

## CONTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA DE BAIXA TENSÃO

**Wilson Negrão Macêdo** – wnmacedo@iee.usp.br

**Roberto Zilles** – zilles@iee.usp.br

Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos

### 3.6 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

**Resumo.** *Este trabalho apresenta a contribuição energética de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica (SFCR) de 11,07 kWp. Com base em resultados práticos verificou-se que a contribuição ao consumo anual da edificação é de aproximadamente 55% e o fluxo de potência da edificação para a rede elétrica só acontece em finais de semana e feriados quando a carga da edificação é baixa.*

**Palavras-chave:** *Energia Solar, Conexão à Rede, Geração Distribuída, Intercâmbio de Potência*

## 1. INTRODUÇÃO

O grande potencial hidroelétrico do Brasil torna seu sistema elétrico muito particular. O uso de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFCR) em aplicações residenciais, comerciais e industriais pode ser um dos caminhos para a diversificação da produção de eletricidade no país. Em termos estritamente econômicos, a inserção de sistemas fotovoltaicos na rede elétrica só se justifica se o custo da energia produzida por estes for comparável ao das fontes de energia convencionais o que não é o caso no momento. Apesar disso, eles são muito importantes do ponto de vista estratégico da disseminação de utilização de fontes descentralizadas.

Uma das principais vantagens da utilização desses sistemas é a possibilidade de integrá-los à arquitetura das edificações, possibilitando o aproveitamento do recurso solar disponível para geração de eletricidade no próprio local de consumo. Com base nessa linha de atuação, o Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade da São Paulo (LSF/IEE-USP) tem executado projetos para avaliar esse tipo de aplicação. Dentre os objetivos desses projetos pode-se mencionar a avaliação do potencial da utilização da energia solar para geração de eletricidade a partir dos SFCR e a operação de diferentes configurações.

A utilização de SFCR no Brasil se restringe basicamente a instituições de pesquisa que se prestam ao desenvolvimento de estudos de fundamental importância para entendimento do funcionamento destes sistemas. Como contribuição de mais um estudo realizado por um dessas instituições, este trabalho mostra a contribuição energética de um SFCR e características do perfil de consumo da edificação e produção do SFCR.

## 2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO

O SFCR foi instalado em dezembro de 2003 na fachada do prédio da administração do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (IEE/USP), e é constituído de oito geradores fotovoltaicos inclinados de 23<sup>o</sup> faceando o norte. Cada gerador fotovoltaico está associado a um inversor de 1kW, totalizando 11,07 kW de potência instalada. As saídas dos inversores estão conectadas em paralelo em um barramento CA de 220 Volts, compatível com a saída do equipamento. As Figs. 1 e 2 mostram os geradores instalados na fachada do prédio da administração do IEE/USP, bem como os inversores instalados internamente a edificação.



Figura 1- Geradores instalados na fachada do prédio da administração do IEE/USP.

