

# ANÁLISE DE CUSTOS HISTÓRICOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL

Marco Antonio Galdino – [marcoag@cepel.br](mailto:marcoag@cepel.br)  
Cepel – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

**Resumo.** Os custos reais dos sistemas fotovoltaicos implantados no Brasil raramente são publicados, algumas vezes por serem considerados segredos comerciais, e, em outros casos, provavelmente, porque existe uma percepção de que, por serem elevados, isso prejudicaria a imagem da tecnologia. O presente trabalho se concentra no levantamento e análise de custos de sistemas fotovoltaicos isolados no Brasil, utilizando dados de inúmeros projetos da última década, com valores corrigidos a mar/2012. É demonstrada e quantificada a tendência de queda dos custos dos sistemas no país, resultante principalmente da queda de custo mundial dos módulos fotovoltaicos, e são identificados os custos médios atuais esperados para módulos, baterias, equipamentos e sistemas. Os custos dos sistemas fotovoltaicos na verdade dependem de muitas variáveis, de forma que os valores aqui obtidos podem ser entendidos apenas como médios para sistemas fotovoltaicos isolados de diferentes características.

**Palavras-chave:** Sistemas Fotovoltaicos Isolados, Custos de Sistemas Fotovoltaicos

## 1. INTRODUÇÃO

A questão dos custos reais dos sistemas fotovoltaicos no Brasil é uma questão recorrente para a qual geralmente só é possível dar respostas aproximadas. Conforme procura-se demonstrar a partir das considerações apresentadas no presente trabalho, tal resposta, na verdade, não é simples por envolver inúmeras variáveis de difícil quantificação.

Os custos reais de sistemas implantados no país na maioria das vezes não são publicados, algumas vezes por serem considerados segredos comerciais, e, em outros casos, provavelmente porque existe uma percepção de que, por serem elevados, isso prejudicaria a imagem da tecnologia. Como veremos mais adiante, ainda em outras vezes os custos reais não são nem mesmo contabilizados de forma satisfatória.

O presente artigo se concentra nos custos de sistemas fotovoltaicos isolados para eletrificação rural, cuja potência fotovoltaica instalada situa-se na faixa de centenas de Wp a dezenas de kWp. Para isso, foram coletadas e analisadas informações sobre os custos de milhares de sistemas fotovoltaicos no âmbito de inúmeros projetos no país nos últimos 10 anos, entre os quais podemos citar:

- Projeto Ribeirinhas - Amazonas (Soares, 2006);
- Projeto Mamirauá – Amazonas (Zilles, R., Mocelin, A. R., 2012)
- Projeto Xapuri – Acre (Eletrobras, 2008);
- Projeto LpT na Coelba – Bahia (Silva Filho, H. M., 2007) e (Silva Filho, H. M., 2012);
- 12 Miniredes no Amazonas (Silva, I. W. F., 2011) e 4 minirredes no Pará (Lima, Alex A. N., 2012);
- Projeto LpT no Acre (Senna, D., Mesquita, A., 2012);
- Dados sobre sistemas implantados em diversos estados no âmbito do LpT (Benincá, S., Fonseca, M., 2012);
- Dados sobre diversos sistemas implantados pelo Cepel (Centros de demonstração no SENAC, Arquipélago de São Pedro e São Paulo, etc.).

A maioria dos dados refere-se a sistemas fotovoltaicos individuais, mas alguns dados mais recentes de sistemas tipo minirrede também foram contemplados.

Além de custos de sistemas fotovoltaicos efetivamente implantados, foram ainda consideradas neste estudo inúmeras cotações de equipamentos, com diferentes objetivos, feitas ao longo do tempo junto a diversos fornecedores, bem como custos referentes a aquisições de material de reposição para manutenção de sistemas fotovoltaicos existentes.

Para fins do artigo, os custos dos sistemas fotovoltaicos isolados podem ser subdivididos nas seguintes componentes: custo dos módulos fotovoltaicos, custo do banco de baterias, custo dos equipamentos (inclui custo de módulos fotovoltaicos, baterias, controladores de carga e inversores), custo dos materiais de instalação, e custos dos serviços e da logística de instalação. Geralmente, para determinado projeto, os dados existentes são incompletos e não estão disponíveis todos estes custos de forma discriminada. Assim, nas análises aqui apresentadas foi necessário considerar conjuntos diferentes de dados (diferentes projetos) para cada item. Nos itens 2 a 5 do texto são apresentadas considerações relevantes sobre cada item de custo, a partir dos dados a que se teve acesso.

Todos os valores apresentados no artigo são referentes a mar/2012, a partir de atualização dos preços históricos através do índice oficial de correção IGP-DI disponibilizado pelo Banco Central do Brasil (Banco Central, 2012).

## 2. CUSTOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Os custos dos módulos fotovoltaicos são geralmente expressos em Reais por Watt-pico (R\$/Wp), índice este que depende de sua tecnologia de fabricação, e geralmente também da sua eficiência de conversão. No caso do Brasil, o mercado é amplamente dominado pelos módulos de Silício cristalino (c-Si), sejam de multi-Si ou mono-Si, cujos custos, para fins do presente trabalho, foram considerados equivalentes.

