



## Investigação de *overload* de inversores em usinas fotovoltaicas de pequeno porte na região de Apucarana/PR

### Research into inverter overload in small-sized photovoltaic power stations in the region of Apucarana/Paraná

Ingrid Novais Otalora<sup>1</sup>, Vinnicius Emiliano Pigossi<sup>2</sup>, Sebastián de Jesús Manrique Machado<sup>3</sup>

#### RESUMO

Com o crescimento exponencial de demanda de energia elétrica, a geração de energia solar fotovoltaica é um dos grandes potenciais energéticos e socioeconômicos do Brasil. A performance de um sistema fotovoltaico depende de diversos fatores ambientais e também da adequação de equipamentos. Visto isto, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de fazer uma análise de desempenho e econômica de sistemas fotovoltaicos de pequeno porte na região de Apucarana/PR, e assim, definir o melhor *overload* (sobrecarga) dos sistemas, encontrando o ponto ótimo da razão entre a potência CC e CA. Para o estudo foi considerada distintas usinas de 5kW, cada uma com diferentes inclinações, orientações e sombreamento, variando a sobrecarga entre 89% e 144%. A partir dos resultados é possível unificar todas as informações coletadas e analisar em cada caso os gráficos de rendimento (Kwhm/kWp) e de investimento por energia gerada (R\$/kWh). Toda a simulação foi calculada utilizando o *software PVSOL premium*.

**PALAVRAS-CHAVE:** energia fotovoltaica; fator de dimensionamento; *overload*.

#### ABSTRACT

With the exponential growth in demand for electrical energy, the generation of photovoltaic solar energy is one of Brazil's greatest energy and socioeconomic potentials. The performance of a photovoltaic system depends on several environmental factors and also on the suitability of equipment. Given this, this work was developed with the objective of carrying out a performance and economic analysis of small photovoltaic systems in the region of Apucarana/PR, and thus, defining the best *overload* of the systems, finding the optimum point of the ratio between DC and AC power. For the study, different 5kW plants were considered, each with different inclinations, orientations and shading, varying the *overload* between 89% and 144%. From the results it is possible to unify all the information collected and analyze in each case the graphs of yield (Kwhm/kWp) and investment per energy generated (R\$/kWh). The entire simulation was calculated using PVSOL premium software.

**KEYWORDS:** photovoltaics; scaling factor; *overload*.

## INTRODUÇÃO

Atualmente, a fonte de energia solar fotovoltaica apresenta um amplo crescimento mundial, sendo uma das alternativas mais viáveis economicamente, uma fonte de energia limpa, renovável e aliada para a redução da emissão de gases do efeito estufa no país. O Brasil encerrou 2022 na 8ª posição do ranking mundial da capacidade operacional de energia solar, com 24GW de potência instalada e esses números só crescem, apresentando um futuro muito promissor e um grande potencial para se tornar líder em

<sup>1</sup> Aluno Voluntário. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: ingridnovais@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 1465248772358763.

<sup>2</sup> Aluno Voluntário. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: vinniciusemiliano@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 4077631200606978.

<sup>3</sup> Docente no Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: sebastiand@utfpr.edu.br. ID Lattes: 2866118071883988.



geração de energia solar no mundo. Segundo dados da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), no primeiro trimestre de 2023 foram conectados mais de 182 mil sistemas fotovoltaicos no país.

Alguns parâmetros podem influenciar e afetar o desempenho do sistema fotovoltaico. A radiação solar é o principal parâmetro, o qual depende da localização geográfica, clima do local da usina, sombreamentos e ângulos de inclinação e de azimute. Outro fator importante é a tecnologia e potência do inversor escolhido. A eficiência de conversão do inversor pode variar de acordo com o dimensionamento do mesmo, por isso, a escolha adequada do equipamento pode trazer melhores resultados na produção de energia e no retorno financeiro.

## OVERLOAD DO INVERSOR

O termo *Overload*, do inglês, significa sobrecarga. Em sistemas fotovoltaicos, isso se refere à relação CC-CA da potência de pico do arranjo fotovoltaico, onde um inversor é sobrecarregado com uma potência de pico de módulos maior que sua potência nominal. A Eq. 1 define essa razão de *overload* em porcentagem.

$$Overload = \frac{\text{Potência de pico dos módulos fotovoltaicos (kWp)}}{\text{Potência nominal do inversor (kW)}} * 100\% \quad (1)$$

Quando ocorre esse superdimensionamento (*oversizing*), ocasionalmente, ocorrerá momentos do ano em que a potência de pico dos módulos ultrapassará a máxima potência do inversor, onde acontecerá a clipagem, ou seja, haverá um recorte da curva de capacidade de energia do inversor, ocasionando nas perdas por clipping.