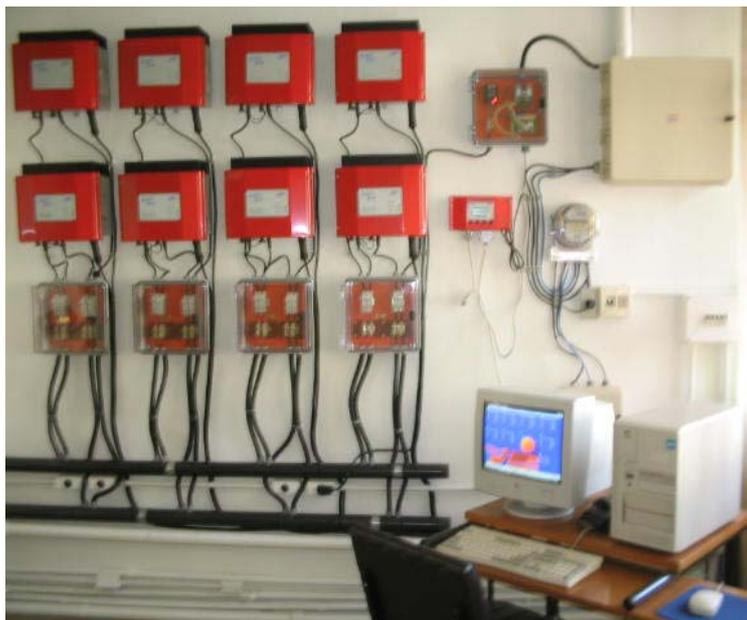


Figura 2- Inversores instalados internamente ao prédio da administração do IEE/USP.

### **3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO**

O sistema de monitoramento consiste de um conjunto de sensores, um Sunny Data Control Plus (SDCP) e um computador que coleta e permite visualizar os dados medidos somente a produção do SFCR. No que se refere ao conjunto de sensores, foram utilizados dois termopares tipo T para avaliar o desempenho de cada uma das tecnologias de módulos, c-Si e mc-Si, com a temperatura. Além disso, uma célula de referência para medida da radiação solar incidente no plano dos geradores foi instalada na mesma estrutura em que se encontram os módulos. A Fig. 3 ilustra um diagrama esquemático com as variáveis de entrada e saída monitoradas pelo sistema, bem como todos os equipamentos utilizados para a aquisição e visualização das variáveis de interesse.

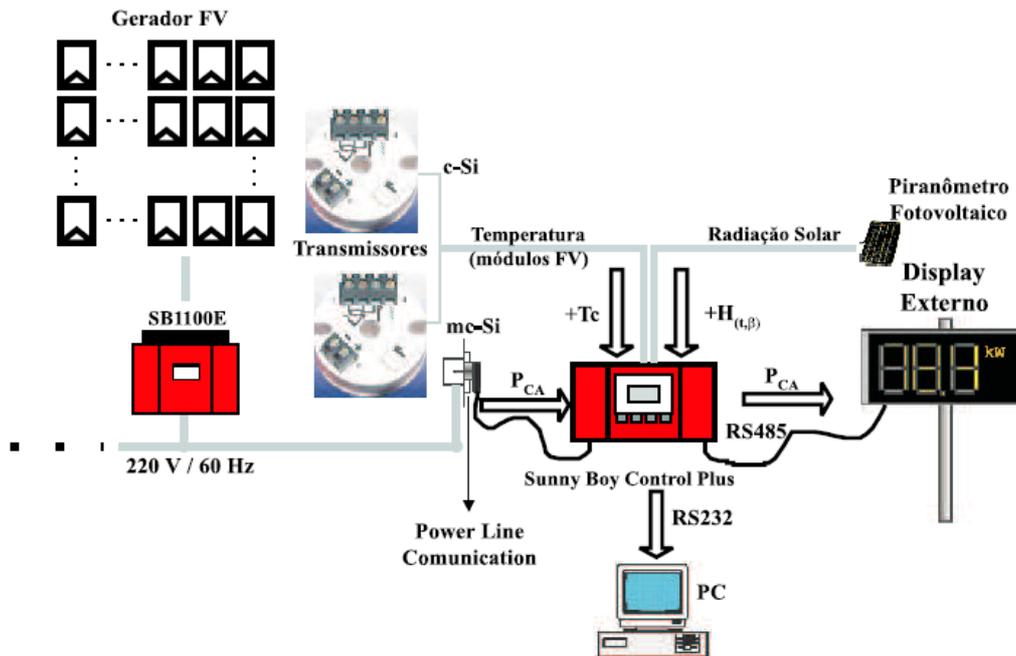


Figura 3- Variáveis de entrada e saída do sistema e seus dispositivos de aquisição de dados.

