

UM ANO E MEIO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE DO CEPEL

Marco Antonio Galdino
DTE - Departamento de Tecnologias Especiais
CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

RESUMO - O presente informe técnico descreve a experiência do CEPEL na implantação e operação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, em sua sede na Ilha do Fundão (Rio de Janeiro, RJ) por um período de aproximadamente um ano e meio. Esta tecnologia, embora considerada ainda um pouco distante da realidade brasileira, deverá ter uma importância mundial crescente num futuro próximo.

O trabalho descreve sucintamente diversos aspectos técnicos relativos ao sistema fotovoltaico e apresenta uma análise de seu desempenho. O sistema foi instalado em dezembro de 2002 e os resultados obtidos ainda são preliminares, mas demonstram que a viabilidade econômica deste tipo de sistema ainda está longe de ser alcançada.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede; Sistemas Fotovoltaicos; Energia Solar Fotovoltaica.

1- INTRODUÇÃO

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (*grid-connected PV systems*) constituem a aplicação de energia solar fotovoltaica que tem apresentado a maior taxa de crescimento anual no mundo. Segundo as publicações [1,2] da Agência Internacional de Energia (IEA – *International Energy Agency*) datadas de 2003 e referentes somente a seus países membros, 74% da potência de pico fotovoltaica total instalada nestes países já é conectada à rede, perfazendo um valor de 968.7MWp (dentro de um total de 1.330MWp) e suplantando todas as demais aplicações terrestres da tecnologia fotovoltaica reunidas, o que já ocorre desde 1999.

A Figura 1 apresenta o crescimento no período 1998-2002 dos sistemas conectados à rede em 5 países selecionados (JP- Japão, AL – Alemanha; EU – Estados Unidos; HL – Holanda; SU – Suíça), também segundo dados da IEA.

Os dados da IEA também indicam que desde 1997 o crescimento médio anual da potência FV instalada conectada à rede tem sido superior a 30% no conjunto de seus países membros.

Este significativo crescimento tem sido localizado basicamente nos países desenvolvidos e é alavancado principalmente pelos grandes programas governamentais subsidiados do Japão (*New Sunshine Program*, entre outros), da Alemanha (*Hundert Tausend Dächer Programme* – “Programa Cem Mil Telhados”, entre outros) e dos EUA (*a Million Roofs Program* – “Programa Um Milhão de Telhados”), além de outros países

A Figura 2 mostra um condomínio residencial no Japão com sistemas fotovoltaicos conectados à rede instalados nos telhados (denominados *rooftop* - de telhado).

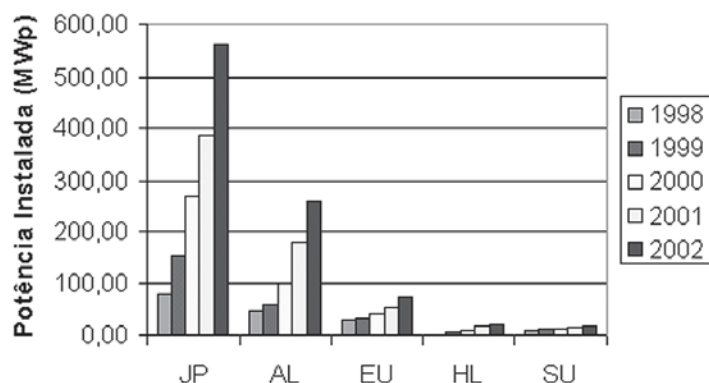


Figura 1 - Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (JP-Japão; AL-Alemanha; EU-Estados Unidos; HL-Holanda; SU-Suíça).



Figura 2 - Condomínio residencial no Japão com sistemas fotovoltaicos tipo rooftop (Fonte: SHARP).

Entendemos que estes fatos representam uma importante mudança de paradigma, pois até bem recentemente se acreditava que a principal aplicação dos sistemas fotovoltaicos seria na eletrificação rural, sob forma de sistemas autônomos para o atendimento a cargas em locais isolados, distantes da rede elétrica convencional

Contudo, apesar do já mencionado acentuado crescimento verificado nos últimos anos, a instalação destes sistemas conectados à rede, realmente em massa, com algum impacto na matriz energética nacional, ainda não foi alcançada em nenhuma nação. Todavia, caso a tendência de crescimento se mantenha, isto irá acontecer a médio prazo.

