

# O POTENCIAL DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERLIGADOS À REDE ELÉTRICA EM ÁREAS URBANAS: DOIS ESTUDOS DE CASO

<sup>1</sup>CAROLINA DA SILVA JARDIM

<sup>1</sup>ISABEL SALAMONI

<sup>1</sup>RICARDO RÜTHER

<sup>1</sup>PAULO KNOB

<sup>2</sup>ANTÔNIA SÔNIA CARDOSO DINIZ

<sup>1</sup>LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações  
Departamento de Engenharia Civil / Universidade Federal de Santa Catarina

P.O. BOX 476 Florianópolis – SC / 88040-900 Brazil

Tel.: +55 48 331 5184, FAX: +55 48 3315191

Email: [carolina@labeee.ufsc.br](mailto:carolina@labeee.ufsc.br)

<sup>2</sup>CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais

Belo Horizonte – MG / 30190-131 Brazil

## RESUMO

Desde a década de 70, o Brasil vem sofrendo períodos de restrições financeiras e de crises no setor elétrico nacional. Estratégias no sentido de controlar a curva de carga principalmente nas horas de pico devem começar a ser prioridades no setor elétrico. Uma das alternativas de deslocamento dessa carga é a utilização de painéis fotovoltaicos interligados à rede de energia elétrica, disseminando dessa forma a geração nos pontos consumidores. Percebe-se que o pico de carga diurno devido principalmente à utilização de ar condicionado é dado justamente em casos onde a disponibilidade solar é alta. As curvas de carga, para regiões de “consumo diurno”, serão analisadas e comparadas com a capacidade de geração fotovoltaica (FV). Para isso será calculado o Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC) de sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica, traduzindo a capacidade das plantas FV em garantir o suprimento do consumo para uma determinada região analisada. Esse fator será relevante quando existir insolação adequada e consumo energético crescente, ou seja, onde haja a necessidade de expansão do sistema elétrico, principalmente de transmissão e distribuição. A análise pode ser feita para qualquer região da qual se tenha dados de geração solar e de consumo. Os estudos poderão comprovar na prática a eficiência de sistemas fotovoltaicos na redução do pico de consumo diurno. O trabalho visa estabelecer uma metodologia de identificação dos sítios onde a geração FV possa ser aplicada com o máximo de benefícios.

## *Abstract*

Since the 70s, Brazil has been facing periods of financial restrictions and crises in the national electricity sector. Strategies to control the load curve mainly at the peak hours must start to be priority in the electricity sector. One option of displacement of this load is the use of Photovoltaic generators (PV) connected to the utility grid. It is observed that the peak load over the day due to air-conditioning use occurs when the solar availability is high. The load curves, for regions of "daytime consumption", will be analyzed and compared with the capacity of PV generation. Therefore, the Effective Load-Carrying Capacity (ELCC) of PV systems connected to the utility grid will be calculated, translating the capacity of PV plants of guaranteeing the supply of the load for a specific region analyzed. The ELCC will be relevant when adequate solar radiation exists and increasing energy consumption occurs, as well as when it is necessary to expand the electrical system, mainly transmission and distribution. The analysis can be made for any region in which solar generation and power consumption data are available. The study will help to verify the efficiency of PV systems to reduce the peak load over the day. This work aims to establish a methodology of identification of regions where PV generation can be applied for maximum benefits.

## 1. Introdução

O sistema elétrico brasileiro é composto basicamente por usinas hidrelétricas. Em 2000, o sistema elétrico brasileiro sofreu períodos críticos, ocasionados pela falta de investimentos e inesperados períodos de seca.

Devido à grande extensão territorial o Brasil possui um sistema de Transmissão e Distribuição (T&D) bastante complexo e interligado. Os grandes potenciais hidrelétricos geralmente são afastados dos grandes centros urbanos fazendo com que sejam necessários grandes investimentos em linhas de T & D.

As construções dessas grandes usinas hidrelétricas trouxeram alguns impactos ambientais e sociais: alagamento de grandes áreas férteis, deslocamento de pessoas, desaparecimento de animais e plantas silvestres, grandes impactos visuais, entre outros.

Por outro lado a construção desse tipo de empreendimento também trouxe ao Brasil grande crescimento econômico uma vez que a disponibilidade de energia era abundante.

Atualmente a busca por outras fontes alternativas de energia se faz cada vez mais necessária pois, a diversificação da matriz energética, aumenta a confiabilidade do sistema elétrico.

Entre essas fontes alternativas destaca-se a energia solar, o Brasil possui um enorme potencial de geração solar. A geração fotovoltaica se dá pela conversão direta da luz solar em eletricidade, produzida nos painéis através da diferença de potencial elétrico nas faces opostas de uma junção semicondutora. Posteriormente, um inversor faz a conversão da corrente contínua em corrente alternada para disponibilizar o consumo.

Os sistemas fotovoltaicos integrados às edificações e interligados à rede elétrica são vantajosos à concessionária elétrica local, no sentido de aliviar picos de consumo na rede, aumentando assim a vida útil do sistema de transmissão e distribuição e adiando os grandes investimentos e longos prazos de instalação envolvidos na construção de centrais elétricas convencionais (Rüther, 1998).