Diante do interesse em se definir o perfil de consumo de energia elétrica de um prédio público, para fins de análise de viabilidade de utilização de fontes alternativas no suprimento parcial ou total dessas edificações, e com o objetivo de avaliar o comportamento do sistema em termos de seu fluxo de potência CA, o que não era possível com o sistema descrito anteriormente, foram instalados dois medidores de memória de massa, sendo o Medidor 1 destinado a monitorar o balanço entre o que entra e sai da edificação e o Medidor 2 utilizado para o registro do fluxo proveniente do SFCR. A instalação dos medidores, com respectivos acessórios para a medição (Linha telefônica, Transformadores de Corrente ou TC's, etc) foi efetuada em cima (medidores) e dentro (TC's) do quadro geral da edificação tal como mostra a Fig. 4.



Figura 4- Etapas da instalação dos equipamentos utilizados no processo de medição das grandezas elétricas.

Dessa forma, o diagrama esquemático da Fig. 5 representa de maneira ilustrativa a configuração envolvendo o SFCR, rede elétrica, carga e os medidores eletrônicos de grandezas elétricas.

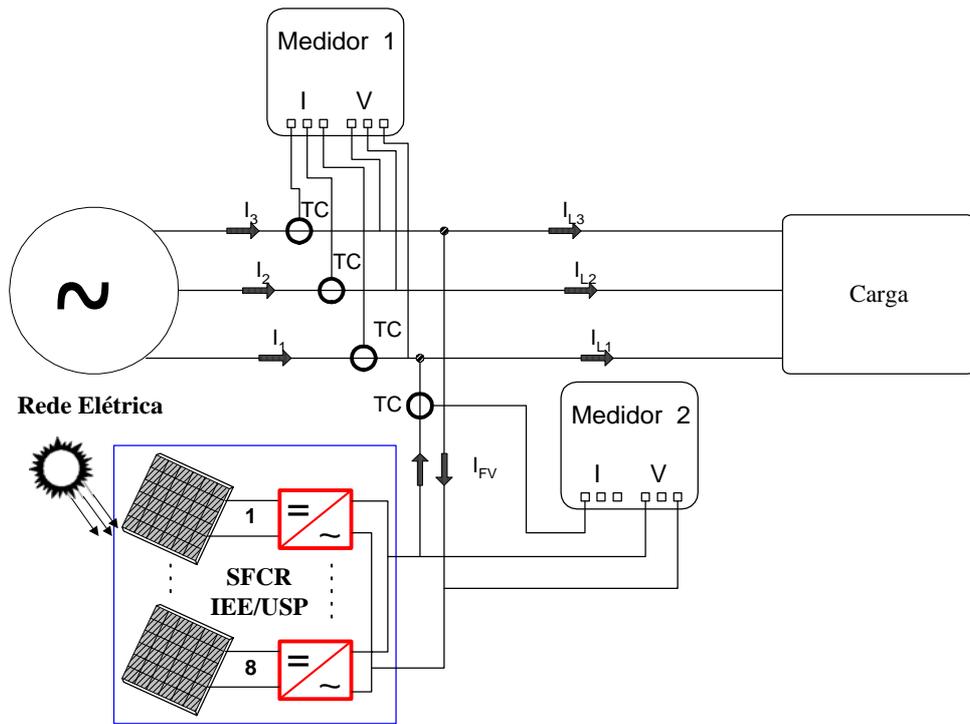
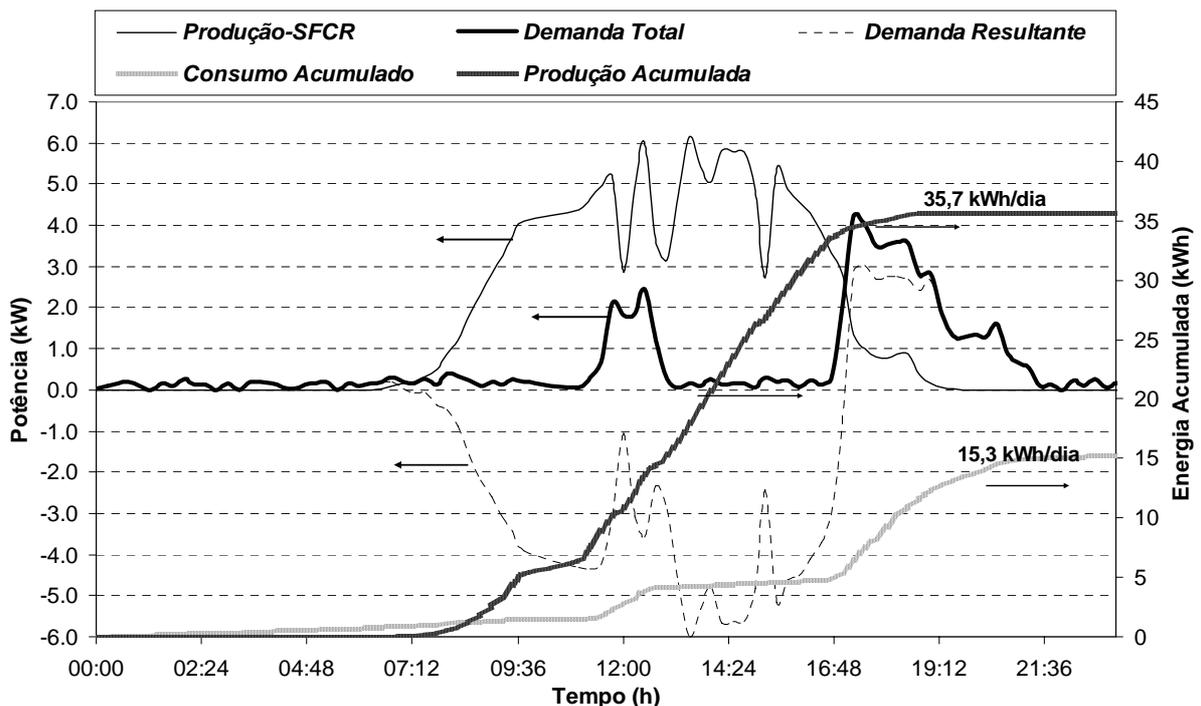