O Japão é atualmente o líder mundial na produção de células e módulos fotovoltaicos, bem como na instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, com uma potência fotovoltaica instalada total de aproximadamente 550MWp. Entretanto, esta potência instalada e a contribuição destes sistemas no balanço energético nacional ainda podem ser considerados irrisórios, em comparação com a capacidade total instalada de geração de energia elétrica de cerca de 200GW e sua produção anual de aproximadamente 1000TWh. A Alemanha e os EUA, que estão, respectivamente em segunda e terceira colocação em potência fotovoltaica conectada à rede, recaem no mesmo caso (dados de fins de 2002).

2-DESCRIÇÃO DA TECNOLOGIA

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede geralmente são associados a uma edificação e realizam a injeção direta de toda a energia gerada na rede elétrica, sem qualquer armazenamento em baterias. Nos países desenvolvidos, as instalações têm contemplado escolas, prédios públicos, empresas, etc, além de edificações residenciais. A sua instalação depende de uma regulamentação técnica e, principalmente, comercial, para possibilitar as instalações em grande número, conforme já vem acontecendo há vários anos no primeiro mundo. No Brasil este tipo de regulamentação ainda está em desenvolvimento.

A integração dos painéis fotovoltaicos na arquitetura das construções tem recebido especial atenção, sendo denominada BIPV – *Building Integrated Photovoltaics*.

A Figura 3 contém um esquema simplificado de um sistema FV residencial conectado à rede (*rooftop*). O sistema, na verdade, consiste apenas em dois componentes: o painel fotovoltaico e o inversor. A eles, é necessário adicionar apenas dispositivos de proteção (disjuntores, proteção contra surtos, etc) e de medição, caso necessário.

A injeção de energia é efetuada por um inversor cc/ca especial, o qual é um dispositivo eletrônico que realiza a conversão de tensão/corrente cc produzidas pelo painel fotovoltaico para tensão/corrente ca compatíveis com a rede elétrica, injetando potência ativa, sob forma de corrente ca em fase com a tensão da rede.

Os inversores são equipamentos microprocessados e atendem a requisitos severos de segurança para interligação à rede, monitorando continuamente qualidade da rede e desligando-se automaticamente em caso de qualquer perturbação (desligamentos, sub-tensões, sobretensões, variações de frequência, picos, etc). Eles também efetuam continuamente a busca do ponto de máxima potência do painel fotovoltaico (MPPT – *Maximum Power Point Tracking*).

No caso de sistemas residenciais, cujo porte típico é de algumas unidades de kWp, a injeção é feita geralmente na baixa tensão (110Vca ou 220Vca), embora sistemas de maior porte possam injetar em níveis de tensão mais elevados. A operação do sistema é totalmente automática sem necessidade de intervenção de um operador humano.

Caso instantaneamente haja excedente de potência (a geração seja superior ao consumo da edificação), esta energia extra é alimentada na rede pública e torna-se disponível aos demais consumidores.

Em função do balanço entre a potência fotovoltaica instalada no sistema e o consumo da edificação associada, a cada período mensal, o sistema fotovoltaico pode ser capaz de proporcionar apenas alguma redução de consumo de energia elétrica, ou

