

# MONITORAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL CONECTADO À REDE ELÉTRICA

**Leonardo Soares Posser** (PUCRS) - leonardo.posser@acad.pucrs.br

**Sérgio Boscato Garcia** (PUCRS) - sergio.garcia@pucrs.br

**Andre Santos** (Instituição - a informar) - andre.santos@edu.pucrs.br

**André Santos** (PUCRS) - santos.andre.rs@gmail.com

## **Resumo:**

*A prática de políticas de incentivo que favorecem o uso de energias renováveis permite a popularização de tecnologias que visam um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis e a redução da emissão de poluentes. Dentre estas, destaca-se a crescente utilização de sistemas de conversão de energia solar em eletricidade conectados à rede elétrica. Este trabalho tem por objetivo analisar a produção de energia elétrica em um sistema fotovoltaico residencial localizado na cidade de Guaíba, no Rio Grande do Sul. O sistema foi instalado no telhado com ângulo de inclinação de 5° em relação ao solo e azimute de 63° a oeste, sendo constituído por um painel com 7 módulos fotovoltaicos e resultando em uma potência total de 1,86 kW. O monitoramento foi realizado no período de junho de 2017 a maio de 2018 e a irradiação média verificada foi de 4,53 kWh/m<sup>2</sup>/dia, resultando na produção média de energia elétrica de 213 kWh/mês. A eficiência anual do sistema foi de 13,65%, a produtividade anual foi de 1.382 h e a eficiência global do sistema foi de aproximadamente 83%.*

**Palavras-chave:** *Energias Renováveis, Energia Solar, Sistema Fotovoltaico*

**Área temática:** *Conversão Fotovoltaica*

**Subárea temática:** *Controle e monitoramento de sistemas fotovoltaicos*

# MONITORAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL CONECTADO À REDE ELÉTRICA

**Leonardo Soares Posser** – leonardo.posser@acad.pucrs.br

**André Santos** – andre.santos@edu.pucrs.br

**Sérgio Boscato Garcia** – sergio.garcia@pucrs.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Escola Politécnica

**Resumo.** A prática de políticas de incentivo que favorecem o uso de energias renováveis permite a popularização de tecnologias que visam um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis e a redução da emissão de poluentes. Dentre estas, destaca-se a crescente utilização de sistemas de conversão de energia solar em eletricidade conectados à rede elétrica. Este trabalho tem por objetivo analisar a produção de energia elétrica em um sistema fotovoltaico residencial localizado na cidade de Guaíba, no Rio Grande do Sul. O sistema foi instalado no telhado com ângulo de inclinação de 5° em relação ao solo e azimute de 63° a oeste, sendo constituído por um painel com 7 módulos fotovoltaicos e resultando em uma potência total de 1,86 kW. O monitoramento foi realizado no período de junho de 2017 a maio de 2018 e a irradiação média verificada foi de 4,53 kWh/m<sup>2</sup>/dia, resultando na produção média de energia elétrica de 213 kWh/mês. A eficiência anual do sistema foi de 13,65%, a produtividade anual foi de 1.382 h e a eficiência global do sistema foi de aproximadamente 83%.

**Palavras-chave:** Energias Renováveis, Energia Solar, Sistema Fotovoltaico.

## 1. INTRODUÇÃO

O fortalecimento de políticas que representam a conscientização mundial em aproveitar fontes alternativas para a produção de eletricidade tem resultado em um aumento expressivo da exploração de fontes como a fotovoltaica, eólica e outras, como a biomassa e a geotérmica. Entre os anos de 2000 e 2015, a taxa de crescimento anual em energia fotovoltaica foi de 41%, sendo esta, a fonte de energia renovável com maior potencial de crescimento (Urrego e Urrego, 2018).

O potencial do Brasil para produção de energia solar fotovoltaica é muito elevado devido aos altos níveis de radiação solar incidente. No entanto, ocorrem variações de radiação de acordo com cada região devidos a fatores como: extensão territorial, relevo e dinâmica atmosférica. Dentre estes fatores, a dinâmica atmosférica é a principal causa da formação de nebulosidade e das diferenças climáticas existentes no país, uma vez que afeta diretamente a temperatura e precipitação. As aplicações mais comuns para o aproveitamento da energia solar no país são para aquecimento de água, em substituição ao aquecimento por energia elétrica ou aquecimento a gás, devido principalmente à simplicidade do sistema e ao custo de instalação (Pereira et al., 2017). Contudo, outra forma de aproveitar a energia solar que apresenta elevado crescimento é por meio de sistemas fotovoltaicos interligados à rede. A energia gerada pode ser armazenada em bancos de baterias para suprir uma necessidade de consumo isolado, ou então injetada na rede elétrica. Nesta segunda situação há um melhor aproveitamento, pois, a energia gerada é constantemente injetada na rede elétrica, diferentemente dos sistemas autônomos ou isolados, em que, ao carregar as baterias, não há um aproveitamento do excedente ou constante da energia solar.

A geração de energia elétrica por meio de conexões de microgeração e minigeração tornou-se possível no Brasil a partir da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 em 17 de abril de 2012. A norma determina as condições gerais para o acesso aos sistemas de distribuição de energia elétrica (solar, hidráulica, biomassa, cogeração qualificada) e estabelece o sistema de compensação dessa energia, permitindo ao consumidor a instalação de pequenos geradores em sua unidade consumidora e a troca de energia com a distribuidora local. Em 24 de novembro de 2015, de acordo com a ANEEL (2015) a RN482 foi alterada para Resolução Normativa nº 687. As principais alterações a serem destacadas são o aumento do prazo para utilização dos créditos para 60 meses, o período de aprovação do projeto junto à concessionária para 32 dias, potência de microgeração de sistema gerador de 75 kW, minigeração de 75 kW à 5 MW, unidades consumidoras de múltiplas unidades no qual a energia é dividida entre os participantes (condomínios), geração compartilhada com distintos CPF/CNPJ que possuam cooperativa ou consórcio (rateio da energia entre as partes), autoconsumo remoto (geração em localidades distintas com mesmo CPF/CNPJ).