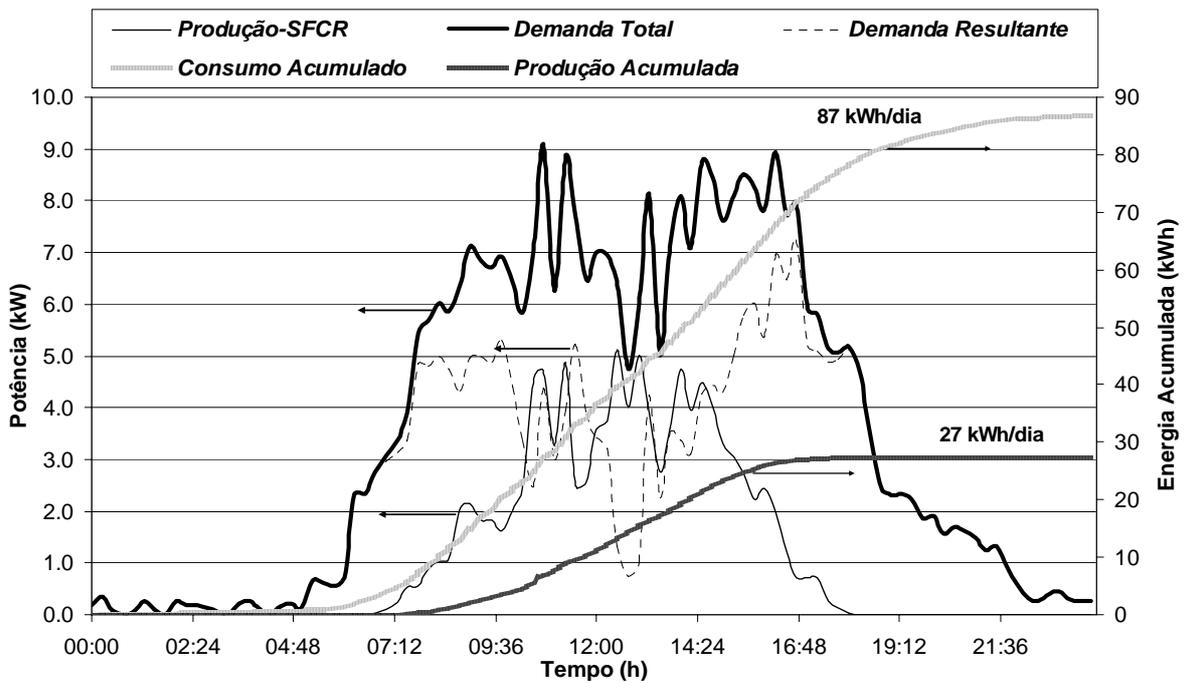
Figura 5- Diagrama esquemático do SFCR e medidores de grandezas elétricas.