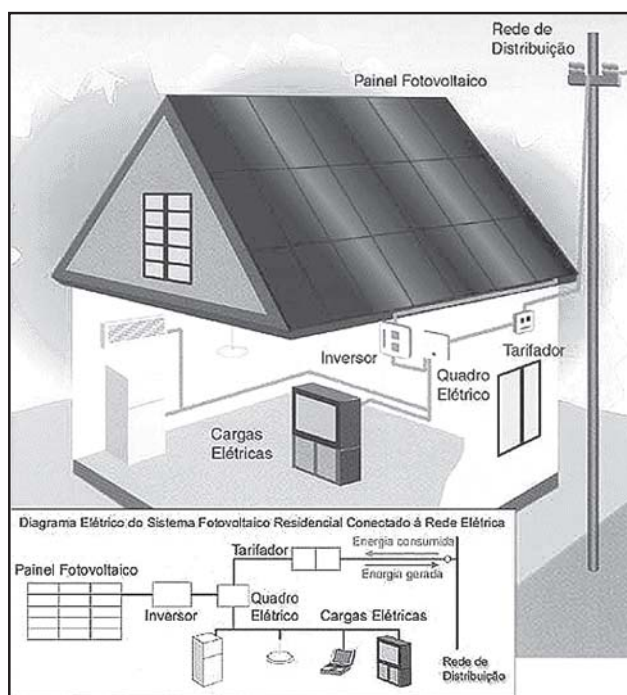


Figura 3 - Esquema simplificado de sistema fotovoltaico tipo rooftop
(Fonte: NEDO¹, Japão).

¹ NEDO - New Energy and Industrial Technology Development Organization / Solar Energy Department (Japan).

então pode gerar excedentes de energia. Nos países já citados, empregam-se medidores-tarifadores bidirecionais (*net metering* – tarifas iguais para energia gerada e consumida) ou dois medidores (tarifas diferenciadas). Em alguns países, como a Alemanha, o kWh gerado tem um valor superior ao consumido e a conta de energia pode ser negativa, com o consumidor recebendo mensalmente pagamento da concessionária local, a qual tem, normalmente, obrigatoriedade de compra desta energia.

3- EXPERIÊNCIA BRASILEIRA

Conforme é sabido, no Brasil, esta tecnologia é incipiente e existe um número muito pequeno de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, instalados em sua maioria em universidades ou outras instituições, com objetivos de demonstração, pesquisa e ensino, muito embora já se tenha conhecimento de algumas instalações particulares.

As instituições que abrigam estes sistemas são: CHESF (sede em Recife - sistema FV conectado à rede mais antigo do Brasil); IEE/USP - São Paulo (5kWp); Labsolar/UFSC - Florianópolis (2kWp).

Seguindo esta linha, o CEPEL implantou um sistema fotovoltaico conectado à rede em sua sede no Rio de Janeiro, com o qual espera contribuir para uma maior divulgação desta tecnologia para aumentar o seu conhecimento em nosso país. O objetivo básico que norteia a implantação deste sistema é a obtenção de experiência real no projeto, especificação, aquisição, instalação e operação de um sistema desta natureza, visto que o CEPEL tem uma vasta experiência anterior em sistemas fotovoltaicos autônomos, para vários tipos de aplicação.

Acreditamos que esta experiência irá auxiliar na criação de competência no Brasil, na área dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, além de fomentar de uma maneira geral o desenvolvimento da aplicação de energia solar fotovoltaica no país.

4- O SISTEMA DO CEPEL

O sistema do CEPEL foi adquirido por meio de uma licitação internacional [3] do tipo menor preço, vencida pela empresa BP Solar do Brasil, e instalado em dezembro/2002.

O sistema do CEPEL tem potência nominal de 16.32kWp e está instalado sobre o telhado de um dos prédios (Bloco J) de sua sede na Ilha do Fundão, injetando energia na rede de baixa tensão de 220Vac. Nos sub-itens 4.1 a 4.3 abaixo são apresentados detalhes técnicos deste sistema.

A potência fotovoltaica instalada e a energia gerada pelo sistema são pequenas em relação à potência instalada no CEPEL e a seu consumo. Portanto, o impacto do sistema no consumo do CEPEL é pequeno e não é gerado qualquer excedente de energia para injeção na rede pública.

4.1- PAINEL FOTOVOLTAICO

O painel fotovoltaico é constituído por 204 módulos fotovoltaicos BP580F, associados 17 módulos em série e 12 em paralelo.

Os módulos BP580F [4] são em silício monocristalino e são considerados os mais modernos módulos comerciais disponíveis atualmente. Suas células são construídas com a tecnologia denominada LGBG (*Laser Grooved Buried Grid* – grade frontal enterrada em canaletas escavadas a laser), por isso têm eficiência nominal na faixa de 16-17%.

