

## ANÁLISE E COMPARAÇÃO PRELIMINAR DE SOFTWARES PARA PROJETO E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Ana Luíza Sathler Lima - luizasathler@gmail.com

Diego Gomes Ferreira Oliveira – diegogomesf@gmail.com

Luís Guilherme Monteiro Oliveira – luis.monteiro@gmail.com

Flávia de Oliveira Neuenschwander - flaviaoln@gmail.com

Pedro Henrique Alves da Silva - pedrohenriqueasilva@gmail.com

Victor Flores Mendes - victormendes@cpdee.ufmg.br

Wallace do Couto Boaventura - wventura@cpdee.ufmg.br

Eduardo Nohme Cardoso - nohme@cpdee.ufmg.br

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Departamento de Engenharia Elétrica

Wilson Negrão Macêdo – wnmacedo@ufpa.br

Pedro Ferreira Torres – pferreira.t@gmail.com

João Tavares Pinho – jtpinho@ufpa.br

Universidade Federal do Pará (UFPA), Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas

Bruno Marciano Lopes - bruno.marciano@cemig.com.br

Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), Gerência de Alternativas Energéticas

**Resumo.** *O desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no mundo e no Brasil torna crescente a necessidade do uso de ferramentas computacionais confiáveis para a previsão da geração de energia na realização de projetos. No mercado estão disponíveis diversos tipos de softwares, comerciais e públicos, para projeto e simulação de sistemas fotovoltaicos que utilizam diferentes modelos matemáticos e parâmetros de cálculo. Uma análise preliminar desses softwares foi realizada buscando identificar as vantagens e limitações de cada um, além da identificação dos modelos utilizados nos cálculos. Foi considerado, e modelado nos softwares, um pequeno sistema fotovoltaico instalado no Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE) da Universidade Federal do Pará (UFPA), e os dados gerados pelo sistema foram analisados e comparados, utilizando figuras de mérito estatístico, aos resultados obtidos pelas simulações. Dessa forma, foi possível verificar a consistência dos dados simulados / softwares em relação à realidade e verificar as dificuldades e fatores que interferem nos resultados.*

**Palavras-chave:** *Comparações, Softwares, Simulação Computacional.*

### 1. INTRODUÇÃO

A energia solar fotovoltaica utiliza a irradiância para a geração de energia elétrica através de sistemas isolados ou conectados à rede elétrica. Esses sistemas vêm se firmando, cada vez mais, como uma alternativa energética confiável que contribui não somente para as comunidades ribeiras, caçaras, e onde não há energia elétrica, como também em centros urbanos no alívio de carga do sistema elétrico brasileiro entre outras vantagens.

Dentro deste contexto, vem crescendo no mundo e, principalmente, no Brasil a capacidade instalada desta tecnologia haja visto os últimos leilões específicos de energia de reserva (LER) realizados para usinas solares de grande porte que ocorreram nos anos de 2014 e 2015 onde foram contratados aproximadamente 3 GWp, (EPE, 2015). Soma-se a tal fato, o aumento da geração distribuída no país após a instituição da resolução normativa N°482 lançada em 2012 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL / REN N°482) e que, atualmente, se encontra em fase de revisão. O recente Plano Decenal de Expansão de Energia lançado pela Empresa de Pesquisa Energética do Ministério de Minas e Energia (PDE / EPE / MME, 2015) estima que até 2024, o Brasil terá a capacidade instalada de 7 GWp de usinas solares de grande porte representando 4 % da potência total instalada no país. Já para a geração distribuída, a projeção para fonte solar, instalada em residências e no comércio, alcance aproximadamente 1,32 GWp (1,6 TWh) em 2024, o que representará 1,6 % do total da geração distribuída, ou 0,2 % da oferta total de energia elétrica de 2024.

Dessa forma, e com toda essa expectativa de crescimento para o setor fotovoltaico se torna cada vez mais importante a utilização de softwares para a realização de dimensionamentos e simulações de sistemas fotovoltaicos para que se tenha uma previsão da produção de energia gerada por essa tecnologia, de possíveis sombreamentos sobre o projeto e consequentemente um melhor retorno financeiro.

Atualmente, existem no mercado, uma gama de ferramentas computacionais, comerciais e públicas, que fornecem auxílio aos projetistas no desenvolvimento de seus projetos. Esses softwares utilizam diferentes modelos matemáticos, interpretações gráficas (2D / 3D), banco de dados de fabricantes dos equipamentos (módulos, inversores e etc) e de dados solarimétricos / meteorológicos e consideram, em suas simulações, distintas perdas do sistema em seus cálculos. Assim,

os resultados podem variar de software para software, dependendo das configurações e “default” disponibilizadas pela ferramenta computacional.