Segundo a ANEEL (2018), a quantidade de conexões de microgeração e minigeração ultrapassou 20 mil instalações entre o início da Normativa até janeiro de 2018, sendo que 58,71% são referentes à classe residencial, seguida da classe comercial (35,25%) e industrial (6,04%).

Em 2019, o Brasil superou a marca de 1 GW de potência instalada em microgeração e minigeração distribuída de energia elétrica, sendo a energia fotovoltaica representada por 82,6 mil instalações, o equivalente a 870 MW. O estado de Minas Gerais é o que possui o maior número de conexões (16,7 mil unidades de geração e 212,3 MW de potência instalada), seguidos de São Paulo (14,5 mil unidades, 117,4 MW) e Rio Grande do Sul (12 mil unidades, 144,4 MW) (ANEEL, 2020).

O aumento na geração de energia elétrica a partir de energia solar fotovoltaica em sistemas conectados à rede elétrica, segundo o CEISEBR (2018), está crescendo principalmente devido ao aumento no custo da energia elétrica. Desde abril de 2012 até março de 2018, o aumento neste valor foi 44% maior do que o aumento da inflação, que correspondeu à 36%. Outro fator que contribui para o aumento de microgeradores e minigeradores é a evolução na tecnologia nos materiais e produção dos equipamentos, o que resultou em uma redução de cerca de 80% nos valores comerciais na última década. A isenção de impostos é um fator determinante para o consumidor aderir à utilização deste tipo de sistema. O estado pioneiro em isenção de impostos é Minas Gerais. O Decreto Nº 47.231, de 4 de agosto de 2017 estabelece a isenção de ICMS sobre a energia produzida (desde 2013 pela Lei 20.849 e Decreto 46.296), justificando o maior número de instalações no país.

Um sistema solar fotovoltaico pode sofrer diversas perdas. O ângulo de inclinação e a orientação são fatores determinantes para o melhor aproveitamento e geração de energia em um sistema fotovoltaico. Em um estudo realizado com inclinações entre 10° e 15° dos módulos e orientação para leste e oeste observou-se em torno de 2% de perda na produção de energia em relação ao plano ideal e com orientação para o sul, com 30° de inclinação, observaram-se perdas da ordem de 17% (Junior et al. 2017).

Com objetivo de obter o máximo desempenho por intermédio da latitude e insolação disponível no local e por requisitos de projeto como inclinação, orientação e altitude a fim de maximizar a exposição solar, para Mani e Pillai (2010) um fator pouco reconhecido em projetos e que afeta diretamente a eficiência do sistema solar é a poeira acumulada nos módulos fotovoltaicos. Isso ocorre devido a poluição existente no ar, particulados em suspensão, movimentação de pedestres e/ou veículos, fungos, bactérias, vegetação, entre outros. A direção do vento e a disposição dos arranjos fotovoltaicos influenciam diretamente na taxa de deposição de resíduos. A eficiência do sistema fotovoltaico pode ser reduzida entre 10% e 25% devido às perdas no inversor, fiação e sujeira nos módulos (Mani e Pillai, 2010).

A influência da temperatura em uma célula solar fotovoltaica deve ser levada em consideração, pois ocasiona diminuição nos valores da tensão de saída, e conseqüentemente, a redução da potência instantânea disponível nos terminais dos painéis fotovoltaicos (PV - *photovoltaic*), e diminuindo o rendimento na conversão de energia solar em energia elétrica (Beltrão, 2008). Por isso, a temperatura é um dos fatores que devem ser considerados no monitoramento de sistemas fotovoltaicos, sendo verificada por meio de sensores de temperatura e/ou por termografia (Krenzinger e Andrade, 2007). Em instalações que possuem boa ventilação na parte posterior dos módulos PV, favorecendo a dissipação natural do calor, ocorre um aumento na eficiência global do sistema, uma vez que é observada uma redução nas perdas devidas ao aquecimento dos dispositivos (Garcia, 2016).

Segundo Smith (2001), a presença de vegetação e construções próximas a fachadas e telhados com instalações fotovoltaicas podem obstruir a admissão de luz e causar sombreamento. Conseqüentemente, a exposição dos módulos à luz do Sol será de maneira não uniforme, havendo redução na geração de energia e na eficiência do sistema. Quando há sombreamento parcial nos módulos fotovoltaicos, as células podem atingir altas temperaturas. Este efeito ocorre uma vez que a célula sombreada deixa de apresentar comportamento de fonte de energia elétrica, e passa a apresentar um comportamento de diodo, fazendo com que surja uma queda de tensão, devido a corrente do módulo PV que circula por ela. Esse processo é denominado *hot spot* (do inglês, ponto quente), e afeta negativamente a eficiência do sistema fotovoltaico (Podlowski, 2015).