As características dos módulos nas Condições Padrão de Teste (STC² – *Standard Test Conditions*) são as seguintes:

- potência nominal (P_{max}): 80Wp
- tensão de circuito aberto (V_{oc}): 22.0V
- corrente de curto-circuito (I_{sc}): 4.7A
- tensão de máxima potência (V_{mp}): 18.0V
- corrente de máxima potência 4.44A
- número de células: 36 (em série)
- peso: 7.5kg
- dimensões: 530mm x 1188mm

² Intensidade de radiação de 1000W/m²; temperatura das células de 25°C; espectro da radiação AM1.5 (*air mass 1.5*).

A conexão de 17 módulos BP580F em série produz uma tensão em aberto de até 374V_{cc}, que apresenta riscos à segurança pessoal. Por essa razão, a conexão do painel fotovoltaico tem de ser feita por pessoal habilitado e dotado de equipamento de proteção adequado.

A montagem do painel fotovoltaico sobre a cobertura de uma edificação que originalmente não previa este equipamento mostrou ser o principal problema enfrentado pelo CEPEL na instalação do sistema.

A solução tecnicamente perfeita seria re-projetar e reformar totalmente a cobertura do prédio para receber o painel fotovoltaico. Contudo, esta solução foi descartada por seu custo elevado, de forma que optou-se pela instalação dos módulos em postes ao longo das platibandas da cobertura, usando estruturas idênticas às usadas para instalações fotovoltaicas no solo, conforme mostrado nas Figuras 4 e 5. Cada estrutura suporta 8 ou 9 módulos fotovoltaicos. Esta solução reduziu sobremaneira o custo de instalação do sistema.

Outra preocupação do CEPEL é a proteção contra descargas atmosféricas, que foi implementada por meio de varistores ($V_{rms}=460V$; $V_{dc}=615V$; $I_{max}=8kA$) e centelhadores a gás conectados aos condutores dc provenientes do painel fotovoltaico, conforme mostrado no diagrama esquemático da Figura 6, que representa uma das caixas de junção do painel fotovoltaico, instaladas no telhado (a caixa de junção é visível à esquerda na Figura 4). Os diodos de bloqueio ($I_d=12A$; $V_{rrm}=600V$) também são instalados nas caixas de junção.

Além disso, todas as partes metálicas (estruturas e caixas de junção) foram aterradas nos condutores horizontais que conectam os captores Franklin instalados ao longo do perímetro da cobertura do prédio. Onde necessário, os captores foram rearranjados para compatibilidade com as localizações das estruturas de suporte do painel fotovoltaico.

4.2- Inversores

O sistema utiliza 6 inversores SMA Sunny Boy SWR 2500U, cujas especificações, segundo documentação do fabricante [5,6], são as seguintes:

- Potência nominal na saída (P_{ca-nom}): 2200W
- Potência máxima na saída (P_{ca-max}): 2500W
- Tensão da rede (V_{ac}): 211-264V
- Frequência da rede (f_{ca}): 59.3-60.5Hz
- Distorção harmônica total (THD): <4%
- Tensão cc de entrada – faixa de MPPT (V_{pv}): 234-550V
- Tensão máxima cc de entrada (V_{pvoc}): $\leq 600V$
- Corrente máxima cc de entrada (I_{pv}): 13A
- Potência máxima cc de entrada (P_{pv}): 2710W_p
- Consumo próprio: < 7W
- Eficiência máxima (η_{max}): >94%



Figura 4 - Estrutura de fixação no telhado.



Figura 5 - Vista geral da instalação.

Ainda segundo a documentação do fabricante, este inversor é certificado de acordo com as normas para a interligação à rede da maioria dos países, incluindo os EUA (UL1741 – Underwriters Laboratories Inc. e NEC 690 – National Electric Code *Article 690*), a Austrália (“*Australian Guidelines*” e IEC950 – *International Electrotechnical Commission*), a Inglaterra (“*Engineering Recommendation G77*”) e a Alemanha (regulamentação da VDEW – *Verband der Elektrizitätswirtschaft* \ Associação das Empresas de Eletricidade Alemãs e DIN-VDE 0126 – *Deutsches Institut für Normung*).

