

## **SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO AS EDIFICAÇÕES NA CIDADE DO RECIFE**

**José Bione de Melo Filho** – jbonef@bol.com.br

**Edmar Penalva da Silva Júnior** – edpenalva@hotmail.com

Universidade de Pernambuco – Escola Politécnica – Coordenação de Engenharia Mecatrônica

Rua Benfica 455, sala dos professores, Madalena, Recife-PE, CEP 50720-001, Brasil.

Telefone: (55) 81 2119-3855

**Resumo.** *O presente trabalho aborda a viabilidade técnica da implantação dos sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica de distribuição quando empregados em edificações residenciais, comerciais e públicas na cidade do Recife. Foi efetuado um levantamento dos índices de radiação solar e uma análise nas áreas a serem implantados os Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede Elétrica de Distribuição - SFCRD, foi realizado um pré-dimensionamento dos sistemas para as edificações, demonstrando: seus respectivos potenciais de geração elétrica, os custos estimados com a implantação dos SFCRD nas edificações e paybacks correspondentes. O estudo culmina com uma análise econômica que confirma um tempo de retorno em média de 18 a 20 anos para prédios residenciais baseado no estado atual da tecnologia. Por outro lado, constatou-se em edificações públicas, como o Hospital da Restauração, e comerciais, como supermercados, um tempo de payback estimado em apenas 5 e 4 anos, respectivamente, devido ao comportamento de consumo da carga. Desta forma, viabilizando a implantação de um SFCRD.*

**Palavras-chave:** *Energia Solar, Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Quando nos referimos ao uso da energia solar em edifícios estamos falando de como suprir as necessidades energéticas dos edifícios referentes às demandas de água quente, refrigeração e energia elétrica, de maneira que se reduza substancialmente seu consumo energético quanto ao uso da energia convencional. Para conseguir o objetivo de reduzir o consumo de energia nos edifícios, sem diminuir os níveis de conforto exigidos pelas pessoas que os ocupa, nasce um conceito mais amplo que engloba a utilização da energia solar passiva e ativa nos edifícios, que se denomina Arquitetura Bioclimática, ou seja, Arquitetura consciente no ponto de vista energético (Heras Celemín, 1990). Este trabalho focaliza o uso da energia solar ativa, utilizando painéis fotovoltaicos integrados aos edifícios através de suas fachadas ou no telhado.

Aplicações de sistemas fotovoltaicos para os edifícios começaram a aparecer na década de 1970, após as células solares serem conectadas e montadas em módulos, permitindo o uso da tecnologia fotovoltaica em edifícios que eram geralmente localizados em áreas remotas, sem acesso a rede de energia elétrica convencional. Na década de 1980, começaram a serem instalados os primeiros sistemas em centros urbanos como demonstração, no início dos anos 1990, os sistemas fotovoltaicos começaram a ocupar os telhados dos edifícios e conectar-se a rede elétrica de distribuição. Na metade dos anos 1990, os equipamentos de conexão se tornaram comercialmente disponível, permitindo um amplo uso dessa tecnologia nos centros urbanos. (Eiffert e Kiss, 2000)

Os SFCRD são uma grande inovação para o novo mundo, como também, um desafio para construção civil moderna, há muitos conceitos a serem evoluídos quanto a questões arquitetônicas, procedimentos de construção e formação de mão de obra especializada (engenheiros e operários). Considerando a utilização de um SFCRD em edifício ambientalmente corretos, fatores estruturais são um dos tópicos a serem considerados mais importantes. Todos os fatores que influenciem no uso do SFCRD devem ser tidos em suas fases de concepção, tendo como objetivo de atingir o maior valor possível de rendimento para o SFCRD. A fim de realizar um exclusivo design para sistemas de energia solar devem seguir as seguintes considerações: potencial de irradiação, acesso ao sistema, orientação, inclinação, dimensionamento, características elétricas e atenção a áreas de sombreamento.

Os módulos fotovoltaicos podem ser coloridos e visualmente interessantes. Usando no SFCRD cria um impressionante edifício futurista. Sua flexibilidade é tal que pode responder a imaginação do arquiteto e resultar em um prédio que é ao mesmo tempo impressionante e ambientalmente amigável. Ele melhora a imagem de um edifício e aumenta o valor de revenda.

Cada vez mais, existem sistemas fotovoltaicos integrados a edifícios que estão substituindo os materiais aplicados na construção convencional em partes que envolvem os edifícios, como o telhado, clarabóias ou fachadas. Eles estão sendo cada vez mais incorporada na construção de novos edifícios como uma fonte principal ou acessória de energia elétrica, embora os edifícios existentes também possam ser adaptados aos SFCRD. A vantagem da energia fotovoltaica integrada é que o custo inicial, que ainda se apresenta alto, pode ser compensado pela redução do valor do gasto em material de construção, como também, contribuir para a independência energética do edifício. Estas vantagens tornam o

SFCRD um dos segmentos que apresenta o mais rápido crescimento da indústria fotovoltaica. Está provando ser uma tecnologia viável no aspecto construtivo e energético para edifícios residenciais, comerciais, industriais, governamentais e institucionais.

A radiação incidente na cidade do Recife está situada em torno de 5,3 a 5,9 kWh/m<sup>2</sup>/dia, índices de radiação que superam em 23% e 40% as cidades mais ensolaradas do Japão e da Alemanha, respectivamente. Neste contexto, a opção pela cidade do Recife foi por fatores geográficos favoráveis e por apresentar sérios problemas de espaço urbano, o aproveitamento dos telhados das edificações poderia transformar estas áreas físicas inutilizadas em potenciais pontos de geração de energia elétrica através dos painéis fotovoltaicos.

## 2. CENÁRIO MUNDIAL

Tomando como referencia os dados estatísticos publicados pela Agência Internacional de Energia (IEA – PVPS, 2009), que nos permite avaliar a situação dos sistemas fotovoltaicos instalados e sua tendência quanto à forma de instalação. A Tab. 1 apresenta a potência total dos sistemas fotovoltaicos instalados até o ano de 2008 em países que fazem parte da Agência Internacional de Energia, onde verificamos que a potência em kWp de sistemas conectados à rede é aproximadamente 17 vezes dos não conectados, mostrando a forte tendência do mercado mundial por esta configuração. Na Tab. 1, os sistemas não conectados à rede compreendem os isolados doméstico e não domésticos, são os que fornecem energia elétrica a serviços, como: iluminação pública, telecomunicações e bombeamento de água. Os sistemas conectados à rede compreendem as plantas fotovoltaicas e sistemas instalados em edificações. A China não se figura na Tab. 1, pois não é membro do IEA.

