



ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO FONTE COMPLEMENTAR DE ENERGIA ELÉTRICA PARA RESIDÊNCIAS NA BUSCA DA SUSTENTABILIDADE

Isis Portolan dos Santos (1); Jair Urbanetz Junior (1, 2); Ricardo Rüther (1, 3)

- (1) Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil – e-mail: isisporto@labeee.ufsc.br
- (2) Departamento de Eletrotécnica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Brasil – e-mail: urbanetz@utfpr.edu.br
- (3) Laboratório de Energia Solar (LABSOLAR) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil – e-mail: ruther@mbox1.ufsc.br

RESUMO

A sustentabilidade está baseada no conceito de utilização dos recursos naturais no presente, de modo que garanta a mesma disponibilidade para gerações futuras. A geração de energia elétrica é uma das fontes emissoras dos gases causadores do efeito estufa, e este vem contribuindo para as alterações climatológicas que estão afetando o equilíbrio ambiental do planeta. A utilização de fontes de energia renovável é o caminho para permitir o desenvolvimento sustentável da humanidade. A energia fotovoltaica (FV) é gerada diretamente da radiação solar, sendo uma fonte limpa e renovável. Este trabalho se propõe a analisar o potencial de geração FV em Florianópolis (SC), Brasília (DF) e Fortaleza (CE), considerando uma instalação de 1kWp e diferentes cenários que possibilitem a implantação da tecnologia. Os dados de geração FV foram obtidos a partir de dois diferentes sistemas FV instalados em Florianópolis-SC, estes valores referem-se ao ano de 2007. Para estimar a geração nas outras localidades brasileiras foram utilizados os valores de irradiação solar fornecidos pelo Projeto *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA). Os dados de consumo nas localidades foram obtidos através das curvas de demanda por região obtidos pela Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso do PROCEL. Através da comparação das duas curvas analisou-se a viabilidade de implantação do sistema FV para os diferentes cenários propostos. A partir dos valores reais de geração FV foi estimada a geração nas outras cidades, ocorrendo um significativo aumento no potencial de geração nas cidades com maior incidência da irradiação solar. As curvas de demanda com maior consumo diurno permitiram uma maior concomitância entre a geração FV e o consumo, favorecendo o uso desta tecnologia em qualquer dos cenários propostos. Nos consumidores onde a demanda não coincide com os horários de geração FV, serão vantajosos somente os cenários em que possibilitem a compra ou pelo menos contabilizem a energia excedente. Os cenários propostos referem-se a modelos existentes em países desenvolvidos. Este trabalho reúne dados reais de geração FV a partir de dois sistemas com diferentes tecnologias FV e instalados sob as mesmas condições climáticas. A análise entre a curva média de geração FV e a curva média de demanda por região do país, salientou a concomitância ou a falta desta quando se analisa o balanço financeiro mensal dos gastos com energia elétrica de uma residência, nos cenários propostos.

Palavras-chave: geração fotovoltaica; consumo de energia elétrica; tecnologia para habitação.

ABSTRACT

Sustainability is based on the concept of use of natural resources, so that the future generations are also guaranteed the same resource availability. The generation of electricity is one of the sources of the gases causing the greenhouse effect, and this is responsible for climatological changes that are affecting the environmental balance of the planet. The use of renewable energy sources is one way to provide sustainable development of humanity. The energy photovoltaic (PV) is generated directly from solar irradiation and is a clean and renewable energy source. This study aims to analyze

the potential for PV generation at different locations in Brazil, considering an installation of 1kWp and different scenarios that enable the deployment of this technology. PV generation data were obtained from two different systems PV installed in Florianópolis-SC. These figures refer to the year 2007. To estimate the Brazilian generation in other locations we used data provided by the Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA). Data on energy consumption were obtained through demand curves by region obtained by the Search for Possession of Equipment and Habits of User of PROCEL. Through comparison of the two curves we considered the feasibility of deploying PV systems for the different scenarios proposed. From the measured PV generation values for Florianópolis we estimated the PV generation for other cities based on each region's solar radiation resources, noticing a significant increase in the potential for generation in cities with higher incidence of solar irradiation. The demand curves with higher consumption in daytime allowed greater PV concomitance between the generation and consumption, promoting the use of this technology in any of the scenarios proposed. In cases where demand did not coincide with PV generation profiles, there will only be any benefit if a buy-back rate for PV power is in place. The scenarios proposed relate to existing models in developed countries. This work brings together real data from PV generation from two systems with different technologies and installed under the same weather conditions. The analysis between the PV generation profiles and this demand profiles by geographic region showed peculiarities that can be traced back to the residential monthly energy bills.

