

PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO: ESTUDO SOBRE IMPLEMENTAÇÃO RESIDENCIAL AUTÔNOMA

FERNANDO S. ITO¹, OTAVIO M. BECKER¹, RENAN T. INADA^{*1}, RICARDO S. OMI²

¹Curso de Graduação – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação / UNICAMP

²Curso de Graduação – Faculdade de Engenharia Mecânica / UNICAMP

*Email do autor correspondente: renan.inada@gmail.com

RESUMO: Este artigo representa um estudo sobre a viabilidade financeira da implementação de células solares na geração de energia elétrica para o setor residencial. A micro-geração minimiza perdas de energia decorrentes do processo de transmissão em grandes redes e alcança regiões afastadas não cobertas pela rede elétrica convencional. Encontramos que para a construção de uma casa de 100m², o valor do sistema fotovoltaico representa 12,85% do total e que seriam necessários aproximadamente 23 anos utilizando a tarifa fixa (CPFL) para se obter o *payback* do sistema. Discute-se o contexto da eletrificação rural e sistemas conectados à rede elétrica que dispensam o uso de baterias.

PALAVRAS-CHAVE: fontes alternativas, fotovoltaica, micro-geração, sustentabilidade, casa solar.

PRE-SIZING OF A SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM: STUDY ON AUTONOMOUS RESIDENTIAL IMPLEMENTATION

ABSTRACT: This paper presents a study on the financial viability of solar cells (SC) to generate electricity for the residential sector. The micro-generation minimizes energy losses arising from the transfer process in large networks and reach remote areas not covered by conventional power grid. We found that to build a 100m² house, the value of the SC system represents 12.85% of the total and that it would take about 23 years to get the payback of the system. It is discussed the context of rural electrification and grid-connected systems that preclude the use of batteries.

KEYWORDS: alternative energy sources, photovoltaic, micro-generation, sustainability, solar house.

INTRODUÇÃO

A demanda no consumo de energia elétrica nas últimas décadas cresceu rapidamente e tende a aumentar ainda mais à medida que o País desenvolve-se. O Brasil possui o terceiro maior potencial hidroelétrico do mundo (246 GW), porém grande parte desse potencial encontra-se na bacia amazônica (93GW) em rios de planície (ELETROBRAS, 2010); o aproveitamento dessa região rica em biodiversidade implicaria em perdas inestimáveis.

A geração de energia centralizada em hidroelétricas aliada ao desenvolvimento caótico dos centros urbanos no vasto território brasileiro dificultam a transmissão para regiões afastadas e/ou fora do alcance da rede elétrica instalada.

O uso da energia solar, limpa e inesgotável, apresenta uma alternativa inteligente ao cenário intertropical brasileiro com altos índices de radiação solar, vindo de encontro com a atual conscientização e busca por energias alternativas.

Uma célula fotovoltaica (PV) ou solar consiste basicamente de um material semicondutor, como o silício utilizado em componentes eletrônicos, que, após absorver a energia proveniente da luz, libera elétrons, fenômeno conhecido como efeito fotovoltaico (Figura 1). Devido à constituição especial das células solares, é permitido aos elétrons moverem-se somente em uma direção, gerando uma pequena corrente elétrica. Um conjunto dessas células é então utilizado para gerar uma corrente contínua (C.C.) utilizável.

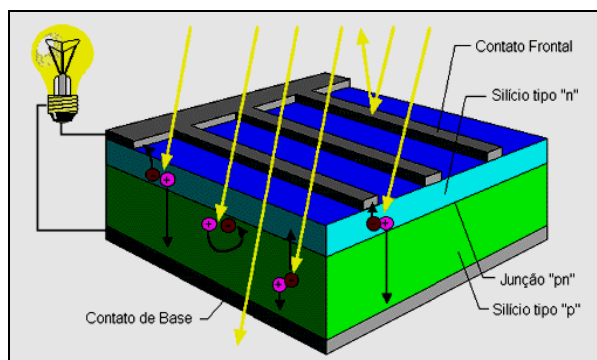


Figura 1. Corte transversal de uma célula fotovoltaica.