Tabela 1. A potência total dos sistemas fotovoltaicos instalados nos países membros da IEA

	Não Conectado à rede (kWp)	Conectado à rede (kWp)	Total (kWp)
*Europa	70.366	815.132	885.498
Alemanha	40.000	5.300.000	5.340.000
Espanha	31.000	3.323.000	3.354.000
Estados Unidos	370.000	798.500	1.168.500
Canadá	27.482	5.237	32.719
México	21.250	500	21.750
Israel	2.404	625	3.029
Japão	90.809	2.053.380	2.144.189
Coréia	5.943	351.574	357.517
Malásia	8.000	776	8.776
Austrália	73.345	31.165	104.510
**RDM	37.030	633.995	671.025
Total	777.629	13.313.884	14.091.513

Fonte: Adaptada de IEA -PVPS T1-18:2009

(\*Europa - Não considera Alemanha e Espanha, \*\* RDM – outros países do mundo excluindo a China)

Destacamos também a presença da China neste mercado, pois em dezembro de 2009, anunciou uma lista de centrais fotovoltaicas que serão instalados nos próximos anos, chegando a uma potência de 12.500 MWp, este montante representa dobrar a quantidade mundial de potência instalada de fotovoltaico, além de marcar época para esta tecnologia, pois serão construídos centrais que vão de 2 MWp até 500 MWp, desta forma, varias empresas do setor já começaram as suas pesquisas para uma obra de tal envergadura.

A Fig. 1 apresenta a evolução em termos percentuais da instalação de sistemas fotovoltaicos conectados e não conectados à rede, é observado um forte crescimento dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede a partir do ano 1999, pois este fato se dar à evolução da eletrônica de potência, que permitiu desenvolver conversores para a conexão dos sistemas, além de marcar o início da queda dos preços do Wp, que chegou em 2009 ao patamar de US\$ 1,4 a US\$ 1,8 dólares/Wp para módulos com células policristalinas.

## 3. CENÁRIO BRASILEIRO

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica tendem a ser vistos no Brasil ainda como solução pouco realista, devido aos custos ainda serem altos quando comparados com a geração convencional, tornando-os inviáveis e escassos. Esta realidade decorre do desnível cambial e do peso de sobretaxas públicas e privadas no processo de importação e da ausência de uma política nacional mais eficiente de incentivo.

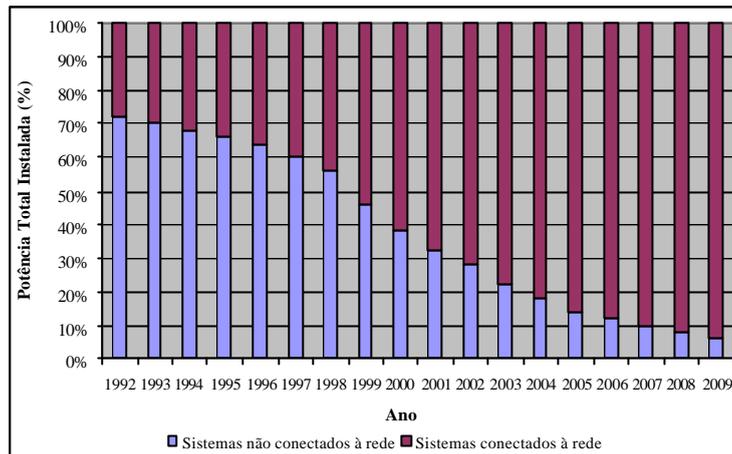


Figura 1 – Evolução em termos percentuais da instalação de sistemas fotovoltaicos conectados e não conectados à rede  
 Fonte: IEA - International Energy Agency – Trends Photovoltaic Applications Between 1992 to 2009

Porém desde 1997 e mais recentemente no âmbito do Programa CELESC de Pesquisa e Desenvolvimento, a Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC) e o Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (LABSOLAR / UFSC), em paralelo com outras instituições como o LSF - Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos - (Universidade de São Paulo) e o LES - Laboratório de Energia Solar (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) vêm empreendendo esforços no sentido de desenvolver pesquisas científicas, experiências e testes na área de sistemas fotovoltaicos interligados às redes elétricas públicas, bem como na divulgação e disseminação desta tecnologia para o setor elétrico brasileiro e para o público em geral.

#### 4. METODOLOGIA

A primeira etapa foi realizar um levantamento do potencial da irradiação solar na cidade do Recife, analisando o seu comportamento e a energia disponível, permitindo o dimensionamento do sistema fotovoltaico, adotamos sistema com módulos fixos, pois permite uma maior flexibilidade na instalação e um menor custo de manutenção. Na segunda etapa, foi levantado áreas de cobertas de edificações, a partir da retirada de uma amostra de nove edificações existentes no Recife, que serviram para uma análise posterior da estimativa de suprimento energético para o SFCRD em função das áreas de cobertura disponível. Por final, é realizada uma análise econômica.

##### 4.1 Levantamento do potencial de irradiação da cidade do Recife

A radiação solar incidente no Recife (latitude 08°04'03" e longitude 34°55'00") foi levantada a partir do *software* desenvolvido pelo GESTE – Grupo de Estudos Térmicos e Energéticos da escola de engenharia da UFRGS. Realizando simulações com índices de inclinação dos módulos fotovoltaicos que variam de 0° a 60°, constatou-se que a inclinação de 10° agrupa as melhores condições para instalação dos módulos, além de permitir o efeito de autolimpeza causado pelas chuvas. A Fig. 2 apresenta as curvas medias diárias de irradiação solar para cada mês do ano, considerando uma inclinação de 10°, sendo os meses de outubro e novembro os que apresentaram os melhores resultados.