A geração fotovoltaica ainda é bastante cara se comparada com a geração convencional, mas esse tipo de investimento pode se tornar mais competitivo quando utilizado estrategicamente pelas concessionárias, principalmente no sentido de aliviar os picos de demanda. Com isso os custos de expansão do sistema elétrico seriam postergados.

O sistema integrado à edificação, ao mesmo tempo em que gera energia, pode substituir elementos construtivos convencionais da edificação, como telhas, janelas, materiais de fachada, bem como elementos de sombreamento, possibilitando assim, uma maior economia ao consumidor de energia. Esta flexibilidade mostra uma grande variedade de aplicações na busca pela integração da edificação.

A GD (geração distribuída) de energia oferece inúmeras vantagens ao setor elétrico. A disposição da unidade de geração próxima à carga e outra característica bastante interessante é a rapidez na implantação. Além disso, permite uma maior diversificação das tecnologias empregadas para produção de energia e, desta maneira, sua escolha pode ser feita em função dos requerimentos específicos da carga ou da disponibilidade dos recursos energéticos locais. O mercado da GD está em expansão (Rodrigues, 2002).

## 2. Objetivo

A primeira parte do trabalho tem como finalidade verificar o potencial de geração fotovoltaica, considerando que toda a área útil das coberturas das edificações dos setores estudados seja coberta por painéis solares fotovoltaicos. Além de avaliar a relação entre a energia gerada e o consumo (kWh/ano), será feita uma análise comparativa entre a curva de demanda e a curva de geração solar para os dias de maior consumo.

Na segunda parte será calculado o Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC), que traduz a capacidade de uma planta fotovoltaica em contribuir efetivamente para redução do pico de

demanda. O trabalho visa estabelecer a identificação de sítios onde a geração FV possa ser aplicada com o máximo de benefícios.

### 3. Sistemas Fotovoltaicos Interligados à Rede Elétrica

Entre as vantagens dos sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica podem-se destacar: (1) não requerem área extra pois, são utilizadas no meio urbano, próximo ao consumidor, o que leva a (2) eliminar perdas por T & D da energia elétrica como ocorre com usinas geradoras centralizadas, além de (3) não requer instalações de infra-estrutura adicionais; os painéis fotovoltaicos podem ser também (4) considerados como um material de revestimento arquitetônico (redução de custos), dando à edificação uma (5) aparência estética inovadora e high tech além de trazer uma (6) imagem ecológica associada ao projeto, já que produz energia limpa e de fonte virtualmente inesgotável (Rüther, 1998).

Painéis fotovoltaicos são disponíveis hoje em várias apresentações além da forma plana clássica. Esta diversidade de apresentações possibilita a integração dos painéis fotovoltaicos às edificações com um mínimo de impacto arquitetônico. Eles podem ser adquiridos na forma de telhas, laminados flexíveis, placas semi-transparentes (que associam a geração de energia elétrica ao conforto ambiental em edifícios comerciais) e outros (Rüther, 1998).

Nos horários onde a geração é maior que o consumo o excedente é jogado na rede. O consumidor é considerado também um gerador, porque pode vender energia à rede quando a geração em sua residência for maior que o consumo e comprar energia da rede quando a sua própria geração não for suficiente.

### 4. Setores estudados

Foram estudados dois bairros da cidade de Florianópolis, tomados como amostras. Estes, com características distintas, tanto de caráter construtivo quanto ao uso e consumo energético. Um setor corresponde a uma área bem residencial e horizontal, portanto com uma grande área de cobertura disponível. O outro, corresponde a uma área central, bastante vertical e com uma área bem restrita de cobertura. No setor central foi estudada uma amostra referente a uma área comercial da cidade e no setor residencial foi estudada toda a área da praia de Jurerê.

Primeiramente, foram verificados os consumos de energia totais mensais de cada setor, através de dados fornecidos pela CELESC, dos alimentadores correspondentes. Estes alimentadores correspondem ao ICO 07, referente à área central e ao INE 02, referente à área residencial.

De acordo com a tabela 1 é possível verificar que os valores de consumo de energia diferem significativamente entre si, devido ao fato de que o setor residencial não possui muitos moradores durante o ano, fazendo com que seu consumo ocorra, na maior parte, nos meses de Dezembro a Março.

