



## MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE NO IFSULDEMINAS CAMPUS POÇOS DE CALDAS

Otávio Messias Palma<sup>1</sup>, Ezequiel Junio de Lima<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IFSULDEMINAS – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais Campus Poços de Caldas

**Resumo** — Este artigo visa avaliar o sistema fotovoltaico de 70 kilowatt-pico (kWp) implementado no IFSULDEMINAS (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais) em janeiro de 2017 pelo projeto IFSOLAR, depois de 18 meses de operação. O sistema fotovoltaico presente no Instituto foi simulado através do software PVSyst, com auxílio de valores da irradiação solar, velocidade média do vento e temperatura média da região de Poços de Caldas, obtidos por uma estação solarimétrica presente no campus e dados presentes em literaturas. Os valores obtidos de desempenho geral e produtividade foram comparados com os dados obtidos nos relatórios gerados pelos inversores ao longo do período de análise a fim de analisar se a produção da usina atingiu os resultados esperados.

**Palavras-Chave** — Coeficiente de Desempenho, Energia Solar, Produtividade, Sistemas Fotovoltaicos.

### MEASUREMENT AND EVALUATION OF PV SYSTEM CONNECTED TO THE GRID IN IFSULDEMINAS POÇOS DE CALDAS CAMPUS

**Abstract** — This paper aims to evaluate the 70kWp photovoltaic system implemented at the Poços de Caldas campus of IFSULDEMINAS (Federal Institute of Education, Science and Technology of the South of Minas Gerais) in January 2017 by the IFSOLAR project, after 18 months of operation. The PV system was simulated using the PVSyst software, with obtained values of solar irradiation, average wind speed and average temperature of Poços de Caldas region, these data were obtained by the solarimetric station present on the campus and on the literature. General performance and productivity values were obtained and compared with the generated data from the investors during the analysis period in order to analyze and evaluate the production from the system.

**Keywords** — Photovoltaic Systems, Performance Ratio, Solar Energy, Yield.

otaviopalma@gmail.com

### I. INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento social-econômico do Brasil gera um aumento da demanda energética do país, essa demanda deve ser suprida por infraestruturas energéticas que possam atender a todo o país. Atualmente o Brasil apresenta em sua matriz energética 41,1% da produção a partir de fontes renováveis enquanto que a média mundial se encontra muito abaixo deste valor, apenas 3,8%. Na matriz elétrica brasileira, a geração hidráulica se destaca com 68,1% da produção, a produção solar e eólica 5,4%, no entanto, a implementação de usinas hidrelétricas sempre foi e sempre será um problema, dessa forma, as usinas fotovoltaicas tem chamado cada vez mais atenção. [1]

O Balanço Energético Nacional de 2017, apresenta que a micro e mini geração distribuída atingiu 104,1 GWh com uma potência instalada de 72,4 megawatts (MW), destacando-se o meio fotovoltaico que apresentou 53,6 gigawatts-hora (GWh) de geração e 56,9 MW instalados. [2]

Segundo as normas brasileiras, a mini e micro geração distribuída consistem da produção de energia elétrica de pequenas usinas que utilizam fontes renováveis de eletricidade, conectados à rede de distribuição através de instalações de unidades consumidoras. De forma clara, a micro geração distribuída refere-se a uma usina com uma potência instalada menor ou igual a 75 kilowatts (kW), enquanto que a mini geração distribuída diz respeito a usinas com potência instalada maior que 75 kW e menor ou igual a 5 MW. [3]

A ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica), informa que sistemas fotovoltaicos ultrapassaram a marca de 1,5 gigawatts (GW) de capacidade instalada em 2018 e que, para o fim do ano, prevê-se que o país chegará a 2,4 GW. De 2017 para 2018, houve um crescimento de dez vezes do número de residências abastecidas, cerca de 633 mil, o que consiste em 30 mil sistemas de geração distribuídas conectados à rede. [4]

Em sintonia com esse avanço, de volta em 2016, o IFSULDEMINAS iniciou o “projeto IFSolar” que implementou micro usinas fotovoltaicas conectadas à rede em cada um dos seus campi, com capacidade total instalada de 560 kWp. No campus de Poços de Caldas, a geração instalada apresenta 70 kWp e teve seus dados analisados ao longo de um ano e meio (desde janeiro de 2017 até junho de 2018).