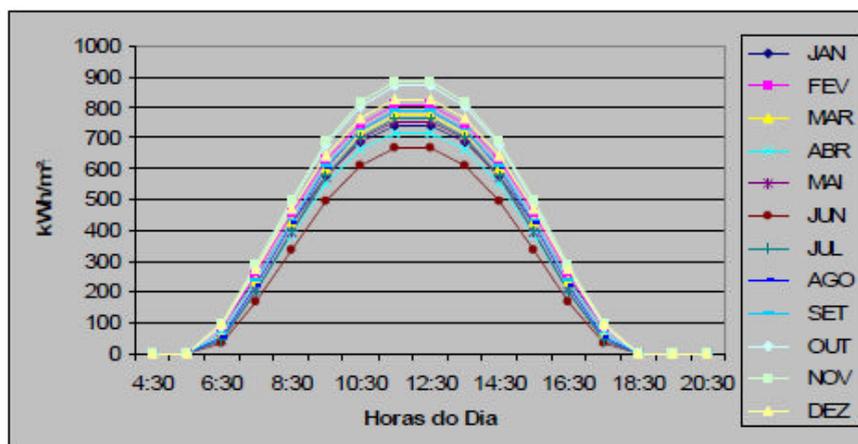


Figura 2 - Curvas diárias de irradiação solar em função das horas do dia

A orientação dos módulos foi definida em função das condições de insolação, visando um melhor aproveitamento da radiação solar para geração de energia elétrica fotovoltaica. A cidade do Recife está localizada no Hemisfério Sul, para um sistema de captação solar fixo, considera-se ótima a orientação para o Norte.

Outro ponto importante para análise é a verificação do sombreamento projetado por árvores, edifícios vizinhos ou porções do próprio edifício sobre os módulos fotovoltaicos, pois projeções que encubram os módulos fotovoltaicos parcialmente ou totalmente causam a diminuição da eficiência do sistema. Nos casos do sombreamento ser inevitável, os módulos devem ser expostos de modo que o sombreamento coincida com os períodos de baixa radiação.

Mediante os resultados obtidos na realização destas simulações, observa-se que o período compreendido entre os meses de junho a julho, correspondente ao inverno na região, é o período que mais compromete a geração fotovoltaica. Porém, de acordo com (Pereira *et al.*, 1996), a média anual do desvio percentual da variabilidade da radiação global incidente no plano horizontal para Recife é de 15% a 20%.

Os picos de geração de energia elétrica ocorrem por volta das 10h:30min às 13h:30min da manhã, isto é, fora do horário de maior pico de consumo para as residências. Porém, pode se tornar interessante a partir do momento em que a concessionária de energia cede abatimentos na conta de energia do cliente, proporcional a potência em kWh injetada na rede pelo sistema fotovoltaico, criando assim um sistema de créditos de energia.

#### 4.2 Potencial da área de coberta das edificações

O aproveitamento das áreas de telhados, até então inutilizadas, para a instalação dos SFCRD, oferecem diversas vantagens dentre as quais podemos destacar a economia de energia, com geração elétrica dos módulos solares, e o melhor aproveitamento dos espaços urbanos, uma vez que a área necessária já está ocupada pela edificação. Inserindo então, a edificação no contexto de sustentabilidade e eficiência energética.

O emprego dos painéis solares fotovoltaicos nos telhados pode ser realizado tanto em remodelações como em novas construções. Com isto, agrega-se flexibilidade a tecnologia e além da economia de energia com a geração elétrica, segundo (Kacowicz, 2008) os valores das taxas condominiais dos prédios verdes, são em média 20% a 25% mais baixos que os dos imóveis convencionais.

Diversas configurações de telhados, como apresentado na Fig. 3, podem ser usadas para a instalação dos módulos fotovoltaicos. Contudo, a falta de planejamento da integração dos painéis ao prédio, desde a concepção do projeto, pode inviabilizar o seu emprego, pois há variação da produtividade do painel com o posicionamento, inclinação do telhado e com a interferência de estruturas que venham a causar sombras no teto. Isto pode ser observado na Fig. 4, onde partes da estrutura da edificação comprometem a área do prédio onde obtém uma captação máxima de radiação.



Figura 3 – Painéis FV integrados a diferentes *lay-outs* de telhados.

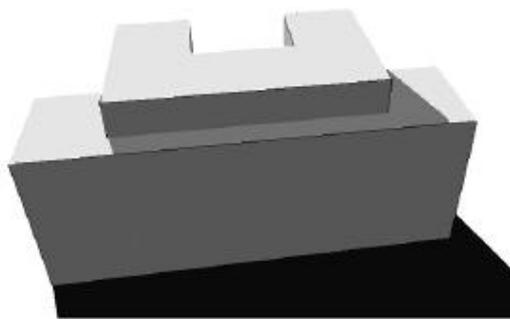


Figura 4 – Projeção de sombra sobre o teto de edificação.

A fachada apesar de constituir a maior área da edificação para a instalação dos painéis fotovoltaicos, apresenta um déficit na produtividade de energia, pois o sistema é colocado na vertical chegando a reduzir em 50% a produção de energia. Além disso, é uma parte da estrutura do prédio muito susceptível a sombras provocadas por outras estruturas.

A dimensão da área construída da edificação e a sua disponibilidade para implantação dos módulos fotovoltaicos estão ligadas diretamente ao potencial de geração elétrica que esta estrutura poderá alcançar. Tendo em vista esse aspecto, as áreas aproximadas de teto das amostras foram levantadas e agrupadas conforme dados da Tab. 2.

Tabela 2. Dimensões aproximadas das áreas de teto disponíveis para instalação de painéis fotovoltaicos.

