

## Dimensionamento e análise de eficiência de um sistema fotovoltaico simulado

## Dimensioning and efficiency analysis of a simulated photovoltaic system

### RESUMO

**Gabriel Colombo**  
[gabrielcolombo@alunos.utfpr.edu.br](mailto:gabrielcolombo@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

**Dalcimar Casanova**  
[dalcimar@utfpr.edu.br](mailto:dalcimar@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

O conceito de GD (Geração Distribuída) ou DER (Distributed Energy Resources) está ganhando bastante popularidade na atualidade, esse termo se refere a uma unidade de geração de energia com tamanho reduzido e geralmente instalada próxima do consumidor final e conectada com a rede elétrica. O propósito desse tipo de sistema é a redução dos gastos com energia elétrica, melhorar a qualidade da potência na unidade consumidora, além de contribuir com o meio ambiente, dado que a fonte escolhida para gerar energia normalmente é a partir de painéis fotovoltaicos. Os principais motivos para a escolha dessa fonte de energia serão citados durante o trabalho. O objetivo deste artigo é realizar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma pequena indústria e então, analisar esse sistema utilizando o ambiente de simulação chamado PV-DER.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia Solar. Geração distribuída de energia elétrica. Sistema de energia fotovoltaica.

### ABSTRACT

The concept of DG (Distributed Generation) or DER (Distributed Energy Resources) is gaining a lot of popularity nowadays, this term refers to a power generation unit with a small size and usually installed close to the final consumer and connected to the power grid. The purpose of this kind of system is to reduce expenses with electricity, improve the quality of power in the consumer unit, in addition to contributing to the environment, given that the source chosen to generate energy is usually photovoltaic panels. The main reasons for choosing this energy source will be mentioned during this work. The purpose of this article is to design a photovoltaic system for a small industry and then analyze the system using the simulation environment called PV-DER.

**KEYWORDS:** Solar Energy. Distributed generation of electricity. Photovoltaic power system.

**Recebido:** 19 ago. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

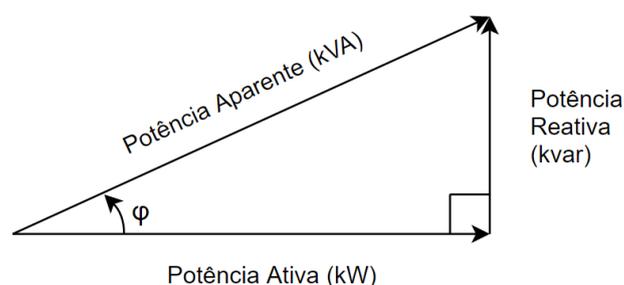


## INTRODUÇÃO

No Brasil, a maior parte da energia elétrica consumida é fornecida por meio de uma geração centralizada e a distribuição é feita por companhias elétricas, utilizando extensas linhas de transmissão (NARUTO, 2017). Com o aumento constante na demanda por eletricidade em todo o mundo, é cada vez mais perceptível a necessidade de fontes alternativas, sejam elas a partir de usinas eólicas, hidrelétricas, biomassa ou placas fotovoltaicas. Visando suprir essa necessidade, surgiu o conceito de Distributed Energy Resources (DER), que se trata de uma fonte de energia com tamanho reduzido, instalada próxima à unidade consumidora (residencial ou industrial), essa fonte divide com a rede elétrica o papel de atender a demanda do consumidor final. Uma DER geralmente é composta por uma fonte de energia limpa e renovável, que em muitos casos é capaz de prover uma parcela significativa da energia elétrica necessária, reduzindo consideravelmente as tarifas com a companhia elétrica (ACKERMANN; ANDERSSON; SÖDER, 2001). Uma ótima opção de fonte de energia auxiliar é a energia obtida por meio de placas fotovoltaicas, diversos motivos tornam essa escolha interessante, dentre eles pode-se citar o grande potencial energético, a não emissão de poluentes, o tamanho reduzido em comparação à outras fontes, constante redução no valor dos componentes utilizados, além da grande quantidade de pesquisas sendo realizadas na área (NARUTO, 2017).