#### 4. CURVA DE CARGA DA EDIFICAÇÃO E ANÁLISE DO FLUXO DE POTÊNCIA

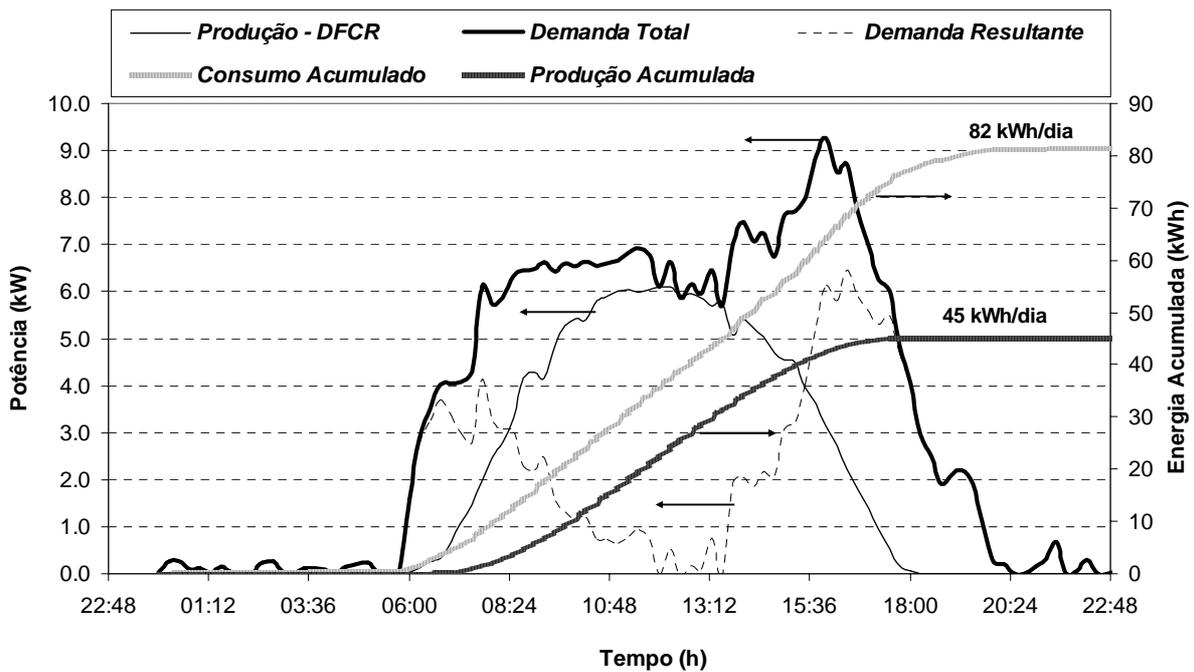
As Figs. 6(a), 6(b) e 6(c) mostram a interação entre a produção do SFCR e a carga média da edificação, bem como o fluxo de potência resultante, além da energia total consumida e produzida, para três dias com diferentes perfis de produção e consumo. Observa-se claramente a contribuição para redução do consumo de eletricidade da edificação. A Fig. 6(a) mostra que de 07h30min as 17h00min o SFCR produziu 29,7 kWh a mais de energia que a carga da edificação necessitava o que não acontece nas outras duas situações, onde a produção é menor que o consumo.