Keywords: Photovoltaic generation; consumption of electric energy; technology for homes

1 INTRODUÇÃO

1.1 Energia solar fotovoltaica (FV)

Os Sistemas FV convertem a luz do sol em energia elétrica e podem contribuir de forma significativa para a geração da energia elétrica consumida nos grandes centros urbanos. Por tratar-se de uma forma de geração limpa e possibilitar que esta geração esteja junto ao ponto de consumo, eliminam-se uma série de problemas relativos aos sistemas tradicionais de geração e distribuição de energia elétrica.

1.2 Sistema FV isolado x Sistema FV conectado à rede elétrica

1.2.1 Sistema FV isolado

Os sistemas isolados puros são formados por: gerador FV; controlador de carga; baterias e inversor. A energia gerada nos módulos FV é armazenada nas baterias e aplicada ao inversor que a transforma (*e.g.* dos seus 12, 24 ou 48V_{CC}), para 127 ou 220V_{CA}. Esta energia é então disponibilizada às cargas. O gerador FV e as baterias devem ser dimensionados de forma a possuir uma autonomia que garanta o fornecimento de energia mesmo nos períodos de baixa insolação, segundo a NBR14298 (ABNT, 1999), normalmente esta autonomia é definida como sendo de dois dias. O sistema FV isolado deve ser projetado para atender a demanda de energia com base nos meses de menor incidência de radiação solar. A necessidade de um conjunto de baterias é responsável pelo aumento no custo de implantação, custo de manutenção e pela redução na produtividade da energia gerada.

1.2.2 Sistema FV conectado à rede

Os sistemas FV conectados à rede são formados basicamente por: gerador FV e inversor. Não existe um elemento de armazenamento de energia, basicamente a rede elétrica da concessionária é vista como o elemento armazenador, pois toda a energia gerada é colocada em paralelo com a energia da rede, se a demanda da residência é menor que a geração, a rede absorve o excedente e a distribui para outros pontos de consumo. Se a energia gerada é menor que a demanda ou se não há energia gerada, a concessionária supre o consumidor. As principais vantagens deste sistema são a elevada produtividade, pois toda a energia disponibilizada pelos módulos é utilizada, e a ausência do conjunto de baterias, que é um elo frágil no sistema isolado devido à baixa vida útil em relação à vida do gerador FV e do inversor. Outra característica deste sistema é que na ausência de energia da rede, o inversor desliga o sistema automaticamente, isto é para evitar o fenômeno de "ilhamento", onde poderiam ocorrer acidentes com os operadores da rede pela injeção de energia por esta fonte.

1.3 Tecnologias dos módulos FV

Existem várias tecnologias disponíveis no mercado, porém serão abordadas neste artigo apenas as tecnologias baseadas em silício amorfo (a-Si) e silício policristalino (p-Si), que são as tecnologias utilizadas nos sistemas em estudo, instalados em Florianópolis.

1.3.1 Silício amorfo (a-Si)

Os painéis de a-Si são incluídos na tecnologia de filmes finos, pois utilizam em sua produção pequena quantidade de material, aproximadamente 1µm de espessura, que são depositados sobre outro material, como vidro, aço ou plásticos, dando origem aos módulos fotovoltaicos que podem ser flexíveis, semitransparentes e leves. Seu rendimento é da ordem de 7%, porém, a possibilidade de aplicação adaptada ao projeto arquitetônico da edificação, facilita sua utilização. Essa tecnologia possui boa resposta sob iluminação artificial e sob radiação difusa. Outra característica importante desta tecnologia é a não redução na sua capacidade de geração de potência com o aumento da temperatura, fato que o torna um forte candidato para uso intensivo em locais com clima tropical (RÜTHER, 2004).

1.3.2 Silício policristalino (p-Si)

É uma das tecnologias mais tradicionais empregada em painéis FV. Possui rendimento na ordem de 13% e emprega entre 200 e 300µm de espessura de material semicondutor de silício depositado sobre uma estrutura rígida. Por se tratar de uma tecnologia bastante desenvolvida, encontram-se muito limitados os fatores de aumento no rendimento e de redução nos custos de produção.

1.4 Integração dos Sistemas FV com as edificações

Na busca pela geração distribuída e produção mais próxima aos pontos de consumo, o uso de painéis FV junto às edificações se torna bastante interessante. Segundo RÜTHER (2004), os painéis FV são fabricados para serem utilizados por muito tempo em ambientes externos, sob diversas condições climáticas; assim são apropriados para integração à envoltória da edificação. Deste modo tem dupla função ao gerar eletricidade e também servir como elemento arquitetônico de vedação. Para que tenham melhor aplicação aos telhados, paredes ou janelas, a indústria vem desenvolvendo uma série de produtos destinados a estes fins.

Para aplicação em coberturas podem ser utilizados os módulos rígidos convencionais com simples instalação sobre a cobertura existente. Mas para maior integração existem módulos flexíveis que podem ser colados sobre coberturas metálicas ou de concreto. Existem ainda algumas tecnologias de módulos sobre telhas de vidro, que substituem totalmente as telhas convencionais.

