



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2024) v. 11, n. 1, pp. 144–153  
<https://doi.org/10.21712/lajer.2024.v11.n1.p144-153>

## Rede doméstica em corrente contínua alimentada por energia fotovoltaica *Home network in direct current powered by photovoltaic energy*

Renato Tadeu Pereira<sup>1,\*</sup>, Luiz Jerônimo Melo Monteiro<sup>2</sup>, Mari Aurora Favero Reis<sup>3</sup>, Fernanda Cristina Silva Ferreira<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mestre em Sistemas Produtivos, de forma associativa entre Universidade do Planalto Catarinense, Universidade do Contestado, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Universidade da Região de Joinville, Curitiba, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro de Controle e Automação, Universidade do Contestado, Curitiba, SC, Brasil

<sup>3</sup> Professora do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Produtivos, de forma associativa entre Universidade do Planalto Catarinense, Universidade do Contestado, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Universidade da Região de Joinville, Concórdia, SC, Brasil

\*Autor para correspondência, E-mail: [renato.tadeu.pereira@gmail.com](mailto:renato.tadeu.pereira@gmail.com)

Received: 24 March 2024 | Accepted: 14 April 2024 | Published online: 5 June 2024

**Resumo:** Nos dias atuais, há uma crescente busca por meios de produção de energia que sejam mais eficientes e menos poluentes. Levando em conta esta visão que está em evidência no mercado, a aposta que mais cresceu nos últimos anos foi a energia solar fotovoltaica. Por ser uma energia limpa e sustentável, é preciso dar ênfase em estudos para aprimorar esta fonte. O projeto se propõe a dimensionar uma rede doméstica de corrente contínua, utilizando como unidade geradora um sistema fotovoltaico Off-Grid. Dentre as vantagens tem-se: a diminuição de perdas de energia em forma de calor durante o processo de conversão para corrente alternada; eliminação da exposição de pessoas a tensões perigosas, evitando assim possíveis acidentes; além de funcionar como um sistema de nobreak para os aparelhos. A implantação do sistema contempla circuitos de iluminação e sistema de vídeo monitoramento alimentados em 12 volts e tomadas USB (*Universal Serial Bus*) de 5 volts, ambas de corrente contínua. Foi realizado o dimensionamento dos componentes de geração, distribuição e consumo, além de testar uma parte do projeto em um protótipo montado de maneira proporcional. Mediante os estudos e os testes realizados o sistema se mostrou viável perante os objetivos iniciais, apresentando alguns fatores negativos em comparação com a rede convencional. No entanto pode-se dizer que tem condições de ser implantado, pois apresentou um custo-benefício positivo.

Palavras-chave: Energia solar, Rede doméstica, *Off grid*, Sustentabilidade.

**Abstract:** *There is a growing demand for energy production methods that are more efficient and less polluting. Considering this prevalent view in the market, the most rapidly growing choice in recent years has been photovoltaic solar energy. It is crucial to emphasize studies to improve this technology as a clean and sustainable energy source. The project aims to design a domestic direct current (DC) network, using an Off-Grid photovoltaic system as the generating unit. Among the advantages are: reduction of energy losses in the form of heat during the conversion process to alternating current (AC); elimination of people's exposure to dangerous voltages, thereby avoiding potential accidents; functioning as a backup power system for appliances. The implementation of the system includes lighting circuits and a video monitoring system powered at 12 volts, as well as USB (Universal Serial Bus) sockets operating at 5 volts, both of which are supplied with direct current. The components for generation, distribution, and consumption were dimensioned, and a part of the project was tested in a proportionally assembled prototype. Based on the studies and tests, the system proved feasible according to the initial objectives, although it presented some drawbacks compared to the conventional power grid. Nevertheless, it can be considered viable for implementation due to its positive cost-benefit ratio.*

Keywords: Solar energy. Domestic network. *Off-grid*. Sustainability

## 1 Introdução

A utilização de energia proveniente da luz solar apresenta várias vantagens. O sol é um recurso abundante e gratuito, a fonte de energia solar fotovoltaica é renovável e limpa, as placas de geração têm vida útil maior do que 25 anos, sua instalação é relativamente simples e não requerem muitas manutenções (Junior e Souza, 2018).