No sistema do CEPEL, os inversores são conectados ao secundário de um dos transformadores abaixadores que alimentam o prédio do Bloco J, com primário de 480V conectado em Δ e secundário de 220V conectado em Y com neutro aterrado, cuja potência nominal é de 225kVA. Os inversores são conectados em Δ , dois a dois em paralelo entre as fases do secundário em Y, conforme mostrado na Figura 7.

Os inversores são certificados em classe de proteção NEMA³ 4X, adequada para instalações externas (*outdoors*), embora o fabricante proíba sua exposição à radiação solar direta e recomende evitar a exposição à chuva. Desta forma, poderiam, em princípio ser instalados diretamente na cobertura do prédio, entretanto, o CEPEL optou por instalá-los internamente, no cubículo do transformador (subestação), que é um ambiente mais protegido, pois existe dúvida quanto à sua resistência às condições ambientais tropicais brasileiras.

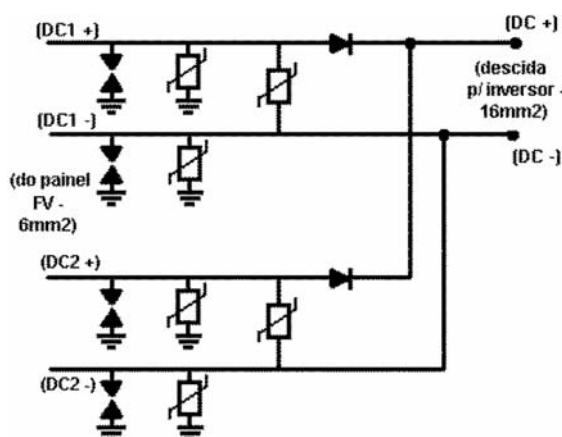


Figura 6 - Diagrama elétrico da caixa de junção.

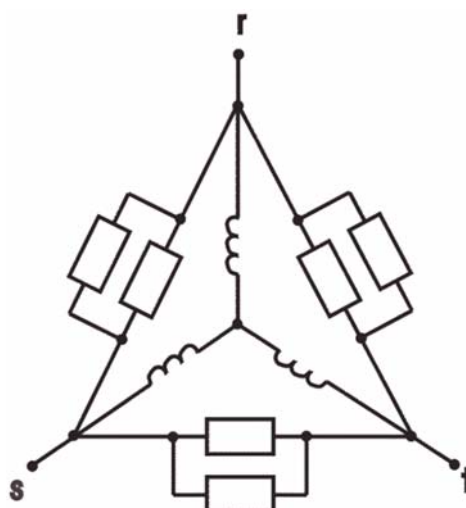


Figura 7 - Conexão dos inversores em Δ .

³ National Electrical Manufacturers Association - EUA.

A Figura 8 mostra o quadro de inversores, onde se pode observar os 6 inversores (vermelhos, acima) e os disjuntores de proteção. Cada inversor é protegido por um disjuntor monopolar de 20A no lado cc e por um outro disjuntor bipolar de 16A no lado ca. O sistema é protegido por um disjuntor trifásico de 50A (não visível na Figura 8).

A proteção automática do inversor contra perturbações elétricas atua da seguinte forma:

- sub/sobretensão – o inversor desliga automaticamente em 0.1s, caso a tensão ca saia dos limites especificados (213Vac – 262Vac).
- desvio na frequência – o inversor desliga em 0.1s, caso a frequência saia da faixa especificada, (59.3Hz – 60.5Hz) enquanto a tensão ca estiver entre os limites de –30% e +15% do valor nominal (faixa de tensão para medidas confiáveis de frequência).
- taxa de variação da frequência – o inversor desliga em 0.2s, caso a frequência da rede varie bruscamente (>0.5Hz/s).
- impedância da rede – o inversor se desliga em 5s, caso a impedância da rede varie bruscamente ou atinja um valor muito elevado.
- fuga à terra – o inversor se desliga, caso detecte fuga de corrente cc à terra no painel fotovoltaico.
- ilhamento (islanding) – detecção baseada na tensão e na frequência ca, de acordo com algoritmo da norma UL1741.
- cuto-circuito – detecção baseada no valor da corrente ca.

