

PHOTOV CALCULATOR - CALCULADORA DE SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Erikson Pedro Silva Nicácio¹, Maria Eduarda Santos Bezerra² e Dennys Lopes Alves³
Instituto Federal do Rio Grande do Norte^{1,2,3}
eriksonwho@gmail.com¹, 99159482e@gmail.com², dennys.alves@ifrn.edu.br³

Artigo submetido em 19/12/2022, aceito em 09/02/2023 e publicado em 14/02/2023
DOI: 10.15628/empirica.2015.14553

RESUMO

Este projeto teve como objetivo geral o desenvolvimento de um *software* didático e executável para computadores com o sistema operacional *Microsoft Windows*, destinado a auxiliar discentes e profissionais iniciantes na área de energia solar fotovoltaica no dimensionamento de sistemas de microgeração fotovoltaica. Tal dimensionamento pode ser realizado com o auxílio de *softwares* para automatizar o processo de dimensionar os referidos sistemas. Sendo assim, vários *softwares* destinados ao dimensionamento fotovoltaico estão disponíveis no mercado, porém a usabilidade desses *softwares* pode se tornar complicada para ingressantes da área de instalações de sistemas fotovoltaicos. A proposição deste objeto de estudo decorreu do desejo de disponibilizar um *software* correlato a esta temática e que seja ofertado de maneira acessível. Com isso, foi empregada a linguagem computacional *Python* para desenvolver um *software* que funciona como uma calculadora fotovoltaica. Com isto, tem-se a transmissão e aplicação dos conhecimentos relacionados com o processo de dimensionamento para sistemas de microgeração fotovoltaica, composto pelo pré-dimensionamento, dimensionamento das *strings*, dos condutores e dos dispositivos de proteção, levando ainda em consideração o tipo de inversor usado, ou seja, se é inversor de *string* ou microinversor. As atividades relacionadas ao desenvolvimento deste projeto foram realizadas entre setembro de 2020 até março de 2022. Para a realização deste projeto utilizou-se como estratégia metodológica a consulta teórica em materiais impressos e digitais acerca da tecnologia fotovoltaica e da linguagem computacional *Python*. Logo, foi desenvolvido um *software* didático com interface gráfica intuitiva e autoexplicativa, abrangendo os requisitos para o dimensionamento de sistemas de microgeração fotovoltaica.

PALAVRAS-CHAVE: Calculadora fotovoltaica. Dimensionamento fotovoltaico. Energia solar fotovoltaica. Microgeração fotovoltaica. *Python*.

PHOTOV CALCULATOR - PHOTOVOLTAIC MICROGENERATION SYSTEM CALCULATOR

ABSTRACT

This project had as general objective the development of a didactic and executable software for computers with Microsoft Windows operating system, intended to help students and beginners in the area of photovoltaic solar energy in the design of photovoltaic microgeneration systems. Such dimensioning can be performed with the aid of software to automate the dimensioning process of the referred systems. Therefore, several software for photovoltaic dimensioning are available on the market, but the usability of these software can become complicated for

beginners in the area of photovoltaic system installations. The proposition of this object of study resulted from the desire to make available software related to this topic and that is offered in an accessible way. With that, the Python computational language was used to develop a software that works as a photovoltaic calculator. With this, there is the transmission and application of knowledge related to the dimensioning process for photovoltaic microgeneration systems, consisting of pre-sizing, dimensioning of strings, conductors and protection devices, taking into account the type of inverter. used, that is, if it is a string inverter or a microinverter. The activities related to the development of this project were carried out between September 2020 and March 2022. To carry out this project, theoretical consultation in printed and digital materials on photovoltaic technology and the Python computational language was used as a methodological strategy. Therefore, a didactic software was developed with an intuitive and self-explanatory graphic interface, contemplating the requirements for the dimensioning of photovoltaic microgeneration systems.

KEYWORDS: Photovoltaic calculator. Photovoltaic sizing. Photovoltaic solar energy. Photovoltaic Microgeneration. Python.