A fim de se verificar as potencialidades destes softwares, bem como suas diferenças e limitações, e também os resultados de suas simulações e compara-los entre si e conseqüentemente o quanto estes se aproximam dos valores reais de um sistema fotovoltaico em operação, é a proposta de estudo realizado neste trabalho e que será descrito nas próximas seções.

## **2. BREVE DESCRIÇÃO DOS SOFTWARES ANALISADOS**

### **2.1 PVWatts Calculator - NREL**

O PVWatts é uma ferramenta Web disponível publicamente “online” que permite estimar a produção de energia gerada por sistemas fotovoltaicos e também realizar análise econômica. A mesma foi desenvolvida pela Laboratório Nacional de Energias Renováveis (National Renewable Energy Laboratory – NREL, do inglês). A sua utilização é simples e intuitiva e, infelizmente, apenas alguns poucos parâmetros do sistema podem ser configurados/ alterados dando ao projetista pouca abertura para a realização de simulações mais específicas (ex: bancos de dados meteorológicos, de módulos e de inversores não podem ser alterados, se comparado aos demais softwares disponíveis). São gerados resultados mensais da energia produzida para uma dada localidade com as orientações e perdas fornecidas pelo usuário.

### **2.2 SAM - NREL**

O System Advisor Model – SAM, do inglês, é um software de domínio público onde podem ser realizadas simulações para a estimativa energética / financeira, incluindo custos de instalação, manutenção e operação, e de desempenho energético para diversas fontes renováveis de energia (fotovoltaica, aquecedores e concentradores solares, eólica, geotérmica e biomassa). A ferramenta computacional também foi desenvolvida pelo NREL, de fácil manipulação, porém, e ao contrário do PVWatts, permite incluir novos dados meteorológicos e também novos modelos de fabricantes de módulos e inversores. Além disso, a análise de sombreamento sobre o sistema, utilizando ferramenta 3D, está em desenvolvimento e será disponibilizada em breve.

### **2.3 PV\*SOL Expert 6.0**

O PV\*SOL Expert 6.0 foi desenvolvido pela empresa Valentin software, é uma ferramenta computacional comercial que auxilia projetos de sistemas fotovoltaicos, realizando simulações dinâmicas e cálculo de rendimento. O software permite simular sistemas isolados e conectados à rede elétrica e possui ferramenta 3D para cálculo de sombreamento. Como o PVsyst o PV\*SOL possui um banco de dados de inversores e módulos fotovoltaicos, atualizado, e também considera perdas tais como: cabeamento CC/CA, temperatura de célula FV, sombreamentos, “mismatching” e etc além da viabilidade econômica, gerando resultados que são externalizados através de relatórios detalhados.

### **2.4 PVsyst 6.30**

O software PVsyst, na atualidade, é a ferramenta computacional, comercial, mais utilizada para o desenvolvimento de estudos, dimensionamentos e simulações de sistemas fotovoltaicos. Por ser um software específico para esse tipo de sistema, proporciona ao projetista uma modelagem bastante abrangente e flexível de sistemas isolados, conectados à rede elétrica e bombeamento de água.

Entre as especificações que podem ser definidas pelo usuário, está um detalhamento completo de perdas, escolha de diferentes fabricantes de módulos e inversores (sendo possível inserir novos modelos que não estão presentes no banco de dados), opção de sistema de compensação (net metering, do inglês), análise e a avaliação econômica bem como a influência de sombreamentos, através de ferramenta CAD 3D. Além disso, o programa permite que o usuário importe dados meteorológicos de diversos banco de dados para variados tipos de formatos. Permite, inclusive, a importação de dados de medição própria. Os resultados também são gerados de diversas maneiras, incluindo um relatório detalhado da simulação incluído as perdas envolvidas. A interface do PVsyst proporciona uma fácil adaptação do projetista por ser intuitiva e permitir uma grande flexibilidade de manuseio e inserção de dados facilitando ao usuário realizar seus projetos e suas análises.

### **2.5 HOMER Energy Modeling Software**

O HOMER 2.68 é um software gratuito desenvolvido pelo NREL para produzir uma análise sensível e de otimização de micro centrais de energia, considerando suas várias configurações possíveis. É possível dimensionar sistemas híbridos com várias tecnologias renováveis (fotovoltaica, eólica, hidráulica, biomassa) e também com geradores a diesel para atender a diferentes demandas (de carga elétrica ou térmica) sejam eles conectados ou não à rede elétrica.