(a)- Dia não útil com produção solar igual a 233 % do consumo.



(b)– Dia útil com produção solar igual a 31 % do consumo.



(c)– Dia útil com produção solar igual a 55 % do consumo.

Figura 6– Curva de carga, produção e fluxo de potência resultante.

É importante atentar para o perfil de consumo e produção, onde se observa um aspecto bastante interessante em termos de complementaridade, uma vez que o pico da demanda geralmente coincide com o pico da produção, o que não acontece para consumidores residências tal como demonstrado em Kroposki e Hansen, 1999. Observa-se também, que apenas em dias não úteis, ou seja, finais de semana e feriados, há fluxo de potência da edificação para a rede elétrica, caracterizando uma produção superior ao consumo da edificação (Fig. 6(a)).

## 5. CONTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA E DESEMPENHO DO SISTEMA

Uma das primeiras perguntas que se faz quando se analisa um SFCR é: qual a contribuição energética no consumo médio da edificação? Os dados apresentados a seguir tentam responder essa pergunta com base nos valores mensais de produção de eletricidade monitorados durante os anos de 2004 e 2005 e no consumo médio mensal apresentado no período de agosto a novembro de 2005.

De 1 de janeiro de 2004 a 31 de dezembro de 2005 foram produzidos 23.714 kWh. Considerando que a demanda média mensal de eletricidade da edificação é de aproximadamente 1.800 kWh, valor obtido dos dados medidos, têm-se os resultados de contribuição da produção solar mostrados na Tab. 1.

Tabela 1. Produção mensal de eletricidade, porcentagem da demanda suprida pelo sistema fotovoltaico, irradiação solar, rendimento global e temperatura média do módulo fotovoltaico.

Mês	2004					2005				
	PS [k-Wh]	CMC [%]	IS [k-Wh/m <sup>2</sup> ]	PR [%]	T <sub>C</sub> [°C]	PS [k-Wh]	CMC [%]	IS [k-Wh/m <sup>2</sup> ]	PR [%]	T <sub>C</sub> [°C]
Jan.	944	52,5	127,4	67,4	30,9	947	52,6	123,9	69,0	30,7
Fev.	985	54,0	131,4	67,6	31,6	1.118	62,0	147,6	68,5	34,6
Mar.	1.058	59,0	139,7	68,5	31,9	989	55,0	129,7	68,9	33,4
Abr.	1.007	46,0	129,8	70,3	32,3	*890	49,4	113,4	70,8	32,2
Mai.	778	43,0	98,2	71,8	25,8	1.018	56,5	128,0	71,8	30,6
Jun.	827	46,0	103,0	72,2	27,2	1.034	57,4	130,0	71,9	30,3
Jul.	880	49,0	107,4	74,1	26,5	999	55,5	120,0	75,5	28,5
Ago.	1.194	66,0	146,0	74,0	31,0	1.200	66,6	146,0	74,2	32,8
Set.	1.268	70,0	158,0	72,5	35,0	773	43,0	98,3	71,0	27,0
Out.	983	55,0	123,3	72,0	29,0	803	45,0	105,0	69,0	30,8
Nov.	1.118	62,0	144,0	70,2	31,4	1.034	57,4	135,4	69,0	31,0
Dez.	1.030	57,0	133,3	69,7	31,1	837	46,5	106,1	71,2	33,4
Anual	12.072	56,0	1.541,4	71,0	30,3	11.642	54,0	1.483,4	71,0	31,3

Notas: - PS é a produção solar; - CMC é a contribuição mensal ao consumo; - IS é a irradiação solar incidente; - \* Este valor não inclui os dias 7, 8, 9 e parte do dia 10 de abril de 2004, pois não houve registros de dados durante esse período.