1 INTRODUÇÃO

Com a expansão dos setores relacionados com a produção de energia elétrica a partir das fontes renováveis, tem-se o surgimento de novos nichos de mercado para a formação de profissionais que se beneficiam da demanda de energia elétrica e da obtenção dessa energia a partir dessas fontes. Dentre essas fontes de energia, uma das que vêm obtendo maior popularização em razão do fato de poder ser aproveitada praticamente em qualquer lugar do planeta, é a energia solar. Dentre as tecnologias existentes para a geração de energia elétrica a partir da energia solar, destaca-se a tecnologia solar fotovoltaica, a qual pode ser aproveitada para a produção de eletricidade, convertendo a luz solar, de forma direta, em energia elétrica. É uma tecnologia que pode ser empregada tanto para a produção de energia elétrica em larga escala em centrais fotovoltaicas, quanto para a produção em pequena escala em residências ou em estabelecimentos comerciais.

Dada a importância e a relevância do dimensionamento do sistema, como forma de automatizar e facilitar esse dimensionamento, atualmente existem *softwares* disponíveis no mercado que são capazes de automatizar o processo relativo ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Porém, para a maioria destes *softwares*, é necessário, por parte do projetista/usuário, possuir um conhecimento mais técnico e aprofundado acerca de projetos fotovoltaicos. Dessa forma, os ingressantes na área de solar fotovoltaica podem sentir dificuldades ao se deparar com as funcionalidades destes programas, por não se tratar de ferramentas didáticas com linguagem simples e interface visualmente atrativa. Sendo assim, para concretizar o objetivo do projeto, decidiu-se analisar o processo de dimensionamento para a aplicação da tecnologia solar fotovoltaica no desenvolvimento de sistemas de microgeração fotovoltaica conectados à rede elétrica. Dessa forma, o objetivo principal do presente projeto foi desenvolver uma ferramenta computacional didática para automatizar os cálculos referentes ao dimensionamento de sistemas de microgeração fotovoltaica. Para isso, a ferramenta desenvolvida foi uma calculadora fotovoltaica executável para computadores com o sistema operacional *Microsoft Windows*, destinado a discentes e profissionais iniciantes na área de energia solar fotovoltaica.

Este *software* vem para auxiliar e tornar mais eficiente os cálculos associados ao dimensionamento dos principais equipamentos e acessórios que compõem os sistemas de microgeração solar fotovoltaica do tipo *grid-tie* (conectado à rede elétrica da distribuidora local), fornecendo relatórios em formato de arquivo *PDF* contendo os resultados das etapas do dimensionamento completo com base no uso de inversores de *string* ou com base no uso de microinversores. Para concretizar este intento, utilizou-se a linguagem computacional *Python* associada a biblioteca de interface gráfica *Tkinter*, com a finalidade precípua de propor uma solução para uma problemática relacionada com a automatização dos cálculos intrínsecos a este objeto de estudo. A necessidade de sugerir tal atividade é oriunda do desejo de tornar o acesso aos resultados disponibilizados pela calculadora mais objetivo e simplificado, tornando-os mais acessíveis a utilização em outras pesquisas técnico-científicas, por exemplo. O êxito na elaboração do programa permite aos usuários, que eventualmente venham a adotá-lo como ferramenta de estudo, dimensionar sistemas reais e simular diversos cenários para sistemas fotovoltaicos de microgeração fotovoltaica. Ademais, em relação aos principais desafios e dificuldades relativos à execução do projeto podem ser relatados pequenos *bugs* no *software* e a carência de materiais teóricos que abrangem conteúdos mais específicos relativos a algumas das etapas do desenvolvimento do *software*.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Em relação a energia solar, segundo Pinho e Galdino (2014), é a energia obtida através da conversão direta da energia solar em eletricidade através do efeito fotovoltaico, sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em duas principais categorias: sistemas isolados e sistemas conectados à rede (PINHO; GALDINO, 2014). Como o foco do projeto é o dimensionamento para sistemas fotovoltaicos conectados à rede, também conhecidos como sistemas *On-Grid*, vale ressaltar estes tipos de sistemas. Dessa forma, por funcionarem conectados à rede de distribuição de energia elétrica, estes sistemas contribuem para a concessionária da rede elétrica, mandando o excedente para a rede. Deste modo, “o objetivo do sistema fotovoltaico conectado à rede é gerar eletricidade para consumo local, podendo reduzir ou eliminar o consumo da rede pública ou mesmo gerar excedente de energia.” (VILLALVA, 2015, p.147). De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2018), os sistemas conectados à rede se dividem em três categorias, de acordo com a potência instalada. Essas categorias são: microgeração (potência instalada até 75 kW); minigeração (potência instalada maior que 75 kW e menor ou igual a 5 MW); e usinas de eletricidade (potência instalada acima de 5 MW).