Com tais informações em mãos, este artigo visa analisar se a geração corresponde ao desempenho geral do sistema e sua produtividade, projetados com o auxílio do software de simulação PVSyst.

## II. METODOLOGIA

### A. Sistema Fotovoltaico

O Campus Poços de Caldas do IFSULDEMINAS apresenta atualmente um sistema fotovoltaico de 70 kWp, sendo 265 módulos fotovoltaicos de silício multicristalino de 265 watt-pico (Wp) cada um, divididos entre 5 inversores de 15 kilowatt (kW). Os módulos apresentam uma inclinação de 5 graus e possuem um desvio azimutal de 35 graus. De acordo com [5], recomenda-se uma inclinação mínima de 10 graus para os módulos por motivos de acúmulo de resíduos nos módulos, abaixo desta inclinação a água da chuva não consegue limpar os módulos com uma eficiência significativa, no entanto, por conta da forma em que o telhado da estrutura fora montado, a instalação dos módulos ocorreu com uma inclinação de apenas 5 graus.

Ao longo de um ano e meio (período entre janeiro de 2017 e junho de 2018) foram armazenados os dados de geração do sistema provenientes do sistema integrado aos inversores, dados de diversos tipos são armazenados no servidor da fabricante que podem ser acessados pelo website e usado para geração de relatórios, no caso deste artigo, foi de interesse apenas dos dados de produção fotovoltaica, assim posteriormente, com a ajuda do software PVSyst, foi feita a simulação do sistema que gerou dados de desempenho e produção que foram comparados com os dados reais. A foto da usina se encontra na Figura 1 abaixo.

Figura 1: Visão Geral do Sistema Fotovoltaico



### B. Simulação e dados meteorológicos

Para realizar a simulação do sistema, foi escolhido o programa PVSyst, um software para Windows especializado em estudo, dimensionamento, simulação e análise de dados de sistemas fotovoltaicos completos. A Figura 2 mostra uma das interfaces do programa em que se pode realizar a simulação no período de um ano, através do botão “Run Simulation”.

A interface em questão permite também a configuração meteorológica da região, assim, foi necessário se apoderar de dados mensais meteorológicos da cidade de Poços de Caldas, sendo estes, a irradiância global horizontal, a irradiância difusa horizontal, a temperatura média e a velocidade média do vento. Os dois primeiros parâmetros foram obtidos em [6] e os dois últimos em [7]. A Figura 3 mostra uma das interfaces para a entrada de dados meteorológicos do programa.