Junior et al. (2014) realizaram o monitoramento durante dois anos de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), que gerou a média de 2,35 MWh/ano. O comportamento do sistema esteve em conformidade ao projeto realizado, porém, houve redução no desempenho com o passar do tempo devido à quantidade de sujeira acumulada nos módulos fotovoltaicos, ocasionado principalmente devido à pouca inclinação do sistema, 15°, e também por estar em um ambiente próximo a uma avenida de alta movimentação de veículos, causando poluição no ar e, conseqüentemente, resistência na passagem de radiação solar. Dadas as condições, realizou-se a limpeza, entre duas ou três vezes no ano, e assim, houve melhora significativa no rendimento. Nos dois anos de monitoramento, percebeu-se redução de energia de 12% em relação ao sistema ideal.

De acordo com a norma IEC Standard 61724 (1998), para monitoramento do desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede, os principais parâmetros para avaliação do sistema são: índice de produtividade do sistema ( $Y_F$ ), índice de produtividade de referência ( $Y_R$ ) e desempenho global do sistema (PR).

O fator de produtividade, *yield*, é dado pela relação entre a energia produzida em um período e a potência pico ( $W_p$ ) sob condições padrão STC (*Standart Test Conditions*) dos módulos fotovoltaicos, expresso na Eq.1:

$$YF = \frac{1}{PStd} \left[ \frac{1}{T} \int_0^T PF(t) dt \right], \quad (1)$$

onde  $PStd$  é a potência instalada no sistema em condições padrão STC de operação dos módulos e  $PF(t)$  é a energia produzida em um intervalo de tempo  $T$ .

A produtividade de referência ( $Y_R$ ), que relaciona a irradiância incidente no plano do painel, representa o número de horas com irradiância de referência de 1000 W/m<sup>2</sup>, expressa na Eq. 2:

$$YR = \frac{\frac{1}{T} \left[ \int_0^T G(t) dt \right]}{\frac{1000W}{m^2}}, \quad (2)$$

onde,  $G(t)$  é a irradiância no plano do painel no período de tempo  $T$ .

O desempenho global do sistema, *performance ratio* ( $PR$ ), é expresso na Eq. 3 e compõe todas as perdas envolvidas no intervalo de tempo analisado, e relaciona a produtividade do sistema e a produtividade de referência:

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R}, \quad (3)$$

A eficiência padrão do sistema é dada por  $\eta_G$ , que é a eficiência dos módulos sob condições STC, que relaciona a potência instalada pela área total dos módulos fotovoltaicos, obtida na Eq. 4:

$$\eta_G = \frac{P_{Std}}{A_g * 1000 \left(\frac{W}{m^2}\right)}, \quad (4)$$

onde,  $A_g$  é a área total do painel.

A eficiência global do sistema é dada por  $\eta_S$ , que é a porcentagem de energia solar convertida em energia elétrica, expressa na Eq. 5:

$$\eta_S = \frac{\int_0^T PF(t) ds}{A_g \int_0^T G(t) dt}. \quad (5)$$

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma análise de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica, com 1,86 kWp de potência instalada, por meio do seu monitoramento durante o período de um ano. A instalação foi realizada em uma residência na cidade de Guaíba, no estado do Rio Grande do Sul.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os módulos fotovoltaicos utilizados foram da marca Jinko, modelo JKM265P, e suas características são apresentadas na Tab. 1. O modelo apresentado produz 265 W de potência pico em condições de operação padrão STC, com irradiância de 1000 W/m<sup>2</sup> e temperatura de 25°C. Os dados de NOCT (do inglês, *Nominal Operating Cell Temperature*) mostram uma potência de 197 Wp, pois os dados de irradiação de referência são de 800 W/m<sup>2</sup> e temperatura ambiente de 20°C. Cada módulo possui área de 1,64 m<sup>2</sup>, totalizando 11,46 m<sup>2</sup> no sistema fotovoltaico instalado.

Tabela 1 - Especificações técnicas dos módulos fotovoltaicos utilizados.  
Adaptado de Jinko Solar (2018).

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS		
Modelo	Jinko JKM265 P	
Condição de teste	STC	NOCT
Máxima potência	265 Wp	197 Wp
Máxima tensão	31,4 V	29,0 V
Máxima corrente	8,44 A	6,78 A
Tensão de circuito aberto	38,6 V	35,3 V
Corrente de curto-circuito	9,03 A	7,36 A
Eficiência	16,19%	

O inversor utilizado no sistema fotovoltaico é da marca PHB Solar, modelo PHB1500-SS, e foi conectado entre os módulos e a rede elétrica com o objetivo de converter a energia elétrica em corrente contínua, gerada pelo painel PV, em corrente alternada. Possui conexão com a *internet* para envio das informações da energia gerada, e os dados de produção de energia são registrados a cada dez minutos e transmitidos automaticamente por meio de conexão de rede *Ethernet* para a central de monitoramento da PHB. Os dados começaram a ser registrados em junho de 2017 pelo sistema.

A capacidade máxima de energia elétrica do inversor, especificada pelo fabricante, é de 450 V e 12 A. A saída de tensão em corrente alternada deve ser entre 125 V e 400 V, e esse inversor suporta apenas uma *string*. Possui máxima eficiência de 97% de conversão de energia elétrica, e tensão de partida em corrente contínua de 125 V (PHB Solar, 2018). A potência máxima de entrada, em corrente contínua, é de 1800 W. Porém, observou-se que o valor de potência dos módulos fotovoltaicos no sistema instalado totaliza 1855 Wp, em condição STC.

O sistema fotovoltaico instalado, representado na Fig. 1, foi composto por 7 módulos fotovoltaicos associados em série, com 265 Wp por módulo, um inversor e caixas de conexão (*string box*) para os circuitos de corrente contínua e corrente alternada.