**Tabela 1:** Valores de consumo de energia elétrica

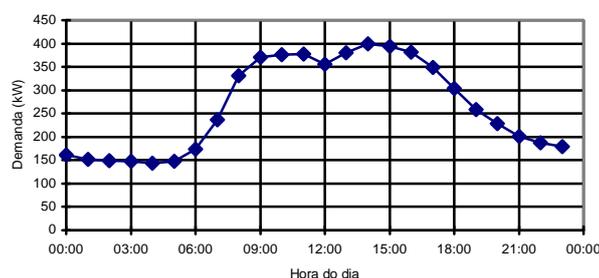
ALIMENTADOR ICO 07		ALIMENTADOR INE 02	
MÊS	MWh/mês	MÊS	MWh/mês
2000 – agosto	2.292	2000 – agosto	1.833
2000 – setembro	2.195	2000 – setembro	1.822
2000 – outubro	2.350	2000 – outubro	2.021
2000 – novembro	2.053	2000 – novembro	1.744
2000 – dezembro	2.902	2000 – dezembro	2.790
2001 – janeiro	3.082	2001 – janeiro	4.073
2001 – fevereiro	2.934	2001 – fevereiro	3.392
2001 – março	3.193	2001 – março	2.485
2001 – abril	2.564	2001 – abril	2.037
2001 – maio	2.120	2001 – maio	1.686
2001 – junho	1.761	2001 – junho	1.224
2001 – julho	2.058	2001 – julho	(*) 3
2001 – agosto	1.074	2001 – agosto	(*) 778
2001 – setembro	1.708	2001 – setembro	1.537

2001 - outubro	1.999	2001 – outubro	1.382
2001 - novembro	2.018	2001– novembro	1.172
2001 - dezembro	2.539	2001– dezembro	1.992
2002 – janeiro	2.961	2002 – janeiro	2.941
2002 - fevereiro	2.626	2002 – fevereiro	2.429
2002 – março	3.486	2002 – março	2.356
2002 – abril	2.821	2002 – abril	1.827

(\*) Nos meses de julho e agosto de 2001 existem vários dias sem registros de dados. Sendo assim, os valores apresentados na Tabela 1 acima para esses meses serão ignorados.

Após esta verificação, foram analisadas as curvas de demanda referentes a cada alimentador e observados seus picos.

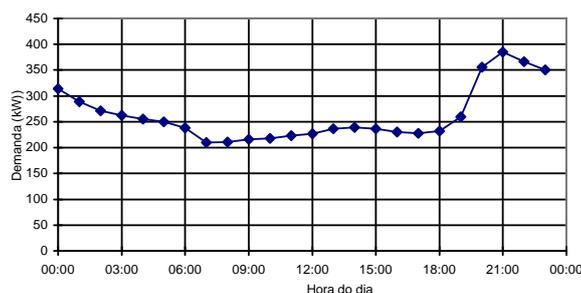
ALIMENTADOR ICO 07



**Figura 1:** Curva de demanda da região central para dia de maior pico de consumo (dia 09/03/02).

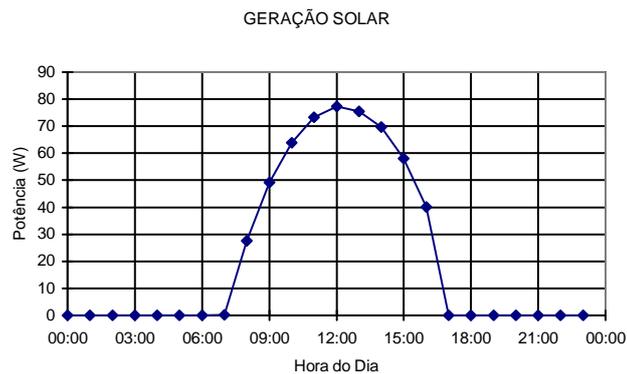
A figura 1 é referente, à área central, cujo alimentador correspondente é o ICO 07, que possui um pico diurno. O pico ocorre às 14:00 horas, diminuindo ao meio dia, horário correspondente ao almoço onde, possivelmente, os aparelhos de ar condicionado são desligados, e atingindo seu valor máximo por volta das 14 horas, horário em que se retomam as atividades no setor comercial. Este gráfico corresponde ao dia de maior demanda do setor centro.

ALIMENTADOR INE 02



**Figura 2:** Curva de demanda da região residencial para dia de maior pico de consumo (dia 18/01/01).

A figura 2 mostra a curva de demanda do alimentador residencial. Pôde-se observar que este setor possui seu pico noturno, às 21 horas. Este horário de pico se justifica por ser um setor residencial e localizado na praia. Durante o dia, os consumidores permanecem a maior parte do tempo fora das residências, retornando à noite. O pico atinge valor máximo provavelmente devido à utilização do chuveiro elétrico, sendo este o responsável pela maior parcela do consumo de energia elétrica de uma edificação. O aquecimento solar de água poderia ser utilizado como uma alternativa importante para a redução deste pico.



**Figura 3:** Curva de geração solar para um dia limpo.

Através da figura 3, é possível observar os horários de maior incidência solar e, conseqüentemente, maior geração solar.

Em cada setor foram calculadas as áreas totais de cobertura para a implementação do sistema fotovoltaico. Neste primeiro estudo, foram consideradas as coberturas como horizontais, com toda a área útil e desconsideradas as questões de sombreamento. Este estudo teve como objetivo a obtenção de uma idéia global do potencial de geração fotovoltaica de cada setor.

## 5. Cálculo de radiação e geração fotovoltaica

A potência instalada no sistema  $P_{CC}$  (em kWp) será obtida em função da área de cobertura disponível  $A_{disponível}$  (em m<sup>2</sup>).

$$P_{CC} = A_{disponível} \cdot \text{Eff} / 100 \quad [\text{Eq.1}]$$

Onde, Eff corresponde à eficiência do painel (em %).