A utilização em vedações transparentes pode ser feita através dos módulos aplicados sobre vidro sem moldura. A instalação é feita como as de panos de vidros comuns, mas pelo espaçamento entre as camadas de material FV, é controlado o nível de luz natural que passará ao interior da edificação.

Em fachadas com vedações opacas as aplicações são as mais diversas. Cabe ao projetista optar pela que melhor se integra ao projeto arquitetônico. RÜTHER (2004) salienta que os benefícios da aplicação da energia solar FV no entorno construído ainda não estão completamente estabelecidos. Isto demonstra o papel fundamental que arquitetos e engenheiros possuem ao aplicar tecnologias de sustentabilidade, contribuindo para a disseminação e aceitação dessa cultura na sociedade.

2 OBJETIVO

Avaliar a contribuição da geração FV junto à curva de demanda, como fonte complementar de energia elétrica para residências nas localidades de Florianópolis, Brasília e Fortaleza.

3 METODOLOGIA

3.1 Coleta de dados

Para a obtenção dos dados de geração foram utilizados dois Sistemas FV instalados na Cidade de Florianópolis.

3.1.1 Descrição dos sistemas

a) Sistema LABSOLAR/UFSC.

Instalado no bloco B da Engenharia Mecânica da UFSC. Ele é composto de 68 módulos de a-Si depositado sobre vidro, sendo 54 opacos e 14 semitransparentes totalizando 2,078kWp. Os módulos encontram-se voltados para o norte e com inclinação de 27° (correspondente à latitude local), ocupando uma área de 40,8m². O sistema está dividido em quatro circuitos, tendo cada circuito um inversor Würth de 650W. Os inversores são responsáveis em converter a energia gerada pelos módulos de corrente contínua, para corrente alternada e interligar o sistema à rede elétrica. O sistema possui um computador ao qual são interligados os sensores que monitoram dados de irradiância, temperatura, energia gerada, etc. Estes dados são armazenados e analisados desde a implantação do sistema, em setembro de 1997. Atualmente encontra-se disponível na *internet*¹, a maioria das informações coletadas pelos sensores do sistema, bem como a potência instantânea entregue à rede, e a energia acumulada desde o início da operação. As figuras 1 (a, b) mostram detalhes dessa instalação.

b) Sistema da Casa Eficiente.

Este Sistema está instalado na Casa Eficiente construída na sede da ELETROSUL. Utiliza 30 painéis p-Si com 75Wp cada, totalizando 2,25kWp. Os painéis encontram-se voltados para o norte e com inclinação de 27° (correspondente à latitude local), ocupando uma área de 20,9m². Os painéis estão divididos em dois circuitos, sendo cada circuito ligado a um inversor Würth modelo SolarStar de 1200W. Este arranjo FV também é dotado de um sistema de aquisição de dados para o acompanhamento do seu desempenho. As figuras 1 (c, d) mostram detalhes dessa instalação.

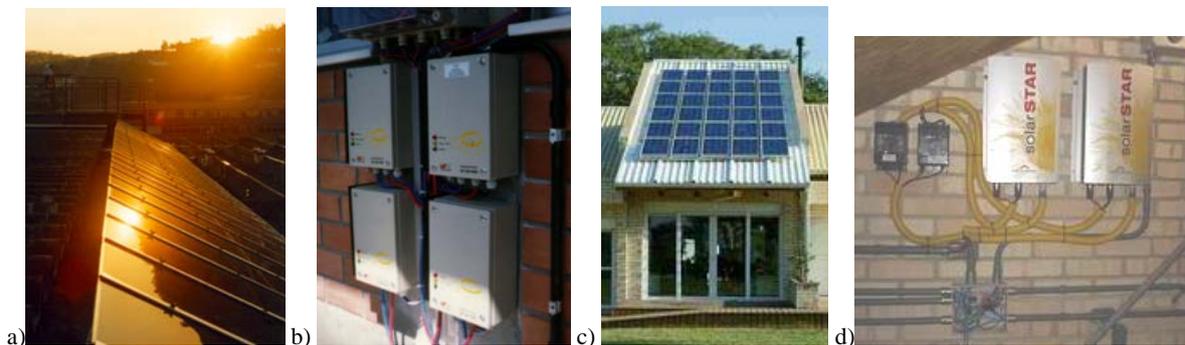


Figura 1 – Sistema FV LABSOLAR/UFSC (a) e seus inversores (b), e Sistema FV da Casa Eficiente (c) também com detalhe dos inversores utilizados (d)

3.2 Estimativa do potencial de geração FV em outras localidades

Os valores de geração nas cidades de Brasília e Fortaleza foram estimados a partir dos valores de geração de energia adquiridos dos sistemas em funcionamento em Florianópolis. Os valores reais obtidos através do sistema LABSOLAR/UFSC e da Casa Eficiente foram utilizados para demonstrar o potencial de geração das duas diferentes tecnologias. Para ser extrapolado esta geração para as outras duas cidades, foram ponderados os valores de geração pelos dados de irradiação global no plano do módulo, fornecidos pelo Projeto SWERA (PEREIRA *et al.*, 2006).