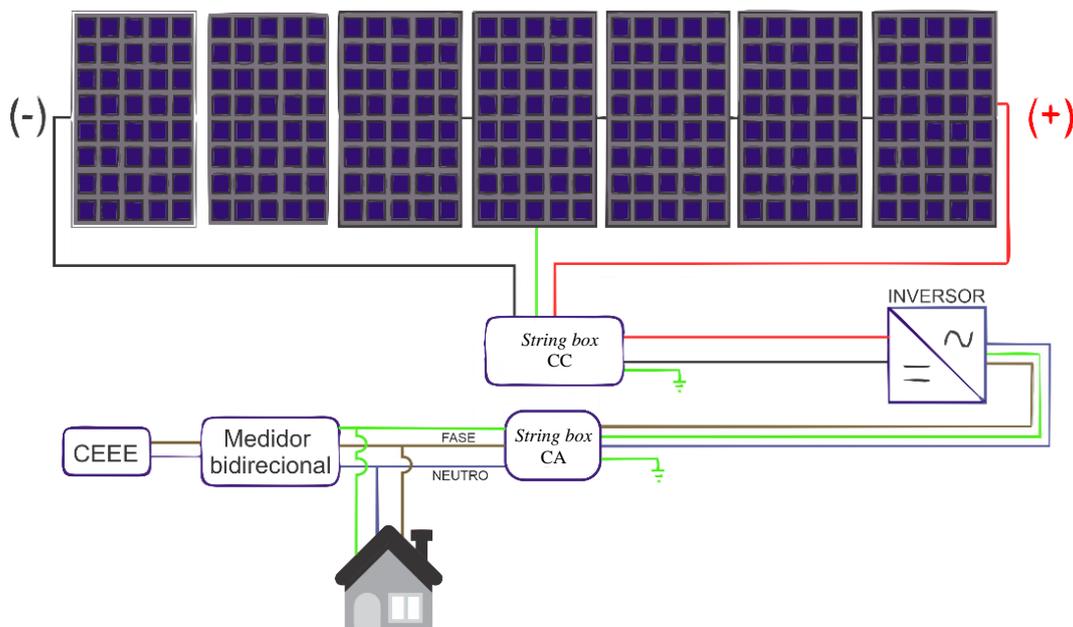


Figura 1 - Esquema do sistema fotovoltaico instalado.

O *string box* é o elemento da instalação no qual estão os componentes de proteção do sistema. A energia gerada em corrente contínua nos módulos é direcionada ao *string box* (corrente contínua) e, em sequência, ao inversor. O inversor converte essa energia em corrente alternada e envia à *string box* (corrente alternada) para ser distribuída à residência e ser consumida ou fornecida à rede elétrica. O sistema apresenta características simplificadas, pois seu único objetivo é a geração de energia elétrica. Assim sendo, este sistema não é dotado de sensores para a medição de temperatura nos módulos fotovoltaicos, velocidade do vento e de irradiância.

O sistema fotovoltaico apresentado na Fig. 2 foi instalado em maio de 2017, e conectado à rede elétrica em junho do mesmo ano na cidade de Guaíba/RS, que possui a Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) como concessionária de energia elétrica. A localidade está sob a latitude de  $-30,126^\circ$ . O consumo mensal médio da residência era de 245 kWh/mês. Esse valor foi descontado da parcela de 30 kWh/mês, uma vez que esse é o consumo mínimo tarifado pela concessionária para uma rede monofásica. Sendo assim, o projeto foi realizado para um consumo aproximado de 215 kWh/mês. O telhado apresenta características de um desvio azimutal de  $63^\circ$  a oeste, e inclinação de  $5^\circ$ . O sistema é constituído de 7 módulos fotovoltaicos, totalizando uma potência de 1.855 Wp sob condições padrão STC. Entretanto, esse valor pode ser excedido quando, por exemplo, a radiação solar excede  $1 \text{ kW/m}^2$ . Por meio do sistema do CRESESB (2018), o máximo aproveitamento da energia recebida é realizado com uma inclinação para o norte geográfico com um ângulo de aproximadamente  $30^\circ$ , valor que foi interpolado e extrapolado pelo programa Radiasol 2.



Figura 2 - Sistema fotovoltaico instalado no telhado da residência em Guaíba/RS.

O programa Radiasol 2 foi utilizado, adicionando-se manualmente valores de irradiância média do CRESESB (2018) no plano horizontal para a cidade de Guaíba, uma vez que os valores referentes à cidade não estão no banco de dados do programa, e foi realizada a extrapolação e interpolação para esse local. Em seguida foram adicionadas as informações de ângulo do telhado de  $5^\circ$ , e azimute de  $63^\circ$  para oeste, a fim de determinar a quantidade de energia gerada nos meses do

ano, obtendo-se assim, os dados apresentados na Tab. 2. Verifica-se que a orientação e inclinação do telhado aumenta a média de irradiação incidente no sistema fotovoltaico, comparada ao plano horizontal de referência.

Tabela 2 - Dados de irradiação corrigidos pelo programa Radasol 2 para o projeto.