A quantidade de energia fotovoltaica gerada pelo sistema será obtida em função da potência instalada, da eficiência do sistema inversor e da irradiação incidente no plano do painel.

$$E = n_{el} \cdot P_{CC} \cdot G_{POA} \quad [\text{Eq.2}]$$

Onde,  $n_{el}$  corresponde à eficiência do sistema inversor, com valor tipicamente 90%,  $P_{CC}$  corresponde à potência instalada e  $G_{POA}$  (em kWh/m<sup>2</sup>/dia) corresponde à quantidade de radiação incidente no plano do painel.

## 6. Inclinação e orientação

Quantificadas as áreas de cobertura em cada setor, foi calculada a quantidade de energia gerada pelos sistemas. Esse cálculo se deu da seguinte forma:

Através dos dados horários de radiação global horizontal, fornecidas pelo LABSOLAR, foram obtidas as quantidades de radiação diária, mensal e anual para a cidade de Florianópolis, desconsiderando a inclinação dos telhados. Foram utilizados os dados de irradiação global horizontal, pois o estudo de geração de energia foi feito considerando o ângulo de inclinação dos painéis de zero grau.

Obtidos os valores de geração fotovoltaica para inclinação de zero grau, serão estudados mais dois casos: coberturas com inclinação e orientação ideais, ou seja, inclinadas a 27 graus e voltadas para norte; e coberturas com as inclinações e orientações reais. Os cálculos de geração de energia para os valores reais serão feitos com os percentuais de inclinação e orientação encontrados nas amostras.

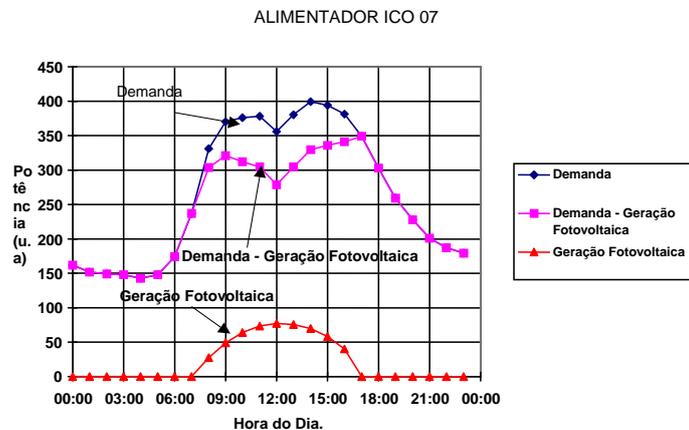
Para estes dois casos, os dados de irradiação utilizados para o cálculo de geração de energia serão os de irradiação no plano inclinado do painel. Para a obtenção destes valores, será utilizado o programa RADIASOL.

Se os valores encontrados diferirem muito entre si, será feito, através de métodos estatísticos, um coeficiente de correlação entre os percentuais correspondentes a inclinação e orientação obtidas na amostra, a fim de obter um resultado com maior precisão.

A necessidade desses três estudos se deve ao fato de que a cidade de Florianópolis não possui um banco de dados referente às plantas de cobertura dos setores, fazendo com que seja gerado um certo grau de imprecisão ao serem calculadas as áreas manualmente.

## 7. Resultados obtidos

Confrontando os valores de consumo de energia e geração fotovoltaica nos determinados setores, pode-se verificar de que forma o sistema poderá contribuir com a rede elétrica pública.

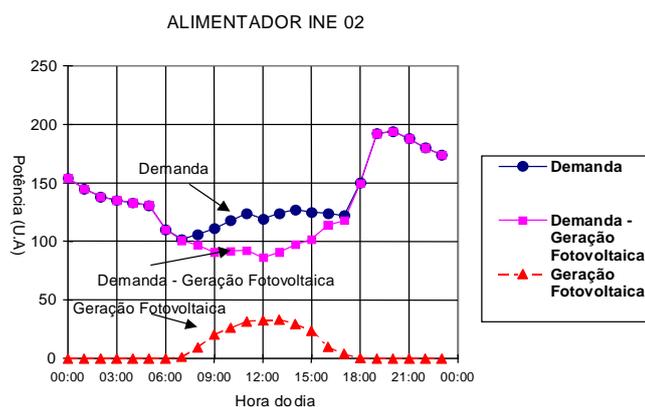


**Figura 4:** Curvas de demanda, geração solar e demanda menos geração no alimentador central.

A figura 4 mostra os dados de geração fotovoltaica e demanda de energia elétrica no alimentador ICO 07, correspondente à área central para um dia típico.

A curva superior refere-se à demanda de energia no setor, a inferior corresponde à geração fotovoltaica e a intermediária representa a demanda com geração fotovoltaica, ou seja, a diferença entre consumo e geração.

Pôde-se constatar que a demanda diminui significativamente quando a geração fotovoltaica auxilia a rede elétrica convencional. Essa redução se deve ao fato de que os horários de pico podem coincidir com os horários de geração fotovoltaica nas áreas comerciais.