O gráfico disponibilizado da Fig. 1 mostra a evolução dos custos dos módulos desde 2001. Nele se observa claramente a tendência linear de queda ao longo do tempo, conforme é esperado em função da queda dos custos internacionais. A interpolação linear indica uma queda de cerca de 1,70 R\$/Wp.ano, resultando num valor esperado em abr/2012 de 9 R\$/Wp. Contudo, deve-se ressaltar que valores menores podem ser encontrados, e o menor valor constante nos dados disponíveis é bastante inferior, atingindo 4,9 R\$/Wp.

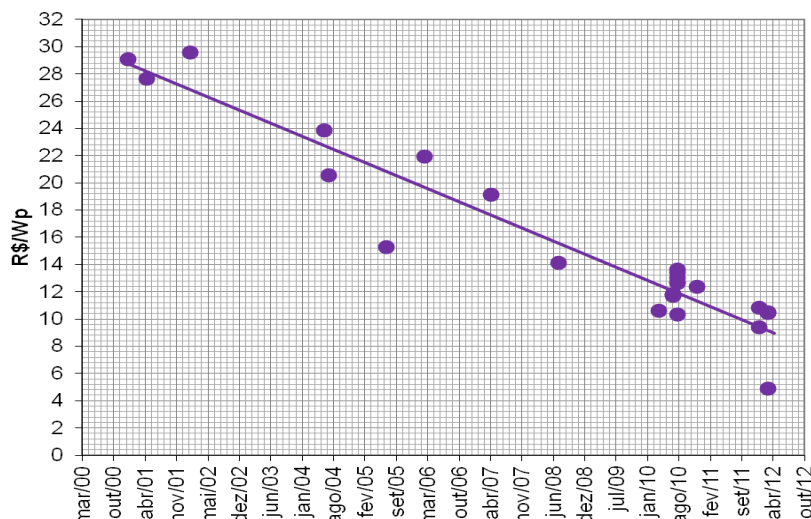


Figura 1 - Custos históricos de módulos de c-Si, valores corrigidos a valores de mar/2012 – fontes de dados: (Soares, G. F. W., 2006), (Silva Filho, H. M., 2007), (Eletrobras 2008), (Cepel, 2004), (Cepel, 2008), (Cepel, 2010), (Di Masi, Monica, 2012), (Silva, I. W. Freitas, 2011), (Energia Pura, 2010), (Kyocera, 2010), (Energia Pura, 2012), (Eudora Solar, 2012), (Senna, D., Mesquita, A., 2012) e (Tecnometal, 2012)

Lembramos também que atualmente pode-se encontrar no mercado brasileiro uma grande quantidade de modelos de módulos com 60 ou 54 células, a custos numa faixa aproximadamente de 5-8 R\$/Wp. Estes dados não foram aqui considerados, pois este tipo de módulo é voltado para a aplicação de conexão à rede, não sendo em princípio adequado ao uso em sistemas isolados individuais ou minirredes nas tensões normalmente adotadas nestes sistemas, que são de 12 Vcc, 24 Vcc ou 48 Vcc.

A título de informação adicional, os dados a que tivemos acesso permitem ainda efetuar uma interessante comparação da diversidade do dimensionamento dos painéis fotovoltaicos para os sistemas tipo SIGFI que foram adotados em diferentes projetos nas várias regiões/estados do país, a qual é disponibilizada na Tab. 1.

Tabela 1 – Configurações adotadas para os painéis FV de sistemas tipo SIFGI, incluindo dimensionamentos propostos pelo Cepel e pela Eletrobras – fontes de dados: (Benincá, S., Fonseca, M., 2012), (Eletrobras 2008), (Olivieri, Marta M. de A. et alli, 2010), (Senna, D., Mesquita, A., 2012), (Silva Filho, H. M., 2007), (Soares, G. F. W. et alli, 2010) e (Zilles, R., Mocelin, A. R., 2012)

Região	SIGFI 13	SIGFI 30	SIGFI 45
N	200 Wp (AM) 255 Wp (AC) 250 Wp (Cepel)	570 Wp (AC) 530 Wp (Cepel) 600 Wp (Eletrobras)	785 Wp (Cepel)
NE	140 Wp (BA) 150 Wp (BA)	390 Wp (BA) 405 Wp (MA)	- x -
CO	- x -	405 Wp (MT)	- x -
SE	170 Wp (RJ) 150 Wp (MG)	405 Wp (SP)	- x -

### 3. CUSTOS DE BATERIAS

No Brasil, praticamente a totalidade dos sistemas fotovoltaicos isolados implantados na última década tem empregado as baterias Pb-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sem manutenção, em monoblocos de 12 Vcc (6 células em série), denominadas por alguns autores de automotivas modificadas, e das quais existem vários fabricantes nacionais (Tudor, Moura, Delphi). Para fins do presente trabalho, são todas consideradas equivalentes, embora na verdade apresentem alguma diferença nas respectivas curvas de ciclos de descarga x profundidade de descarga.

As capacidades disponíveis no mercado situam-se na faixa de 100 Ah a 220 Ah, considerando a taxa  $C_{20}$ , normalmente adotada nos dimensionamentos dos sistemas fotovoltaicos isolados.

O indicador de custo adotado para as baterias é expresso em R\$/kWh, e sua variação ao longo do tempo é apresentada na Fig. 2 a seguir, sugerindo ligeira tendência de aumento de custo, o que concorda com o senso comum das pessoas que atuam na área de energia solar fotovoltaica. Para este cálculo se considera a capacidade total da bateria em kWh.