Tipo de Cliente	Nome do Prédio	Bairro	Área de Coberta (m <sup>2</sup> )
Residencial	Castelo del Mar	Boa Viagem	377
Residencial	Castelinho	Boa Viagem	370
Residencial	Tupy	Boa Viagem	460
Residencial	Cozumel	Boa Viagem	300
Residencial	Acaiaca	Boa Viagem	517
Residencial	Santa Maria	Boa Viagem	2.100
Residencial	Porto Seguro	Boa Viagem	280
Pública	Hospital da Restauração	Derby	2.000
Comercial	Bompreço	Santo Amaro	970

### 4.3 Consumo de energia nas edificações

As edificações residenciais, comerciais e públicas, juntas, são responsáveis por 44,2% da energia elétrica consumida no país, sendo o setor residencial responsável por 21,9%, o setor comercial e público por 13,9% e 8,4%, respectivamente (Mizgier *et al.*, 2006). A composição da carga de um sistema elétrico é afetada de forma significativa pela economia da região, sazonalidade, cultura, costumes e pela segmentação dos consumidores (industriais, comerciais e residenciais). Desta forma, analisamos as curvas de carga das edificações descritas na Tab. 2.

As Figuras 5, 6 e 7 apresentam a curva de carga para um dia útil de uma edificação residencial, um hospital e um ponto comercial, respectivamente. Determinamos quais períodos ocorrem os picos de consumo e qual a demanda máxima de energia dos consumidores em questão. Pois a partir daí pode-se verificar como o SFCRD pode beneficiar a edificação quanto ao consumo de energia elétrica.

Analisando o gráfico da Fig. 5, observa-se que o pico de demanda em um prédio residencial não ocorre de forma significativa somente à noite, mas sim durante todo o dia, o que favorece o sincronismo da geração fotovoltaica com o consumo. Pode-se ainda dizer, que um SFCRD beneficia essa edificação, dependendo de sua potência, exportando a energia para a concessionária, nos períodos onde o consumo é reduzido (das 07h30min às 09h00min), assim reduzindo os gastos com energia nos períodos de carga elevada. Em geral, edificações desse tipo apresentam curvas bastante similares podendo variar os valores quantitativos de demanda.

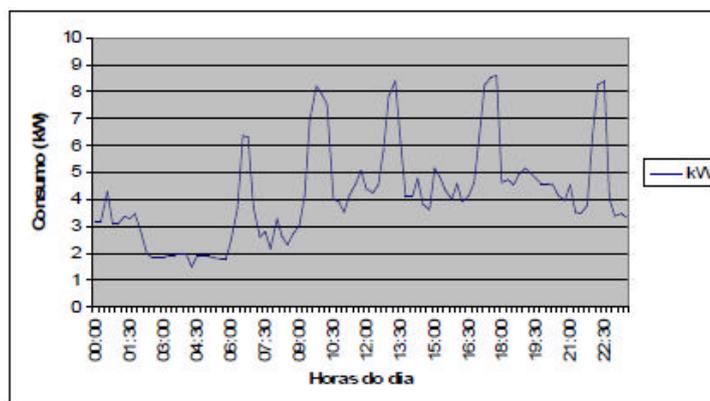


Figura 5 – Curva de carga de uma edificação residencial para um dia útil.

As curvas de carga do hospital (Fig. 6) e do prédio comercial (Fig. 7) apresentam ser mais estáveis quanto a variação de carga durante o dia, tendo uma queda de consumo no período da noite, esta característica faz o SFCRD representar uma parcela bastante significativa no consumo de energia elétrica.

As informações da curva de carga, consumo médio diário e média mensal de energia elétrica foram obtidos, no período de um ano, utilizando-se medidores ELO.2180 com memória de massa instalados pela CELPE (Companhia Energética de Pernambuco) em alguns consumidores cativos. Após obter as informações das medições individuais dos consumidores, foram gerados gráficos, como nas Fig. 5 a 7 que permitiram um estudo detalhado do comportamento do consumo da carga.

Desta forma, estes dados serviram como base, para traçar gráficos de consumo *versus* potencial de geração de cada edificação, como também, auxiliou na geração de gráficos que evidenciam em quais períodos do ano o consumo é mais acentuado. Permitindo conseqüentemente, a conclusão sobre em quais períodos os gastos com energia elétrica são mais elevados. Por outro lado, os dados possibilitaram ainda a montagem de quadros da média mensal e diária por consumidor.

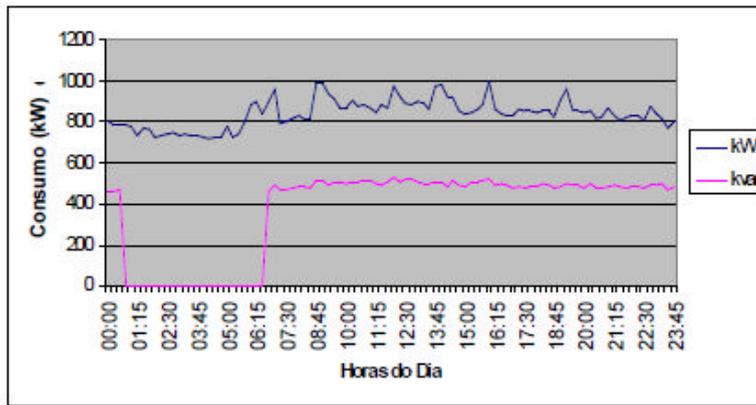


Figura 6 – Curva de carga de um hospital público para um dia útil.

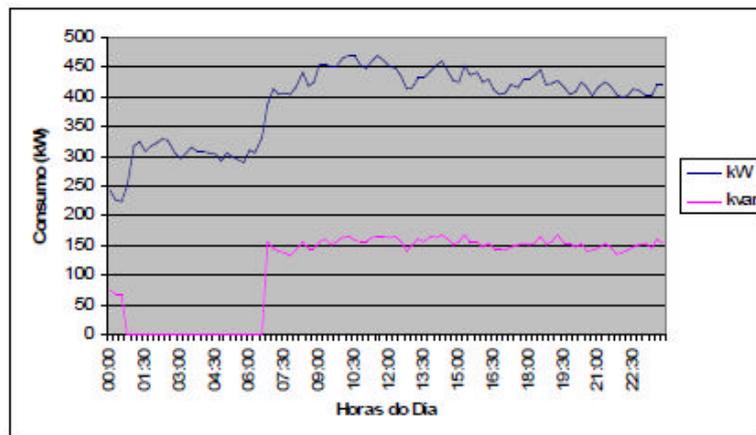


Figura 7 – Curva de carga de uma edificação comercial para um dia útil.