É válido ressaltar que os módulos fotovoltaicos não operam em sua potência nominal de pico constantemente, variando de acordo com condições climáticas, estação do ano, direção, inclinação e horário diário. Então, o *oversizing* torna-se vantajoso quando bem projetado e bem calculado, pois assim, o inversor atingirá maiores potência logo pelo início da manhã e poderá atingir a potência de pico mesmo em dias mais nublados e no inverno, maximizando a energia produzida. Para isso, é necessário um estudo em *softwares* para achar uma relação CC-CA positiva, onde a energia adicional é maior que a energia perdida por *clipping*, tornando o projeto financeiramente mais viável.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para o objeto de estudo, foram consideradas usinas de 5kW, fazendo a definição de cenários e enumeração de cada caso conforme a Tabela 1, simplificando a referência de legenda nos gráficos a serem apresentados.

Tabela 1 – Enumeração de casos estudados

Caso	Potência	Azimute	Inclinação	Sombra	Caso	Potência	Azimute	Inclinação	Sombra
1	5kW	Norte	23°	0%	8	5kW	Sul	22°	10%
2	5kW	Norte	15°	0%	9	5kW	Sul	11°	10%
3	5kW	Norte	23°	10%	10	5kW	Sul	11°	15%
4	5kW	Norte	15°	10%	11	5kW	Norte + Sul	23° e 11°	0%
5	5kW	Norte	23°	15%	12	5kW	Norte + Sul	23° e 11°	10%



6	5kW	Sul	22°	0%	13	5kW	Norte + Sul	15° e 22°	0%
7	5kW	Sul	11°	0%	14	5kW	Norte + Sul	15° e 22°	10%

Fonte: Autoria própria (2023)

Para as simulações de previsão de geração, foi utilizado o *software PVSOL premium*, da *Valentin Software* e os equipamentos escolhidos para os sistemas foram:

- **Sistemas fotovoltaicos de 5kW:** módulos de 555W da marca *LONGI*, modelo *LR5-72HPH-555M*; inversor *WEG* 5kW modelo *SIW200G M050 W0*.

Foi realizada a análise variando a quantidade entre 8 à 13 módulos fotovoltaicos por usina, respeitando o limite de potência máxima CC de entrada do fabricante. Em todos os casos foi considerado a região de Apucarana/PR como base de dados para referencial geográfico e dados climáticos, coletados pelo *MetaSyn*, contendo dados históricos entre 1991-2015.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

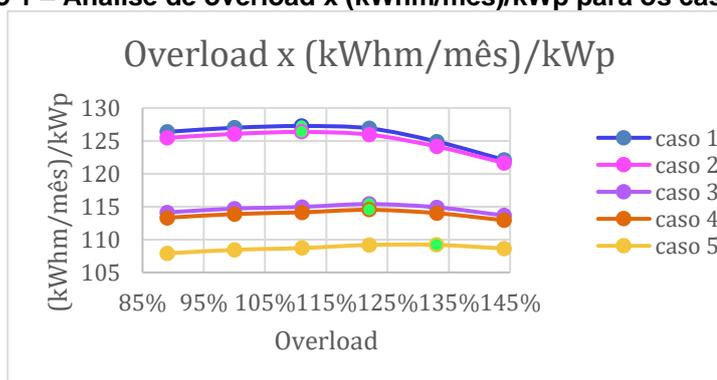
Com a simulação no *software* obtém-se para cada caso, a previsão de geração de energia elétrica estimada anual em kWh e o *PVSOL* gera um gráfico de geração mensal.

### ANÁLISE DE RENDIMENTO

A primeira análise se embasou no melhor rendimento encontrado em cada cenário, definindo qual o melhor *overload* para cada sistema, considerando o resultado da produção de energia média mensal em kWh por kWp da usina.

Nos gráficos 1, 2 e 3, são apresentados os resultados dos casos 1 a 6, 6 a 10 e 11 a 14 respectivamente, deparando-se com o melhor *overload* em cada configuração.