As células PV comerciais apresentam hoje uma eficiência entre 14-19%; modelos em desenvolvimento ultrapassam 40%. Campinas possui uma radiação global média de $5,6\text{kWh/m}^2$ por dia (PEREIRA *et al*, 2006).

MATERIAIS E MÉTODOS

A eletricidade gerada pelas células solares difere da recebida pela rede elétrica convencional, o que a torna inadequada para a maioria dos usos domésticos convencionais. Existe ainda a necessidade de se armazenar energia, uma vez que o período de radiação solar é limitado.

Esta etapa apresenta as partes básicas da instalação fotovoltaica autônoma. A terminologia adotada da NBR 10.899-1988 (ABNT), onde se

define *painel fotovoltaico* como sendo um ou mais módulos interligados eletricamente de modo a formar uma única estrutura, e para *arranjo fotovoltaico* um ou mais painéis fotovoltaicos interligados eletricamente de modo a prover uma única saída de corrente elétrica, e para *sistema fotovoltaico* (Figura 2) como sendo o conjunto de elementos composto de arranjo(s) fotovoltaico(s), dispositivos para controle e condicionamento, supervisão, proteção, sistema acumulador de energia, fundação e estrutura de suporte.

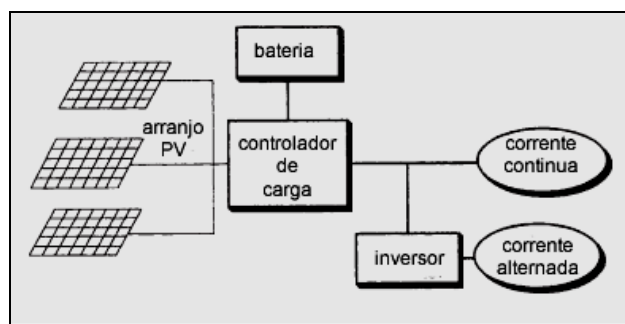


Figura 2. Sistema autônomo c.c./c.a.

O inversor **c.c.-c.a.** é responsável por transformar a energia de corrente contínua entregue pelos módulos fotovoltaicos para corrente alternada senoidal. O inversor proporciona energia em sincronismo de tensão e frequência com a existente rede de distribuição convencional.

O controlador de carga limita a taxa de transferência que a corrente elétrica é adicionada ou retirada do sistema acumulador. É utilizado para prevenir o excesso de carga e voltagem entregue às baterias, condição que pode reduzir a vida-útil das baterias além de promover um risco à segurança da instalação. O controlador também impede que as baterias sejam completamente descarregadas, diminuindo assim sua eficiência.

O sistema acumulador de energia é formado por uma série de baterias químicas desenvolvidas especialmente para entregar uma

voltagem constante durante todo o ciclo de descarregamento. São semelhantes às baterias usadas em veículos elétricos, como carros de golfe e veículos auxiliares para deficientes físicos; em contraste com as baterias de ignição utilizadas nos veículos automotores convencionais, desenvolvidas para entregar uma corrente alta em eventos esporádicos.

Os dispositivos de proteção para uso residencial são os disjuntores e o aterramento. Dispositivos de supervisão são opcionais em instalações residenciais, tendo seu uso freqüente em estações geradoras de médio e grande porte e em sistemas instalados para estudo.

A estrutura de suporte dos painéis deve ser capaz de suportar ventos de até 150km/h, estar aterrada eletricamente e garantir um bom contato do aterramento com a estrutura dos painéis. Deve-se escolher um local que garanta incidência de radiação solar a maior parte do dia e que não tenha sombra.

Os painéis devem ser, preferencialmente, voltados para o norte com uma inclinação igual à latitude do local. Nos sistemas autônomos uma inclinação adicional entre 10-15° (graus) é utilizada para garantir um melhor aproveitamento nos meses com menos incidência da radiação solar. Existe ainda a possibilidade de se utilizar uma estrutura de suporte que permita, em um ou dois eixos, o acompanhamento do deslocamento relativo do sol, chamadas *tracking system*.

O consumo médio residencial divulgado pela Eletrobrás em 2007 foi de 148kWh (quilowatts/hora) ao mês. Esta será a medida utilizada para o dimensionamento do sistema fotovoltaico.