#### 4.4 Medição de energia

Os SFCRD são sistemas que tem sido adotado nas instalações européias e norte-americanas, sendo usado o mesmo medidor bidirecional tradicionalmente adotado nas instalações consumidoras residenciais e comerciais. Em algumas regiões dos Estados Unidos, se faz necessária a instalação de dois ou três medidores, quando as tarifas de importação e exportação são distintas. O ponto de conexão é geralmente realizado através de um medidor que permite o fluxo de potência em ambos os sentidos (*Net Metering*). SFCRD de pequeno porte usam o sistema *Net Metering* para reduzir os custos de conexão cobrados pelas concessionárias. Ou seja, nos locais onde já existe uma regulamentação elaborada ou uma negociação entre proprietário e concessionária de energia elétrica, a configuração *Net Metering* substitui a maior complexidade e custos necessários para satisfazer as exigências de interconexão existentes nos SFCRD de maior porte. Essa configuração também elimina os custos referentes à análise de engenharia necessária para implementação de grandes sistemas (Macedo e Zilles, 2004).

Esse tipo de sistema permite ao consumidor, compensar o seu consumo de eletricidade com a sua geração fotovoltaica, independente dos períodos que ambos aconteceram. Ao final do mês corrente, o valor de sua fatura será dado pela diferença líquida sujeita a tarifação normal, do que foi consumido menos o que foi gerado. No caso de gerar mais energia que a necessária, a concessionária pode pagar esse excedente ao preço do custo evitado (Wan e Green, 1998).

No Brasil não há incentivos fiscais a esse tipo de geração de energia, desta forma, o único retorno é a redução do consumo interno da edificação onde o sistema está instalado. Podendo instalar um medidor particular, permitindo ao proprietário da instalação, monitorar o quanto de energia está fluindo para sua carga.

#### 4.5 Dimensionamento

O cálculo do dimensionamento, parte da avaliação do potencial de geração fotovoltaico através da área de cobertura disponível em cada edificação. Considerando o uso da tecnologia de silício policristalino de alto rendimento, obtivemos pela Eq. (1) a potência estimada do sistema fotovoltaico.

$$P_{gfv} = A_{total} \cdot I \cdot E_{pfv} \quad (1)$$

$P_{gfv}$  – Potência total do sistema instalado (kW);  
 $A_{total}$  – Área total disponível para instalação dos módulos;  
 $I$  – Irradiação incidente em condições padrões (1 kW/m<sup>2</sup>);  
 $E_{pfv}$  – Eficiência do painel (%).

Para realizar o cálculo da energia diária a ser gerada pelo sistema, utilizamos a Eq. (2), onde se fez necessário assumir e conhecer algumas condições iniciais, tais como, o rendimento médio dos inversores CC/CA de onda senoidal pura, que tem como valor médio 90%. Considerando o ângulo de inclinação dos módulos para instalação de 10° e o valor médio anual da irradiação no plano inclinado para a cidade do Recife é 5,674 kWh/m<sup>2</sup>.

$$E_g = P_{gfv} \cdot HSP \cdot h_{CC/CA} \quad (2)$$

Onde,

$E_g$  – Energia produzida pelo gerador fotovoltaico (kWh/dia);  
 $P_{gfv}$  – Potência total do sistema instalado (kW);  
 $HSP$  – Número de Horas com Pico Solar em média diária a uma intensidade de 1.000 W/m<sup>2</sup>; é equivalente a energia total diária sobre a superfície do gerador em kWh/m<sup>2</sup>, dado em horas;  
 $h_{CC/CA}$  – Rendimento do inversor de corrente contínua para corrente alternada.

Observa-se que a quantidade de painéis que compõem o sistema fotovoltaico é dada pela Eq. (3).

$$N_{pfv} = \frac{P_{gfv}}{P_{mfv}} \quad (3)$$

Onde,

$N_{pfv}$  – Número de módulos necessários;  
 $P_{gfv}$  – Potência nominal total do sistema instalado (W);  
 $P_{mfv}$  – Potência nominal de cada painel escolhido (W).

A quantidade de inversor CC/CA dependerá do tipo de configuração da topologia escolhida e/ou potência do equipamento utilizado. Utilizamos a topologia do tipo *string* devido a sua flexibilidade operativa, pois no caso de paradas para manutenção ou falha em um inversor, não prejudicaria todo o sistema de geração, dando também continuidade no suprimento. O número de inversores é determinado pela Eq. (4).

$$N_{inv} = \frac{P_{gfv}}{P_{inv}} \quad (4)$$

Onde,

$N_{inv}$  – Número de inversores necessários;  
 $P_{gfv}$  – Potência nominal total do sistema instalado (W);  
 $P_{inv}$  – Potência nominal de cada inversor escolhido (W).

Os componentes complementares de um sistema solar fotovoltaico (cabos, conectores, estrutura de fixação, proteções, etc.) não serão abordados os seus dimensionamentos neste trabalho, porém foram estimados referentes a cada edificação e representa em torno de 10% dos custos dos sistemas individualizados.

#### 4.6 Cálculos de Custos dos Sistemas

A partir do conjunto de Eq. (1) a (4), aplicadas a Eq. (5), obtêm de forma estimada o custo total para cada sistema, desconsiderando custos com frete, impostos ou taxas.

$$C_{sist} (R\$) = 1,265 \cdot (N_{pfv} \cdot P_{pfv} + N_{inv} \cdot P_{inv}) \quad (5)$$

Na Tab. 3 são apresentados o potencial de geração de cada edificação. Para este levantamento considerou-se: painéis fotovoltaicos do tipo policristalino, modelo KC130TM de potência 130W a um custo de R\$ 1.900 (um mil e novecentos reais), ou seja 14,62R\$/Wp na data de realização do estudo. Inversores modelo IEP 10 da Provolt, a um custo de R\$ 18.700,00. Foram excluídos, dos custos totais do investimento, possíveis abatimentos normalmente utilizados em transações comerciais que envolvem grandes montantes e fretes.

Tabela 3. Potencial de geração elétrica das áreas de teto disponíveis para instalação de painéis FV e custos totais estimados dos investimentos.