**Figura 5:** Curvas de demanda, geração solar e demanda menos geração no alimentador residencial.

A figura 5 mostra os dados de geração fotovoltaica e demanda de energia no setor INE 02, correspondente à área de Jurerê.

Pôde-se observar que o pico do setor Jurerê não coincide com o de geração fotovoltaica. O pico máximo deste setor ocorre à noite, por volta das 21 horas, enquanto que o pico de geração ocorre durante o dia.

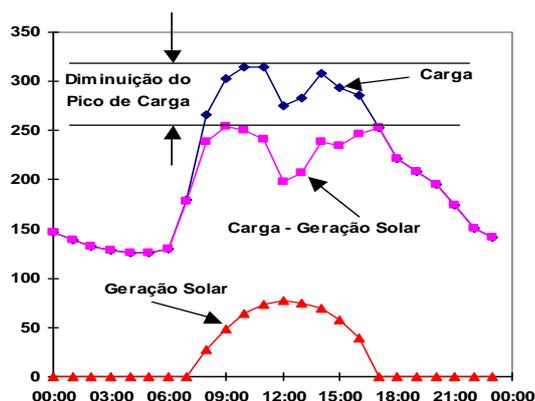
O setor Jurerê, por ter uma grande área de cobertura disponível conseguiu gerar mais energia do que seu consumo, mas como se pode observar na curva, o sistema neste setor, não poderá contribuir para a redução do pico de consumo, mas poderá auxiliar na redução de outras áreas adjacentes, onde o pico coincida com a geração, como é o caso da região central da cidade, mostrada no exemplo anterior. Neste caso poderá funcionar como uma mini usina geradora de energia.

Estes resultados foram obtidos mesmo com a utilização de painéis fotovoltaicos baseados em filmes finos de silício amorfo, que representam uma das tecnologias menos eficientes do mercado fotovoltaico e que, portanto, ocupa maior área. No caso da utilização de painéis baseados em silício cristalino, esta geração seria dobrada, pois esta tecnologia possui uma eficiência duas vezes maior do que a dos filmes finos.

## 8. Pico de demanda diurno e curva de demanda

Em áreas comerciais, o uso intensivo de aparelhos de ar condicionado para condicionamento de ambientes coincide com a maior oferta solar e, portanto com máximos na geração fotovoltaica.

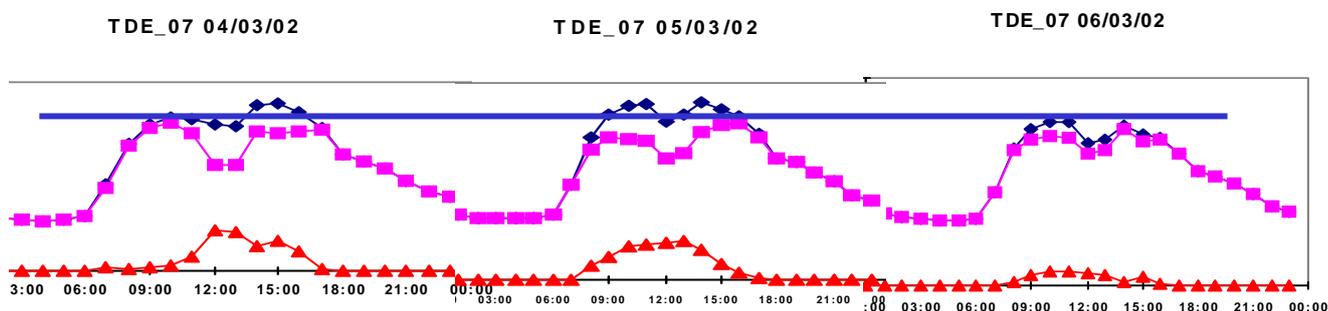
Nessas regiões, o maior consumo ocorre no verão no período entre 09:00h e 17:00h, exatamente o período de maior geração solar. Comparando curvas de consumo e curvas de geração solar, pode-se conhecer a "capacidade" que uma planta FV tem de gerar energia quando esta é necessária. Sendo assim, uma planta FV pode ser vista não apenas como uma fonte geradora de energia, mas também, e principalmente, como uma planta que aumenta a capacidade da rede elétrica local (Jardim, 2003).



**Figura 6:** Representação da diminuição do pico de demanda com a geração FV.

Na figura 6 a curva superior está representando um alimentador com pico de demanda diurno, a curva intermediária representa a nova curva de demanda a ser suprida pela geração convencional caso seja complementada pela geração solar e a curva inferior representa a geração fotovoltaica num dia limpo, ou seja, de máxima geração solar.

Os gráficos apresentados abaixo correspondem a dias consecutivos do alimentador TDE\_07 que alimenta a região da Trindade em Florianópolis onde está localizada a estação Solarimétrica da UFSC. As curvas superiores representam a demanda, as intermediárias representam a diferença entre a demanda e a geração fotovoltaica e as curvas inferiores representam a geração fotovoltaica.