Sendo o foco do projeto dimensionamento de sistemas de microgeração, temos que, “nessa categoria encaixam-se os sistemas fotovoltaicos instalados nos telhados de residências, empresas e shopping centers, que podem suprir totalmente o consumo de eletricidade e tornar os consumidores autossuficientes em energia elétrica.” (VILLALVA, 2015, p.150). O dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico deve seguir alguns passos a fim de recolher os dados iniciais para gerar os dados referentes às componentes do sistema. Em relação a estes passos, tem-se que, de acordo com Alves (2022), o dimensionamento de sistemas de microgeração fotovoltaica, no geral, pode ser dividido em quatro etapas: pré-dimensionamento, dimensionamento de strings, condutores e dispositivos de proteção, podendo haver variações a depender do tipo do inversor que compõe o sistema.

Segundo Vera (2004), para o desenvolvimento de programas computacionais com o intuito de simular sistemas fotovoltaicos precisa-se considerar modelos matemáticos dos componentes do sistema, ter ciência das possíveis situações que possam ocorrer nos sistemas e avaliar informações relacionadas às condições meteorológicas e demanda de carga, além de garantir que o ambiente computacional seja agradável e intuitivo para o usuário. Ainda de acordo com Vera (2004, p.11) “os programas de simulação podem ser ferramentas valiosas, permitindo fornecer o melhor planejamento possível do sistema fotovoltaico a projetar conforme as demandas do usuário”.

A linguagem *Python* é uma linguagem de programação de alto nível e bastante versátil, tornando-se uma das linguagens mais utilizadas no mundo. Além disso, *Python* é uma linguagem eficiente, de forma que os programas desenvolvidos a partir dela podem fazer mais funcionalidades com uma menor quantidade de linhas de código e, além disso, esses códigos são mais fáceis de ler, entender e expandir, quando comparados com outras linguagens de programação (MATTHES, 2015). Além dessas características, “*Python* é uma linguagem de programação para diversas plataformas, o que significa que ela executará em todos os principais sistemas operacionais.” (MATTHES, 2015, p.37).

A linguagem *Python* permite trabalhar com interfaces gráficas com a finalidade de gerar um *software* mais didático e interativo para seus usuários. A interface gráfica pode ser desenvolvida a partir da aplicação da biblioteca *Tkinter*. O pacote de ferramentas *Tkinter* é uma

interface que é específica da linguagem *Python* para uma biblioteca de *GUI* (*Graphical User Interface*) chamada *tk*, que não é pertencente à linguagem *Python* (LUTZ; ASCHER, 2007; PYTHON, 2021). Ainda segundo Lutz e Ascher (2007), *tk* é o pacote de ferramentas de *GUI* mais comumente usado por programadores de *Python* devido ao fato de oferecer *GUI's* com aparência profissional embutidas dentro de um sistema muito fácil de usar e pelo fato de a interface *Python/Tk* acompanhar as distribuições de *Python*.