Os estudos sobre a radiação solar em nosso planeta vêm aumentando nos últimos anos com pequenos projetos que têm um bom custo benefício, para acessibilidade a essa energia. Conforme Filho (2007), vários países já investem na opção solar, com estudo desde o fluxo de radiação solar que atinge a Terra, até a tecnologia necessária para torna-la viável, em termos técnicos e econômicos.

No Brasil, a maior fonte de energia elétrica é proveniente de hidroelétricas. É uma fonte que não emite poluentes, mas que produz impactos ambientais ainda não avaliados de maneira adequada, devido ao alagamento de grandes áreas cultiváveis (Martins, Pereira e Echer, 2004).

A radiação solar incidente na Terra traz um grande benefício ao planejamento energético e o Brasil possui potencial de energia solar durante todo o ano pelo fato de estar localizado na sua maior parte na região intertropical (Lorenzi, 2012).

Conforme mencionado por Martins, Pereira e Echer (2004), com o sistema de hidroelétricas, os prejuízos com o meio ambiente aparecerão dentro de algumas décadas e esse problema que pode ser amenizado com a implantação de sistemas solares em residências. Em consequência, tem-se a diminuição do custo mensal de energia pago para a concessionária em vigor e um aproveitamento do espaço físico, como em terraços e telhados de casas.

Para Lima (2014), os benefícios em relação à energia hidroelétrica é que a planta solar pode ser instalada em terras de baixa qualidade e gera energia de maneira descentralizada, diminuindo os gastos de distribuição. A energia solar fotovoltaica é independente, ou seja, não necessita a construção de grandes redes de transmissão, é direcionado para redes remotas e de certa forma de fácil aplicação para pequenos sistemas.

Entre os anos de 2018 a 2022, no Brasil, foram registrados 8.013 acidentes envolvendo energia elétrica, sendo 3.348 incêndios de origem elétrica; 316 acidentes com descarga atmosférica; e 4.349 choques elétricos. Esses acidentes causaram 3.753 mortes tendo como a maior causa os choques elétricos (87,2%) que tiveram o ambiente doméstico como o local de maior incidência. (Souza et al., 2023)

Acredita-se que um projeto de microgeração por painéis fotovoltaicos com utilização de rede residencial em corrente contínua ajuda na redução dos choques elétricos com a diminuição da exposição a tensões e correntes mais elevadas em alguns locais da casa onde não se faz necessária a presença da corrente alternada convencional.

Destaca-se ainda a importância da iluminação de emergência em caso ou falha ou falta de energia elétrica fornecida pela concessionária ou ainda pelo desligamento voluntário em caso de incêndio (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1999, seq.8.1.1). A falta de energia elétrica foi o principal problema relatado nas ouvidorias das concessionárias no ano de 2022, representando cerca de 26% das reclamações (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2022).

Outro ponto importante é a redução da perda de energia elétrica em forma de calor, que acontece nas fontes de microgeração em corrente contínua, como a solar e eólica. As perdas em questão são relativas à conversão de corrente contínua para alternada, a fim de se injetar energia na rede e depois a conversão inversa para alimentar os dispositivos eletrônicos (Dias, 2013).

Busca-se nesta pesquisa, estudar a possibilidade de implantação de um sistema solar fotovoltaico autônomo de baixo custo para alimentar redes domésticas de corrente contínua. Para isso se faz necessário entender o funcionamento do sistema e em seguida definir a potência de consumo e realizar o dimensionamento dos componentes a fim de suprir a demanda.

## 2 Material e métodos

A pesquisa classifica-se como sendo de natureza básica e tem objetivo exploratório. Quanto aos procedimentos técnicos é uma pesquisa bibliográfica seguida por pesquisa experimental, de acordo com o que foi descrito por Prodanov e Freitas (2013).

