Holm, D., Arch, D. Renewable Energy Future for the Developing World. White Paper, 2005. Disponível em: <http://writepaper.ises.org>. Acesso em 2008.
- Jardim, C. S.; Rüter, R.; Salomoni, I. T.; Viana, T.; Rebechi, S. H.; Knob, P. The strategic siting and the roofing area requirements of building-integrated photovoltaic solar energy generators in urban areas in Brazil. *Energy and Buildings*, v. 40, p. 365-370, 2007.
- Krauter, C. W., Kissel, M. RE in Latin America. *REFOCUS* magazine, 2/2005.
- Kurokawa, K.; Ikki, O. The Japanese experiences with national PV system programs. *Solar Energy*. Issue 6, v.70, p.457-466, 2001.
- Parker, P. Residential solar photovoltaic market stimulation: Japanese and Australian lessons for Canada. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. In Press, Corrected Proof, 2008
- Pereira, E. B.; Martins, F. R.; Abreu, S. L.; Rüter, R. Atlas brasileiro de energia solar. Ed. São José dos Campos - SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, v. 1, p. 60, 2006.
- Ragwitz, M., Huber, C. 2007. Feed-In Systems in Germany and Spain and a comparison.
- Reis, L. B. D.; Fadigas, E. A. A.; Carvalho, C. E. Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável Ed. Manole. 2005.852042080X
- Salomoni, I.; Montenegro, A.; Rüter, R. A Paridade Tarifária da Energia Solar Fotovoltaica para a Próxima Década no Brasil e a Importância de um Mecanismo de Incentivo. In: Proceedings desta conferência.
- Wenzel, B. What electricity from renewable energies costs. Federal Ministry for the Environment, Nature conservation and Nuclear safety. Berlin, 2007.
- Zahedi, A. Solar photovoltaic (PV) energy; latest developments in the building integrated and hybrid PV systems. *Renewable Energy*. Issue 5, v.31, p.711-718, 2006.

## THE PROPOSE OF A TIPOLOGY OF KITS TO THE DISSEMINATION OF THE PV TECHNOLOGY

**Abstract.** *The energy generation based on fossil fuels, is one of the main reasons of the global pollution. The photovoltaic solar energy (PV) is one alternative that has been used for many countries to diversify the energy mix, by using a clean and inexhaustive source of energy, the sun. With the building integrated PV systems (BIPV) is possible to generate energy at the point of consumption, diminishing the energy losses caused on the transmission and distribution lines. The grid connected PV system eliminates the necessity of batteries and allows the use of energy after generation for any costumer connected to the grid. This work proposes the creation and dissemination of predefined kits that includes the PV modules and the equipments for the complete installation of the system and its connection to the grid. The kits can be installed in any building, already constructed or new ones, making easy the installation and eliminating the necessity and the cost of a specific BIPV project to each building. When the kits will be spread, an industrial production in scale will be possible, reducing the costs of the system. A simulation carried out in a residential quarter of Florianópolis-SC has demonstrated that it has enough roof area to install a kit of 1 kWp in almost all residential buildings, and that this generation is able to contribute to the energy supply of the quarter. In that context a system of kits would be a way to help this technology to take off in Brazil, from the residential consumers. The present work also emphasizes, by the analysis of the currently legislation, the importance of an specific PV incentive program, as well as the necessity to readapt some legal mechanisms, to give support and to include in the legal context this renewable source of energy.*

**Key words:** Photovoltaic solar energy, building technology, BIPV (building integrated photovoltaic)