O valor de radiação utilizado do Projeto SWERA é referente ao plano inclinado do módulo, caracterizado por estar inclinado no mesmo ângulo que a latitude da cidade em questão. Foi então definido um percentual de variação entre os valores de radiação de Florianópolis e Brasília ou Fortaleza. Este valor foi utilizado para ponderar a geração obtida em Florianópolis, estimando a geração nas cidades de estudo.

¹ O Sistema LABSOLAR/UFSC pode ser monitorado pelo *site*: <http://scadabr.labsolar.ufsc.br>

Os valores de geração são referentes aos dois sistemas FV instalados em Florianópolis, durante o ano de 2007. Foi feita a média de geração diária anual, assim foram consideradas as diferenças de geração decorrentes das variações climáticas diárias. Como resultado foi obtido uma curva de geração diária média anual, que foi vinculada aos dados do Projeto SWERA para Florianópolis. Essa curva anual foi extrapolada para Brasília e Fortaleza a partir dos dados do Projeto SWERA para as referidas cidades.

Para efeito deste estudo foi determinado um valor de potencial instalado que é o mesmo em todas as cidades analisadas. Esse valor resulta da necessidade de energia durante as horas de sol, para que o sistema FV gere energia somente para a residência. Assim foi diminuído o consumo da rede convencional, reduzindo a conta de energia. Nas cidades em que há diferenciação de tarifa por faixas de consumo, buscou-se que o consumo se limite, ou ao menos se aproxime, da faixa de consumo com menor valor. Nestes locais a retirada de parte do consumo com tarifa mais elevada, diminui o tempo de retorno do investimento.

3.3 Comparativo da demanda com o potencial de geração FV

A demanda por energia foi estimada a partir dos valores fornecidos pela Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso (PROCEL, 2007). Essa pesquisa apresenta a curva de carga diária do consumo residencial, fornecendo os valores de potência instantânea a cada hora. Existem curvas diferenciadas para cada região do país, sendo utilizada a região respectiva para estimar o consumo de cada cidade.

Foi adotado como consumo mensal médio, para efeito deste estudo, o valor de 300kWh, também determinado pela porcentagem de consumidores apresentados na pesquisa do PROCEL (2007). Como os valores da curva diária nem sempre possuíam o consumo médio diário, necessário para um consumo mensal de 300kWh, estas curvas também foram ponderadas.

A curva do potencial de geração dos painéis FV foi admitida para uma instalação de 1kWp. Este valor foi obtido dividindo-se as reais potências instaladas no Sistema LABSOLAR/UFSC e da Casa Eficiente. Este valor foi adotado para representar uma instalação padrão, capaz de uma geração significativa para aproveitamento na residência, e também por necessitar pouca área (cerca de 10 a 20 m² dependendo da tecnologia empregada), possível de ser encontrada na maioria dos telhados para sua instalação.

A partir da obtenção da curva de carga diária de cada região, essa foi sobreposta à curva do potencial de geração dos painéis FV na cidade. Sendo assim analisadas as duas tecnologias, com mesmo potencial instalado, mas diferentes necessidades de área para instalação. A sobreposição das duas curvas também mostrou a energia gerada que é efetivamente consumida pela residência, já que quando não há consumo durante as horas de sol, a geração FV é entregue a rede.

3.4 Análise de cenários

Para verificar a viabilidade da instalação FV serão propostos quatro cenários para a análise comparativa. O primeiro cenário representa a situação atual, onde as residências têm apenas o papel de consumidoras, sempre retirando energia da rede elétrica convencional. Neste cenário também são apresentados os gastos financeiros que o consumidor tem em cada cidade por consumir os 300kWh/mês.

No cenário 2 foi proposto a integração dos painéis FV; assim o consumidor passou a ser durante as horas de sol um gerador independente, utilizando-se da rede elétrica somente para preencher o excedente do consumo. Durante as horas que não há geração, este usuário continua com seu consumo normal da rede. Este cenário representa um modelo onde o consumidor possui apenas uma autorização da concessionária para que instale os painéis FV. Mas a concessionária não se responsabiliza pela compra da energia excedente da residência. Assim ao instalar o sistema FV, o consumidor entrega sem nenhum ganho a energia excedente gerada à rede.