A taxa de aumento calculada seria de 6,6 R\$/kWh.ano, e o valor esperado em abr/2012 seria de cerca de 398 R\$/kWh, valores estes obtidos também por interpolação linear. Neste caso, entretanto, a correlação da interpolação é mais fraca do que a dos custos de módulos fotovoltaicos.

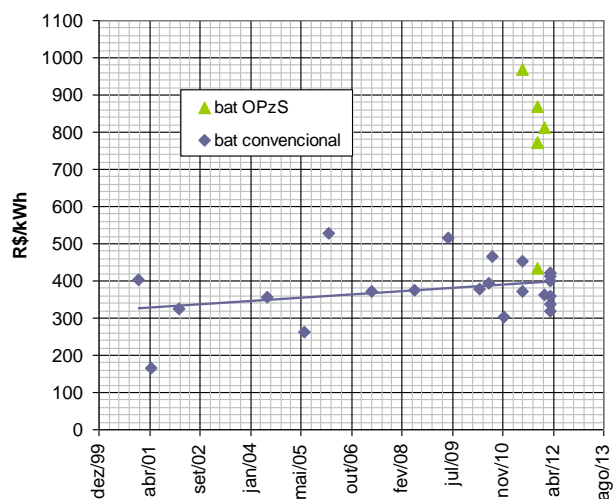


Figura 2 - Custos de baterias convencionais e OPzS para sistemas fotovoltaicos, valores corrigidos a mar/2012 – fontes de dados: (Soares, G. F. W., 2006), (Silva Filho, H. M., 2007), (Eletrobras 2008), (Cepel, 2008), (Cepel, 2009), (Cepel, 2010), (Di Masi, Monica, 2012), (Silva, I. W. Freitas, 2011), (Energia Pura, 2010), (Energia Pura, 2012), (Kyocera, 2011), (Lima, Alex A. N., 2012), (Eudora Solar, 2012) e (Senna, D., Mesquita, A., 2012)

Atualmente notam-se propostas no sentido de adotar baterias do tipo OPzS nos sistemas fotovoltaicos isolados, visando obter um menor custo de ciclo de vida do sistema. Tal vantagem se daria em decorrência de uma maior vida útil deste tipo de bateria em relação às convencionais, vantagem esta que ainda está para ser provada e quantificada, pois somente agora estão se iniciando experiências de campo neste sentido. Conforme mostra a Fig. 2, o custo deste tipo de bateria em R\$/kWh pode atingir cerca do dobro das convencionais, elevando assim o investimento inicial no sistema.

Na análise dos dados disponíveis pode-se obter o indicador  $Wh_{bat}/W_p$  para os sistemas fotovoltaicos, o qual refere-se ao dimensionamento dos bancos de baterias e varia em função de parâmetros adotados neste dimensionamento, tais como o número de dias de autonomia e a profundidade diária de descarga. A Fig. 3 mostra um gráfico deste indicador em função da potência do sistema (outra vez considera-se a capacidade total da bateria). A média para as baterias convencionais é de 14,3  $Wh_{bat}/W_p$ , estando em 67% dos casos na faixa entre 10,7 e 17,9, sendo que valores mais baixos (abaixo de 10) presentes na Fig. 3 são geralmente referentes a sistemas em que se considera carga diurna significativa.

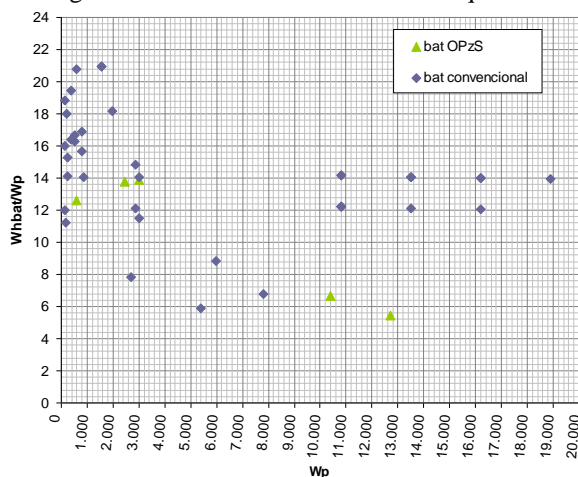


Figura 3 – Indicador  $Wh_{bat}/W_p$  em função da potencia nominal do painel fotovoltaico, relacionado ao dimensionamento dos bancos de baterias - fontes de dados: (Soares, G. F. W., 2006), (Silva Filho, H. M., 2007), (Eletrobras 2008), (Cepel, 2008), (Cepel, 2009), (Cepel, 2010), (Di Masi, Monica, 2012), (Olivieri, Marta M. de A. et alli, 2010), (Silva, I. W. Freitas, 2011), (Kyocera, 2011), (Lima, Alex A. N., 2012), (Energia Pura, 2012), (Senna, D., Mesquita, A., 2012), (Soares, G. F. W. et alli, 2010) e (Zilles, R., Mocelin, A. R., 2012)

Na Fig. 3 observa-se ainda que os bancos de baterias OPzS estão sendo dimensionadas com uma relação  $Wh_{bat}/Wp$  abaixo desta média. Cálculos do Cepel indicam que uma relação por volta de 10,5, já seria adequada, em função de suportarem profundidades de descarga de até 80%, mantidos todos os demais parâmetros de projeto.