A norma NBR 12.721-2006 (ABNT), que normatiza o cálculo do Custo Unitário Básico de Construção (CUB/m²), será utilizada para a

estimativa do custo de uma residência unifamiliar padrão normal R1. O valor do CUB referente a abril de 2009 para o estado de São Paulo é de R\$990,24 (SindusCon-SP, 2009).

RESULTADO E DISCUSSÃO

O dimensionamento do sistema PV é feito através do cálculo da potência nominal (gerada a partir da radiação solar) necessária para atender ao consumo médio diário da residência. Estima-se então a área de painéis e o número de baterias a ser instalado.

Primeiramente, tem-se como consumo médio diário da residência, o valor do consumo mensal dividido pela quantidade de dias. Este valor corresponde ao consumo médio de 4,95 kWh por dia. Através da Equação 1 determina-se o índice de dimensionamento (K_d) da instalação:

$$K_d = J/I \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

K_d = Índice de dimensionamento (m²);

J = Consumo médio (kWh/dia);

I = Irradiação solar média (kWh/m²/dia).

O resultado obtido para K_d foi 0,89m². Este valor representa a área necessária para suprir a demanda caso fosse possível o aproveitamento total da energia fornecida pelo Sol.

A área total para a instalação dos painéis é o quociente do dividendo K_d pelos divisores eficiência da célula solar (E_{pv}) e rendimento do sistema (R_s), como mostra a Equação 2:

$$A = K_d / (E_{pv} \times R_s) \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

A = Área total de painéis (m²);

K_d = Índice de dimensionamento (m²);

E_{pv} = Eficiência da célula solar (%);

R_s = Rendimento do sistema (%).

Utilizando um valor estimado de 95% para R_s e 15% para E_{pv} , o resultado obtido foi $6,25m^2$.

A quantidade de baterias a ser utilizada deve ser suficiente para suprir o consumo de energia durante cinco dias, fator que garante autonomia em períodos de menor incidência solar e otimiza a vida-útil das baterias com ciclos carga-descarga de 20%, medida recomendada pelos fabricantes. A Equação 3 determina a carga necessária, em coulombs (ampere-hora), para armazenamento:

$$Q = 5 \times \left(\frac{J}{U} \right) \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

Q = Carga (Ah);

J = Consumo médio (kWh/dia);

U = Voltagem nominal da bateria (volts).

As baterias utilizadas apresentam uma voltagem nominal de 12V, o resultado obtido foi 2062,5Ah.

O controlador de carga e o inversor operam com 24V de voltagem nominal, sendo assim necessário um arranjo de baterias em série e paralelo como mostra a Figura 3:

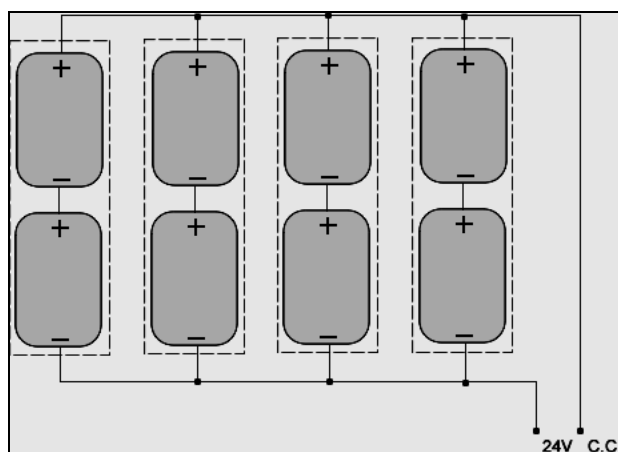


Figura 3. Arranjo de baterias.

Foram selecionados os seguintes componentes para a realização do estudo: Painel Kyocera Solar KD205GX-LP; Bateria Deka 8A8DLTP; Controlador Morningstar Sunsaver 20L e Inversor Magnum MM1524AE.

A Tabela 1 mostra os custos, em dólares americanos, unitário e total para a implementação do sistema:

Componente	Custo US\$	Quantidade	Total
Painel	668,00	4	2672,00
Bateria	479,00	8	3976,00
Controlador	99,00	1	99,00
Inversor	751,00	1	751,00
Total			7498,00

Tabela 1. Custos para implementação do sistema PV.