O software possibilita uma modelagem bastante simplificada dos sistemas, pois não foi desenvolvido para a análise de uma tecnologia alternativa específica. No caso de sistemas fotovoltaicos, permite ao usuário inserir dados

meteorológicos, de orientação, potência nominal dos módulos e inversores, fator de perdas e avaliação econômica. Os resultados das simulações são exibidos em tabelas, gráficos e em um relatório.

Apesar de oferecer várias possibilidades de configurações de sistemas, a interface do HOMER é bastante intuitiva e simples facilitando seu manuseio ao projetista.

## 2.6 Polysun

Polysun é um software de simulação de sistemas solares térmicos, fotovoltaicos e geotérmicos comercial. Através desta ferramenta computacional, é possível fazer uma análise completa de sistemas deste tipo, obtendo dados de rendimento, rentabilidade, economia de CO<sub>2</sub> e detalhamento das perdas.

O programa fornece uma enorme gama de sistemas pré-elaborados, que facilitam o trabalho do projetista, que deve apenas preencher as especificações dos componentes. Os sistemas podem ser modelados detalhadamente e os resultados são exibidos em relatórios bastante completos.

A Tab. 1 resume as funções disponibilizadas, de forma objetiva e sucinta, por cada um dos softwares descritos.

Tabela 1 – Comparação dos softwares.

	PVsyst	PVWatts	SAM	PV*SOL Expert	HOMER	Polysun
<b>Banco de Dados Meteorológicos</b>	Meteonorm 7.0. Importa de outras fontes.	TMY. Não permite alterar dados climáticos.	TMY. Permite inserir bancos de dados climáticos.	Meteonorm 7.0. Permite inserir bancos de dados climáticos.	Não possui banco de dados interno. Permite importar dados.	Possui banco de dados interno. Permite importar dados.
<b>Editar Entradas</b>	Meteo, albedo, orientação e inclinação, módulos, inversor, perdas, net metering, sombreamento, avaliação econômica	Perdas envolvidas, inclinação do módulo e potência do sistema podem ser alteradas.	Dados meteorológicos, perdas envolvidas, módulos, inversores e arranjos fotovoltaicos, inclinação de módulos dentre outros dados.	Criação novos componentes e localizações. entradas relacionadas ao arranjo fotovoltaico, como inclinação e orientação, além do módulos e inversores.	Potência nominal módulos e inversores, perdas, orientação, dados meteorológicos e avaliação econômica.	Dados meteo, sombreamento, orientação, módulos, inversor, perdas envolvidas, especificações da rede externa e usos internos.
<b>Importar Dados</b>	Meteonorm, Satellight, SolarAnywhere, PVGIS, Helioclim, EPW, TMY, DRY, WRDC, SolarGIS, 3Tiers ASCII.	Não.	Dados CSV, TMY2, TMY3, EPW ou SMW. Importar dados do Excel, utilizar a plataforma TRNSYS e linguagem SamUL. Aceita apenas dados horários	Dados meteorológicos nos formatos XLM, WBV ou DAT. Aceita dados horários ou dados mensais, através do Meteosyn.	Bancos de dados da NASA ou CSR. Permite também dados horários ou mensais nos formatos *.tm2, *.sol ou *.txt.	Permite inserir dados mensais manualmente e dados horários no formato CSV.
<b>Geração de dados horários sintéticos</b>	Gaussiano autorregressivo	Não.	Não.	Modelo Meteosyn	algoritmo de VA Graham para.	Sim. Algoritmo desconhecido.
<b>Banco de Dados de Inversores</b>	Sim.	Não.	Sim.	Sim.	Não.	Sim.
<b>Banco de Dados de Módulos</b>	Sim.	Não.	Sim.	Sim.	Não.	Sim.
<b>Modelo para Inversores</b>	EU Efficiency ou CEC	PVFORM (Sandia)	Sandia e Carga Parcial	Função da curva de eficiência	perdas dependente da eficiência.	Desconhecido.
<b>Modelo para Módulos</b>	Um diodo de Shockley ou Modelo de Sandia	PVFORM (Sandia)	Cinco parâmetros (CEC) e Sandia.	Polinomial	Modelo de King (Duffie & Beckman)	Modelo de H.G. Beyer.
<b>Modelo de Radiação</b>	Hay ou Perez	Perez	Isotrópico, HDKR e Perez	Reindl, Hay e Davis	HDKR	Perez
<b>Perdas Consideradas</b>	Térmicas, de incidência, ôhmicas, poeira, albedo, sombreamento, módulos, inversores, transformadores.	Inversor, transformador, diodos, conexões, sombreamento, poeira, perda de eficiência do módulo.	Albedo, sombreamento, poeira, conexões, diodos, módulos, inversores, transformadores, temperatura e eficiência do módulo.	Desvio do espectro padrão, perdas nos diodos, poluição, albedo, vento, cabeamento de corrente contínua para o inversor, tolerâncias do fabricante.	Definição de um fator percentual único para todas as perdas. Há a opção de entrar com dados um pouco mais detalhados para perdas térmicas.	Ventilação, sujeira, degradação, cabeamento, mismatching, perdas térmicas e de eficiência do inversor.
<b>Ferramenta 3D</b>	Sim	Não.	Importar modelos de sombreamento	Sim.	Não.	importar modelos de horizonte.