Em primeiro momento realizou-se a pesquisa sobre os conceitos e aplicações dos sistemas fotovoltaicos a fim de definir a solução mais adequada para o objetivo do trabalho. Em seguida se procedeu

aos cálculos para dimensionar os componentes e por último validou-se a capacidade do sistema a partir de teste experimental.

O sistema fotovoltaico se baseia na transformação direta da radiação solar em eletricidade. Apesar de o efeito fotovoltaico ter sido observado pela primeira vez em 1839, por Becquerel, a tecnologia é relativamente recente, iniciando-se com a revolução dos semicondutores, por volta de 1950, apresentando um alto grau de confiabilidade, eficiência e vida útil dos equipamentos (Biggi, 2013).

Diante do exposto, Silva e Costa (2017) citam que um sistema fotovoltaico se define como um conjunto de equipamentos reunidos cuja finalidade é transformar a energia solar em energia elétrica, disponibilizando-a para utilização em correntes contínuas ou alternadas, seja em períodos que haja incidência solar ou não.

Para montagem de um sistema fotovoltaico é preciso interligar um ou mais módulos fotovoltaicos e um conjunto de equipamentos complementares, como baterias, controladores de carga, inversores e outros equipamentos de proteção. Os equipamentos para monitoração e controle variam de acordo com a aplicação do sistema.

Os sistemas fotovoltaicos podem ainda ser classificados como sistemas *off grid* que são isolados e sistemas *on grid* que são integrados com a rede da concessionária. Vale considerar, que sistemas que não são integrados à rede possuem baterias que armazenam a energia gerada, não sendo necessário nos sistemas integrados, pois nesses casos a energia produzida em excedente é injetada na rede e pode ser utilizada posteriormente (Chuco, 2007).

## 2.1 Sistemas fotovoltaicos autônomos – *off grid*

De acordo com Bortoloto et al. (2017), o sistema autônomo (*off grid*) está ganhando espaço nas cidades. Geralmente, esse sistema é composto por um banco de baterias e não se conecta na rede elétrica. Dependendo da aplicação, necessita de controladores de carga, inversores CC/CA (corrente contínua para corrente alternada) e é utilizado para alimentar um consumo específico. A função da bateria é o armazenamento da energia para ser utilizada nos períodos em que não há geração fotovoltaica, mas também serve como referência de tensão CC para os inversores do sistema (Pinho e Galdino, 2014). A Figura 1 apresenta um sistema *off grid*, onde pode ser observado o uso exclusivo da energia gerada pelo sistema fotovoltaico.

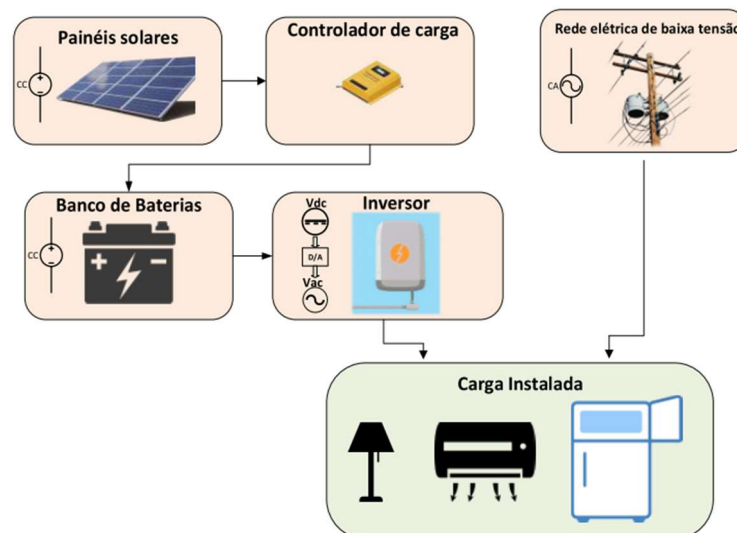


Figura 1. Sistema fotovoltaico *off grid*. Fonte: Nascimento et al. (2019).