3 METODOLOGIA

A metodologia empregada foi a dedutiva com caráter experimental objetivando o desenvolvimento do *software* da calculadora fotovoltaica, tendo como base literaturas sobre as principais teorias relativas à temática abordada, bem como estudos realizados para a familiarização do pesquisador para com o objeto investigado durante a pesquisa. Com isso, inicialmente foram realizadas pesquisas acerca da energia solar fotovoltaica e do dimensionamento de sistemas de microgeração, para que, após isto, fossem realizadas pesquisas acerca da linguagem computacional *python* e desenvolvimento do código fonte em *python*. Em seguida, foram realizadas pesquisas acerca da biblioteca gráfica *tkinter* e desenvolvimento do algoritmo munido da interface gráfica (versão alpha). Com isso, foi realizada a verificação da procedência do algoritmo com a interface gráfica para serem executados os devidos testes de eficácia e eficiência do *software* da calculadora fotovoltaica. Após isso, foi desenvolvida a versão final do algoritmo do *software* capaz de realizar o dimensionamento completo do tipo de sistema em questão, de forma a concretizar o objetivo do projeto. Por fim, foi desenvolvida a versão executável para computadores com o sistema operacional *Microsoft Windows*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a versão final do projeto foram desenvolvidos algoritmos em *Python* para verificar a procedência de cada etapa do *software* da calculadora fotovoltaica. Inicialmente, neste projeto, os algoritmos em *Python* não possuíam interface gráfica de usuário, sendo que esta foi incluída e desenvolvida à medida em que a equipe se aprofundava nas pesquisas acerca da biblioteca gráfica *Tkinter*. Com isso, conhecendo o potencial da linguagem *Python* e de sua biblioteca gráfica *Tkinter*, foram desenvolvidas interfaces bem elaboradas para cada uma das etapas do dimensionamento (pré-dimensionamento, o dimensionamento de strings, de condutores e de dispositivos de proteção). Com o intuito de desenvolver uma identidade visual para a interface, foi desenvolvida uma logomarca. A mesma pode ser visualizada na Figura 1 a seguir.

Figura 1 – Logomarca do *software*.

Fonte: Elaboração própria em 2022.

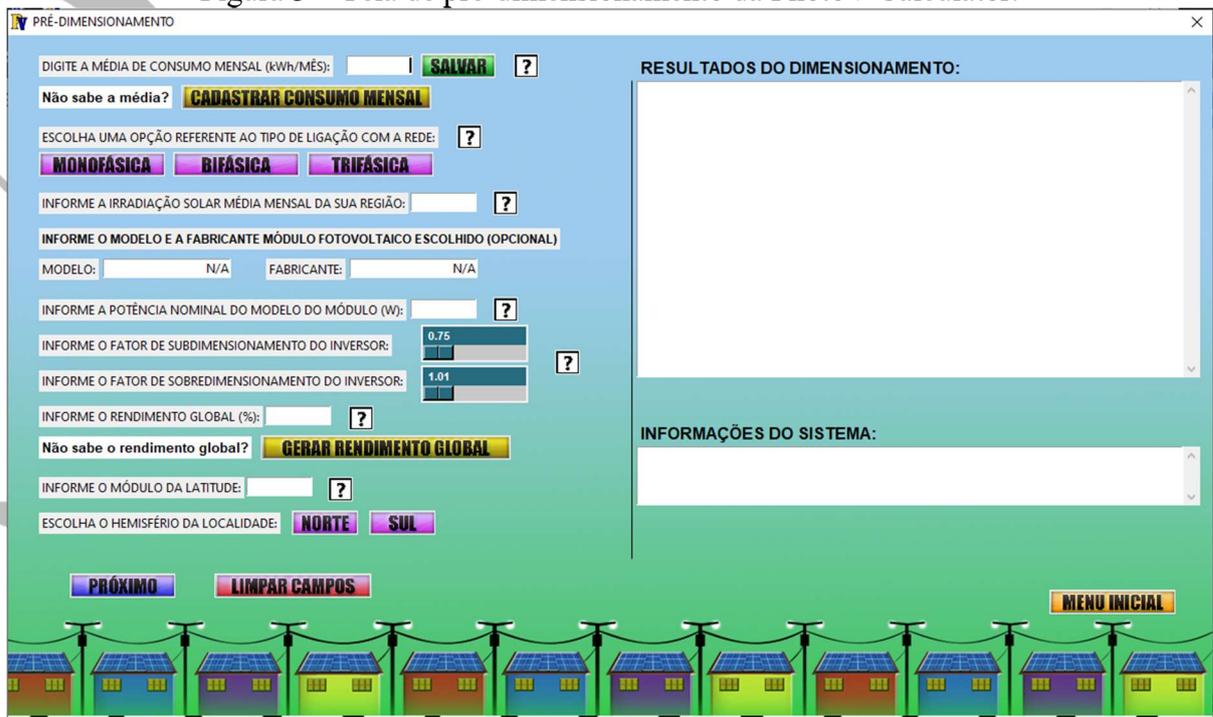
Através de cada interface, o usuário pode interagir com o algoritmo, fornecendo os dados necessários para a realização dos cálculos inerentes a cada uma das etapas, sendo disponibilizado, ao final de cada etapa, a opção para o usuário gerar um relatório no formato *PDF* contendo todos os dados fornecidos e gerados, para aquela etapa específica. Ademais, no final de todas as etapas, o usuário pode gerar relatórios, também no formato *PDF*, contendo todos os dados fornecidos e gerados referente a todas as etapas do processo (dimensionamento completo). Dessa forma, as figuras (Figura 2 a 5) a seguir mostram as interfaces referentes a algumas das telas do *software*, enquanto a Figura 6 abaixo mostra um exemplo de um relatório gerado após a conclusão de um pré-dimensionamento.