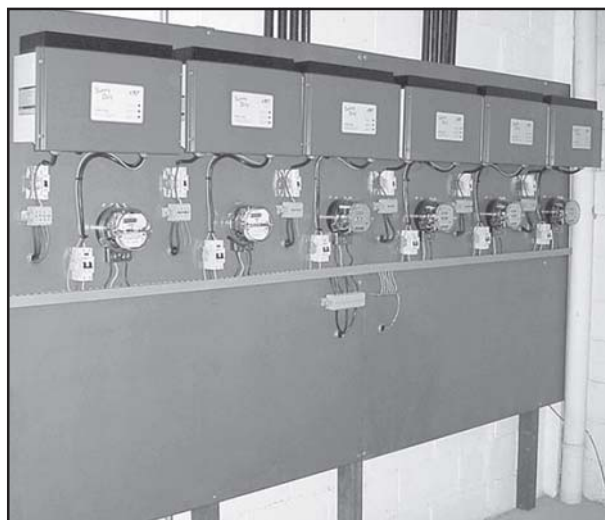


Figura 8 - Quadro de inversores.

Esta proteção interna do inversor é efetuada por dois controles independentes e redundantes. Os parâmetros que controlam a atuação da proteção (faixas admissíveis e taxas de variação das grandezas monitoradas) são configuráveis na instalação. Todavia, esta configuração é feita por uma EPROM que só pode ser gerada pelo próprio fabricante, o que pode representar uma dificuldade. No caso do CEPEL, este problema efetivamente ocorreu, uma vez que a faixa de excursão “*default*” da tensão ca não se mostrou adequada e teve de ser modificada. Para tanto o fabricante (Alemanha) enviou uma nova EPROM. Seria desejável que estes parâmetros pudessem ser configurados diretamente pelo usuário.

4.3- Monitoração / Acompanhamento

O sistema fotovoltaico é totalmente monitorado por um sistema de aquisição de dados, com objetivo de aquisitar e armazenar em tempo real as medidas elétricas e ambientais relevantes para a análise de suas condições operacionais.

O sistema de monitoração é baseado em um computador do tipo PC dedicado, com software desenvolvido em ambiente MS-Windows 98, que permitirá o acesso às grandezas medidas, tanto de forma local (monitor e teclado) quanto de forma remota através da rede interna do CEPEL (intranet). Espera-se no futuro disponibilizar estes dados em tempo real, no sítio do CEPEL, na internet.

Os intervalos de aquisição dos dados serão de 10s e serão armazenadas médias a intervalos de 10min em arquivos no disco rígido. O computador será dotado de uma unidade de gravação de CD-ROM para cópias dos dados.

As grandezas monitoradas serão as seguintes:

- radiação solar global no plano do painel fotovoltaico (W/m^2), medida com piranômetro padrão secundário;
- radiação solar global no plano horizontal (W/m^2), medida com piranômetro padrão secundário;
- temperatura ambiente ($^{\circ}C$);
- umidade relativa do ar (%)
- velocidade (m/s) e direção ($^{\circ}$) do vento;
- temperatura do painel fotovoltaico ($^{\circ}C$), medida por meio de NTCs em 2 pontos;
- tensão (V) e corrente (A) cc produzidos pelo painel fotovoltaico, independentemente para cada um dos inversores;
- potência cc (W) produzida pelo painel fotovoltaico, independentemente para cada um dos inversores;
- corrente (A) ca rms, injetada por cada um dos inversores;
- tensão (V) ca rms nas 3 fases;
- potência (W) ca injetada na rede por cada um dos inversores;
- frequência na rede (Hz);

Foram também instalados medidores de energia monofásicos convencionais (tipo relógio medidor-tarifador, visíveis na Figura 8) na saída de cada inversor, proporcionando de forma independente e confiável um registro da energia gerada pelo sistema.

5-AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO

Com o conhecimento das características dos componentes (inversor e módulo fotovoltaico), foi feita uma simulação computacional, numa tentativa de prever seu desempenho *a priori*.