O cenário 3 foi baseado no modelo utilizado no Japão e nos Estados Unidos, conhecido como *net metering*. A residência acumula créditos (em kWh) quando injeta energia na rede da concessionária, e esses créditos são utilizados pela residência, nos momentos de baixa ou nenhuma insolação.

Outro modelo de tarifação é apresentado no cenário 4. Essa proposição prevê que existiria no Brasil um sistema similar aos modelos europeus, onde a concessionária compra toda energia produzida pelas residências, e continua a fornecer energia normalmente. Nesse modelo os usuários passam a ser mini-geradores e continuam também como consumidores. São alocados dois medidores de energia, um que contabiliza toda a energia gerada pelo Sistema FV, e outro que mede toda a energia consumida na residência. Para melhor definição sobre este cenário é feita uma descrição simplificada do sistema utilizado na Alemanha.

O sistema alemão, *feed in tariff*, prevê que o consumidor permaneça como um comprador de toda energia que necessita para atender à sua instalação consumidora, para que as concessionárias não percam seu lucro de venda. Ao considerá-lo também como mini-gerador fazem a compra da energia como se os geradores solares integrados às residências fossem usinas convencionais. O preço de venda da energia gerada por painéis FV é premiado, de forma a atrair investimentos da iniciativa privada na geração por fontes renováveis. Na Alemanha o valor da tarifa prêmio corresponde de 2,5 a 3 vezes o valor da tarifa normal de compra de energia. Esta variação depende do local em que for instalado o painel e também da potência instalada (GERMANY, 2004). Para custear esta tarifa prêmio foi criado um encargo na tarifa convencional, de cerca de 3% do valor total. Este encargo objetiva viabilizar a expansão das energias alternativas através de investimentos da iniciativa privada (WENZEL, 2007).

Para o cenário 4 foi considerado que no Brasil haveria um sistema similar ao da Alemanha, com uma tarifa prêmio de 2,5 vezes o valor da tarifa normal de venda.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Potencial de geração

As curvas a seguir foram obtidas pela geração média diária para o ano de 2007 dos sistemas FV LABSOLAR/UFSC e da Casa Eficiente e foram normalizadas para a potência de 1kWp e ajustadas para representar a geração média diária anual das outras cidades, através dos dados de irradiação do Projeto SWERA, representado o potencial de geração na figura 2.

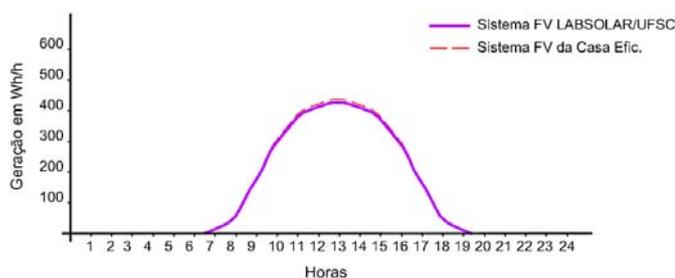


Figura 2 - Geração média diária anual dos sistemas FV de LABSOLAR/UFSC e da Casa Eficiente, geração em kWh/kWp instalado

Para efeito deste estudo foi considerada a média de geração entre as duas tecnologias. Assim os valores estimados para as outras cidades foram extrapolados a partir da média. Estas curvas foram sobrepostas às curvas de demanda média diária das referidas regiões, para verificar a concomitância de consumo e geração FV.

4.1.1 Verificação do potencial de geração FV em Florianópolis e estimativa do potencial de geração FV para Brasília e Fortaleza

A curva de geração apresentada para Florianópolis juntamente com o dado de irradiação global no plano inclinado (4,85 kWh/m² - média diária anual), foram utilizados como base para estimar a geração nas outras cidades.

Para Brasília o Projeto SWERA fornece o valor de 5,72 kWh/m² para a irradiação global inclinada (média diária anual), o que se refere a 1,18 vezes a geração obtida para Florianópolis. Para Fortaleza o

valor de irradiação global inclinada (média diária anual) é de 5,78 kWh/m², esse valor refere-se a 1,17 vezes a geração obtida para Florianópolis. As curvas de geração para as três cidades analisadas são apresentadas na figura 3.

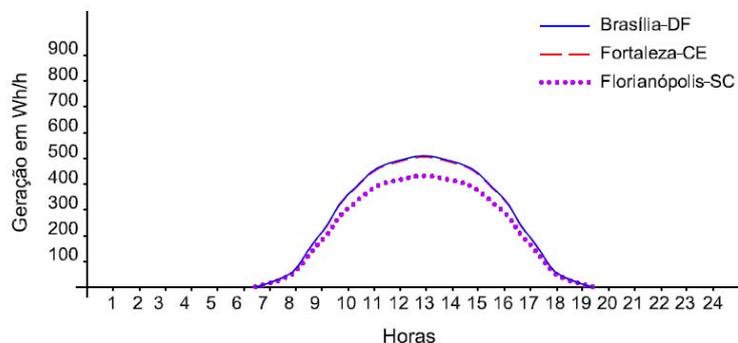


Figura 3 - Geração média diária anual para Florianópolis, Fortaleza e Brasília, para um sistema de 1kWp

4.2 Comparativo da demanda diurna com o potencial de geração FV

A seguir são apresentados os gráficos de geração estimada para as cidades, juntamente com a demanda (PROCEL, 2007) para a região do país em que se localiza a cidade. As curvas de demanda do PROCEL foram ponderadas para o consumo padrão de 300kWh/mês o que resulta em 10kWh/dia.