Figura 2: Janela de Projeto do PVSyst

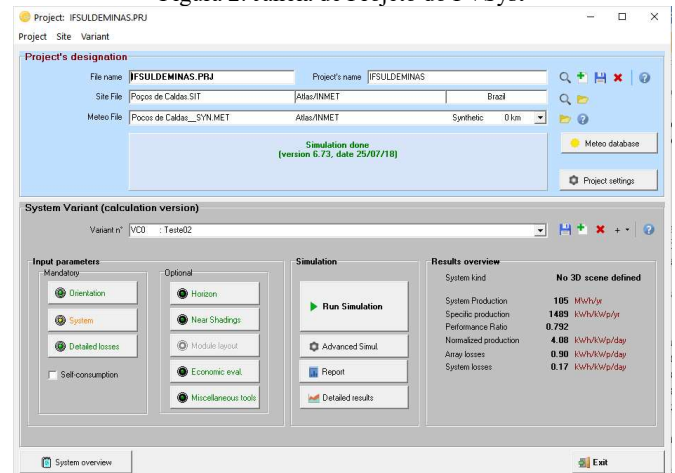


Figura 3: Janelade Entrada de dados Meteorológicos

Site	Poços de Caldas (Brazil)			
Data source	Atlas/INMET			
	Global Irrad.	Diffuse	Temper.	Wind Vel.
	kWh/m <sup>2</sup> .day	kWh/m <sup>2</sup> .day	°C	m/s
January	5.26	2.66	21.2	0.62
February	5.51	2.45	21.1	0.64
March	4.72	2.24	20.6	0.61
April	4.52	1.81	18.9	0.57
May	3.92	1.46	15.5	0.52
June	3.70	1.33	13.9	0.61
July	3.97	1.34	13.9	0.61
August	4.89	1.53	15.5	0.60
September	5.00	1.85	17.9	0.82
October	5.31	2.25	19.6	0.74
November	5.26	2.67	20.1	0.81
December	5.53	2.79	20.7	0.67
<b>Year</b>	<b>4.80</b>	<b>2.03</b>	<b>18.2</b>	<b>0.7</b>
	<input type="button" value="Paste"/>	<input type="button" value="Paste"/>	<input type="button" value="Paste"/>	<input type="button" value="Paste"/>

Por conta de uma estação solarimétrica presente no campus foi possível realizar uma comparação dos dados obtidos com os dados reais, a estação é equipada com dois piranômetros *first class* (de acordo com a ISO 9060:1990), orientados no plano horizontal, sensores de umidade relativa do ar, temperatura do ar e velocidade do vento e começou sua operação em março de 2018, e por conta disso, gerou-se dados num período de apenas 4 meses. A Figura 4 mostra a estação solarimétrica instalada no instituto.

A maior parte dos dados de radiação brasileiros são baseados em captações de satélites que são publicados no Atlas Brasileiro de Energia Solar [6]. Como é sabido, existem desvios significantes entre medidas feitas no solo e por satélites, especialmente para dias em que há grande presença de nuvens. Dessa forma, para melhorar a precisão das medidas, os dados da estação solarimétrica (desde março de 2018) foram integralizados e armazenados a cada 10 minutos, que posteriormente foram ajustados para se obter a irradiação diária e a temperatura, e em seguida a média mensal. Em [6], todas as medidas foram geradas por 503 estações

meteorológicas, cuja base de dados abrange o período de 2005 até 2015. O software Radiasol [8], foi outra opção escolhida para se analisar junto dos dados reais com o Atlas, o programa foi desenvolvido pela UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) e utiliza modelos matemáticos para obter os valores de irradiância que são disponibilizados. Dessa forma, com os valores de Irradiância Global Horizontal de três fontes diferentes, foi possível compará-los e analisa-los, os resultados obtidos por todas as fontes são comparados na Tabela I.

Figura 4: Estação Solarimétrica presente no IFSULDEMINAS Campus Poços de Caldas



Tabela I: Diferença Percentual entre a Estação Solarimétrica e outras fontes

Mês	Irradiação [ Wh/m <sup>2</sup> ]			Diferença Percentual [ % ]	
	<i>Atlas Brasileiro</i>	<i>Radiasol</i>	<i>Estação</i>	<i>Estação/Atlas</i>	<i>Estação/Radiasol</i>
Março	5061	4942	5426,75	6,97%	9,35%
Abril	4788	4574	4735,75	1,10%	3,47%
Mai	4011	3974	4425,23	9,82%	10,74%
Junho	3778	3550	3563,20	5,85%	0,37%

Da Tabela I pode-se ver que os valores encontrados não excedem uma diferença de 11% sobre os dados coletados pela estação solarimétrica. O Atlas Brasileiro apresentou dados mais precisos, como era esperado visto o número de estações que compõem sua base de dados enquanto que o software Radiasol por contar apenas com cálculos matemáticos, apresentou resultados satisfatórios, mas ainda assim, não tão próximos dos dados reais. Dessa forma, chegou-se a conclusão que os dados obtidos da estação solarimétrica, em apenas 4 meses, se encontram em conformidade com os fornecidos pelas outras duas fontes (Atlas Brasileiros e Radiasol) durante todo o ano.

Com os dados de Irradiação Global Horizontal do Atlas, e a produção fotovoltaica dos relatórios dos inversores, foi possível obter o desempenho geral (Performance Ratio) e a produtividade (Yield) do sistema, esses valores podem ser calculados da seguinte forma:

$$PR_t = (E_t * G) / (P_o * H_t) \quad (1)$$

$$Yield_t = E_t / P_o \quad (2)$$

Onde:

- PR<sub>t</sub> - Desempenho geral sobre um período t.
- E<sub>t</sub> - Potência gerada sobre um período t.
- P<sub>o</sub> - Irradiância de referência (1000).
- H<sub>t</sub> - Irradiação nos módulos sobre um período t.
- Yield<sub>t</sub> - Produção do sistema sobre um período t.