A função dos controladores de carga é desconectar o arranjo fotovoltaico quando a bateria atinge carga plena e interromper o fornecimento de energia quando o estado de carga da bateria atinge um nível mínimo de segurança. Alguns controladores também monitoram o desempenho da corrente e tensão de carregamento da bateria ou da carga (Grupo de Trabalho de Energia Solar, 2004, p. 69). Existem dois tipos de controladores: série, que desconectará os painéis quando a bateria atinge plena carga; e paralelo, que irá curto-circuitar os terminais do painel, com utilização de um diodo para evitar o curto-circuito dos terminais da bateria (Imhoff, 2007).

A bateria é um elemento utilizado para armazenar energia elétrica. Em sistemas fotovoltaicos “as baterias armazenam a eletricidade obtida da luz solar durante o dia, possibilitando o funcionamento das lâmpadas e dos aparelhos elétricos à noite ou em períodos nublados” (Biggi, 2013, p. 28). Em um banco de baterias pode-se dizer, que as baterias operam em paralelo com o sistema retificador e é mantida na tensão elétrica de flutuação (para evitar a auto descarga de suas placas). Somente será acionada na ocorrência de uma falta da energia. Esta aplicação é denominada estacionária, pois suas instalações são fixas, ou seja, não são trocados regularmente de local (Pesenti, 2012, p.30).

Os painéis fotovoltaicos geram energia em corrente contínua. Entretanto, a maioria dos equipamentos elétricos comercialmente encontrados, necessita de energia em corrente alternada, funcionando em tensão de 110 V (volts) ou 220 V, na frequência de 60 Hz (hertz) (Imhoff, 2007, p. 46). Para adequar a energia gerada pelos painéis faz-se necessária a utilização de inversores entre a carga e o sistema fotovoltaico. “No caso de sistemas conectados à rede elétrica a tensão de saída do inversor deve ser sincronizada com a tensão da rede” (Pinho e Galdino, 2014, p. 216).

## 2.2 Corrente contínua x corrente alternada

Em 2021, o consumo total de energia elétrica no Brasil foi de 497 TWh (terawatt hora). O ambiente residencial foi o segundo maior consumidor de energia elétrica (30,1%), perdendo apenas para as indústrias (36,3%). A microgeração de energia por fonte fotovoltaica teve uma participação de apenas 2,6% de toda a demanda gerada (Empresa de Pesquisa Energética, 2022).

Em consonância com a microgeração surge a possibilidade de se instalar micro redes em corrente contínua (CC) nas residências, pois fontes de energia como a eólica e solar, geram uma grandeza em CC. O assunto, mais uma vez, está mais evoluído nos países do hemisfério norte, principalmente nos Estados Unidos e países do continente europeu (Dias, 2013).

Mesmo com todos os esforços para a abolição do uso de corrente alternada (CA) para distribuição de energia, foi esse o sistema que prevaleceu. O sistema em CC tinha graves limitações técnicas: a distribuição era toda feita em baixa tensão, então as usinas geradoras tinham que estar muito próximas das cargas; os cabos tinham que ser mais grossos e, portanto, eram mais caros que aqueles usados no sistema CA (Soares, 2017, p.8).

O autor ainda frisa que devido a evolução da eletrônica de potência, a disputa entre CA e CC está novamente em questão. Atualmente, as demais formas de geração de energia do tipo CC viabilizam a sua utilização. Inclusive, cita-se que grande parte das cargas do sistema elétrico atual usam circuitos eletrônicos que operam em corrente contínua (Soares, 2017).

Existem barreiras que ainda precisam ser superadas no que diz respeito a corrente contínua. “Para que as redes CC possam ser implementadas para uso residencial associadas a um módulo de microgeração será necessária a criação de um padrão e de um mercado que possibilite a inserção de dispositivos eletrônicos nessa rede” (Dias, 2013, p.19).

## 2.3 Projeto proposto

O projeto vai contemplar uma versão modificada do *off grid*, onde será proposta a criação de uma rede em corrente contínua para alimentação de alguns equipamentos de uma residência. O sistema proposto elimina a conversão CC/CA, pois a micro rede residencial iria atender apenas aparelhos que funcionam em corrente contínua, conforme Figura 2.