Painéis fotovoltaicos têm a função de converter energia solar diretamente em energia elétrica por meio de suas células. O resultado dessa conversão se dá em corrente contínua, porém, os equipamentos elétricos utilizados no dia a dia, normalmente são alimentados com corrente alternada, portanto, é preciso utilizar um inversor de tensão antes de distribuir a energia para o consumidor e eventualmente para a rede elétrica. O inversor de tensão tem um papel fundamental no sistema fotovoltaico, pois além de converter a corrente contínua em alternada, ele também é responsável por controlar o fator de potência do sistema, em outras palavras, o inversor é encarregado de melhorar a qualidade da potência gerada pelo sistema fotovoltaico, injetando tanto potência ativa quanto potência reativa na rede quando for necessário. A relação entre as potências ativas e reativas pode ser observada na Figura 1.

Figura 1 – Triângulo das Potências



Fonte: Autor (2020)

Quando um sistema de geração de energia fornece apenas potência ativa, toda a potência reativa necessária é fornecida pela rede elétrica, essa redução no consumo de energia ativa e não alteração no consumo de energia reativa, resulta em um baixo fator de potência na energia oriunda da companhia elétrica,

acarretando em pesadas tarifas para o consumidor final. Atualmente no Brasil, para que o consumidor não seja tarifado, o fator da potência consumida da rede elétrica deve ser de pelo menos 0,92 no caso de empresas.

Em GUSMAN et al., foi demonstrado que de acordo com as normas da ANEEL, um sistema fotovoltaico se torna economicamente inviável caso forneça apenas potência ativa para a carga.

Este trabalho tem como objetivo configurar a simulação de um sistema fotovoltaico para uma indústria de pequeno porte e analisar a sua geração de potência utilizando inversores inteligentes, a fim de melhorar o fator de potência e reduzir as tarifas, mantendo o sistema economicamente viável.

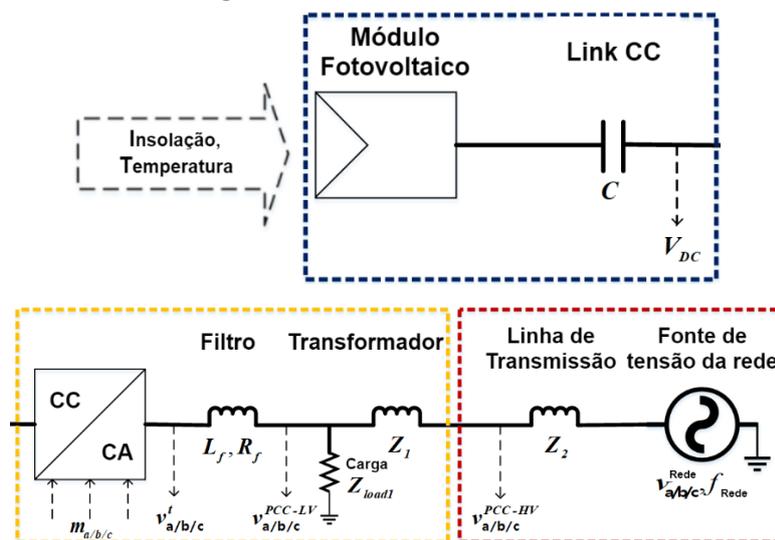
## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, foram necessários os seguintes materiais:

- Plataforma Anaconda com a IDE de programação Spyder;
- O ambiente de simulação PV-DER (SIBY JOSE PLATHOTTAM, KARTHIKEYAN BALASUBRAMANIAM, 2019);
- As bibliotecas Scipy, Numpy e Matplotlib.