De acordo com [9] o desempenho geral é a medida de qualidade do sistema fotovoltaico que independe da sua localização e, portanto, é usualmente chamado de fator de qualidade. O coeficiente de desempenho é dado como uma porcentagem e define uma relação entre a potência real e teórica do sistema fotovoltaico. Ele, portanto, mostra a proporção de energia que está realmente sendo enviada para a rede após as reduções das perdas (devido a perdas térmicas e de condução, por exemplo) e da energia consumida para operar. Quanto mais próximo de 100% for o coeficiente de desempenho do sistema fotovoltaico mais eficiente o sistema se encontra operando. Na vida real, o valor de 100% não pode ser obtido, isso por conta de perdas inevitáveis que sempre comprometem o funcionamento do sistema (como por exemplo, o aquecimento dos módulos que geram perdas térmicas). Sistemas fotovoltaicos de alta performance podem atingir coeficientes de desempenho acima de 80%.

Já a produtividade refere-se a energia produzida pela capacidade instalada do sistema, sua definição diz a respeito da utilização da potência nominal do gerador fotovoltaico.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a simulação do software PVSyst e os dados reais de produção do sistema fotovoltaico, foi possível calcular o desempenho geral e a produtividade mês-a-mês e anual, os resultados obtidos são mostrados na Tabela II e na Figura 5.

Tabela II: Desempenho Real e Simulado

Mês	Desempenho Real	Desempenho Simulado	Diferença Percentual
Fev 2017	0,7779	0,7750	0,38
Mar 2017	0,7777	0,7840	-0,81
Abr 2017	0,7549	0,7980	-5,41
Mai 2017	0,7029	0,8140	-13,65
Jun 2017	0,9295	0,8270	12,39
Jul 2017	0,8434	0,8210	2,72
Ago 2017	0,7103	0,8080	-12,09



Set 2017	0,8123	0,7960	2,05
Out 2017	0,6672	0,7810	-14,57
Nov 2017	0,7207	0,7810	-7,71
Dez 2017	0,7276	0,7760	-6,23
Jan 2018	0,6952	0,7790	-10,76
Fev/17 – Jan/18	0,7600	0,7950	-4,40

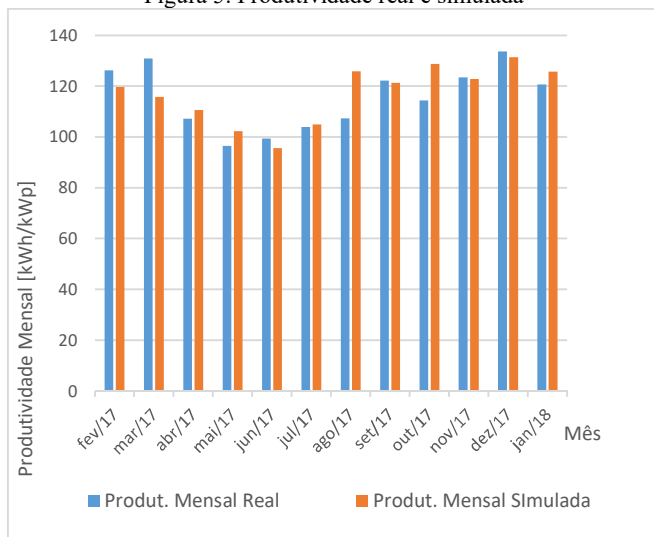
Ao se analisar os dados mensais da Tabela II, observa-se que há uma variação considerável entre alguns períodos. Essas variações ocorrem principalmente devido a mudanças climáticas e são consideradas normais.

A grande maioria dos coeficientes de desempenho mensais se encontram abaixo de 70%, já na avaliação anual, o valor encontrado foi de 76%. Quando comparados com a simulação temos quase o mesmo valor, diferença de apenas 4,4%.