Figura 2 – Tela de menu da PhotoV Calculator.



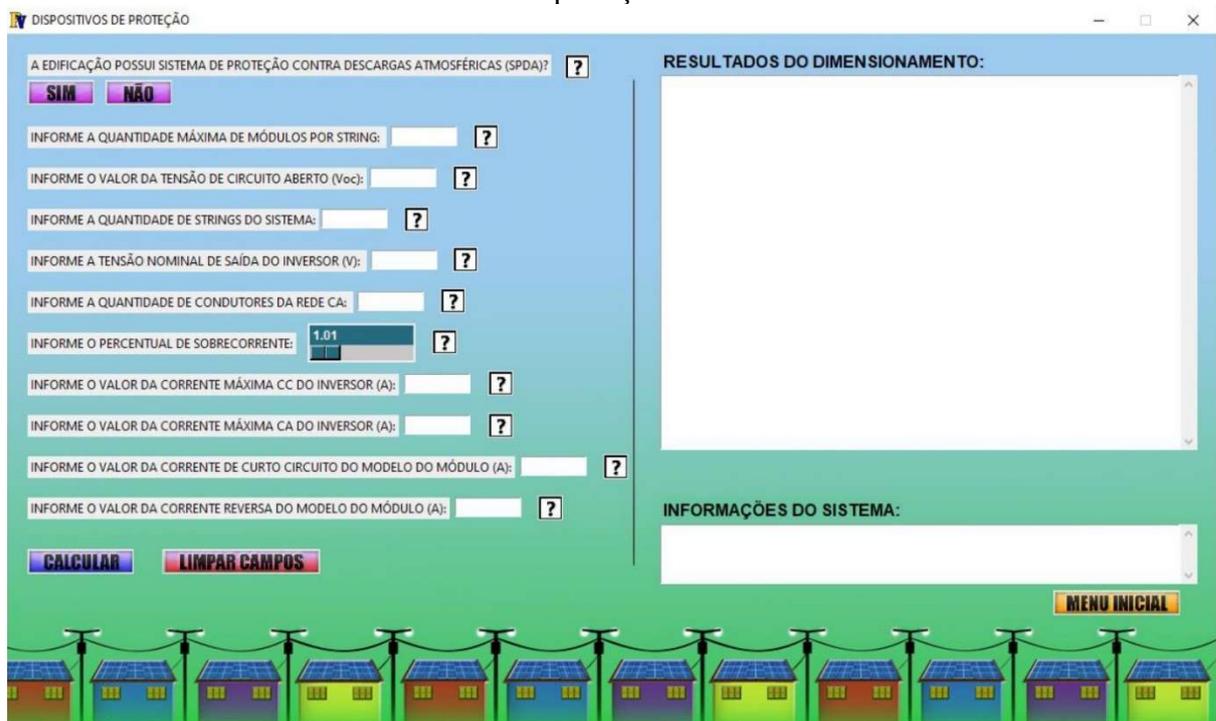
Fonte: Elaboração própria em 2022.