Nome do Prédio	Área de Coberta (m <sup>2</sup> )	Potência Instalada (kW)	Energia média total produzida/mês (kWh/mês)	Custo Total (R\$)
Castelo del Mar	377	60,32	9.089	1.071.708,00
Castelinho	370	59,20	8.921	1.054.883,50
Tupy	460	73,6	11.091	1.318.509,50
Cozumel	300	48	7.233	862.983,00
Acaiaca	517	82,72	12.465	1.344.695,00
Santa Maria	2.100	336	50.631	5.946.259,00
Porto Seguro	280	44,8	6.751	719.325,00
Hospital da Restauração	2.000	320	56.176	5.860.492,00
Bompreço	970	155,2	23.387	2.757.194,00

## 5 ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica demonstra a viabilidade de implantação dos sistemas fotovoltaicos nas edificações. A análise do investimento baseia-se nos preços dos componentes da instalação, no consumo de energia nas edificações e a geração pelo SFCRD.

### 5.1 Cálculo da energia economizada

Foi considerada para todas as edificações residenciais, a tarifa convencional para consumidores de BT, como sendo R\$ 0,50757/kWh e para os consumidores de AT enquadrados na tarifa horo-sazonal verde, como no caso do Bompreço e do Hospital, um custo de R\$ 0,21062/kWh e R\$ 1,57807/kWh para consumo fora de ponta e na ponta respectivamente, e um preço para demanda de R\$ 22,80753/kW. Em ambos os preços encontram-se inclusos o ICMS e PIS/COFINS, e são baseados na tabela de tarifação da CELPE. Portanto, a energia economizada durante um ano, para os consumidores enquadrados na tarifação convencional, corresponde a Eq. (6):

$$C_{econ1} = E_g \cdot T \quad (6)$$

Onde,

$C_{econ1}$  – Valor total estimado economizado a uma tarifa de custo T, dado em R\$;

$E_g$  – Energia produzida pelo SFCRD da edificação, dada em kWh/ano;

T – Tarifa em R\$/kWh a ser paga à concessionária.

Para consumidores enquadrados na tarifação horosazonal-verde (THV), considerando que o período de ponta está compreendido entre 17:30h às 20:30, pode-se dizer que o custo economizado por consumidores desta tarifação é dado por

$$C_{econ2} = \text{Consumo sem sistema fotovoltaico (R\$)} - \text{Consumo com sistema fotovoltaico (R\$)} \quad (7)$$

e a parcela de consumo para THV é dado por:

$$P_{consumo} = CM_P \cdot TC_P + CM_{FP} \cdot TC_{FP} + DC \cdot TD \quad (8)$$

Onde,

$C_{econ2}$  – Valor total estimado economizado, dado em R\$;

$CM_P$  – Consumo médio na ponta;

$TC_P$  – Tarifa de consumo na ponta;

$CM_{FP}$  – Consumo médio fora de ponta;

$TC_{FP}$  – Tarifa de consumo fora de ponta;

DC – Demanda contratada;

TD – Tarifa de demanda.

Inicialmente utilizamos o tempo de retorno simples (TRS) para realizar a primeira análise, pois possibilita medir o prazo necessário para recuperar o investimento realizado, também conhecido como *payback*, onde os fluxos de caixa positivos recuperem os fluxos de caixa negativos, sendo normalmente expressos em anos. Definido pela Eq. (9) e na Tab. 4 apresentamos o tempo de *payback*.

$$TRS = \frac{\text{Custo de investimento}}{\text{Custo economizado / ano}} \quad (9)$$

Tabela 4. Proventos estimados com a energia evitada e *paybacks* correspondentes das edificações.

Nome do Prédio	Custo total do investimento (R\$)	Proventos com a energia anual fotogerada (R\$)	Payback (anos)
Castelo Del Mar	1.071.708,00	55.362,32	19,4
Castelinho	1.054.883,50	54.334,38	19,4
Tupy	1.318.509,50	67.550,85	19,5
Cozumel	862.983,00	44.054,90	19,6
Acaiaca	1.344.695,00	73.486,15	17,7
Santa Maria	5.946.259,00	308.384,30	19,3
Porto Seguro	719.325,00	41.117,91	17,5
Hospital da Restauração	5.860.492,00	1.100.972,44	5,3
Bompreço	2.756.194,00	586.554,87	4,7

Os resultados obtidos na Tab. 4 demonstra que o uso do SFCRD nos edifícios residenciais se torna inviável, por ter um tempo de *payback* entre 18 a 19 anos, porém para o Hospital e o prédio comercial se tornou atrativo, considerando que os sistemas tem uma vida útil em torno dos 20 anos, o investidor teria 15 anos como crédito do seu investimento.

Valendo ressaltar que para tais cálculos foram desconsiderados a tendência de aumento das tarifas com o passar dos anos. Ressaltamos o levantamento elaborado pelo DIEESE (Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Econômicos), feito para todas as classes de consumidores, aponta as regiões Norte e Nordeste como as que apresentaram as maiores variações na tarifa média total, desde 1997.

## 5.2 Cálculo do valor presente líquido (VPL)

Para confirmarmos a primeira análise realizada com o TRS, adotamos o cálculo do valor presente líquido, pois este critério considera o valor do financeiro no tempo. Desta forma se fez necessário à elaboração do fluxo de caixa dos projetos, anotando uma série de recebimentos e desembolsos que ocorrem em momentos distintos, trazendo os valores correspondentes ao espelhamento de todos os fluxos positivos e negativos futuros para o valor presente, descontando-se uma taxa que corresponde ao custo de capital, também conhecida de custo de oportunidade ou taxa mínima de atratividade. A função VPL é representada pela Eq. (10).

$$VPL = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (10)$$

Onde,

$CF_t$  – Fluxo de caixa do projeto no período  $t$ ;

$n$  – vida útil do projeto;

$r$  – taxa de desconto refletindo o custo de capital ou o risco inerente aos fluxos de caixas estimados.

A fim de obter para quais taxas de desconto os projetos se tornariam mais atraentes, foram executadas iterações. Conforme a Fig. 8 ficou confirmado o resultado obtido pela TRS, onde o Hospital apresentou uma taxa de retorno de 18% e o Bompreço uma taxa de 20,5%, estes valores são muito mais atraentes que as taxas pagas para os investimentos sem risco, como é o caso da Poupança.