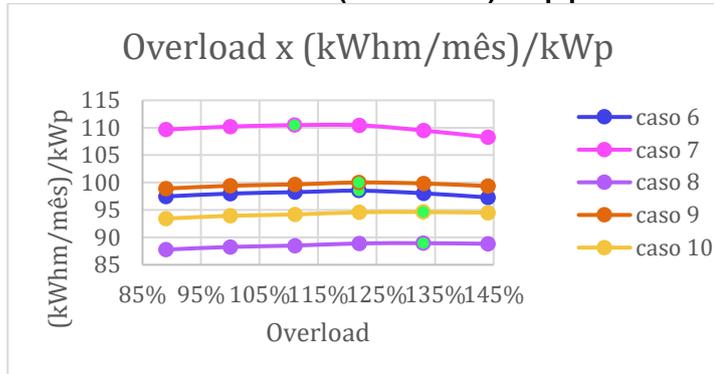
Gráfico 1 – Análise de *overload* x (kWhm/mês)/kWp para os casos 1 a 5



Fonte: Autoria própria (2023)

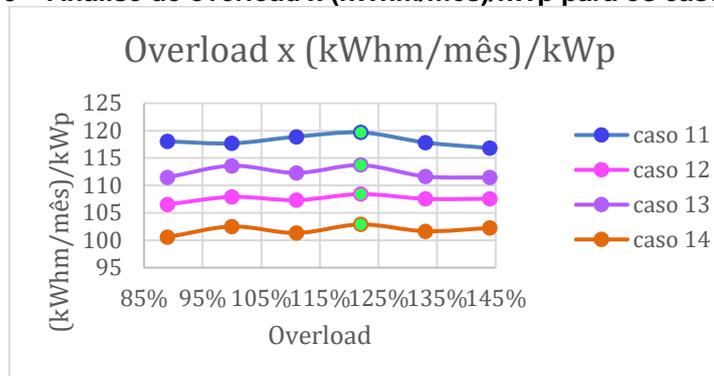


Gráfico 2 – Análise de overload x (kWhm/mês)/kWp para os casos 6 a 10



Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 3 – Análise de overload x (kWhm/mês)/kWp para os casos 11 a 14



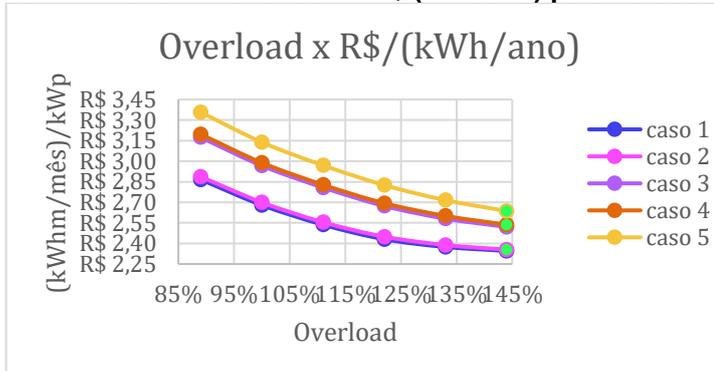
Fonte: Autoria própria (2023)

## ANÁLISE FINANCEIRA

A segunda análise foi em relação a parte financeira. Para cada uma das usinas foi realizado uma precificação de venda, considerando mesmas condições de projeto, englobando equipamentos, materiais, instalação e homologações. A partir disso, obtém-se o preço da usina por produção de energia anual em kWh.

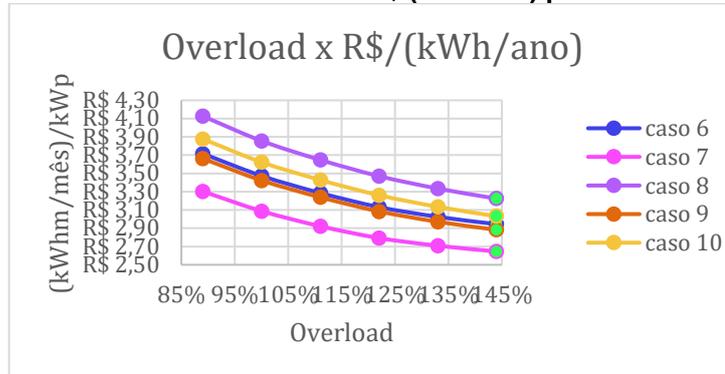
Nos gráficos 4, 5 e 6 são demonstrados os resultados obtidos, destacando em cada um qual o melhor *overload* para um menor custo.