#### 4. CUSTOS DE EQUIPAMENTOS E MATERIAIS

O que é aqui considerado como o custo dos equipamentos para um sistema fotovoltaico isolado corresponde ao somatório dos custos de módulos fotovoltaicos, banco de baterias, inversores e controladores de carga, também expresso em R\$/Wp.

A configuração dos sistemas e as características dos equipamentos que o compõem influem diretamente neste custo. Sistemas total ou parcialmente em c.c., como, por exemplo os de parte do projeto Xapuri, apresentam obviamente custos inferiores a sistemas totalmente em c.a. Inversores de forma de onda não senoidal também são mais baratos do que os de onda senoidal. Assim, os sistemas fotovoltaicos implantados após a resolução Aneel 83/2004 (set/2004) tenderiam portanto a ter um custo em R\$/Wp superior aos implantados anteriormente. Sistemas com autonomias maiores são também obviamente mais caros.

Ao contrário dos módulos fotovoltaicos e baterias, os dados de custo disponíveis para controladores de carga e inversores não apresentam uma tendência definida ao longo do tempo. Isto provavelmente decorre de serem equipamentos eletrônicos sujeitos a duas tendências antagônicas: se, por um lado, existe a redução de custo progressiva ao longo do tempo em função da concorrência, por outro lado também existe aumento de custo devido ao progresso técnico (inversores, de forma de onda não senoidal foram substituídos por inversores senoidais, houve aumento de eficiência, redução de auto consumo, melhoria na proteção, houve o lançamento de controladores dotados de MPPT, etc.).

O gráfico da Fig. 4 demonstra, por outro lado, que o custo dos equipamentos também apresenta clara tendência de queda. O resultado calculado tem bom grau de confiança e indica que o custo esperado dos equipamentos para um sistema fotovoltaico isolado em abr/2012 é de 22 R\$/Wp, e que vem apresentando uma queda da ordem de 1,7 R\$/Wp.ano, praticamente igual à queda verificada nos custos dos módulos fotovoltaicos (item 2), muito embora os conjuntos de dados utilizados não sejam coincidentes. O menor valor registrado é de 15,7 R\$/Wp (referente a um sistema com banco de baterias de capacidade considerada inferior ao normalmente praticado). Estes resultados consideram somente sistemas tipo individual usando baterias convencionais (não foram considerados na interpolação as miniredes e nem sistemas com baterias OPzS, embora estes estejam presentes como informação adicional no gráfico da Fig. 4).

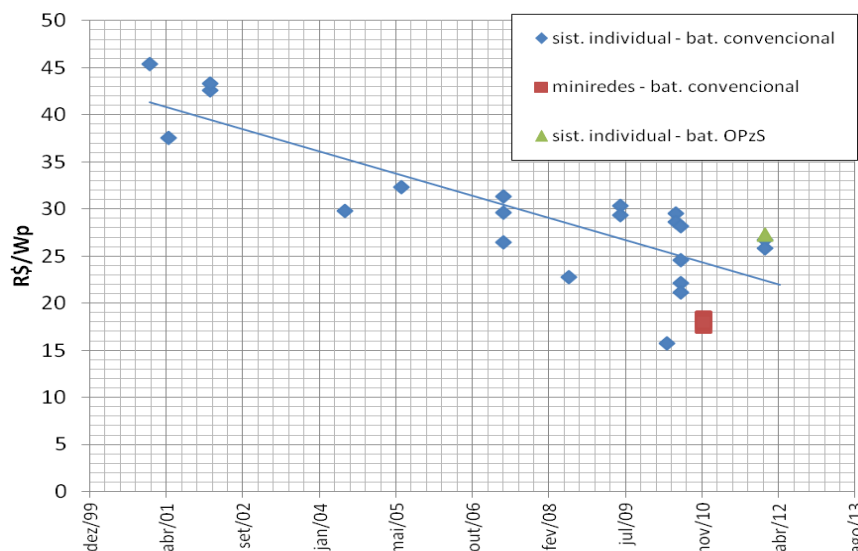


Figura 4 – Custos dos equipamentos para sistemas fotovoltaicos – fontes de dados: (Soares, G. F. W., 2006), (Silva Filho, H. M., 2007), (Silva Filho, H. M., 2012), (Eletrobras 2008), (Cepel, 2008), (Cepel, 2010), (Di Masi, Monica, 2012), (Silva, I. W. Freitas, 2011), (Energia Pura, 2012) e (Senna, D., Mesquita, A., 2012)

Além disso, os dados disponíveis (Fig. 5) mostram ainda que a composição do custo dos equipamentos está mudando, conforme era esperado pelas análises de custo já mostradas nos itens 2 e 3. Os resultados de interpolações lineares sugerem que os módulos respondiam por cerca de 70% deste custo em 2001, enquanto em 2012 correspondem a somente 52%, ao mesmo tempo em que as baterias em 2001 perfaziam apenas cerca de 10% do custo dos equipamentos e atualmente atingem 29%. Os sistemas com baterias OPzS aparentemente apresentam distribuição diferente, com cerca de 40% para módulos e também para baterias.