Observa-se que nos meses de janeiro a dezembro de 2004, durante os quais o sistema operou todos os dias, e de janeiro a dezembro de 2005 a contribuição da produção solar ao consumo mensal do prédio é, em todos os meses, superior a 40%, chegando a 70% no mês de setembro de 2004, resultando em uma contribuição média anual de aproximadamente 55%. É importante mencionar que os primeiros resultados operacionais obtidos em 2001, quando o sistema era constituído de 6,3 kWp, a maior contribuição média mensal ao consumo da edificação obtida foi de 25% nos meses de agosto e setembro (Zilles e Oliveira, 2001), demonstrando a modularidade da aplicação.

Para explicitar melhor a influência da nebulosidade, na Tab. 1, constam também os valores de irradiação solar incidente no plano do gerador fotovoltaico, rendimento global do sistema (PR) e temperatura média do módulo fotovoltaico (T<sub>C</sub>). Observa-se que a nebulosidade tem uma influência significativa na captação do recurso e conseqüentemente na produção de eletricidade por parte do SFCR; a aleatoriedade associada a esse fenômeno implica em variações significativas na produção de eletricidade de um ano para outro. No caso particular da cidade de São Paulo, um exemplo expressivo desse último aspecto pode ser observado entre os meses de setembro de 2004 e setembro de 2005, onde uma variação de aproximadamente 40% foi constatada. As Figs. 7(a) a 7(m) apresentam a produção diária para cada um dos meses referentes ao ano de 2004, sendo que maiores deta-

lhes sobre o desempenho das diversas partes que constitui o sistema podem ser encontrados em Macêdo (2006).