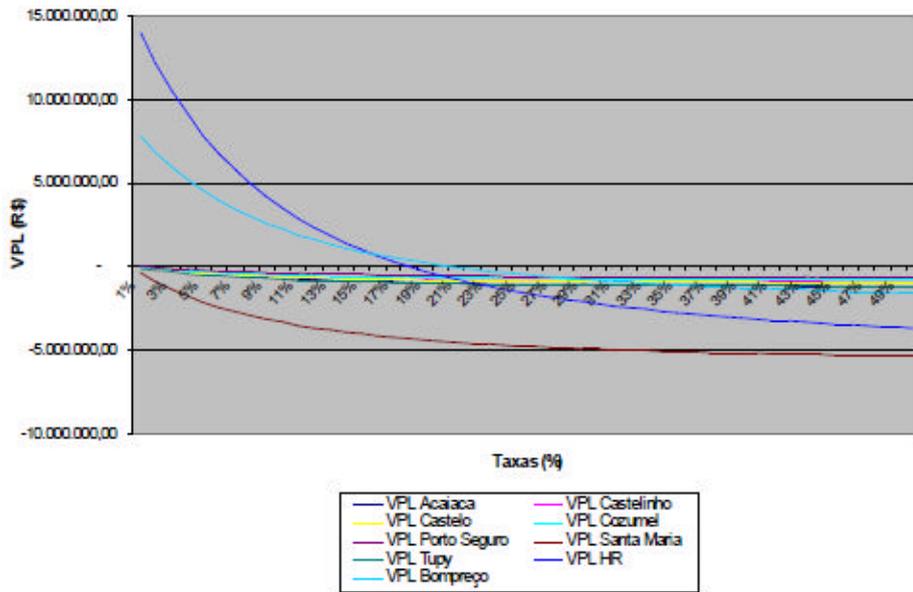


Figura 8 – Valores presentes líquidos em função das taxas de desconto.

### 5.3 Viabilidade do SFCRD para o Hospital e Bompreço

O casamento entre os períodos de alto consumo das edificações com a geração de energia elétrica fotovoltaica ocorre durante o dia, permitiu que a geração fotovoltaica pudesse reduzir a demanda máxima do consumo em horário fora ponta, implicando numa redução substancial nos custos com energia elétrica, como pode ser observado nas Figuras 9 e 10.

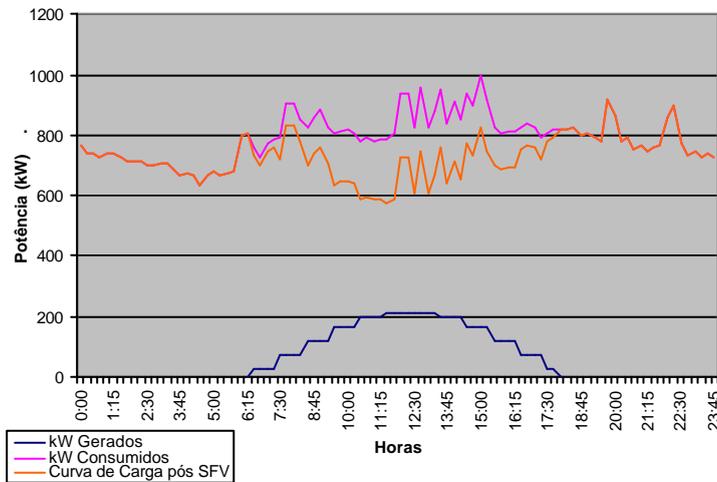


Figura 9 – Curva estimada de geração fotovoltaica, curva de carga do HR para um dia útil, curva de carga do HR após a instalação do SFCRD.

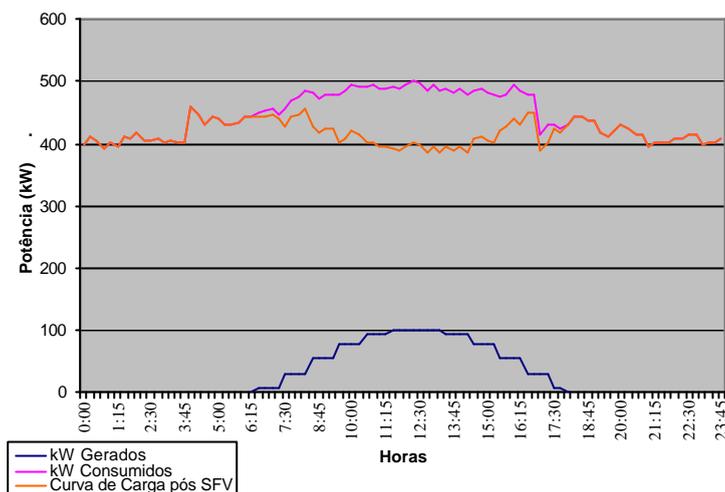


Figura 10 – Curva estimada de geração fotovoltaica, curva de carga do Bompreço para um dia útil, curva de carga do Bompreço após a instalação do SFCRD.

## 6 BENEFÍCIOS E IMPACTOS

São difíceis de serem mensurados os benefícios e os impactos que atuam em segundo plano quando implantado os SFCRD, levantamos algumas possibilidades na área Socioambiental e Técnico-econômico.

Aspecto Socioambientais: · Do lado do consumidor, a redução do consumo com conseqüente redução do valor da conta de energia; · O aproveitamento do potencial energético solar disponível, introduzindo na população o desenvolvimento sustentável; · Surgimento de novos postos de trabalho, que podem ser gerados com o desenvolvimento da indústria local e da mão-de-obra qualificada requerida;

Aspecto Técnico-econômico: · Alterações nas relações do consumidor cativo e da concessionária, partindo do pressuposto que o consumidor também passará a desenvolver o papel de gerador; · Surgimento de mais produtores independentes de energia (PIEs); · Alívio da carga em alimentadores, principalmente nos horários durante o dia; · Minimização das perdas por transmissão e distribuição de energia, através do gerenciamento pelo lado da demanda (GLD); · Edifícios solares fotovoltaicos têm capacidade de oferecer suporte kVar a pontos críticos da rede de distribuição (melhoria na qualidade de energia) (Rüther e Salamoni, 2008).