### 3. METODOLOGIA

Como descrito anteriormente, a fim de se verificar o quanto os resultados gerados pelas simulações dos softwares descritos na seção 2 se aproximam dos valores de um sistema fotovoltaico em operação, foi utilizado um micro sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (Macêdo et al., 2014) instalado no Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE) da Universidade Federal do Pará (UFPA), sendo que o sistema foi modelado e simulado, em cada um dos softwares, e assim, os dados medidos (para 8 meses) e os resultados gerados nas simulações puderam ser comparados. A Fig. 1 mostra o diagrama unifilar do sistema e a Tab. 2, Tab. 3 e Tab. 4, mostram as características técnicas do sistema FV / GEDAE - UFPA.

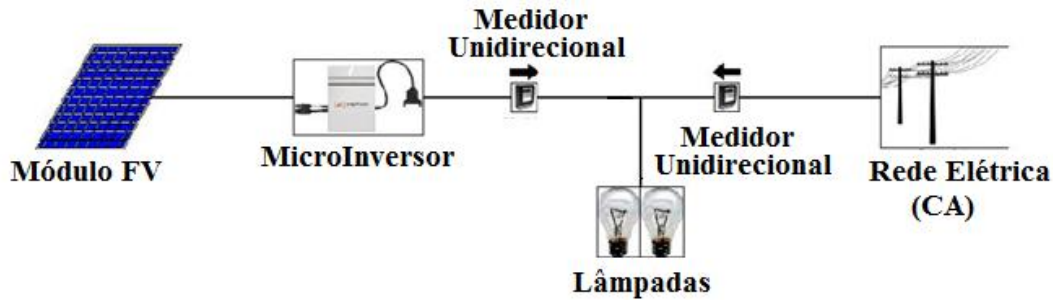


Figura 1 – Diagrama unifilar do micro sistema FV instalado no GEDAE / UFPA.

Tabela 2 – Sistema Microinversor. Tabela 3 – Microinversor Enphase Energy M215. Tabela 4 – Módulo FV Aleo S19G245.

<b>Potência Instalada</b>	245 Wp
<b>Módulos</b>	1
<b>Inclinação</b>	13°
<b>Orientação</b>	19° NW
<b>Inversores</b>	1

<b>Vcc operação</b>	16 – 48 V
<b>Icc MAX</b>	10 A
<b>Vcc MPP</b>	27-39 V
<b>Vca nom.</b>	240 V
<b>Ica nom.</b>	0,9 A
<b>Pnom.</b>	215 W

<b>Tecnologia</b>	Si-m
<b>P [Wp]</b>	245
<b>Imp</b>	8,1 A
<b>Vmp</b>	30,2 V
<b>Isc</b>	8,66 A
<b>Voc</b>	37,7 V
<b>η</b>	14,90 %

#### 3.1. Coleta, organização dos dados e cálculos energéticos

O sistema de monitoração (sensores, calibração, datalogger e etc) e os primeiros resultados energéticos do micro gerador apresentado na Fig. 1 e instalado no GEDAE/UFPA estão descritos em Macêdo et al. (2014) e, para este trabalho (para a realização de uma análise e comparação preliminar), foram disponibilizados dados de potência CA, coletados de 5 em 5 minutos, para oito meses do ano. Os dados foram, portanto, tratados para a realização do cálculo mensal da energia gerada sendo que foram utilizadas apenas as médias horárias e, a partir destas, as médias mensais, em kWh, foram obtidas. O método utilizado para a estimativa de produção mensal de energia é apresentado na Eq. (1).

$$E_{mensal} = \left( \frac{S_m \times N_d}{N_a} \right) / 1000 \quad (1)$$

Onde:  $E_{mensal}$  representa a energia mensal gerada, em kWh,  $N_d$ , é o número de dias no mês,  $N_a$  é o número de dias de amostragem e  $S_m$  corresponde à soma mensal, dada pela Eq. (2).

$$S_m = \sum_{12} \frac{\sum P_5}{12} \quad (2)$$

Através da Eq. (2) foi realizada a somatória da variável  $P_5$ , que representa as potências CA coletadas de 5 em 5 minutos, para cada hora e dividindo por 12 (número de medições / hora) para obter as médias horárias. Por fim, foi realizada a somatória de todas as médias horárias para obtenção da produção mensal de energia.