A simulação baseou-se em modelos computacionais simplificados para os componentes, semelhantes aos já utilizados no CEPEL em outros trabalhos [7]. A simulação foi alimentada com um ano de dados de radiação solar (radiação solar global no plano horizontal – valores médios em intervalos de 10min) e temperatura ambiente reais, medidos por uma estação meteorológica do CEPEL, dotada de piranômetro.

Os resultados obtidos neste trabalho são apresentados na Tabela 1, onde pode ser verificado que se previu um total de geração anual de cerca de 19.5MWh. Este resultado foi considerado preliminar e tomado como um limite inferior para o desempenho do sistema, face às simplificações adotadas nos modelos.

Tabela 1 - Previsão inicial da geração.

<i>Mês</i>	<i>Energia (kWh)</i>
jan	1901.1
fev	2108.0
mar	1740.7
abr	1392.3
mai	1257.7
jun	1072.4
jul	1223.3
ago	1536.4
set	1374.1
out	1921.2
nov	1682.4
dez	2234.6
Total	19444.3

O sistema fotovoltaico foi instalado em dez/2002, mas o sistema de monitoração foi instalado somente em mar/2003. Todo o sistema foi considerado em operação experimental até mai/2003, sendo que neste período foram necessários diversos desligamentos para manutenção. Além disso, foram verificados diversos problemas técnicos no sistema de aquisição de dados.

Como resultado, até o presente ainda não dispomos de um ano contínuo de dados confiáveis acerca do desempenho do sistema. Os dados disponíveis (8 meses) são apresentados na Tabela 2 abaixo. A inspeção das Tabelas 1 e 2 demonstra que a previsão da geração foi subestimada.

Com base no conjunto de dados confiáveis disponíveis pode-se traçar o gráfico apresentado na Figura 9 abaixo, relacionando a energia solar diária com a geração do sistema.

A partir deste gráfico, pode-se obter por regressão a curva de geração do sistema (kWh/dia) em função da radiação solar diária (kWh/m².dia), também mostrada nesta figura ($-0.984x^2 + 21.956x - 8.499$).

Tabela 2 - Dados de geração medidos.

Mês	Energia (kWh)
mai/03	1722.8
jun/03	1509.6
jul/03	1540.8
ago/03	1654.2
set/03	1634.7
out/03	2049.4
mar/04	2094.3
abr/04	1666.2
Total	13872.0

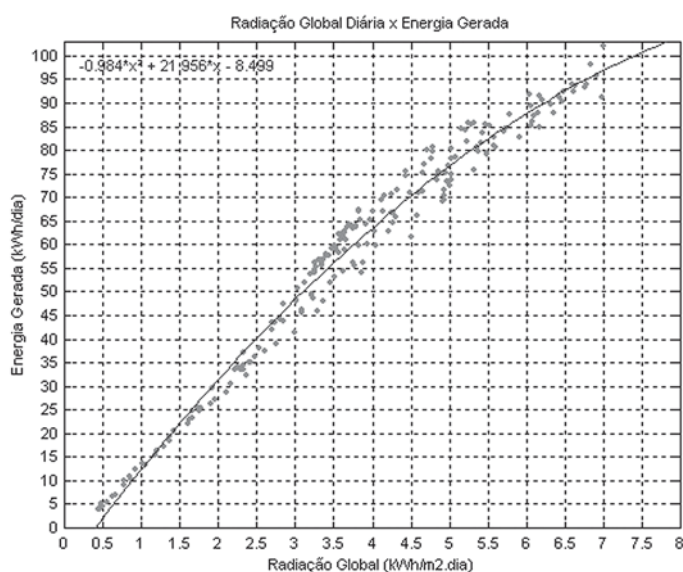


Figura 9 - Curva ajustada aos dados.

Aplicando a equação obtida pela regressão dos dados medidos disponíveis aos mesmos dados de entrada utilizados na simulação inicial, obtém-se como resultado uma nova previsão de geração, significativamente mais realista, mostrada na Tabela 3. A comparação entre a previsão inicial e esta nova previsão mostra que aquela está subestimada em cerca de 15.7%, no total anual.

Tabela 3 - Previsão da geração.