A carga do sistema será composta por todo circuito de iluminação da casa em 12 V, o Circuito Fechado de TV (CFTV) também alimentado em 12 V, bem como aparelhos que são alimentados por tomadas USB (*Universal Serial Bus*) com tensão igual a 5 V. Inicialmente será utilizada como base uma residência com três quartos (sendo uma suíte), sala, cozinha, banheiro social, lavanderia, depósito e garagem, supondo que abrigue quatro habitantes. A partir destas informações é possível dimensionar a potência de consumo, que corresponde à soma das potências dos equipamentos.

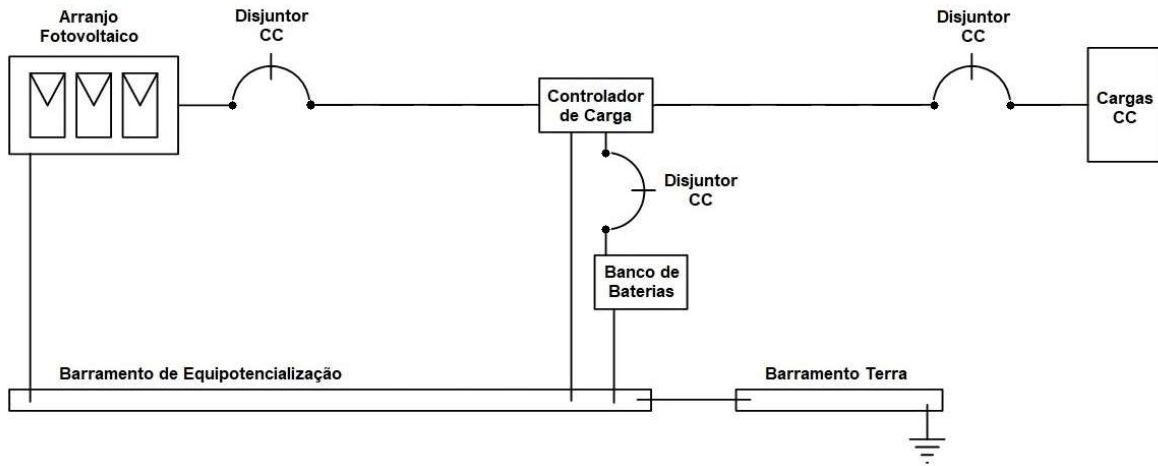


Figura 2. Diagrama unifilar do sistema fotovoltaico *Off Grid* adaptado.

### 3 Resultados e discussões

O sistema fotovoltaico proposto poderá ser adaptado a outros modelos de residência bem como poderá alimentar outros tipos de aparelhos eletrônicos que operem em corrente contínua. Nestes casos, deverão ser dimensionados os componentes de acordo com a potência consumida. Esta seção mostra os cálculos referente à potência estimada do projeto e ao dimensionamento das baterias, das placas solares e dos fios dos condutores.

#### 3.1 Cálculos da estimativa da potência consumida

O levantamento do consumo diário leva em consideração a soma das potências dos equipamentos e do sistema de iluminação e o tempo em que permanecem ligados durante o dia. O total da energia diária consumida por cada um dos circuitos ( $E$ ) é calculado através do produto entre a potência em watts ( $P$ ) e o tempo total em horas ( $\Delta T$ ) utilizando-se dos conceitos do efeito Joule, conforme a Eq. (1).

$$E = P \Delta T \tag{1}$$

A Tabela 1 mostra a estimativa da quantidade de horas diárias que cada cômodo da casa permanece com as lâmpadas acesas, considerando-se a utilização de lâmpadas de LED (*Light Emitter Diode*) com potência de 9 W (watts).