Após coleta e organização dos dados fornecidos, foram realizadas análises estatísticas utilizando duas figuras de mérito estatísticos bastante aplicadas e citadas na literatura Stone et al. (1993), Ineichen (2011), Falayi et al. (2011), Gueymard (2009) e Karakoti et al. (2012), ou seja, o erro médio sistemático (“Means Bias Error” – MBE, do inglês) e a raiz do erro médio quadrático (“Root Mean Square Error” – RMSE, do inglês) as Eq. (3) e Eq. (4) mostram a forma matemática para esses dois erros médios.

$$RMSE = \left( \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (K_{medido} - K_{simulado})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$MBE = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (K_{medido} - K_{simulado}) \quad (4)$$

Onde:

$K_{medido}$ : dados coletados pelo micro sistema FV / GEDAE - UFPA;

$K_{simulado}$ : dados gerados pelas simulações (softwares);

De acordo com Ineichen (2011), essas ferramentas estatísticas demonstram a qualidade média dos dados fornecidos pelas simulações em relação ao valor medido (micro sistema FV) sendo que o indicador RMSE fornece a informação a curto prazo do rendimento das correlações permitindo a comparação, termo a termo, do desvio atual entre os valores coletados em campo e os valores simulados. Quanto menor o indicador RMSE, mais próximo é a correlação entre os dados. O MBE por sua vez oferece uma média entre todas as diferenças de valores simulados e coletados em campo, sendo assim, um resultado positivo desse indicador mostra uma tendência dos valores simulados serem superestimados e um valor negativo uma tendência de subestimação dos valores simulados. Finalmente, os valores de MBE representam o erro sistemático, ou “bias”, enquanto o RMSE é o erro não sistemático.

### 3.2. Configuração e padronização de parâmetros nos softwares

Como descrito na seção 2, cada software permite ao projetista editar diferentes parâmetros de forma distinta, principalmente em relação às perdas envolvidas. Isso dificulta a padronização para a realização de simulações. Para cada uma das entradas, os softwares utilizam valores padrão (“default”), ou sugerem valores em seus guias e manuais. Desta maneira, a opção foi utilizar os valores sugeridos por cada ferramenta computacional para que as simulações sejam de fato realizadas. A Tab. 5 resume os valores adotados para cada um dos softwares.

Tabela 5 – Valores adotados nas simulações para cada um dos softwares.

	PVsyst	PVWATTS	SAM	HOMER	PV*SOL	Polysun
<b>Albedo</b>	0,2	-	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Fator de perdas</b>	-	13,5 %	-	20 %	-	-
<b>Perdas Ôhmicas</b>	1,5 %	1 %	1 %	-	-	4 %
<b>LID</b>	2 %	-	-	-	-	-
<b>Mismatch</b>	1 %	0,5 %	0,5 %	-	2 %	4 %
<b>Poeira</b>	3 %	3 %	3 %	-	3 %	2 %
<b>Degradação</b>	-	-	-	-	-	0,5 %
<b>Manutenção</b>	2 %	-	-	-	-	-
<b>Temperatura</b>	7,4 %	-	-	-	-	-
<b>Diodos e Conexões</b>	-	0,5 %	0,5 %	-	0,5 %	-

Outras informações necessárias, e que devem ser padronizadas, para a realização de simulações são os dados meteorológicos / solarimétricos e as especificações do módulo e microinversor. Portanto, foi adotado um mesmo banco de dados solarimétrico para todos os softwares (projeto Solar and Wind Energy Assessment – SWERA, do inglês, dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE) que permitiam alterar os dados padrão. Para a adequação, foram utilizadas ferramentas de conversão do formato do arquivo e de geração de dados mensais. Além disso, informações de temperatura ambiente solicitadas pelos softwares e não disponíveis no banco de dados citado foram obtidas através de dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As especificações do módulo e do micro inversor foram obtidas nos catálogos dos fabricantes.