Estes resultados mostram uma performance satisfatória do sistema fotovoltaico instalado. Naturalmente, alguns fatores ambientais podem influenciar o coeficiente de desempenho como a temperatura do módulo, irradiação solar e potência dissipada, sombras e resíduos sobre os módulos fotovoltaicos e etc. e precisam ser observados e analisados.

Na Figura 5 é possível observar uma diferença quase insignificante na produção fotovoltaica mês a mês reais para a simulada, essa situação reflete no valor anual encontrado diretamente, enquanto o valor medido é de 1385,9 kWh/kWp (o que representa uma produção anual de 97,29 MWh), o valor simulado é de 1404 kWh/kWp, uma diferença de apenas 1,33%.

Figura 5: Produtividade real e simulada



#### IV. CONCLUSÕES

No presente artigo foram analisados dados de cerca de um ano e meio (de janeiro de 2017 a junho de 2018) da produção fotovoltaica do sistema fotovoltaico de 70 kWp que se encontra no campus Poços de Caldas do IFSULDEMINAS, desde a implementação do sistema não havia sido feito um

estudo sobre este, assim, foi de suma importância para a comunidade do IFSULDEMINAS Campus Poços de Caldas que houvesse uma análise detalhada de como um sistema deste porte, que necessitou de um grande investimento, está se comportando.

Com uma produção anual de aproximadamente 97,3 MWh de energia, o sistema se mostrou muito eficiente, estando apenas 1,33% abaixo do previsto pelo software de simulação e a produção do sistema fotovoltaico instalado deve ocorrer conforme as previsões.

De forma secundária, foi possível também analisar a irradiação global horizontal fornecida por diversas fontes e compará-las com a irradiação obtida da Estação Solarimétrica. Com o passar do tempo, esses dados podem ser usados para contribuir com a base de dados para a cidade e região de Poços de Caldas.

Por conta de um problema nos sensores de temperatura dos módulos não foi possível estabelecer uma relação entre a temperatura do módulo e a temperatura do ar, no entanto, é sabido por meio da literatura que módulos fotovoltaicos perdem eficiência com o aumento da temperatura em suas bases, dessa forma, um estudo sobre este assunto é possível de ser feito na instalação presente mediante ajustes.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais-IFSULDEMINAS, DME Distribuição S/A e a Agencia Nacional de Energia Elétrica – ANEEL pela colaboração e financiamento do projeto que permitiu este estudo.

#### REFERÊNCIAS

- [1] EMPRESA DE PESQUISA ENERGETICA (Brasil). Matriz Energética e Elétrica. 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>> Acesso em: 07 out 2018.
- [2] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). Balanço Energético Nacional: ano base 2016. Rio de Janeiro: EPE, 2017. 291p. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BE\\_N\\_2017.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BE_N_2017.pdf)> Acesso em: 09 jul. 2018.
- [3] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Geração Distribuída. 2018. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset\\_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827?inheritRedirect=false](http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827?inheritRedirect=false)> Acesso em: 03 out. 2018
- [4] ABSOLAR (Brasil). Brasil ultrapassa 1,5 GW de energia solar fotovoltaica e abastece mais de 633 mil residências. São Paulo: ABSOLAR, 2018. Disponível em: <<http://absolar.org.br/noticia/noticias-externas/brasil-ultrapassa-15-gw-de-energia-solar-fotovoltaica-e-abastece-mais-de-633-mil-residencias.html>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- [5] NEOSOLAR (Brasil). Projeto – Energia Solar Fotovoltaica. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-conectados-grid-tie/projeto>> Acesso em: 07 out 2018.
- [6] PEREIRA, Enio Bueno et al. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2. ed. São José dos Campos: Inpe, 2017. 88 p. Disponível em: <[http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas\\_Brasileiro\\_Energia\\_Solar\\_2a\\_Edicao.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf)>. Acesso em: 11 jul. 2018.

- [7] BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia. MAPA. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: 12 jul. 2018.
- [8] Brasil. LABSOL. UFRGS. RADIASOL 2. 2018. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/>>. Acesso em: 12 jul. 2018.
- [9] SMA Solar Technology AG, Performance ratio: Quality factor for the PV plant. Disponível em: <<http://files.sma.de/dl/7680/Perfratio-TI-en-11.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2018.