DADOS	Irradiância (kWh/m <sup>2</sup> /dia)												Média
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
CRESESB- 0° inclinação	6,52	5,87	4,88	3,83	2,79	2,32	2,54	3,22	3,63	4,87	6,27	6,76	<b>4,45</b>
RADIASOL - projeto	6,51	5,90	5,00	3,94	2,93	2,45	2,68	3,33	3,73	4,92	6,27	6,73	<b>4,53</b>
RADIASOL - ideal	6,05	5,85	5,42	4,70	3,77	3,29	3,59	4,13	4,19	5,06	5,94	6,12	<b>4,84</b>

A partir dos valores de irradiação (projeto), foi calculada a capacidade de geração de energia para os doze meses de monitoramento em condições STC de operação, e foram obtidos os valores para cada mês do ano, com média mensal de 255 kWh, conforme apresenta a Tab. 3.

Tabela 3 - Dados teóricos de produção de energia mensal em condições padrão STC.

Mês	Produção mensal (kWh/mês)												Média
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
Projeto	374	306	288	219	168	136	154	191	208	283	349	387	<b>255</b>

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema fotovoltaico, após ser instalado na residência, foi conectado à rede elétrica para monitoramento no período de um ano, e apresentou os dados indicados na Fig. 3, que apresenta os valores médios obtidos mensalmente durante o período de junho de 2017 a maio de 2018. É possível observar o mesmo comportamento entre a irradiação incidente no plano do arranjo fotovoltaico e a produção de energia. A maior geração de energia foi no período entre os meses de novembro a fevereiro, e a menor geração de energia entre maio e setembro. A geração mensal de energia elétrica foi de 213 kWh, usando como base o valor de irradiação de 4,53 kWh/m<sup>2</sup>/mês, estimado pelo programa Radasol 2 (2018).

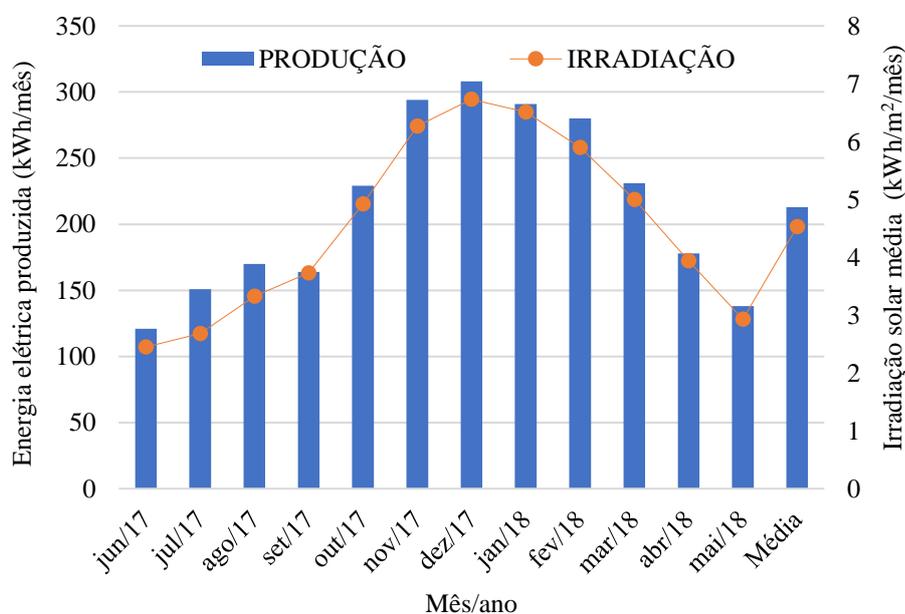


Figura 3 - Energia produzida mensalmente e irradiação média nos módulos fotovoltaicos.

As informações, apresentadas na Tab. 4, expõem os dados reais do sistema em operação, bem como os dados teóricos de projeto e dados de um sistema ideal, conforme simulação realizada no *software* Radasol 2. A potência do sistema real apresentou média anual de 213 kWh/mês, enquanto que o melhor aproveitamento de projeto, em condições STC, chegaria teoricamente a 255 kWh/mês. Contudo, a energia elétrica gerada em condições STC, adotando o direcionamento e inclinação ideais, seria de 273 kWh/mês.

Tabela 4 - Relação entre energia real injetada na rede, de projeto e ideal.

Consumo mensal (kWh/mês)													
Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média
Real	291	280	231	178	138	121	151	170	164	229	294	308	<b>213</b>
Projeto	374	306	288	219	168	136	154	191	208	283	349	387	<b>255</b>
Ideal	348	304	312	262	217	183	206	237	233	291	331	352	<b>273</b>

O comportamento do sistema, apresentado na Fig. 4, tem como base de dados os valores apresentados na Tab. 4. Nessa figura, pode-se perceber que o desempenho em todos os meses se comportou conforme o esperado. Alguns fatores devem ser levados em consideração, tais como: manutenções na rede elétrica; falha no fornecimento de energia elétrica na rede; perdas em eficiência dos módulos por degradação derivadas de sujeira, sombra ou qualidade do material.

Caso o projeto houvesse sido executado com uma inclinação de 30° e em direção ao norte geográfico, haveria um melhor aproveitamento da irradiação solar. Assim, obter-se-ia um comportamento superior durante 8 meses do ano, período compreendido entre março e outubro, como mostra a Fig. 4. Portanto, a média anual seria de 273 kWh, valor superior aos valores de projeto obtidos em condições STC.