Cabe salientar, que para o PVWatts foi necessário adaptar o sistema da Fig.1, pois o software não permite simular sistemas com potência instalada inferior a 500 Wp. Segundo orientações do NREL, encontradas em seu manual, o sistema de 245 Wp foi simulado como tendo potência de 2.450 Wp e a energia gerada resultante foi dividida por 10. Ainda para o sistema simulado no PVWatts, e em contato com o fabricante Enhphase Energy, a empresa sugeriu que fosse somado o valor de 1,3% ao fator total de perdas do software.

Finalmente, alguns softwares disponibilizam mais de um modelo para a estimativa da irradiação, em plano inclinado, para ser utilizado no cálculo da energia gerada, ou seja, e como exemplo, O PVsyst permite escolher o modelo de Perez et. al. (1987,1990) ou o de Hay (1981), o SAM disponibiliza o de Perez, HDKR e Isotrópico (Liu e Jordan, 1960). O PV\*SOL possui opções para o modelo de temperatura, o modelo dinâmico de temperatura e o modelo linear de temperatura.

#### 4. RESULTADOS

A Fig. 2 mostra a energia mensal gerada para os oito meses após modelagem e simulação para cada um dos softwares e para os dados coletados e a Tab. 6 a energia gerada total para o período em questão bem como os resultados das figuras de mérito estáticos após sua aplicação.

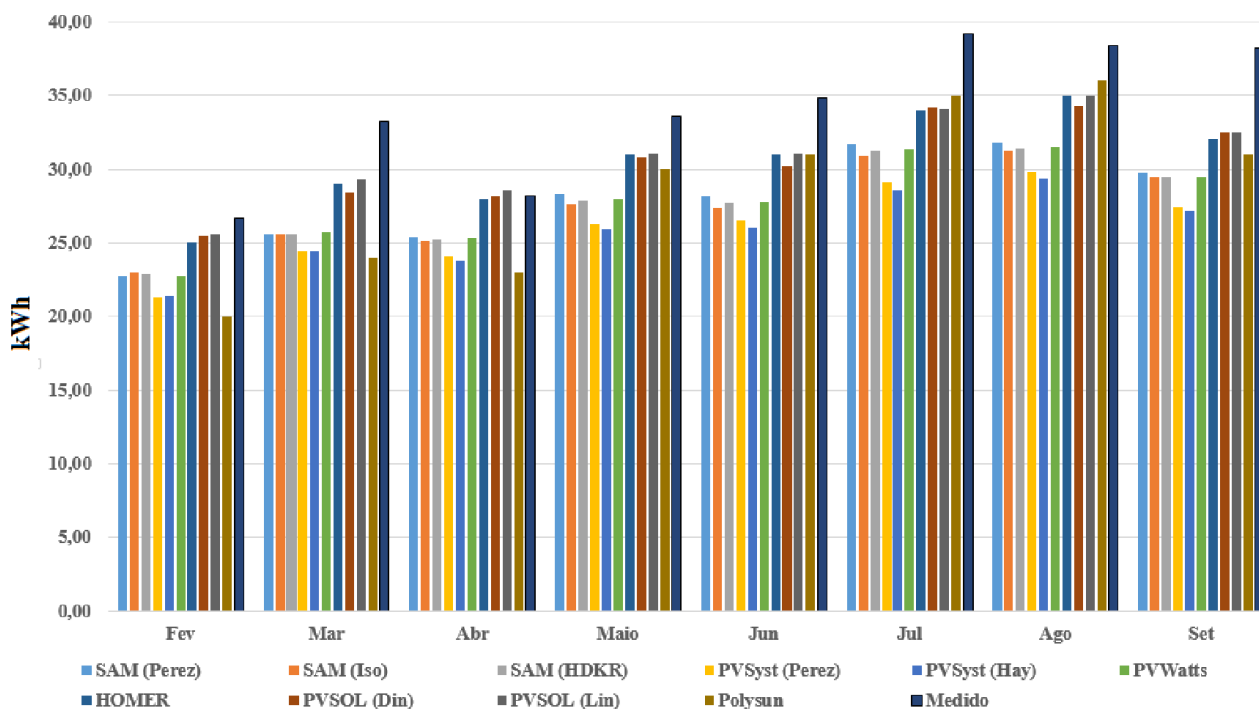


Figura 2 – Resultados das simulações nos softwares e dados medidos do sistema para os meses de fevereiro a setembro.

Tabela 6 - Energia gerada total para os 8 meses e os resultados das figuras de mérito estáticos.