Figura 3 – Tela de pré-dimensionamento da PhotoV Calculator.



Fonte: Elaboração própria em 2022.

Figura 4 – Tela da PhotoV Calculator referente ao dimensionamento de dispositivos de proteção.



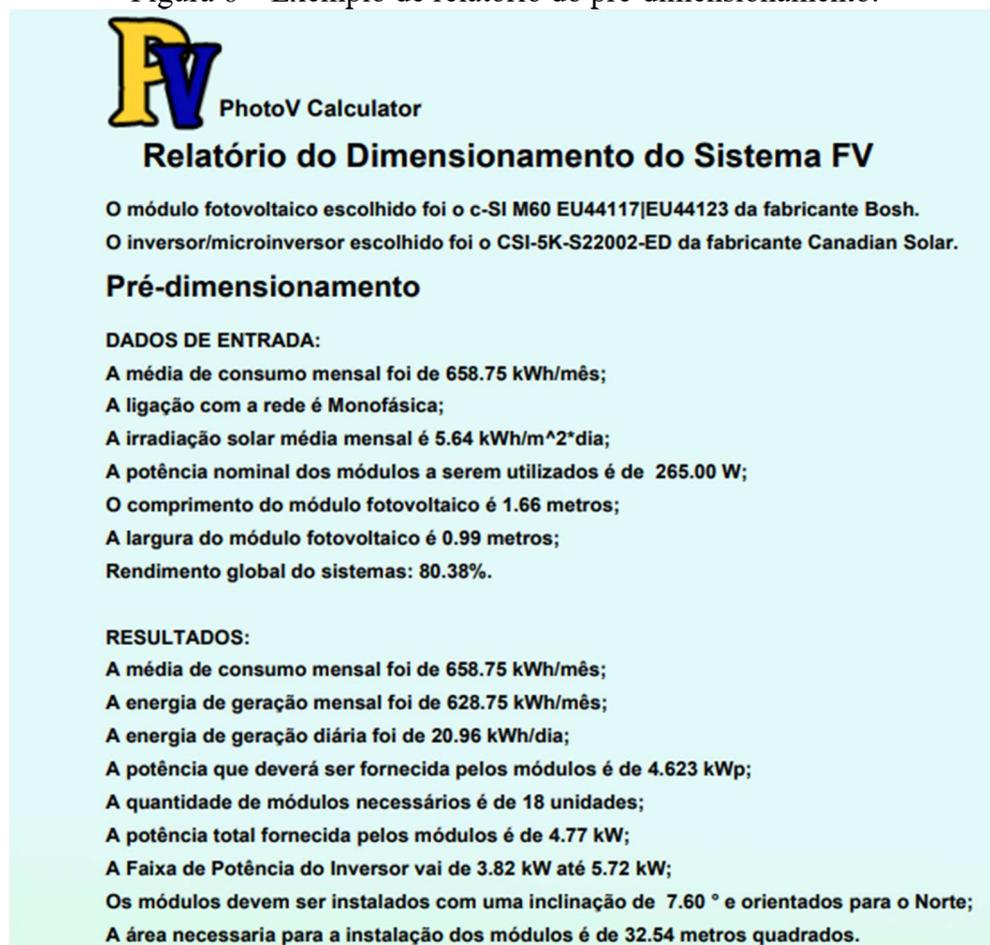
Fonte: Elaboração própria em 2022.

Figura 5 – Tela da PhotoV Calculator referente ao dimensionamento de condutores.



Fonte: Elaboração própria em 2022.

Figura 6 – Exemplo de relatório do pré-dimensionamento.



FV PhotoV Calculator

Relatório do Dimensionamento do Sistema FV

O módulo fotovoltaico escolhido foi o c-SI M60 EU44117|EU44123 da fabricante Bosh.
O inversor/microinversor escolhido foi o CSI-5K-S22002-ED da fabricante Canadian Solar.