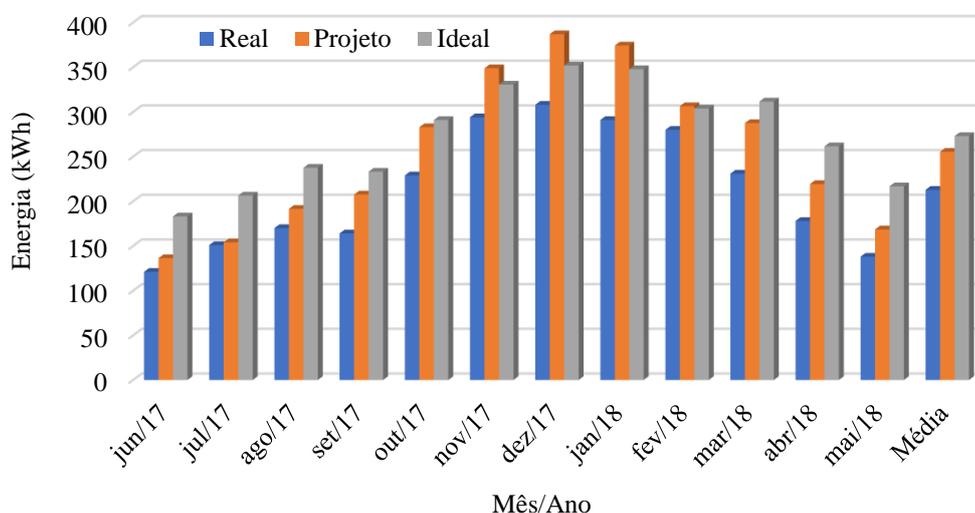


Figura 4 - Comparação do sistema real, de projeto e ideal.

A Fig. 5 representa o perfil de absorção real do sistema, com dados coletados em dezembro de 2017. É possível perceber que a potência máxima registrada atinge 1611 W, proporcionando uma geração de 13,5 kWh no dia.

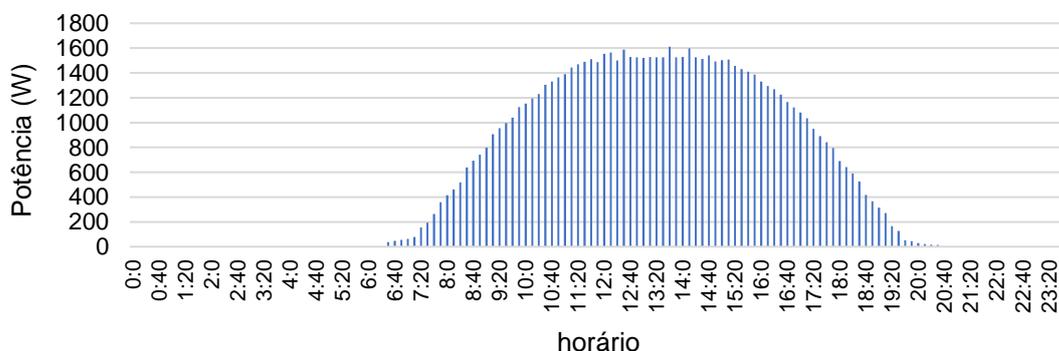


Figura 5 - Perfil de energia produzida em um dia ensolarado.

A Fig. 6 mostra um comportamento de geração de energia elétrica ao longo de um dia. O comportamento inconstante da potência elétrica é devido à nebulosidade e chuva que ocorreram durante dia amostrado, gerando 0,5 kWh. Percebe-se claramente um baixo nível de radiação recebida (apenas difusa). A potência máxima instantânea registrada no dia indicado foi de 178 W.

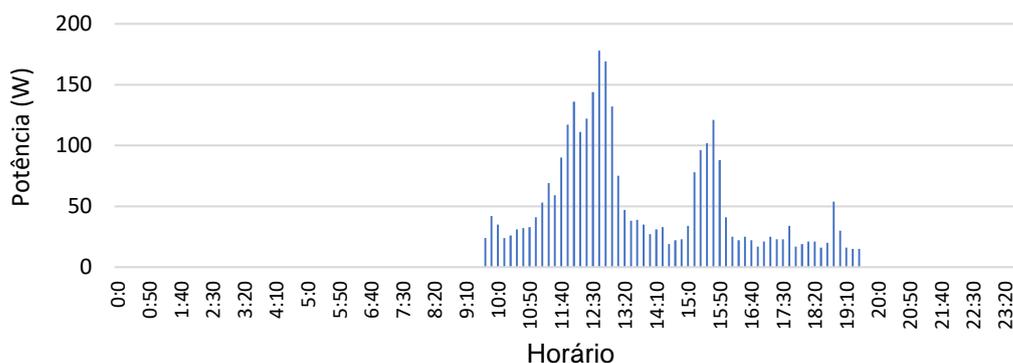


Figura 6 - Perfil de energia produzida em um dia chuvoso.

A taxa de aquisição dos dados apresentados nas Fig. 5 e 6 foi de 10 minutos. A Fig. 7 mostra a eficiência global do sistema, obtida a partir da Eq. 5, com média anual de 13,65%, apresentada na Tab. 5. A eficiência nas condições padrão, obtida a partir da Eq. 4, foi de 16,19%, em conformidade com os dados obtidos por meio do fabricante do módulo fotovoltaico.

Tabela 5 - Dados de desempenho, eficiência e produtividade do sistema.