Tabela 1. Estimativa de horas diárias de lâmpadas acesas. Fonte: Dados da pesquisa (2023).

| Cômodo                        | Quantidade de lâmpadas<br>(unidade) | Tempo que permanece acesa<br>(hora) | Tempo total<br>(hora) |
|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Quarto                        | 3                                   | 2                                   | 6                     |
| Banheiro                      | 2                                   | 1,5                                 | 3                     |
| Sala                          | 1                                   | 4                                   | 4                     |
| Cozinha                       | 1                                   | 6                                   | 6                     |
| Lavanderia                    | 1                                   | 2                                   | 2                     |
| Depósito                      | 1                                   | 1                                   | 1                     |
| Garagem                       | 1                                   | 12                                  | 12                    |
| <b>Total de horas diárias</b> |                                     |                                     | <b>34</b>             |

Na Tabela 2 tem-se a estimativa do consumo diário de um sistema de CFTV (Circuito Fechado de TV) composto por um DVR (*Digital Video Recorder*) de oito canais, um HD (*Hard Disk*) com capacidade de 1 TB (Terabyte) de armazenamento, um monitor de vídeo de 17 polegadas e oito câmeras infravermelho, lembrando que este sistema, evidentemente, deve permanecer 24 horas por dia em funcionamento.

Tabela 2. Estimativa do consumo diário de um CFTV Fonte: Dados da pesquisa (2023).

| Componente              | Quantidade<br>(unidade) | Potência unitária (watt) | Potência do conjunto (watt) |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| DVR com HD              | 1                       | 19                       | 19                          |
| Monitor                 | 1                       | 20                       | 20                          |
| Câmeras                 | 8                       | 3                        | 24                          |
| Potência total em watts |                         |                          | 63                          |

O terceiro item a compor o cálculo é a recarga das baterias dos smartphones. O projeto considera uma residência com quatro moradores e cada morador possui um smartphone. A potência média dos carregadores é de 15 W, totalizando 60 W e o tempo de recarga é estimado em três horas. A Tabela 3 mostra o total da energia diária consumida pelos três circuitos na residência.

Tabela 3. Somatório da energia consumida pelos equipamentos. Fonte: Dados da pesquisa (2023).

| Circuito                         | Potência<br>(watt) | Tempo de funcionamento diário<br>(hora) | Energia diária consumida<br>(watt hora por dia) |
|----------------------------------|--------------------|---|---|
| Iluminação                       | 9                  | 34                                      | 306   |
| CFTV                             | 63                 | 24                                      | 1512  |
| Tomadas USB                      | 60                 | 3                                       | 180   |
| Energia total consumida (Wh/dia) |                    |   | 1998  |

### 3.2 Dimensionamentos dos componentes do sistema fotovoltaico

O banco de baterias para este projeto se baseia na carga instalada no sistema. O ciclo de carregamento da bateria é diário, para que a energia armazenada seja utilizada a noite quando não há incidência de sol. Sendo assim, é necessário utilizar o somatório das potências de consumo diária dos circuitos, cujo resultado representa 1998 Wh/dia.

Para a mensuração do banco de baterias, esse valor diário precisa ser convertido em Ah (ampères hora), utilizando-se dos conceitos básicos da eletricidade em que a corrente elétrica ( $I$ ) medida em ampère é calculada através da divisão da potência elétrica ( $P$ ) em watt pela tensão do circuito ( $V$ ) medida em volt, conforme demonstrado na Eq. (2).

$$I = \frac{P}{V} \quad (2)$$

Dividindo-se a potência diária necessária (1998Wh) em razão da tensão da bateria (12V) chega-se à capacidade necessária de fornecimento de corrente pela bateria que é de 166,5 Ah. Comercialmente, não se encontra esse valor em uma única bateria, portando ajusta-se para o valor imediatamente acima (180 Ah).

O módulo fotovoltaico escolhido para esta aplicação possui classificação A em eficiência energética. De acordo com o fabricante, ele produz uma média diária de 1.750 Wh/dia (watts hora por dia), sendo necessário dois módulos ligados em paralelo para suprir a demanda.