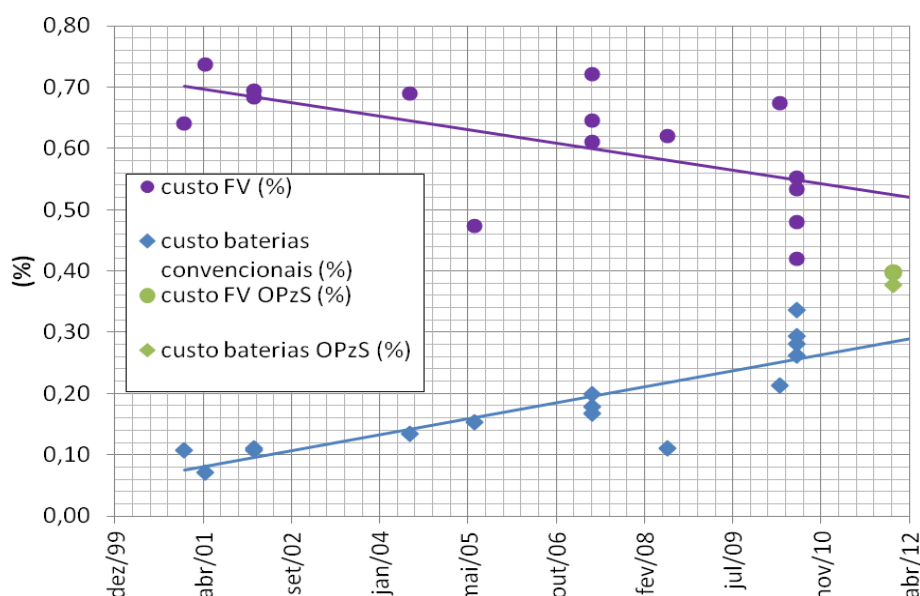


Figura 5 – Evolução do percentual de custo de equipamentos de um sistema fotovoltaico isolado correspondente aos módulos e às baterias ao longo do tempo – fontes de dados: (Soares, G. F. W., 2006), (Silva Filho, H. M., 2007), (Silva Filho, H. M., 2012), (Eletrobras 2008), (Cepel, 2008), (Cepel, 2010), (Di Masi, Monica, 2012) e (Senna, D., Mesquita, A., 2012)

O custo entendido pela maioria dos autores como custo do sistema fotovoltaico, inclui, além dos equipamentos, todos os demais materiais necessários ao sistema, tais como fiação, disjuntores, estruturas de fixação, quadro elétrico, ferragens, eletrodutos, armário para baterias, etc.

As evidências indicam que este custo em R\$/Wp também tem sofrido redução ao longo do tempo, de cerca de 2,2 R\$/Wp.ano, estando o valor esperado para abr/12 em aproximadamente 24,3 R\$/Wp, conforme mostra a Fig. 6. O menor valor registrado é de 18,1 R\$/Wp (referente ao mesmo sistema com banco de baterias considerado pequeno, já mencionado).

Tais valores também foram obtidos por interpolação linear considerando somente os sistemas individuais com baterias convencionais. Observa-se assim uma taxa de redução superior à verificada nos custos dos equipamentos, o que leva a supor que uma queda nos custos dos materiais de instalação é responsável por esta redução adicional.

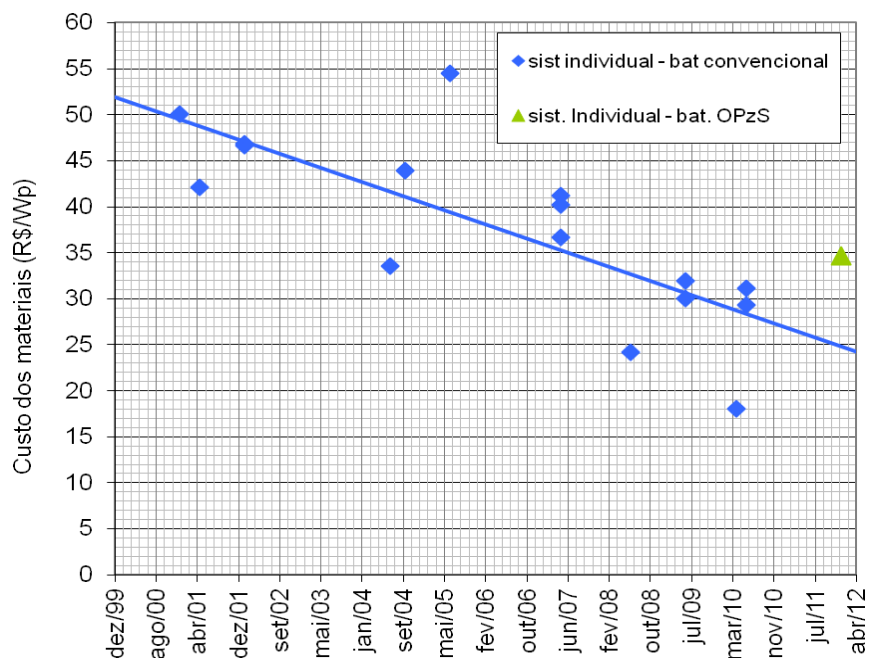


Figura 6 – Custos dos sistemas fotovoltaicos, incluindo equipamentos e demais materiais – fontes de dados: (Soares, G. F. W., 2006), (Silva Filho, H. M., 2007), (Silva Filho, H. M., 2012), (Eletrobras 2008), (Cepel, 2008), (Di Masi, Monica, 2012), (Senna, D., Mesquita, A., 2012) e (Zilles, R., Mocelin, A. R., 2012)

A Fig. 6. indica ainda que, outra vez, os custos de sistemas com baterias OPzS aparentemente são superiores aos que empregam as baterias convencionais.