O PV-DER é uma biblioteca em Python, responsável por simular um sistema fotovoltaico instalado próximo a uma carga qualquer e conectado à rede elétrica. Os conceitos por trás da simulação podem ser encontrados em PLATHOTTAM et al.

Figura 2 – Estrutura do PV-DER



Fonte: Traduzido de SIBY JOSE PLATHOTTAM, KARTHIKEYAN BALASUBRAMANIAM (2019)

A Figura 2 mostra a estrutura do PV-DER, o bloco azul consiste no módulo fotovoltaico que abrange todos os painéis solares e tem como entrada um índice de insolação e a temperatura, o bloco amarelo é formado pelo inversor de tensão CC-CA e pela carga, já o bloco vermelho representa a rede de transmissão de energia elétrica.

A simulação permite configurar todos os parâmetros do sistema, incluindo as especificações dos painéis fotovoltaicos e do inversor de tensão, além de contar com a opção de adicionar eventos de carga e de insolação durante a execução.

Neste trabalho será feito o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos para uma empresa que consome aproximadamente 1500 kW/mês. O projeto é apenas um exemplo e não leva em conta todas as variáveis do mundo real, mas dá ao leitor uma boa noção de como o dimensionamento é feito.

O primeiro passo é calcular a quantidade de potência que deverá ser gerada por dia para atender aos 1500 kW/mês. Para isso basta dividir o valor por 30, o que resulta em uma geração de 50 kW/dia. O segundo passo é descobrir a média diária de insolação do local onde o sistema será instalado, no caso deste trabalho, a média será de 5 horas de pico de insolação diária, portanto, para chegar no valor de 50 kW/dia, é necessário gerar 10 kWh de energia durante essas 5 horas.

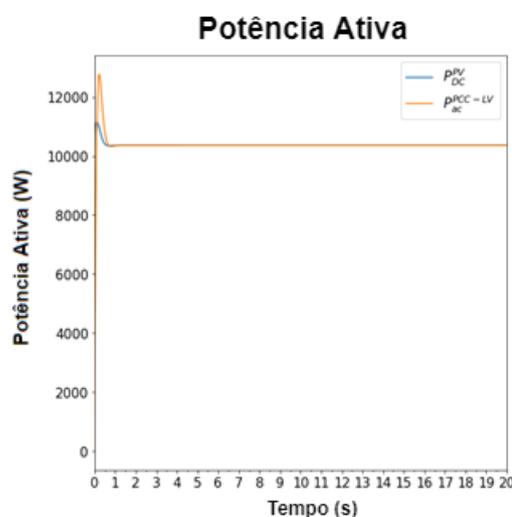
O próximo passo é definir a quantidade de painéis que irão compor o sistema para que a demanda de 10kWh seja atendida. Dentre os modelos de painéis disponíveis no mercado, existe um com potência nominal igual a 380 Wp (Watts de pico), que será utilizado neste exemplo. Para calcular a quantidade de painéis, basta dividir a potência desejada pela potência nominal do painel escolhido. Dividindo 10kWh por 380W, obtém-se a quantidade necessária, que é de aproximadamente 27 painéis.

O inversor utilizado na simulação é um inversor inteligente e possui uma lógica de controle Volt/VAr, essa lógica relaciona a tensão com a potência reativa do sistema, por conta da alta potência, no mundo real pode ser mais interessante a utilização de dois inversores ao invés de apenas um.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