**Figura 7:** Representação de vários dias de um mesmo alimentador TDE\_07

Através desses gráficos é possível verificar que a demanda é influenciada pela disponibilidade solar. No dia 04/03/02 a demanda antes do meio dia é menor que após o meio dia justamente quando tem sol. Isso se torna claro ao perceber que a nova curva de demanda com a geração fotovoltaica do dia 05/03/02 não ultrapassa a própria demanda do dia 06/03/02 que foi nublado.

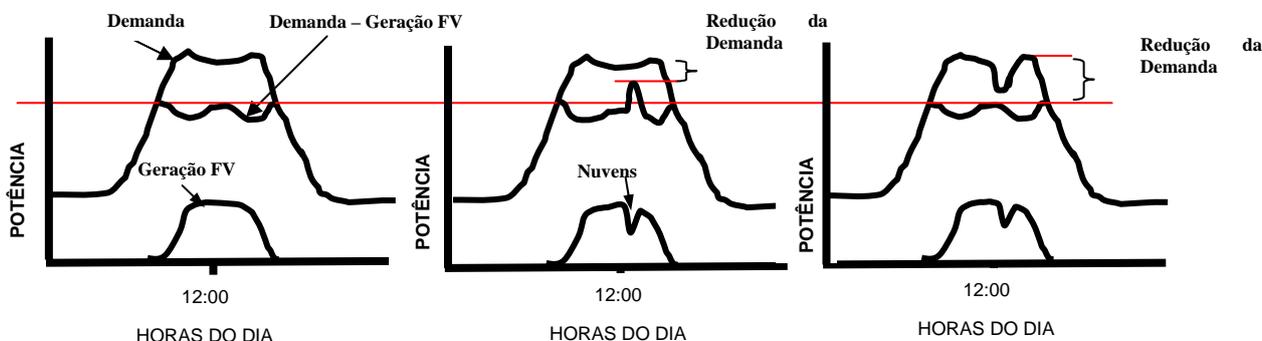
A linha que corta os três gráficos mostra a máxima demanda prevista para suprir a geração convencional utilizando a geração fotovoltaica.

### 8.1 Controladores de carga solar

Para solucionar interferências de nuvens em dias ensolarados onde a demanda é alta, pode-se utilizar controladores de carga de sol. Esses controladores são instalados na parte externa de edifícios comerciais e são responsáveis pela diminuição da demanda, justamente nos momentos quando existem as interferências.

Em dias limpos, a geração solar é suficiente para reduzir o pico de demanda para os níveis desejados (Figura 8 - esquerda). Entretanto, a ocorrência de uma nuvem pode diminuir consideravelmente a geração solar e com isso o nível de demanda desejado será ultrapassado

(Figura 8 - centro). Nesses casos existe uma solução simples para evitar que isso ocorra: reduzir a demanda, por exemplo, devido ao uso de ar condicionado, aumentando em 1° C ou 2 ° C a temperatura do sistema de ar condicionado enquanto a nuvem estiver sombreando as placas fotovoltaicas (Figura 8 - direita).



Fonte: Perez et all 2000

Figura 8: Comportamento da redução da demanda com controladores

## 9. Redução efetiva do pico de demanda diurno

O Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC) traduz a capacidade de uma planta geradora têm de suprir o pico de demanda, ou seja, de adicionar capacidade à rede elétrica (Herig,2001) (Perez,1996,2000,2001). Os estudos feitos por Richard Perez, calculam o FECC com dados de irradiação solar estatísticos, espaciais e temporais. Foi considerado para o cálculo do FECC “dias limpos”, ou seja, capacidade máxima de geração FV.

Um “dia limpo” caracteriza-se por não apresentar descontinuidade de geração solar. Foram selecionados 12 dias limpos, um para cada mês do ano. Os formatos dessas curvas se assemelham a um “sino” onde o pico é dado pelo máximo de irradiação solar daquele dia escolhido. Posteriormente essas 12 curvas foram normalizadas em função da demanda de cada alimentador.

Nível de penetração é definido como sendo o valor percentual da potência FV instalada em relação ao pico de demanda. Tomando como exemplo o alimentador CQS\_01 que tem uma curva de demanda com o pico de 5880 kW, adotar um nível de penetração FV de 10% significa que a rede (alimentador) será responsável pelo suprimento de 90% desse pico. Neste caso a capacidade suprida pela rede seria 5292 kW e da planta FV de 588 kW.

O Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC) só terá relevância em regiões que possuam demanda com o pico diurno e se justificará em regiões onde seja necessário fazer ampliação de linhas de T & D.

$$FECC = ((Pico C - Pico CFV) / PPFV) * 100\% \quad [Eq.3]$$

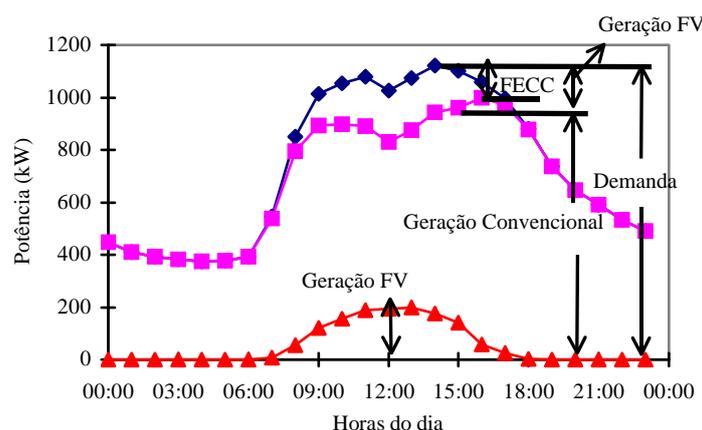
Onde:

**Pico C:** é o Pico de Carga histórico

**Pico CFV:** é o Pico de Carga histórico considerando a existência da Planta FV, ou seja, é o maior valor da carga menos a geração FV

**PPFV:** é a potência da Planta FV

Abaixo a figura 9 exemplifica a teoria aplicada. A curva intermediária mostra exatamente quanto a planta fotovoltaica pode reduzir o pico de demanda em um dia limpo.



**Figura 9** – Curva de demanda original, geração fotovoltaica e diferença entre a demanda e a geração FV

Os termos que aparecem na figura são:

**Demanda** – Valor da demanda a ser suprida;

**Geração Convencional** – Parcela da demanda suprida pela geração convencional;

**Geração FV** – Parcela da demanda a ser suprida pela geração FV. Esse valor corresponde à potência fotovoltaica instalada, cujo valor máximo de geração FV é obtido às 12:00 h;

**FECC** – Porcentagem da redução do pico de demanda em relação à potência FV instalada.

## 10. Resultados obtidos na cidade de Florianópolis

Como primeiro passo na localização dos alimentadores diurnos, foram localizados os alimentadores que possuíam pico de demanda entre 07:00 horas e 17:00 horas.

Dos 56 alimentadores de Florianópolis e região, foram analisados 14 alimentadores diurnos dos 24 existentes. Alguns alimentadores possuem esses dados registrados a partir de 01/08/2000 e outros a partir de 01/08/2001, ambos com medições até o dia 30/04/2002. Embora alguns alimentadores não possuam dados registrados para dois anos completos, todos eles possuem dados completos para dois “verões”, que, como foi visto, são os períodos que definem a redução efetiva do pico de demanda.

Os dados de geração FV utilizados foram registrados pelo sistema fotovoltaico (2kWp) interligado à rede elétrica localizado no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Apresenta uma superfície de 40 m<sup>2</sup>, inclinação de 27° orientada para o norte verdadeiro.

**Tabela 2:** Valores de FECC para 10 % de penetração.

Alimentador	Pico C (kW)	PotFV (kW)	Redemanda (kW)	Dia	Hora	FECC %
CQS_01	5880	588,0	390,56	11/03/02	15:00	66,42
CQS_10	8079	807,9	645,36	12/03/02	14:00	79,88
CQS_11	9537	953,7	832,51	13/03/02	14:00	87,29
CQS_12	8031	803,1	501,23	23/11/01	15:00	62,41
CQS_TT1	26794	2679,4	2127,30	19/03/02	14:00	79,39
ICO_03	6932	693,2	341,80	27/11/01	15:00	49,31
ICO_07	9537	953,7	813,16	19/03/02	14:00	85,26
ICO_08	8963	896,3	782,25	12/03/02	14:00	87,27
ICO_09	5019	501,9	432,11	16/11/00	10:00	86,09
ICO_10	9273	927,3	604,25	27/10/00	15:00	65,15
ICO_11	9369	936,9	780,89	11/03/02	14:00	83,34
ICO_LI	6430	643,0	561,70	12/02/02	14:00	87,36
CQS_TT2	30759	3075,9	2500,28	19/03/02	15:00	81,28
TDE_07	9513	951,3	830,36	12/03/02	14:00	87,28

## 11. Resultados obtidos na cidade de Belo Horizonte

Foram analisados 14 alimentadores diurnos dos 17 selecionados (monitorados no período de 01/07/2002 a 30/04/2003). Os dados de radiação solar foram obtidos através de satélites, esses correspondem ao mesmo período.

**Tabela 3:** Valores de FECC para 10 % de penetração.

Alimentador	Pico C (kW)	PotFV (kW)	Redemanda (kW)	Dia	Hora	FECC %
BHBP10FI_HI	5.517,90	551,79	419,47	20/11/02	15:00	76,02
BHBP18FI_HI	8.953,75	895,37	598,82	19/12/02	15:00	66,88
BHBP22FI_HI	6.358,21	635,82	425,23	03/12/02	15:00	66,88
BHBP27FI_HI	7.375,87	737,58	448,89	06/01/03	16:00	60,86
BHBP3FI_HI	8.234,87	823,48	693,34	08/01/03	15:00	84,19
BHBP4FI_HI	2.315,47	231,54	187,47	06/03/03	17:00	80,96
BHGT10FI_HI	2.842,98	284,29	172,71	27/02/03	19:00	60,75
BHGT18FI_HI	3.884,01	388,40	126,05	26/09/02	19:00	32,45
BHSE10FI_HI	5.541,25	554,12	56,62	13/03/03	18:00	10,21
BHSE18FI_HI	6.022,08	602,20	570,23	28/11/02	11:00	94,68
BHSN10FI_HI	6.059,41	605,94	331,44	11/02/03	19:00	54,69
BHSN18FI_HI	10.529,30	1.052,93	258,28	22/10/02	17:00	24,53
BHSN3KI_HI	4.785,00	478,50	432,20	27/09/02	11:00	92,97
BHSN4FI_HI	4.598,26	459,82	172,73	03/12/02	15:00	37,56

O alimentador BHSE18FI\_HI obteve o FECC mais elevado representado 94,68 % com um nível de penetração de 10%. Isso significa que uma planta fotovoltaica de 602,20 kW (correspondente a 10% de penetração FV), pode ser considerada uma fonte de energia despachável de 570,23 kW.