No caso das miniredes (custos não apresentados na Fig. 6), a necessidade de obras civis e da construção da própria rede (posteamto), além de medição individual obrigatória e de monitoração do sistema (exigência ANEEL), resultam naturalmente em custos mais elevados para os sistemas.

É importante ressaltar que a qualidade da instalação, não só dos equipamentos em si, mas principalmente do restante da instalação, é um fator preponderante no custo dos sistemas. Itens de instalação tais como: sistema de aterramento, SPDA, instalação do sistema fotovoltaico em abrigo totalmente fora da edificação, grau IP (proteção contra penetração de água e sólidos) e resistência à corrosão dos quadros elétricos, adoção de eletrodutos rígidos em toda a instalação, ferragens em aço inox, melhoram significativamente a qualidade e aumentam o custo do sistema.

Assim sendo, pode-se afirmar que os custos de sistemas fotovoltaicos são na verdade de difícil comparação, por encerrarem um grande número de variáveis, o que exigiria conhecimento detalhado das características e dos custos de cada item para cada sistema considerado. Desta forma, as figuras aqui apresentadas (Figs. 4, 5 e 6), bem como as interpolações e os números delas extraídos só devem ser entendidos como uma generalização, representando custos médios no país para sistemas fotovoltaicos de diferentes características em termos de qualidade de instalação.

## 5. CUSTO TOTAL DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

O custo total de implantação do sistema fotovoltaico isolado inclui, além do custo do sistema (equipamentos e demais materiais - item 4), todos os custos de serviços, os quais, por sua vez, incluem mão-de-obra e logística (transporte).

Quanto ao valor deste custo total de implantação, fazem-se necessárias as seguintes considerações preliminares:

- A qualidade dos sistemas influi diretamente não só no custo de equipamentos e materiais conforme já mencionado no item 4, mas também significativamente nos custos de mão-de-obra e logística para a sua instalação;
- O Brasil apresenta muitas diferenças regionais que influem nos custos de logística, que são muito maiores na Região Norte, como resultado da dificuldade de acesso aos locais de instalação;
- As mesmas diferenças regionais valem em relação à mão de obra, a qual muitas vezes tem de ser contratada na Região Sudeste para efetuar tais trabalhos de instalação em regiões remotas, incorrendo em custos extras de transporte e hospedagem;
- Em alguns casos há participação de pessoal de concessionárias ou outras instituições, ou mesmo de pessoal voluntário das comunidades atendidas, nos trabalhos de instalação e na logística, sem que sejam contabilizados os correspondentes custos de mão-de-obra, resultando em custos subestimados para estes sistemas;
- Os custos administrativos das concessionárias e outros órgãos participantes nos projetos geralmente não são nem contabilizados;
- Os custos da instalação (material e mão-de-obra) elétrica predial convencional numa edificação que não era originalmente eletrificada, algumas vezes não é contabilizado como parte do custo total de implantação do sistema fotovoltaico, também assim subestimando o custo total de implantação.

Face ao exposto, observa-se sobre o custo total de implantação do sistema fotovoltaico isolado: i) tem um grande número de variáveis, incluindo várias outras além das já mencionadas no item 4 (custos dos sistemas); ii) em alguns casos ele não é bem contabilizado; iii) somente nos casos de sistemas contratados na modalidade *turnkey*, geralmente este custo é bem determinado.

Deste modo, este é o custo considerado mais difícil de se obter e comparar, uma vez que são poucos os dados disponíveis para o presente estudo, além destes muitas vezes também serem dados de baixa confiabilidade.

O custo total de implantação dos sistemas fotovoltaicos isolados também é expresso em R\$/Wp e a Fig. 7 mostra sua evolução. É também clara a tendência de redução de custo ao longo do tempo, sendo que a interpolação linear aponta para uma queda de cerca de 1,1 R\$/Wp.ano (somente os sistemas individuais com baterias convencionais). Os dados indicam que o valor esperado para abr/12 é de cerca de 38 R\$/Wp. O limite inferior encontrado é de cerca de 22 R\$/Wp (é o mesmo sistema com banco de baterias pequeno, cuja instalação se deu num grande centro, de forma que os custos de logística e transporte são muito baixos).

A queda de custo de implantação é inferior à verificada para o custo dos sistemas, o que sugere que os custos de serviços estão se elevando, aparentemente concordando com a tendência atual da economia do país, segundo a qual, conforme tem sido divulgado, os custos de serviços vem apresentando tendência de crescimento.

Por outro lado, A Fig. 7 mostra que os custos de serviços para as miniredes e sistemas com baterias OPzS mostram-se em princípio superiores aos sistemas individuais com baterias convencionais, conforme esperado.

Cabe observar que a presente análise não levou em conta distinção entre as regiões do país. Todavia, se os dados da Fig. 7 forem plotados em separado por região, se constatam tendências de redução do custo nas regiões SE e NE, e uma pequena tendência de aumento na região N. Todavia, neste grau de análise o número de dados por região fica reduzido e sua representatividade fica prejudicada.

Finalmente, lembramos que aqui são amplificadas as observações já apresentadas no item 4 sobre a comparação de custos de sistemas, pois o número de variáveis e incógnitas é ainda maior, de forma que também a Fig. 7 só pode ser entendida como uma média para sistemas de diferentes características em diferentes regiões do país.