A cotação do dólar referente ao dia quinze de junho de 2009 é de R\$1,95, totalizando o custo do sistema em **R\$14.621,10**.

CONCLUSÕES

A construção de uma casa de $100m^2$, calculado através do CUB, é de R\$99.024,00. Adicionado o valor do sistema fotovoltaico, este valor salta para R\$113.645,10, onde o valor do sistema PV representa 12,85% do total.

A tarifa cobrada pela CPFL Campinas pelo kWh no mês de maio de 2009 foi R\$0,344511.

Seriam, portanto, necessários aproximadamente vinte e três anos utilizando tarifa fixa para se obter o *payback* do sistema fotovoltaico. Entretanto, os valores utilizados no cálculo da implementação do sistema não representam a realidade brasileira, onde a oferta

dos componentes é menor e seu custo está muito acima dos valores utilizados.

A utilização de sistemas autônomos justifica-se quando inserida no contexto da eletrificação rural. Uma estimativa do custo da extensão da rede elétrica publicada no Encontro de Energia no Meio Rural, 2000, Campinas, ultrapassa R\$10.000,00/km e o custo por ligação está acima de R\$1.000,00.

No meio urbano, sistemas conectados à rede elétrica que dispensam o uso de baterias, as *zero-energy houses*, geram durante o período de sol toda a energia consumida ao longo do dia, devolvendo para a rede elétrica o excedente, e utilizando a eletricidade da rede no período após o sol. A energia entregue a rede faz com que o relógio medidor de consumo gire no sentido contrário, compensando assim a energia consumida. O *payback* do sistema sem a necessidade de armazenamento é de aproximadamente onze anos.

AGRADECIMENTOS

Nossos mais sinceros agradecimentos à Prof. Núbia Bernardi, do Departamento de Arquitetura e Construção, da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, que gentilmente nos forneceu informações, fontes, artigos e tempo dedicado a nos ajudar. Agradecemos o Prof. Ennio Peres da Silva, do Departamento de Física Aplicada, do Instituto de Física Gleb Wataghin da UNICAMP, pelas referências indicadas que muito nos ajudou na elaboração deste artigo. Agradecemos também o Prof. Dr. Luiz Antonio Rossi, coordenador do NIPE – Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético e professor na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, por nos indicar o Prof. Ennio e outras fontes de informação. E obrigado a todos que dedicam seu

tempo às fontes de energia alternativas e colaboram para um mundo melhor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; ABREU, S.L.; RÜTHER, R. Atlas brasileiro de energia solar. São José dos Campos, INPE, 2006. 60 p.
- ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS, S.; Ecohouse: A Design Guide. Oxford, 2007. 479p.
- RIBEIRO, F.S.; KURAHASSI, L.F.; PAZZINI, L.H. A evolução dos custos no programa de eletrificação rural do estado de São Paulo.
- ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL. Campinas, 2000. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000100038&lng=en&nrm=abn. Acesso em: 16 Junho 2009.
- FRAUNHOFER INSTITUT SOLARE ENERGIESYSTEME. Press Release, de 14 de janeiro de 2009. Alemanha, 2009. Disponível em: <http://www.ise.fraunhofer.de/press-and-media/pdfs-zu-presseinfos-englisch/2009/press-release-world-record-41.1-efficiency-reached-for-multi-junction-solar-cells-at-fraunhofer-ise-pdf-file> . Acesso em: 10 maio 2009
- ELETROBRÁS. Potencial Hidrelétrico Brasileiro por Bacia Hidrográfica - janeiro de 2007. Disponível em: http://www.eletrobras.com.br/mostra_arquivo.asp?id=http://www.eletrobras.com.br/downloads/em_atuacao_sipot/Potencial_jan2007_por_bacia.pdf&tipo=sipot . Acesso em: 10 maio 2009
- SINDUSCON-SP. CUB – Série Histórica. Disponível em: http://www.sindusconsp.com.br/downloads/estprod/economia/2009/cub_historico.xls . Acesso em: 10 maio 2009.