4.2.1 Análise para Florianópolis, Brasília e Fortaleza

A partir dos gráficos das figuras 4, obteve-se as relações entre a geração e a demanda para Florianópolis, Brasília e Fortaleza. Para um sistema FV de 1kWp, gera-se para as cidades citadas: 30,9%, 36,4% e 36,1% da demanda diária total, respectivamente. A geração FV concomitante à demanda diurna é de: 61,5%, 68,9%, 71,5% (área hachurada) da geração FV total, respectivamente.

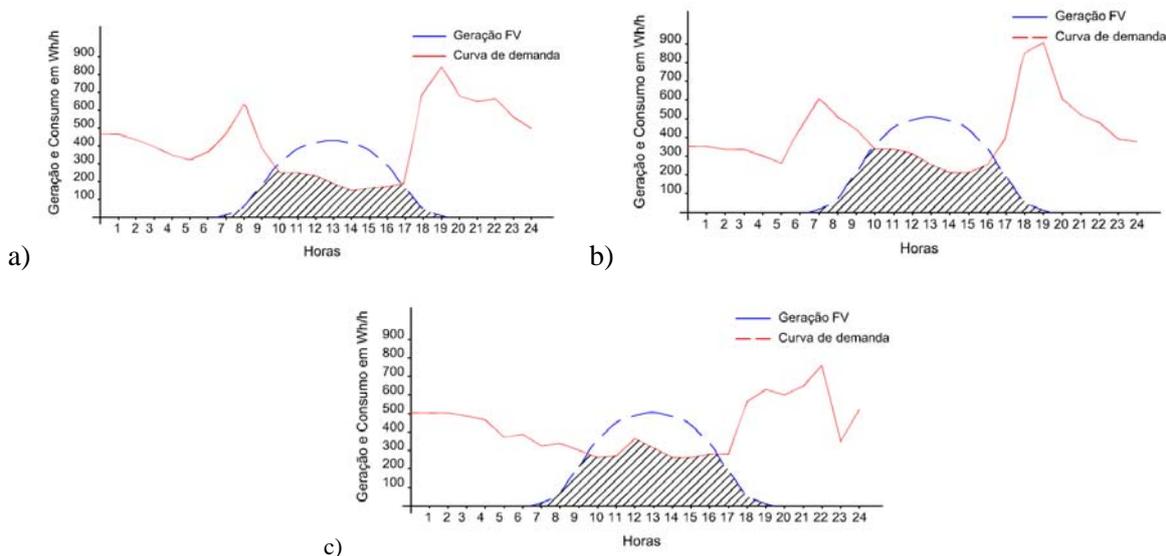


Figura 4 – Sobreposição da geração FV de 1kWp em Florianópolis com o consumo da Região Sul (a), sobreposição da estimativa de geração FV de 1kWp em Brasília com o consumo da Região Centro-Oeste (b), e Sobreposição da estimativa de geração FV de 1kWp em Fortaleza com o consumo da Região Nordeste (c)

4.3 Cenários

4.3.1 Cenário 1: Situação atual dos consumidores residenciais

Este cenário apresenta a situação atual dos consumidores residenciais, prevendo seus gastos com energia elétrica a partir de um consumo mensal de 300kWh, apresentados nas tabelas 1 e 2. Esses

valores serviram de referência para verificar a redução de gastos após a instalação de um sistema FV de 1kWp, para os cenários 2, 3 e 4.

Tabela 1 – Concessionárias e valor de tarifas

Cidade	Concessionária	Tarifa até 150kWh	Tarifa superior a 150kWh
Florianópolis-SC	CELESC	R\$ 0,362	R\$ 0,429
Brasília-DF	CEB	Tarifa única = R\$ 0,326 / kWh	
Fortaleza-CE	COELCE	Tarifa única = R\$ 0,499 / kWh	

Tabela 2 – Balanço financeiro mensal do consumidor para o cenário 1

Cidade	Valor pago até 150kWh	Valor pago de 150 a 300kWh	Total da fatura
Florianópolis-SC	R\$ 54,30	R\$ 64,35	R\$ 118,65
Brasília-DF		R\$ 97,80	R\$ 97,80
Fortaleza-CE		R\$ 149,70	R\$ 149,70

4.3.2 Cenário 2: Acordo com as concessionárias

Neste cenário o consumidor tem o aproveitamento de energia FV gerada correspondente aos percentuais citados anteriormente, de geração concomitante ao uso, conforme a tabela 3. Nos momentos em que a geração FV excede o consumo, esta energia é injetada na rede, mas sem nenhum benefício financeiro ao proprietário do sistema.