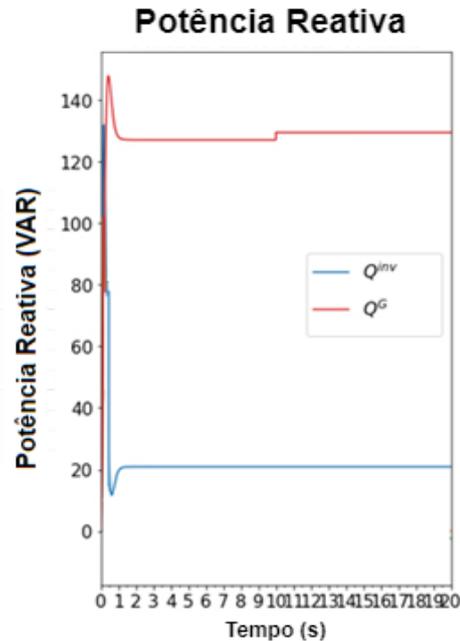
A Figura 3 mostra a potência ativa da simulação rodando em capacidade máxima com as especificações calculadas na seção anterior, já a Figura 4 mostra a potência reativa.

Figura 3 – Potência Ativa



Fonte: Autor (2020)

Figura 4 – Potência Reativa



Fonte: Autor (2020)

É possível notar que mesmo utilizando um inversor inteligente e uma lógica de controle Volt/VAR, a proporção de potência reativa gerada pela rede elétrica ainda foi muito maior do que a gerada pelo inversor, que mesmo não sendo nula, foi bem baixa para a sua capacidade, portanto, ainda são necessários aprimoramentos na lógica de controle utilizada visando melhorar a qualidade da potência. Nas empresas é comum a utilização de bancos de capacitores, projetados especificamente para corrigir o fator de potência.

Outro método simples, porém, pouco eficiente é manter a potência reativa com um valor fixo especificado pelo usuário. O ambiente PV-DER, utilizado para realizar as simulações deste trabalho é de código aberto e permite que o usuário implemente as suas próprias lógicas de controle e simule módulos fotovoltaicos com diferentes dimensões, logo, todos que desejam se aprofundar no assunto, podem usufruir desse ambiente.

## CONCLUSÃO

As plantas de geração distribuída estão ganhando muito espaço na atualidade, principalmente as baseadas em energia fotovoltaica, por essa razão, várias pesquisas estão sendo realizadas na área, tornando seus componentes cada vez mais baratos e mais eficientes.

Este trabalho tem o objetivo de dimensionar e analisar a eficiência de um sistema fotovoltaico, tanto das placas solares quanto do inversor de tensão, que tem um papel fundamental no processo de geração e distribuição de potência. Para isso, foi utilizado a simulação PV-DER e os seus recursos disponíveis.

O dimensionamento e simulação do sistema proposto foi realizado com êxito, porém, o fator de potência no inversor inteligente não ficou dentro do valor

imposto pela ANEEL para empresas e conseqüentemente, resultaria em taxas. Como a simulação é de código aberto e toda sua lógica e equações estão disponíveis para consulta, é possível a implementação de outras lógicas para buscar obter um melhor controle do fator de potência.

#### AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Dr. Dalcimar Casanova e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela oportunidade e a toda Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Pato Branco pela estrutura.

#### REFERÊNCIAS

ACKERMANN, Thomas; ANDERSSON, Göran; SÖDER, Lennart. Distributed generation: a definition. *Electric power systems research*, v. 57, n. 3, p. 195-204, 2001.

GUSMAN, Lucas Soares et al. ANÁLISE DOS EFEITOS DA UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO NO FATOR DE POTÊNCIA DE UMA EMPRESA AGROINDUSTRIAL.

NARUTO, Denise Tieko. Vantagens e desvantagens da geração distribuída e estudo de caso de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica. Monografia de Graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

PLATHOTTAM, Siby Jose; BALASUBRAMANIAM, Karthikeyan. SolarPV-DERsimulation-utility: A simulation utility for solar photovoltaic distributed energy resources. 2019. Disponível em: <https://github.com/sibyjackgrove/SolarPV-DER-simulation-utility> Acesso em: 02/09/2020 às 19:15.

PLATHOTTAM, Siby Jose; ABHYANKAR, Shirrang; HAZRA, Puspall. Dynamic Modeling of Solar PV Systems for Distribution System Stability Analysis. In: 2019 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT). IEEE, 2019. p. 1-5.