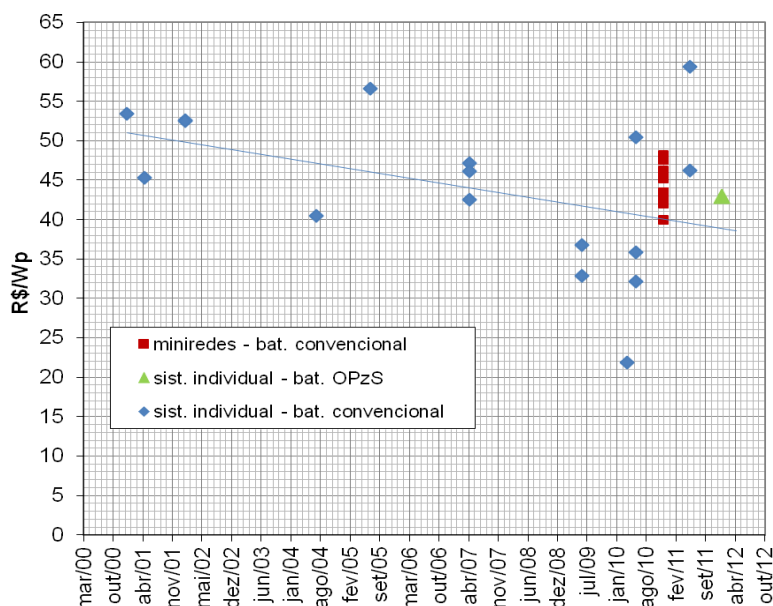


Figura 7 - Custo total de implantação de sistemas fotovoltaicos isolados – fontes de dados: (Soares, G. F. W., 2006), (Silva Filho, H. M., 2007), (Silva Filho, H. M., 2012), (Benincá, S., Fonseca, M., 2012), (Eletrobras 2008), (Di Masi, Monica, 2012), (Silva, I. W. Freitas, 2011) e (Senna, D., Mesquita, A., 2012)

## 6. CONCLUSÕES

A análise ora efetuada de dados de custos históricos corrigidos de sistemas fotovoltaicos no Brasil permite as seguintes afirmações:

- O custo de módulos fotovoltaicos no país apresenta clara tendência de queda e seu custo estimado em abr/12 é de cerca de 9 R\$/Wp, podendo, contudo, atingir valores inferiores a 5 R\$/Wp;
- O custo das baterias Pb-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> convencionais apresenta ligeira tendência de aumento, atingindo atualmente cerca de 398 R\$/kWh, enquanto que as baterias do tipo OPzS apresentam custos bastante superiores;
- O custo de equipamentos (painéis PV, baterias, inversores e controladores de carga) de sistemas fotovoltaicos esperado hoje é de cerca de 21 R\$/Wp, com tendência de redução.
- O custo total de implantação de sistemas fotovoltaicos incluindo custos de equipamentos, materiais e serviços de instalação também mostra tendência de redução e atinge hoje cerca de 38 R\$/Wp.

As análises indicam que a maior parte da queda nos custos ocorrida nos sistemas fotovoltaicos é resultante da redução de custo dos módulos, possivelmente com uma pequena parcela adicional relativa aos demais materiais de instalação. Não foram detectadas tendências definidas em relação aos custos de equipamentos (inversores e controladores de carga). Já no custo dos serviços, aparentemente verifica-se elevação, o que está de acordo com tendência atual da economia do país. O custo das baterias também parece mostrar tendência de elevação.

Sistemas empregando baterias OPzS apresentam custos superiores, assim como sistemas tipo miniredes.

Finalmente cabe ressaltar que os valores mencionados só podem ser tomados como valores médios que levam em conta sistemas fotovoltaicos de diferentes características, instalados em diferentes regiões do país, não sendo diretamente aplicáveis a um determinado sistema em particular.

### Agradecimentos

Agradecemos ao Sr. Sérgio Benincá e a Sra. Miriam Fonseca (Kyocera Solar do Brasil), ao Prof. Roberto Zilles e ao Sr. André Mocelin (IEE/USP), ao Sr. Hugo Machado Silva Filho (Coelba), ao Sr. Israel Wallyson Freitas da Silva (Eletrobras), à Sra. Monica di Masi (Secretaria de Meio Ambiente do Rio de Janeiro) pelo fornecimento de dados de custos de inúmeros sistemas fotovoltaicos, que contribuíram para o presente trabalho.

### REFERÊNCIAS

- Banco Central, 2012. Índices históricos de correção financeira disponibilizados pelo Banco Central do Brasil no endereço <http://www.bcb.gov.br/?calculadora>
- Benincá, S., Fonseca, M., 2012. Informações fornecidas por Sérgio Benincá e Miriam Fonseca (Kyocera Solar do Brasil) ao Cepel em fev/2012, sobre custos de sistemas fornecidos pela empresa Kyocera Solar do Brasil no