Pré-dimensionamento

DADOS DE ENTRADA:

- A média de consumo mensal foi de 658.75 kWh/mês;
- A ligação com a rede é Monofásica;
- A irradiação solar média mensal é 5.64 kWh/m²*dia;
- A potência nominal dos módulos a serem utilizados é de 265.00 W;
- O comprimento do módulo fotovoltaico é 1.66 metros;
- A largura do módulo fotovoltaico é 0.99 metros;
- Rendimento global do sistemas: 80.38%.

RESULTADOS:

- A média de consumo mensal foi de 658.75 kWh/mês;
- A energia de geração mensal foi de 628.75 kWh/mês;
- A energia de geração diária foi de 20.96 kWh/dia;
- A potência que deverá ser fornecida pelos módulos é de 4.623 kWp;
- A quantidade de módulos necessários é de 18 unidades;
- A potência total fornecida pelos módulos é de 4.77 kW;
- A Faixa de Potência do Inversor vai de 3.82 kW até 5.72 kW;
- Os módulos devem ser instalados com uma inclinação de 7.60 ° e orientados para o Norte;
- A área necessária para a instalação dos módulos é de 32.54 metros quadrados.

Fonte: Elaboração própria em 2022.

A partir de execuções de exemplos de dimensionamentos para sistemas de microgeração fotovoltaica, verificou-se a eficácia e eficiência das funcionalidades do *software*. Após

comparações realizadas entre os resultados obtidos no *software* e os resultados obtidos manualmente dos mesmos exemplos, verificou-se que ambos os resultados apresentaram compatibilidade. Além disso, no quesito praticidade e didática, o *software* mostrou-se uma ferramenta de potencial para finalidades educativas. Por fim, como forma de apresentar a funcionalidade do *software* e a sua interação com o usuário, foi gravado um vídeo de um exemplo de pré-dimensionamento. O vídeo da execução do *software* pode ser acessado no seguinte link: <https://drive.google.com/file/d/1Rcpbzvm1R6XHINbMaHIm1mlblPKWzRhu/view?usp=sharing>.

5 CONCLUSÃO

Para este projeto, foi desenvolvido um *software* executável capaz de realizar o dimensionamento completo de um sistema de microgeração fotovoltaica e fornecer os dados gerados ao usuário, podendo estes resultados serem exibidos na própria interface da calculadora fotovoltaica e em arquivos no formato *PDF*. Com isso, atualmente a equipe desenvolveu o código fonte do *software* da calculadora fotovoltaica com base nos procedimentos para o pré-dimensionamento, dimensionamento de strings, condutores e dispositivos de proteção, tanto utilizando inversores de *string* quanto utilizando microinversores.

Para esta primeira versão do projeto, o *software* foi desenvolvido para execução somente em computadores com sistema operacional *Windows*, como já foi mencionado anteriormente. Sendo assim, tendo em vista as novas gerações de dispositivos móveis, para futuras versões do projeto, poderá ser desenvolvida uma versão do *software* para ser executada no formato de um aplicativo para dispositivos *mobile* (dispositivos móveis). Além disso, para trabalhos futuros, pretende-se desenvolver uma versão instalável ainda para computadores *Windows*.

6 REFERÊNCIAS

ALVES, Dennys Lopes. **Apostila de Introdução ao Dimensionamento de Sistemas de Geração Solar Fotovoltaica**. 2022 (Apostila);

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Geração distribuída**, 2018. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 24 de mar. 2022;

LUTZ, Mark; ASCHER, David. **Aprendendo python**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 568 p.;

MATTHES, Eric. **Curso intensivo de Python**: uma introdução prática e baseada em projetos à programação. São Paulo: Novatec, 2016. 729 p. Disponível em: http://alt.fec.unicamp.br/wp-content/uploads/2020/07/Curso_Intensivo_de_Python_Uma_-_Eric_Mat.pdf. Acesso em: 16 de mar. 2022;

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014. 530 p. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 15 de mar. 2022;

VERA, Luis Horacio. **PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA DIMENSIONAMENTO E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS**. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 187. 2004. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5336>. Acesso em: 15 de mar. 2022;

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2.ed. São Paulo: Érica, 2015. 224 p.