Softwares	kWh Total	RMSEs	MBEs
SAM (Perez)	223,30	2,86 %	-2,74 %
SAM (Iso)	220,20	3,09 %	-2,96 %
SAM (HDKR)	221,40	3,00 %	-2,87 %
PVSyst (Perez)	208,90	3,93 %	-3,79 %
PVSyst (Hay)	206,70	4,11 %	-3,97 %
PVWatts	221,80	2,97 %	-2,85 %
HOMER	245,00	1,57 %	-1,39 %
PVSOL (Din)	244,00	1,64 %	-1,45 %
PVSOL (Lin)	247,30	1,48 %	-1,26 %
Polysun	230,00	2,47 %	-2,30 %
<b>Medido</b>	<b>272,30</b>	N/A	N/A
Média	231,00	N/A	N/A
Desvio Padrão	19 %	N/A	N/A

Como é possível observar na Fig. 2 e Tab. 6, e como já era esperado, há uma variação entre os resultados gerados pelas simulações sendo que os softwares Homer (barra azul escura) e PVSol (barras vermelha e bege escuras) apresentaram resultados mais próximos dos dados medidos (barras mais escuras) sendo que o desvio padrão geral apresentado foi de 19 %. Em relação à figura de mérito RMSE, novamente, os softwares Homer e PVSol apresentaram melhores resultados com valores menores que 2 % ao contrário da ferramenta computacional PVSyst que apresentou valores da ordem de 4 % para este parâmetro e os demais softwares valores em torno dos 3 %. Já o erro sistemático (MBE) todos os resultados das simulações dos softwares foram subestimados em relação aos valores medidos.

## 5. CONCLUSÕES

Após a análise dos softwares e realização das simulações, foi possível visualizar quais softwares se aproximaram mais dos dados medidos em campo. As ferramentas computacionais PVSol e Homer foram as que apresentaram resultados mais próximos das medições e RMSE mais baixos, enquanto que os dois modelos adotados pelo PVSyst obtiveram resultados, entre os demais, mais abaixo das medições para a maioria dos meses e RMSE mais elevados.

Cabe salientar que houve dificuldade em padronizar os parâmetros para a realização das simulações a título de exemplo, o PVWatts e HOMER não possuem bancos de dados de módulos e inversores, sendo possível apenas definir sua eficiência. O SAM, PV\*SOL e PVSyst, possuem estes bancos de dados, porém apresentam certa dificuldade em incluir novos fabricantes / modelos de produtos, visto que exigem mais informações do que as fornecidas pelos fabricantes. Cada software permite ao usuário definir entradas diferentes, principalmente para as perdas envolvidas. Além disso, os softwares nem sempre aceitam o mesmo banco de dados meteorológicos solarimétricos, parte fundamental da simulação, sendo necessário utilizar métodos para a conversão dos dados, que propagam incertezas. Além disso, soma-se ao fato, e como apresentado na Tab. 1, cada software utiliza modelos matemáticos (ex: para módulos, inversores, temperatura, transposição e etc) distintos necessitando assim, uma verificação mais apurada de quais destes modelos disponíveis na literatura se adequam melhor à realidade para a obtenção de melhores resultados.

Apesar das dificuldades salientadas, os softwares PVSyst, PVSOL e Polysun mostraram serem ferramentas computacionais mais completas e robustas, de uso profissional, permitindo ao projetista modelar os sistemas mais detalhadamente. O SAM, apesar de ser de uso público, se mostrou também uma boa ferramenta, uma vez que possibilita a edição de diversos fatores na simulação. Já o software HOMER é um software mais simplificado, que foca principalmente na análise de sistemas híbridos e mini-redes, dando poucas opções para o modelamento de sistemas exclusivamente fotovoltaicos. Por fim, o PVWatts, por ser uma ferramenta Web“online”, gratuita, disponibiliza poucas possibilidades de edição, o que deixa o modelamento mais simples recomendado para realizar pré-viabilidade de projetos.

Finalmente, é importante salientar que este estudo preliminar mostra a dificuldade em si realizar tais comparações e análises devido à dificuldade em se padronizar todos os parâmetros como já destacado por Yates e Hibberd (2010), Podewills (2011) e Axaopoulo et al. (2014) que realizaram estudos semelhantes. Cabe salientar também a importância de o sistema real estar com seus sensores calibrados para obtenção correta dos valores medidos como foi realizado por Macedo et al. (2014). De qualquer forma, os resultados encontrados, e apesar das dificuldades relatadas, para todos os softwares analisados foram bons conforme mostra a Tab. 6 porém, fica a sugestão de se realizar estudos mais detalhados e sistemáticos e assim, obtendo resultados mais precisos e conclusivos à respeito do rendimento dos softwares disponíveis no mercado que cada vez mais, se tornam importantes ferramentas para a realização de projetos não somente para grandes usinas solares como também para a pequenos sistemas fotovoltaicos através da geração distribuída e/ou isolados e dispersos das redes elétricas.