Tabela 3 – Balanço financeiro mensal do consumidor para o cenário 2

Cidade	Geração FV concomitante à demanda	Consumo suprido pela concessionária	Total da fatura
Florianópolis-SC	57,0kWh	243,0kWh	R\$ 94,19
Brasília-DF	75,3kWh	224,7kWh	R\$ 73,25
Fortaleza-CE	77,4kWh	222,6kWh	R\$ 111,07

4.3.3 Cenário 3: Implantação do modelo utilizado no Japão e Estados Unidos

Nesse cenário temos a medição de toda a energia FV gerada, isso através do sistema *net-metering*. A energia gerada que não é utilizada pela residência também é injetada na rede da concessionária, mas esta energia entregue à rede pública é subtraída do consumo mensal da residência, diminuindo ainda mais o valor da conta de energia elétrica paga à concessionária, como o apresentado na tabela 4.

Tabela 4 – Balanço financeiro mensal do consumidor para o cenário 3

Cidade	Geração FV concomitante à demanda	Injeção de energia na rede	Consumo suprido pela concessionária	Total da fatura
Florianópolis-SC	57,0kWh	35,7kWh	207,3kWh	R\$ 78,88
Brasília-DF	75,3kWh	34,0kWh	190,7kWh	R\$ 62,17
Fortaleza-CE	77,4kWh	31,1kWh	191,6kWh	R\$ 95,58

4.3.4 Cenário 4: Implantação do modelo utilizado na Alemanha

Neste cenário é utilizado o valor da tarifa prêmio de 2,5 vezes a tarifa normal, a mesma proporção que é adotada na Alemanha, no sistema *feed-in-tarif*, ocorrendo o balanço financeiro conforme a tabela 5.

Nesse cenário o proprietário do sistema FV, além de consumidor, é também um fornecedor de energia elétrica para a concessionária. Seu balanço financeiro se dá pela mesma fatura de energia que um consumidor convencional, acrescido de uma receita proveniente da venda de toda energia FV gerada. Esse sistema favoreceria a expansão do sistema FV de acordo com a possibilidade de investimento financeiro e de área disponível, contribuindo para aumento da geração de energia a partir de fontes alternativas, no caso, a energia solar fotovoltaica. Um comparativo entre os balanços financeiros de

cada cenário é apresentado na figura 5.

Tabela 5 – Balanço financeiro do consumidor para o cenário 4

Cidade	Geração FV total	Tarifa prêmio pago pela energia FV	Consumo suprido pela concessionária	Total da fatura	Total da receita pela geração FV	Balanço financeiro
Florianópolis-SC	92,7kWh	R\$ 0,905	300,0kWh	R\$ 118,65	R\$ 83,89	R\$ 34,76
Brasília-DF	109,3kWh	R\$ 0,815	300,0kWh	R\$ 97,80	R\$ 89,08	R\$ 8,72
Fortaleza-CE	108,5kWh	R\$ 1,248	300,0kWh	R\$ 149,70	R\$ 135,41	R\$ 14,29

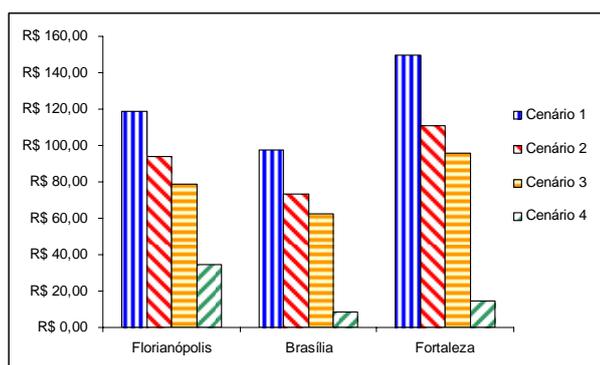


Figura 5 – Valor da conta de energia final para os diferentes cenários

5 CONCLUSÕES

A geração de energia elétrica nos dois sistemas FV analisados, LABSOLAR/UFSC e Casa Eficiente, ambos em Florianópolis, ponderando estas gerações para 1kWp, foram semelhantes. Desta forma, considerando-se que o custo de aquisição dos sistemas é similar, a escolha por uma ou outra tecnologia dependerá principalmente da quantidade de área disponível e da integração que melhor se adapte a tipologia da edificação.