## 7 LEGISLAÇÃO E NORMAS VIGENTES

Atualmente no Brasil não existe uma norma ou legislação específica que trate dos SFCRD, porém a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL órgão público responsável por regular o mercado de energia elétrica, enquadra tais sistemas no contexto da legislação energética brasileira em função de algumas leis: a lei 8.63/93 dispõe sobre os níveis tarifários e a extinção da remuneração garantida; a lei 8.987/95 dispõe sobre o regime de concessão e permissão de serviços público; a lei 9.074/95 estabelece normas para a outorga e prorrogação de concessões e permissões; o decreto 2.003/96 regulamenta a produção de energia elétrica de Produtores Independente de Energia (PIEs) e Auto Produtores (APs), e o decreto 2.655/98 regulamenta o Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e define regras de organização do Operador Nacional do Sistema (ONS). A resolução 112/1999, de 18 de Maio de 1999, estabelece os requisitos necessários à obtenção de registro ou autorização para a implantação, ampliação ou repotenciação de centrais geradoras de fontes alternativas de energia, incluindo as centrais geradoras fotovoltaicas. Nesse contexto as instalações solares fotovoltaicas integradas a edificações urbanas e interligadas à rede elétrica pública se caracterizam como APs, podendo também se caracterizar como PIEs.

Contudo, as instalações dos SFCRD devem obedecer às normas técnicas específicas para instalações de baixa tensão (NBR 5410). E nesse contexto devem satisfazer os requisitos de segurança dos usuários da edificação, pois toda instalação que trabalhe com tensões superiores a 48 V deve utilizar materiais e equipamentos homologados.

## 8 CONCLUSÕES

Foi verificado as dificuldades de implantação de sistemas fotovoltaicos em zonas urbanas, como a do Recife, apesar de possuir condições climáticas favoráveis à implantação dos sistemas fotovoltaicos, devido a ausência de políticas de

incentivos fiscais, mais especificamente dos subsídios, que de acordo com a experiência internacional estimulam o uso da tecnologia e o desenvolvimento da indústria local, proporcionando um barateamento do custo do Wp que na atual condição que se encontra no país, ainda se mostra um grande entrave para a viabilidade dos sistemas.

Apesar do tempo de retorno médio para as edificações residenciais apresentarem um tempo de aproximadamente de 20 anos, há perspectivas para que este mercado desenvolva com o passar dos anos, a partir do avanço crescente da eficiência das células fotovoltaicas, dos aumentos sucessivos das tarifas convencionais de energia e das certificações geradas no ramo de construção civil que beneficiam prédios com selos "verdes", gerando uma visibilidade frente à população sobre o uso da energia solar e também a valorização do imóvel.

A análise sobre a curva de carga diária do Hospital e do Bompreço e os seus enquadramentos na THV, permite a estes consumidores a viabilidade de implantação dos SFCRD, tendo como tempo de retorno de 4 a 5 anos. Isto devido, a redução expressiva nas demandas diárias dessas instalações e dos custos com energia no período fora ponta.

A perspectiva de uma matriz energética hidrelétrica-solar é bastante atrativa, permitiria um aumento do nível de água nos reservatórios das hidrelétricas, principalmente nos períodos de seca, onde os elevados níveis de radiação solar aumentaria a produção de energia elétrica, além de reduzir as perdas envolvidas na transmissão e distribuição.

## 9 REFERÊNCIAS

- Eiffert P. and Kiss G. J., 2000. Building-Integrated Photovoltaic Designs for Commercial and Institutional Structures. Book for Architect, pp. 59.
- Heras Celemin, M., 1990. Comportamiento energético de edificios, Instituto de Energías Renovables, Ediciones CIEMAT, Madrid.
- International Energy Agency-IEA, 2009. Trends in photovoltaic applications, IEA-PVPS T1-18.
- Kacowicz, J., 2008. Prédio Verde: conceito que vai bem além da cor. Diário de Pernambuco. Pernambuco, p. C8, 20 jan.
- Mizgier, M.O.; Marinoski, D.L.; Braun, P.; Rüther, R., 2006. Potencial de Geração Fotovoltaica Frente ao Consumo de Energia Elétrica em Edificações Residenciais Brasileiras. ENTAC, Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 11., Florianópolis. Anais...Santa Catarina.
- Pereira, E. Colle, S., Abreu, S.L., Couto, P. e Gambi, W., 1996. Implementação e validação de modelo de cálculo da radiação de superfície-Atlas solar brasileiro. Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 6 a 13 de novembro, Campos, do Jordão, SP, 1996.
- Rüther R. e Salamoni I., 2008. Edifícios solares fotovoltaicos: potencial da geração solar fotovoltaica integrada à edificações urbanas e interligada à rede elétrica, Revista Sistemas Prediais, ed. Junho.
- Macêdo, W. N. e Zilles, R., 2004. Conexão a rede de baixa tensão com sfcrc; - discussão de aspectos para regulamentação no Brasil. in: IV Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, p. 1-9, Itajubá-MG.
- Wan, Y. and Green, H.J., 1998. Current Experience with Net Metering Programs, Presented at WINDPOWER '98, Bakersfield, CA. April 27-May 1.

## INTEGRATED PHOTOVOLTAIC SYSTEM THE BUILDING IN THE CITY OF RECIFE

**Abstract.** *The present research approaches a technical viability on the implementation of the photovoltaic systems connected to a power network on residential, commercial and public edifications in the city of Recife. In the site where a survey was carried out on both levels of radiation and areas to implant the grid connected photovoltaic system (SFCR), was made a pre-measurement of the systems to the edifications, demonstrating: its respective potential to generate power, the estimated costs with the implementation of the SFCR on the edifications, the saved resources on power and the correspondent paybacks. At its final stage, the study demonstrates an economic analysis in which there will be a confirmation that the current condition of the region's technology has an average time of return of 18 to 20 years in residential buildings. Moreover, it has been demonstrated that buildings, like the Hospital of the Restoration and a supermarket, the payback is estimated at only 5 and 4 years respectively. Thus, enabling the deployment of a SFCRD.*

**Key words:** *Solar Energy, Photovoltaic system Connected to Power Grid.*