Comportamento do sistema fotovoltaico													
Data (mês/Ano)	jun/ 17	jul/ 17	ago/ 17	set/ 17	out/ 17	nov/ 17	dez/ 17	jan/ 18	fev/ 18	mar/ 18	abr/ 18	mai/ 18	Média
Desempenho global (%)	89	98	89	79	81	84	80	78	91	80	81	82	<b>83,38</b>
Eficiência global (%)	14	16	14	13	13	14	13	13	15	13	13	13	<b>13,65</b>
Produtividade (h)	65	81	92	88	123	158	166	157	151	125	96	74	<b>115</b>
Referência de produtividade (h)	74	83	103	112	153	188	209	202	165	155	118	91	<b>138</b>

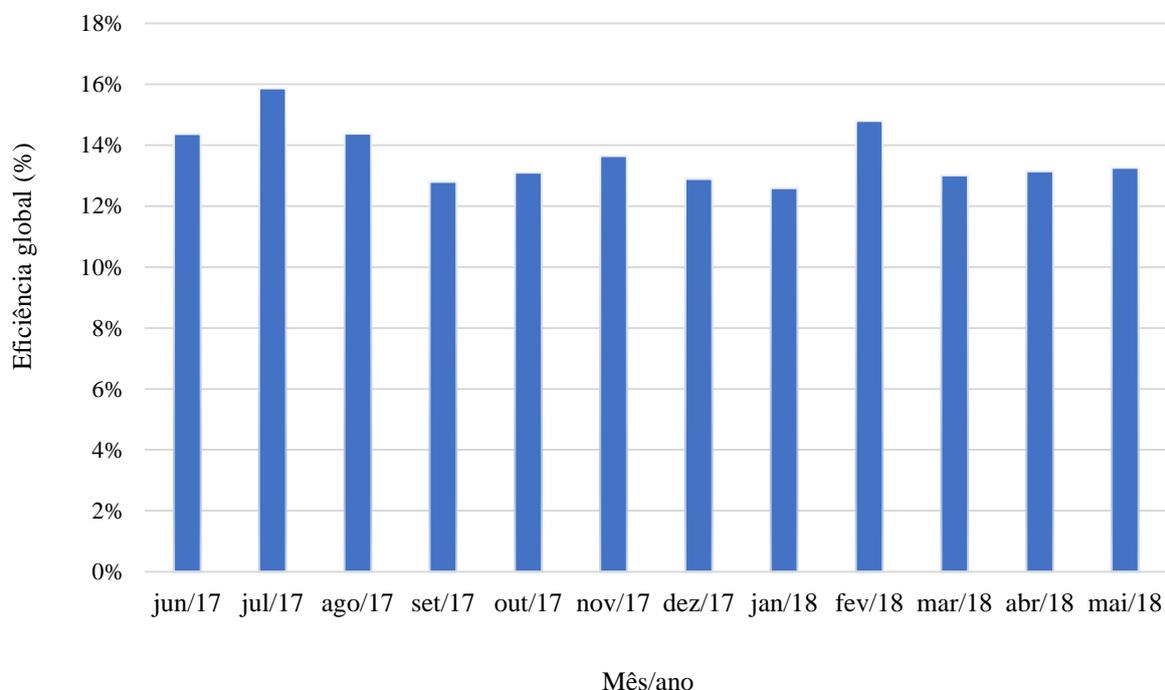


Figura 7 - Eficiência global anual.

A Fig. 8 (a) mostra a produtividade durante a realização do estudo. Os melhores resultados foram obtidos nos meses entre novembro e fevereiro, já esperados devido à inclinação dos módulos fotovoltaicos e orientação do plano. Os meses com menor produtividade foram entre maio e setembro. A Fig. 8 (b) mostra o desempenho global do sistema no decorrer do período analisado, ficando entre os patamares de 79%, durante o mês de janeiro, e 98 %, durante o mês de julho.

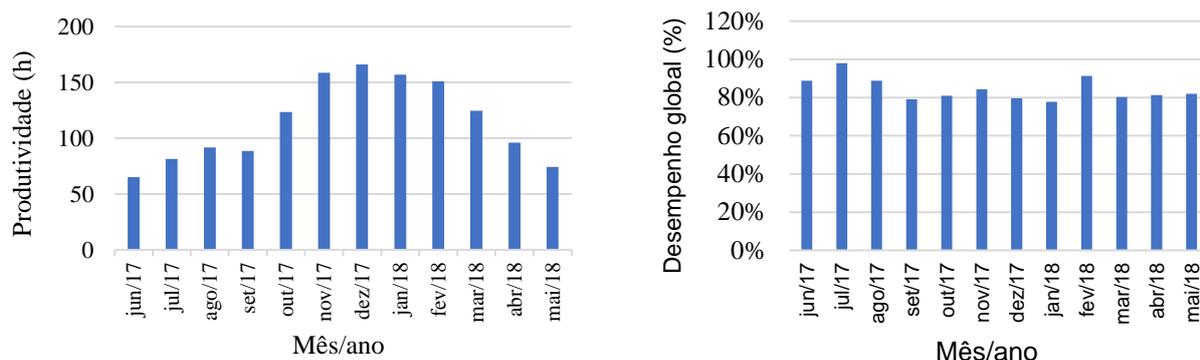


Figura 8 - (a) Produtividade do sistema e (b) desempenho global.

#### 4. CONCLUSÃO

As análises de produtividade e desempenho global foram realizadas em um sistema fotovoltaico de 1,86 kWp, com inclinação de 5° em relação ao solo e azimute de 63° para oeste, conectado à rede elétrica da concessionária. A geração mensal de energia elétrica foi, em média, de 213 kWh/mês, em conformidade com a necessidade de 215 kWh/mês da residência, atingindo uma média anual de eficiência do sistema de 13,72%.