Gráfico 4 – Análise de overload x R\$/(kWh/ano) para os casos 1 a 5



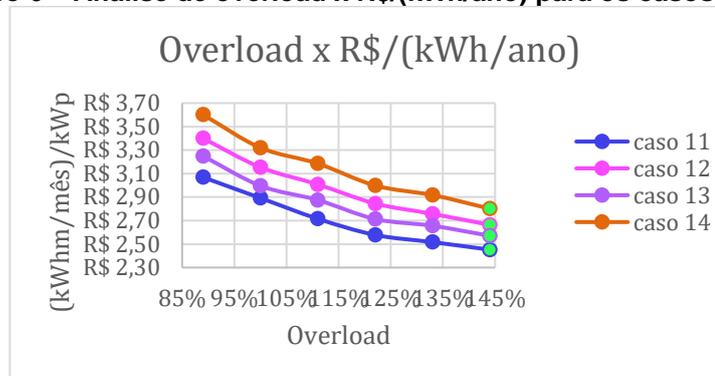
Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 5 – Análise de overload x R\$/(kWh/ano) para os casos 6 a 10



Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 6 – Análise de overload x R\$/(kWh/ano) para os casos 11 a 14



Fonte: Autoria própria (2023)

## COMPARATIVO ENTRE AS DUAS ANÁLISES

Fica explícito nos gráficos apresentados, que entre a análise de rendimento e financeira, se encontrou diferentes pontos ótimos de sobrecarga no inversor. Na Tabela 2 é destacado qual o melhor *overload* em cada circunstância de acordo com os estudos realizados.

Tabela 2 – Definição do melhor *overload* para cada situação de estudo

Melhor <i>overload</i>					
Caso	Rendimento	Financeiro	Caso	Rendimento	Financeiro
1	111%	144%	8	133%	144%
2	111%	144%	9	122%	144%
3	122%	144%	10	133%	144%
4	122%	144%	11	122%	144%
5	133%	144%	12	122%	144%
6	122%	144%	13	122%	144%
7	111%	144%	14	122%	144%

Fonte: Autoria própria (2023)

## CONCLUSÃO

Após a finalização do estudo, é concluído que para usinas de pequeno porte existem diferentes pontos ótimos de *overload*. Fazendo a análise dos gráficos, observa-se



que os sistemas com apenas um ângulo azimutal apresentam a mesma tendência de resultados, onde o ângulo zenital e a sombra afetaram na definição da melhor sobrecarga, ou seja, em relação ao rendimento, em casos com inclinação favorável e que não houve sombreamento, é desejável uma menor relação CC-CA, pois há as perdas por *clipping* no inversor. Nos casos com dois azimutes (norte e sul), houve uma oscilação no ponto ótimo, isso se deve pela configuração dos arranjos fotovoltaicos, sendo que a produção de energia nos módulos do lado sul é menor que o lado norte, e assim interferiu na média de *kWh/kWp*. Já pela análise financeira, em todas as situações o menor preço por produção de energia é encontrado na máxima sobrecarga do inversor recomendada pelo fabricante. Futuros estudos englobando diferentes cenários podem mudar essa perspectiva e os resultados obtidos.

### Agradecimentos

Direcionamos os agradecimentos ao nosso orientador, Prof<sup>o</sup> Dr. Sebastián Manrique, por todo apoio e sabedoria oferecida e também à empresa Duna Solar que proporcionou uma jornada de aprendizado e conhecimento adquirido.

### Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

### REFERÊNCIAS

KROTH, Geovio; RAMPINELLI, Giuliano. Análise de indicadores de desempenho de um sistema fotovoltaico com distintos fatores de dimensionamento de inversor e diferentes ângulos azimutais. **CBENS 2020**. Fortaleza, out. 2020. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/835>. Acesso em 27 mar. 2023.

ROSSO, André; KROTH, Geovio; RAMPINELLI, Giuliano; SCHAEFFER, Lirio. Influência do fator de dimensionamento de inversor no desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede em operação no sul do Brasil. **CBENS 2022**. Florianópolis, mai. 2022. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1118>. Acesso em 24 abr. 2023.

ROVERSI, Karoline; RAMPINELLI, Giuliano. Análise do fator de dimensionamento do inversor em um sistema fotovoltaico conectado à rede. **CBENS 2020**. Fortaleza, out. 2020. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/836>. Acesso em: 27 mar. 2023.

SOLMAIS. **Energia solar no Brasil: cenários, desafios e futuro!**. Abril, 2023. Disponível em: [encurtador.com.br/akuGM](http://encurtador.com.br/akuGM). Acesso em: 13 set. 2023.