## 12. Conclusões

A geração solar fotovoltaica integrada à edificação e interligada à rede elétrica pública pode trazer inúmeros benefícios à concessionária, tanto de caráter energético quanto financeiro. Pelo fato de o sistema ser instalado no próprio ponto de consumo, as perdas por transmissão e distribuição inerentes da geração centralizada convencional são eliminadas, fazendo com que aumente a eficiência energética da concessionária.

Os estudos realizados em dois setores distintos da cidade de Florianópolis mostram dois casos de potencialidades de geração. O setor central da cidade mostrou ter uma área de cobertura bem restrita para a implementação do sistema de geração, mas por ter picos de geração fotovoltaica e de consumo energético coincidentes, qualquer geração neste setor, por mais que não consiga suprir a demanda total, irá trazer benefícios significativos à rede, pois estará ajudando a diminuir a sobrecarga da rede local num horário crítico que corresponde ao horário de pico.

O setor referente à área residencial mostrou possuir uma grande área de cobertura disponível para a geração fotovoltaica, mas como seus picos de consumo energético e geração não são coincidentes com a energia fotovoltaica interligada neste alimentador, não iria trazer benefícios de alívio de carga à rede, pois não estaria auxiliando na redução do pico de demanda. Este setor, no entanto, poderia servir como uma mini usina geradora de energia, que estaria auxiliando na sobrecarga da rede em outra área adjacente, que possua pico diurno.

A disseminação de sistemas fotovoltaicos em centros urbanos pode ter um papel de extrema importância na redução do pico de demanda em horas que a abundância solar é compatível com a utilização da energia.

É importante destacar que a utilização de sistemas fotovoltaicos integrados em edifícios comerciais parece particularmente vantajosa, considerando que as atividades nestes edifícios concentram-se no mesmo período de disponibilidade da energia solar. Edifícios comerciais geralmente apresentam grandes áreas laterais de vidros, que podem ser aproveitadas para a instalação de painéis fotovoltaicos.

Os picos de demanda representam um “problema” para o setor elétrico; a estratégia apresentada neste trabalho aborda esse problema afim de controlá-lo.

Palavras-chave: energia fotovoltaica, pico de demanda e consumo energético.

### 13. Agradecimentos

Os autores agradecem a Centrais Elétricas de Santa Catarina – CELESC, e a Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, pelo acesso aos dados reportados neste trabalho.

### 14. Referências Bibliográficas

HERIG, C., **Using Photovoltaics to Preserve California’s Electricity Capacity Reserves**, NREL/BR-520-31179, Golden, CO, 2001.

JARDIM, C., KNOB, P., RÜTHER, R., **Estudo do Potencial Fotovoltaico em Regiões com Pico de Demanda Diurno na cidade de Florianópolis**. In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído - ENCAC, 2003, Curitiba.

JARDIM, C., KNOB, P., RÜTHER, R., **Study of Photovoltaic Potential in Urban Areas with daytime load peaks**. In: Conference on Passive and low energy architecture - PLEA, 2003, Santiago.

KNOB, P., RÜTHER, R., JARDIM, C., BEYER, H., **Investigating the peak demand reduction capability of PV: a case study in Florianópolis, South Brazil**. 19<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 7 – 11 June, 2004, Paris.

PEREZ, R., SEALS, R., HERIG, C. **PV Can Add Capacity to the Grid**. NREL Brochure DOE/GO-10096-262, NREL, Golden, CO, 1996.

PEREZ, R., et al., **The Solar Load Controller End-Use Maximization of PV’s Peak Shaving Capacity**, Proc. ASES Annual Conference, Madison, Wisconsin, 2000.

PEREZ, R., **Meeting Peak Demand with Photovoltaics**, University of New York at Albany, 2001.

RODRIGUES, C., **Mecanismos Regulatórios, Tarifários e Econômicos na Geração Distribuída: O Caso dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. Dissertação (Mestrado).

RÜTHER, R., DACOREGIO, M., **Performance Assessment of a 2 kWp Grid-Connected, Building-integrated, Amorphous Silicon Photovoltaic Installation in Brazil**. 8: 257-266, Progress in Photovoltaics Research and Applications, 2000.

RÜTHER, R., **Panorama Atual da Utilização da Energia Solar Fotovoltaica e Trabalho do Labsolar nesta Área**. Laboratório de Energia Solar. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

SCHMELA, M., A Bullish PV Year, **Photon Internacional**, Issue 3/2003, 42 – 48, 2003.