A produtividade anual do sistema foi de 1.382 h. A influência de fatores como acúmulo de poeira devido à pouca inclinação do telhado, e operações fora das condições padrão dos módulos, como menor irradiação anual ou aumento de temperatura nos módulos, bem como perdas nas fiações, podem ter influenciado na redução do desempenho global do sistema, obtendo aproximadamente 83%. Não ocorreram falhas no sistema durante a realização do período de funcionamento do sistema. Com a realização do estudo, foi possível verificar que a produção de energia elétrica do sistema apresentou resultados próximos aos de projeto, tendo assim, um desempenho satisfatório do sistema.

#### Agradecimentos

Agradeço a todos que auxiliaram no desenvolvimento do estudo. Destaco os proprietários da residência, Lealdo Posser e Joelma Soares Posser pelo apoio durante o período, bem como a equipe técnica da empresa Raiar Energia Solar Ltda que cedeu os dados de monitoramento. Também deixo agradecimento ao Me. Henrique Cabral pelo apoio.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. ANEEL. Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

Brasil. ANEEL. Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição - PRODIST. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

Brasil. ANEEL. Geração distribuída ultrapassa 20 mil conexões. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset\\_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/geracao-distribuida-ultrapassa-20-mil-conexoes/656877](http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/geracao-distribuida-ultrapassa-20-mil-conexoes/656877)>. Acesso em: 10 abr. 2018.

Brasil. ANEEL. Brasil ultrapassa marca de 1GW em geração distribuída. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset\\_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1gw-em-geracao-distribuida/656877](https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1gw-em-geracao-distribuida/656877)>. Acesso em: 20 fev. 2020.

Centro Nacional das Indústrias do Setor Sucroenergético e Biocombustíveis (CEISEBR). Brasil começa a aproveitar seu potencial de energia solar. Disponível <<http://www.ceisebr.com/conteudo/brasil-comeca-a-aproveitar-seu-potencial-de-energia-solar.html>> <http://www.ceisebr.com/conteudo/brasil-comeca-a-aproveitar-seu-potencial-de-energia-solar.html>> Acesso em: 16 abr. 2018.

Beltrão, R. E. A. Efeito da temperatura na geração de energia de módulos fotovoltaicos submetidos a condições climáticas distintas. Estudo de caso para as localidades de Recife e Araripina. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Ciências. Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, 2008.

Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB). Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica. Disponível <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=291](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=291)> Acesso em: 28 mar. 2018.

Garcia, S. B.; et al. Avaliação do sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica instalado na fachada do museu de ciências e tecnologia da PUCRS, VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belo Horizonte, abril de 2016.

- IEC. Photovoltaic system performance monitoring – Guidelines for measurement, data exchange and analysis, IEC Standard 61724, Geneva, 1998. JINKO, Solar. JKM265P-60 245-265 Watt. POLY CRYSTALLINE MODULE. Disponível <[https://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM265P-60\(4BB\).pdf](https://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM265P-60(4BB).pdf)> Acesso em: 10 mai.2018.
- Junior, A., M.; et al. Desempenho de sistemas FV de acordo com a inclinação e azimute, FV Janeiro 2017 No 8, fevereiro de 2017.
- Junior, J., U.; et al. Análise do desempenho de dois anos de operação do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica do escritório verde da UTFPR, V Congresso Brasileiro de Energia Solar, Recife, abril de 2014.
- Krenzinger, A.; Andrade, A. C. Accurate outdoor glass thermographic thermometry applied to solar energy devices. Solar Energy, 81, pp. 1025-1034. 2007.
- Mani, M.; Pillai, R. Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status challenges and recommendations. Centre for Sustainable Technologies, Indian Institute of Science, Bangalore, India, July 2010.
- Pereira, E. B.; et al. Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2. ed. São José dos Campos: Inpe, 2017.
- PHB, Solar. Inversor Solar 1500W On-Grid - PHB1500-SS, Disponível <[http://www.phb.com.br/produtos/solar/inversores/1500W\\_br.aspx](http://www.phb.com.br/produtos/solar/inversores/1500W_br.aspx)> Acesso em: 10 mai. 2018.
- Podlowski, L.; et al. Hot-spot measurements on crystalline silicon solar cells with different reverse current characteristics, Reliability workshop 2015, PI Solar Technology. Disponível <[https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/2015\\_pvmrw\\_05\\_podlowski.pdf](https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/2015_pvmrw_05_podlowski.pdf)> Acesso em: 08 jul. 2018.
- Smith, F. P. Architecture in a Climate of Change: A guide to sustainable design. 1. Oxford: Architectural press, Elsevier, 2001.
- Urrego, D. R.; Urrego, L. R. Photovoltaic energy in Colombia: Current status, inventory, policies and future prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, Colombia, 2018.

## POWER GRID CONNECTED RESIDENTIAL PHOTOVOLTAIC SYSTEM MONITORING

**Abstract.** *The practice of tax incentive policies that support the use of renewable energy sources allows the popularization of technologies that aim to make better use of available resources, as well as reduce the emission of pollutants. Among them, the growth of electric power generation from solar light connected to the power grid stands out. This paper aims to analyze the electricity generation in a residential photovoltaic system located in the city of Guaíba, Rio Grande do Sul. The system was installed on the house roof with a 5° inclination related to the ground, and an 63° azimuth to the west, and consists of a single PV panel with 7 modules, resulting in a 1,86 kW peak power. The analysis was performed from June 2017 to May 2018, and the average irradiance verified was 4.53 kWh/m<sup>2</sup>/day, resulting in an average electric energy generation of 213 kWh per month. The verified annual system efficiency was 13.65%, the annual productivity time was 1.382 h, and its global efficiency was 83%.*

**Key words:** *Renewable Energy, Solar energy, Photovoltaic system.*