Devido aos diferentes níveis de irradiação solar nas várias regiões do Brasil, um sistema FV terá desempenho proporcional ao nível de irradiação da região onde está instalado. As cidades exemplificadas foram escolhidas por apresentarem os extremos dos níveis de irradiação do país. Desta forma os valores de energia gerada referem-se ao máximo e mínimo potencial de geração de energia a partir de um sistema FV de 1kWp.

A curva de demanda de uma residência é extremamente variável, depende dos hábitos de consumo, da taxa de ocupação e dos horários em que esta residência está ocupada ao longo do dia. Por outro lado, a curva de geração FV também é variável conforme as condições climáticas. Este artigo baseou-se em curvas de demanda geradas pela Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso do PROCEL (2007). As curvas de geração FV média foram obtidas pelo levantamento dos dados de geração de energia elétrica ao longo do ano de 2007, nos dois sistemas FV existentes em Florianópolis. Assim esse estudo refere-se a uma média de geração e uma média de consumo.

As curvas médias de demanda de Florianópolis e Brasília apresentam comportamento similar, com picos de demanda nos inícios da manhã e da noite. Isso faz com que o aproveitamento imediato da geração FV não seja tão favorecido. Em Fortaleza a curva média de demanda é mais linear, com maior consumo diurno, o que resulta em uma melhor relação entre a geração FV e o consumo. Assim, após a instalação de um sistema FV os usuários da residência, dependendo do cenário ao qual eles estejam inseridos, poderão alterar sua curva de demanda, favorecendo o consumo concomitantemente à geração FV. Através da curva de demanda individualizada o valor de 1kWp poderia ser modificado. Isto permitiria potencializar as vantagens da geração FV de acordo com o cenário. No cenário 2 seria

interessante que a geração FV não ultrapassasse a demanda. No cenário 3, a premissa seria de que a geração FV ao longo do ano fosse equivalente à demanda anual. Já no cenário 4 a geração FV deveria ser a maior possível, limitada pela área disponível para a instalação dos módulos FV e pelo montante que o proprietário da residência esteja disposto a investir para instalar um sistema de geração FV.

O valor da tarifa de energia elétrica praticado pelas concessionárias, bem como as faixas de tarifação vinculadas ao consumo, como por exemplo a praticada pela CELESC, são os principais fatores que influem na viabilidade de implantação de um sistema de geração FV.

Considerando o balanço financeiro mensal, os cenários apresentaram grande variação. Com base no cenário 1, que reflete a tarifa de energia, os outros cenários, com um sistema de geração FV de 1kWp, apresentaram redução nos gastos mensais com energia elétrica. Além da redução dos gastos, o principal ganho com a instalação desta tecnologia é a geração de energia elétrica através de uma fonte limpa e renovável. O valor do investimento necessário à implantação de um sistema FV não foi analisado neste estudo, porém maiores esclarecimentos sobre o custo da instalação podem ser encontrados no trabalho de RÜTHER (2008).

A geração FV integrada à edificação caracteriza-se por ser uma forma de geração de energia elétrica descentralizada, que elimina as perdas de transmissão e distribuição da energia e minimizam os custos dessas instalações. Outra contribuição da geração descentralizada seria de reforçar a possibilidade do cidadão exercer a maior parte de suas atividades em sua residência. Já que a sociedade moderna consome dos seus cidadãos, muito tempo e dinheiro com deslocamentos. Residências capazes de gerar boa parte da energia necessária para as atividades de habitação e até mesmo profissionais, contribuiriam para a sustentabilidade das cidades que adotassem estas políticas de implantação da geração descentralizada, por exemplo, com painéis FV.

Outro aspecto que não pode ficar dissociado da geração FV é o uso eficiente da energia. Os métodos tradicionais de eficiência do uso da energia, como por exemplo, o uso de lâmpadas fluorescentes, aquecedores solares de água, adoção de equipamentos elétricos com selo PROCEL, entre outros, também são fundamentais na busca para a sustentabilidade do planeta.

6 REFERÊNCIAS

ABNT. **Dimensionamento de banco de baterias para sistemas fotovoltaicos puros**. NBR 14298 1999.

GERMANY. **Act revising the legislation on renewable energy sources in the electricity sector - Act implementing Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market** 2004.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. D.; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar**: INPE. São José dos Campos, 2006.

PROCEL. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso: ano base 2005**. PROCEL - ELETROBRAS, 2007.

RÜTHER, R.; SALAMONI, I.; MONTENEGRO, A.; BRAUM, P.; DEVIENNE F, R. **Programa de telhados solares fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil**. Anais desta Conferência. Fortaleza, 2008.

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**: Editora UFSC/LABSOLAR. Florianópolis, 2004.

WENZEL, B. **What electricity from renewable energies costs**. Federal Ministry for the Environment, Nature conservation and Nuclear safety. Berlin, 2007.