- âmbito do LpT e outros programas nos Estados da Bahia, Minas Gerais, Mato Grosso, Maranhão, São Paulo e Rio de Janeiro.
- Cepel, 2004. Dados de custos de módulos fotovoltaicos adquiridos pelo Cepel da empresa BP Solar em jun/2004 para reposição em um sistema fotovoltaico existente;
- Cepel, 2008. Dados de custos do sistema fotovoltaico para a Estação Científica do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, implantado pelo Cepel em parceria com a Marinha do Brasil em 2008;
- Cepel, 2009. Dados de custos do banco de baterias adquirido pelo Cepel em jun/2009 para reposição na Casa Solar do Cresesb;
- Cepel, 2010. Dados de custos de sistemas fotovoltaicos de 4 Centros de Demonstração Tecnológica nos estados do Amazonas, Paraná, Distrito Federal e Maranhão, implantados pelo Cepel em parceria com o SENAC em 2010.
- Di Masi, Monica, 2012; Informações fornecidas por Monica Di Masi (Secretaria de Meio Ambiente da Prefeitura do Rio de Janeiro) ao Cepel em mar/2012, sobre custos de sistemas fotovoltaicos implantados pela Prefeitura do Rio de Janeiro nos Parques Municipais da Prainha (2002) e Dois Irmãos (2010).
- Eletrobras (Carvalho, C. M., Borges, E. L. P., Brame, F. R. G., Almeida, G. Q., Olivieri, M. M. A., Santos, N. C., Martins, R. P., Senna, D., Schwab, T. R., Klaus, W.), 2008. Ações para Disseminação de Fontes Renováveis de Energia. Projeto Piloto de Xapuri. Relatório Final; Eletrobrás/Eletoacre/GTZ, outubro/2008.
- Energia Pura, 2010; Cotação de custos de módulos fotovoltaicos efetuada pelo Cepel junto à empresa Energia Pura em ago/10.
- Energia Pura, 2012; Custos disponíveis na página da empresa Energia Pura ([www.energiapura.com](http://www.energiapura.com)) consultada em fev/2012.
- Eudora Solar, 2012; Custos disponíveis na página da empresa Eudora Solar ([www.eudorasolar.com.br](http://www.eudorasolar.com.br)) consultada em mar/2012.
- Kyocera, 2010; Cotação de custos de diversos modelos de módulos fotovoltaicos feita pelo Cepel junto à empresa Kyocera Solar do Brasil (Propostas 320/2010, 329/2010 e 330/2010) em ago/2010.
- Kyocera, 2011; Cotação de custos de reposição de bancos de baterias feita pela feita pela Secretaria de Meio Ambiente da Prefeitura do Rio de Janeiro junto à empresa Kyocera Solar do Brasil (Proposta 122/2011) em jun/2011.
- Lima, Alex A. N., 2012. Informações fornecidas por Alex Artigiani Neves Lima (Eletrobras) ao Cepel sobre custos de 4 minirredes implantadas no Estado do Pará em 2011/2012.
- Olivieri, Marta M. de A., Lima, Alex A. N., Borges, E. L. P., Carvalho, C. M., Silva, Gabriel H. C. e, 2010. Comparação entre Dois Tipos de Sistemas Fotovoltaicos Individuais Adequados para Eletrificação Rural; III CBENS; Belém, 21-24/set/2010.
- Silva, I. W. Freitas, 2011. Informações fornecidas por Israel Wallyson Freitas da Silva (Eletrobras) ao Cepel em out/2011, sobre custos de 12 minirredes fotovoltaicas implantadas no Estado do Amazonas em 2010/2011.
- Senna, D., Mesquita, A., 2012. Levantamento e cadastramento de consumidores não eletrificados e elaboração de Projetos de Referência, Apresentação realizada no II Workshop Técnico Interno Eletrobras, Rio de Janeiro-RJ, mar/2012.
- Silva Filho, H. M., 2007. Aplicação de Sistemas Fotovoltaicos na Universalização do Serviço de Energia Elétrica na Bahia: Uma mudança de paradigma no Setor Elétrico Brasileiro, Tese de Mestrado, UNIFACS, Salvador-BA.
- Silva Filho, H. M., 2012. Informações fornecidas por Hugo Machado Silva Filho (Coelba) ao Cepel em mar/2012, sobre custos de SIGFIs implantados pela Coelba no âmbito do LpT em 2009 e 2010.
- Soares, G. F. W., 2006. Relatório Final de Consolidação do Projeto Ribeirinhas, Relatório Técnico Cepel DTE 26875/2006.
- Soares, G. F. W. et *alli*, 2010. Comparação de Custos entre Sistemas Fotovoltaicos Individuais e Minicentrais Fotovoltaicas para Eletrificação Rural; III CBENS; Belém, 21-24/set/2010.
- Tecnometal, 2010; Cotação de vários modelos de módulos fotovoltaicos fabricados pela empresa Tecnometal, feita pelo Cepel em mar/2012.
- Zilles, R., Mocelin, A. R., 2012. Informações fornecidas por Roberto Zilles e André Mocelin (IEE-USP) ao Cepel em abr/2012, sobre custos de 19 SIGFIs implantados pela USP no Projeto Mamirauá.

## LONG-TERM ANALYSIS OF COSTS OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN BRAZIL

**Abstract.** *Actual costs of photovoltaic systems in Brazil are seldom published. It happens sometimes because the costs are considered trade secrets, and, in other cases, probably because there is a perception that, since they are high, that would undermine the image of PV technology. This paper focuses on a survey and an analysis of the costs of isolated PV systems in Brazil, using data from several projects over the last decade. All values are corrected until March, 2012. It is demonstrated and quantified a declining trend of the cost in country, resulting mainly from the worldwide decline of PV module costs. Current average expected costs for modules, batteries, equipment, systems and installation logistics are calculated. As a matter of facts the PV costs depend on several variables, so that the values presented shall be understood as averages for a set of PV systems with different specifications, installed in different regions of the country.*

**Key words:** Isolated PV Systems, Costs of PV systems