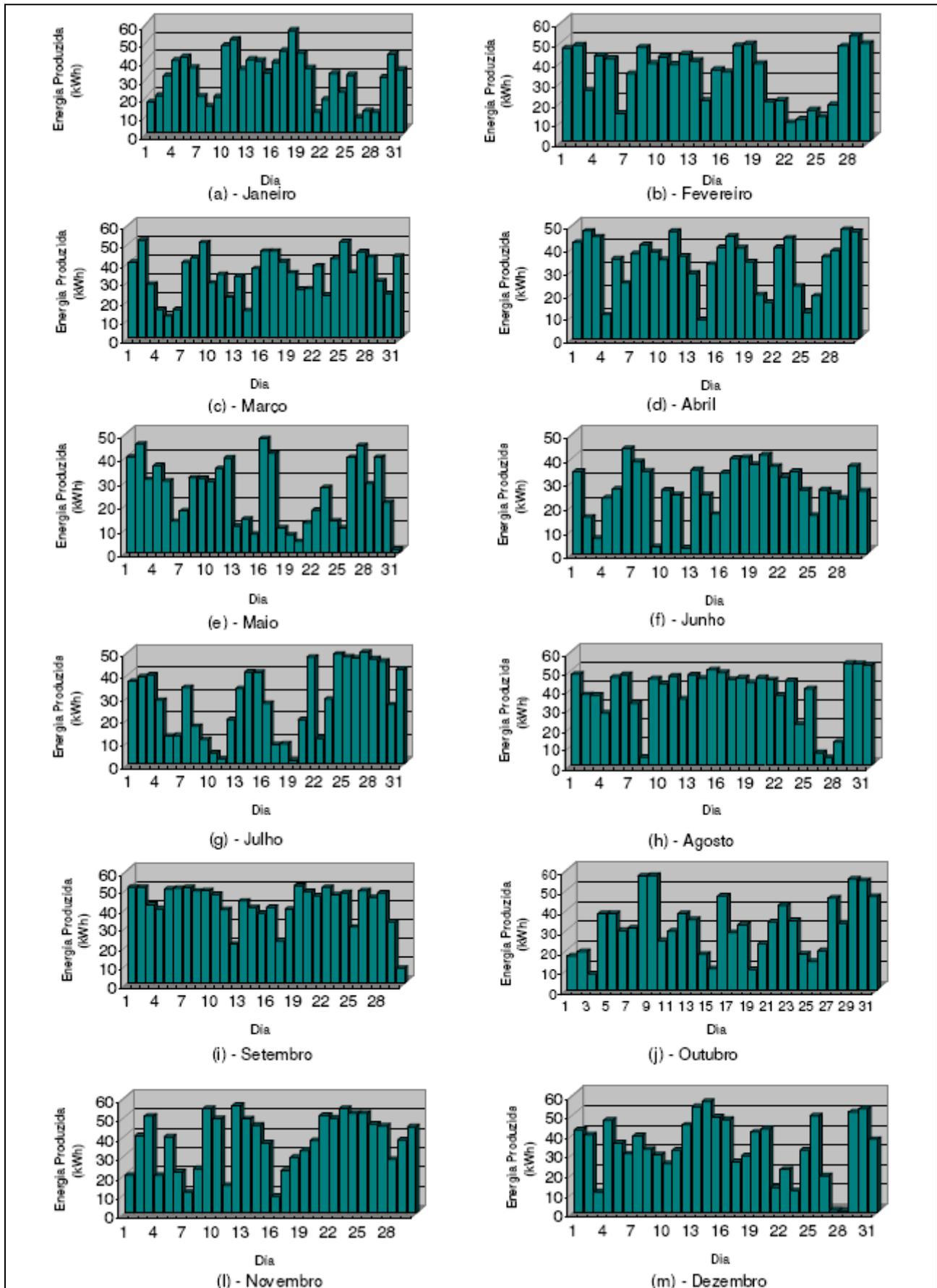


Figura 7– Geração solar diária referente ao ano de 2004.

## 6. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados nesse trabalho demonstram o potencial de utilização de SFCR em edificações como uma forma de produção de eletricidade distribuída e modular. Percebe-se que, dependendo do perfil da produção e do perfil da carga, o fluxo de potência reverso para a rede elétrica pode ser maior ou menor, o que pode ter implicações pouco conhecidas até então, principalmente em regiões onde essa aplicação é pouco difundida, como é o caso brasileiro. Os resultados também indicam valores de rendimento global (PR) variando de 67,4 a 75,5% ao longo dos meses dos anos de 2004 e 2005, com valores médios anuais nos dois anos consecutivos de 71%, caracterizando um bom desempenho do sistema.

### *Agradecimentos*

Este trabalho é baseado em estudos apoiados pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo Programa de Uso Racional de Energia e Fontes Renováveis (PUREFA), que tem por objetivo aumentar a participação de energia renovável na USP, e pelo IE-E/USP.

### REFERÊNCIAS

- Kroposki, B. Hansen, R. 1999. Performance and Modeling of Amorphous Silicon Photovoltaics for Building-Integrated Applications, NREL/CP-520-25851.
- Macêdo, W. N., 2006. Análise do Fator de Dimensionamento do Inversor Aplicado a Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede, Tese de Doutorado, PIPGE, USP, São Paulo.
- Zilles, R., Oliveira, S., 2001, 6.3 kWp Photovoltaic Building Integration at São Paulo University, 17<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munich.

*Abstract. This work presents the energetic contribution of a Grid Connected Photovoltaic System (GCPVS) of 11,07 Wp. Concerning practical results it was verified that the contribution to the annual consumption of the building belongs to about 55% and the power flow from the building for the electric grid only happens in final of week's and holidays when the load of the building is low.*

**Key words:** Solar Energy, Grid Connected, Distributed Generation, Power Exchange