### Agradecimentos

Ao Grupo de Estudos de Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE) da Universidade Federal do Pará (UFPA), que cedeu os dados relativos ao sistema apresentado neste artigo. Trabalho desenvolvido no âmbito do programa de P&D Estratégico: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”, da ANEEL, CEMIG - D713.

### REFERÊNCIAS

- Axaopoulo, P.J., Emmanouil, D. F., Konstantinos, G. 2014. Accuracy analysis of software for the estimation and planning of photovoltaic installations. *International Journal of Energy and Environ. Eng.* Springer, pp.1-7.
- Duffie J. A., Beckman W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4ª edição, pp. 54-59. Wiley, New York.
- Hay, J.E., Davies, J.A., 1980. Calculations of the solar radiation incident on an inclined surface. In: Hay, J.E., Won, T.K. (Eds.), *Proc. of First Canadian Solar Radiation Data Workshop*, 59. Ministry of Supply and Services, Canada.
- Hay, J.E., 1979. Calculation of monthly mean solar radiation on horizontal and inclined surfaces. *Solar Energy* 23, pp. 301-307.
- HOMERUser’sGuide. Disponível em <http://support.homerenergy.com/model>. Acesso em: 26/03/15.
- Liu, B. Y. H, and R. C. Jordan. 1960. The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse, and total solar radiation. *Solar Energy*, Vol. 10, No. 3, 4(3):1e19.
- Macêdo, Wilson N.; Torres, P. F.; Pontes, S. S. N.; Braga, W.; Cavalcante, Renato L.; Galhardo, Marcos A. B.; Pinho, J. T. 2014. Análise da Eficiência de um Microinversor Conectado à Rede Elétrica. In: V CBENS, Recife.
- Perez, R., R. Stewart, C. Arbogast, R. Seals and D. Menicucci. 1987. A New Simplified Version of the Perez Diffuse Irradiance Model for Tilted Surfaces, *Solar Energy*, Vol. 39, pp. 221-231.
- Perez R, Ineichen P, Seals R, Michalsky J, Stewart R. 1990. Modeling day light availability and irradiance components from direct and global irradiance. *Solar Energy*; 44:271 e89.
- Polysun Simulation Software. User Manual. 2014.
- Podewills, C., 2011. Las perspectivas son buenas. El laboratorio de Photon ha examinado programas para la estimación

del rendimento. Revista PHOTON, p.46-49.

PVsyst S.A. User's Guide: PVsyst 6 Help. Disponível em: <http://files.pvsyst.com/help/index.html>

PV\*SOLExpert6.0.ValentimSoftware:<<http://www.valentin-software.com/manual-pvsol-en.pdf>>

PVWatts Grid Data Calculator (version 2): <<http://www.nrel.gov/rredc/pvwatts/grid.html>> Acesso em: 06/03/15.

System Advisor Model (SAM): <<http://sam.nrel.gov/>> Acesso em: 06/03/15.

Reindl, D.T.; Beckmann, W.A.; Duffie, J.A., 1990. Diffuse fraction correlations; Solar Energy, Vol.45; No.1, p.1.7; Pergamon Press.

Renato L. Cavalcante. (2011). Análise operacional de dois sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica do campus universitário da UFPA, cidade de Belém/PA.

Yates, T., Hibberd, B. 2010. Production Modeling for Grid-Tied PV Systems. SOLARPRO. April/May 2010 30-56.

## **PRELIMINARY ANALYSIS AND COMPARISON OF PROJECT AND SIMULATION SOFTWARE FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS**

**Abstract.** *The development of photovoltaic solar energy in the world and in Brazil also makes increasing the need for reliable computational tools for forecasting, more accurate, this generation in carrying out projects. On the market are available various types of software, commercial and public, for design and simulation of photovoltaic systems that use different mathematical models and calculation parameters. A preliminary analysis of such programs was held seeking to identify the advantages and limitations of each, in addition to the identification of the models used in the calculations. Was considered and modeled in software, a small photovoltaic system installed on the Group of Studies and Development of Energy Alternatives (GEDAE) of the Federal University of Pará (UFPA), and the data generated by the same were analyzed and compared using statistical figures of merit, the results obtained by the simulations. Thus, it was possible to check the consistency of simulated data / software to the reality and verify the difficulties and factors that interfere in the results.*

**Key words:** *Comparison, Software, Computer Simulation.*