<i>Mês</i>	<i>Energia (kWh)</i>
jan	2176,4
fev	2366,7
mar	2026,5
abr	1661,1
mai	1506,9
jun	1287,1
jul	1472,6
ago	1801,7
set	1601,6
out	2190,5
nov	1917,5
dez	2493,2
Total	22501,8

6- CONCLUSÃO

No presente artigo, foi fornecida uma visão geral de diversos detalhes técnicos de instalação e dos equipamentos do sistema fotovoltaico conectado à rede do CEPEL, instalado em dez/2002.

A partir dos dados até o momento disponíveis, foi feita uma previsão de seu desempenho, apresentada na Tabela 3. Os dados da Tabela 3 permitem as seguintes interpretações:

- o fator de capacidade do sistema é estimado em 15.7%, com uma geração média diária anual de 61.6kWh/dia e uma produção anual de 1378.8kWh por W_p fotovoltaico instalado.
- sabendo-se que o consumo fora de ponta do CEPEL encontra-se na faixa de 250MWh/mês a 300MWh/mês, a geração fotovoltaica proporciona uma redução de consumo irrisória, na faixa de 0.6% a 0.7%.
- considerando-se a tarifa de energia elétrica paga pelo CEPEL⁴ em abr/04, de R\$0.12366/kWh (US\$0.03899⁵), o valor anual da energia gerada seria de R\$2782.57 (US\$877.23), de forma que o investimento no sistema fotovoltaico não será pago durante a sua vida útil, estimada em 30 anos, mesmo sem levar em conta uma análise econômica detalhada (taxa de juros, correções financeiras, depreciação, custos de manutenção, etc).
- por outro lado, considerando-se a tarifa paga por um consumidor residencial⁶ em abr/04, de R\$0.44172/kWh (US\$0.13925), o valor anual da energia gerada seria de R\$9939.50 (US\$3132.25), de forma que o custo inicial do sistema seria pago num período aproximadamente igual à sua vida útil, de 30 anos, ainda sem as outras considerações econômicas necessárias.

⁴O CEPEL está enquadrado na tarifa horo-sazonal azul (Grupo A4 – 13.8kV). No cálculo leva-se em conta somente o custo do kWh fora de ponta (a geração do sistema fotovoltaico nos horários de ponta e seu impacto na demanda do CEPEL são desprezíveis), sem os encargos (ICMS, capacidade emergencial).

⁵Cotação Dólar Comercial 26/5/04 R\$3.172/US\$.

⁶Tarifa B1, Light – RJ, sem encargos.

O sistemas fotovoltaicos autônomos (*stand-alone*) já são uma realidade na eletrificação rural em todo o mundo, incluindo o interior do Brasil, sendo considerados economicamente viáveis para atender a cargas relativamente pequenas e distantes da rede elétrica. Contudo, a viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede não foi alcançada em nenhum lugar do mundo, conforme corroborado pelos resultados apresentados neste trabalho, e ainda depende de alguma forma de subsídio. Acreditamos que ela virá a ocorrer a médio prazo no futuro com a redução do custo dos sistemas e/ou o aumento das tarifas de energia.

7-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEA – International Energy Agency. PVPS – Photovoltaic Power Systems Programme. Annual Report 2002.
- [2] IEA – International Energy Agency. PVPS – Photovoltaic Power Systems Programme. Trends in Photovoltaics Applications; Survey Report of selected IEA Countries between 1992 and 2002; August 2003.
- [3] CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica; Tomada de Preços 07/2002; Anexo I; Especificações Técnicas de Fornecimento do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede do Bloco J do CEPEL; julho de 2002.
- [4] BP Solar; BP Solar Modules Technical Specifications.
- [5] SMA; Sunny Boy Technical Description; Issue 1.2.
- [6] SMA; Sunny Boy Installation and Operator's Manual; Issue 1.2.
- [7] Soares, George A.; Galdino, Marco A.; Lima, Jorge H.; de Medeiros, Marcus B.; Otimização de Sistemas de Bombeamento Solar; XVI SNPTEE – Simpósio Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica; Campinas- SP; 21-26 de outubro de 2001.