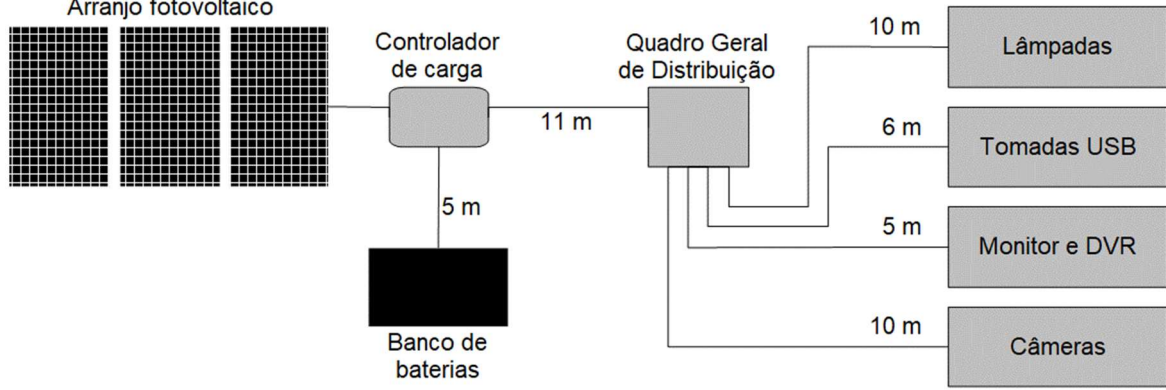
Para dimensionar o controlador de carga, necessita-se conhecer a corrente de curto-circuito dos módulos, ou seja, a corrente máxima produzida pelo painel numa situação de anomalia que, segundo dados do fabricante, é 10,14 A (ampères). O conjunto de dois módulos conectados em paralelo resulta numa corrente elétrica máxima de 20,28 A, definindo-se então pela utilização de um controlador de carga que suporte até 20 A em tensão de 12 V.

### 3.3 Dimensionamentos dos condutores

O dimensionamento dos fios condutores deve considerar a queda de tensão no circuito. De acordo com a Norma Brasileira (NBR) 5410, o valor da queda de tensão para circuitos que possuem fonte própria é de 7% ou menos (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004, seq.6.2.7.1). O sistema proposto possui fonte própria, logo, deve-se considerar os 7% ou menos de queda de tensão no percurso total do circuito. O banco de baterias é a fonte de energia para a carga instalada, portanto, a distância do circuito principal até o quadro de distribuição é de 16m, conforme demonstrado na

Figura 3, por onde irá circular toda a corrente do projeto. No cálculo individual da queda de tensão dos demais circuitos deve-se ainda somar as distâncias desde o quadro de distribuição até as cargas.

Figura 3. Diagrama funcional do sistema fotovoltaico *off grid* com as distâncias do circuito. Fonte: Dados da pesquisa (2023).



Para o cálculo da queda de tensão ( $\Delta V$ ) nos cabos, é preciso saber a corrente elétrica em ampères que este cabo conduzirá ( $I_c$ ), o comprimento do circuito ( $L_c$ ) em metros, a tensão em volts do circuito ( $V_c$ ), a seção nominal do fio condutor ( $S_c$ ) em  $\text{mm}^2$  (milímetros quadrados) e a resistividade do material condutor ( $\rho$ ). De acordo com Filho (2023) a resistividade do cobre é de  $1,785 \cdot 10^{-2} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  (ohms milímetros quadrados por metro).

A corrente do projeto representa o circuito em plena carga. Considerando o somatório das potências individuais dos equipamentos, totaliza 213 W e corresponde ao fluxo de corrente de 17,75 A. Inicialmente, é considerada a seção nominal mínima do condutor para instalações residenciais, que é de  $1,5 \text{ mm}^2$  para a corrente de 17,75 A, de acordo com a tabela 36 da NBR 5410. Portanto, a queda de tensão no trecho é calculada conforme a Eq. (3) adaptada de Filho (2023).

$$\Delta V_{cp} = \frac{200 \rho L_c I_c}{S_c V_c} (\%) \quad (3)$$

Sendo  $\Delta V_{cp}$  a queda de tensão no circuito principal que vai desde a bateria até o quadro de distribuição. Logo, o cabo de seção nominal de  $1,5 \text{ mm}^2$  não pode ser aplicado como rede principal do circuito, por contemplar queda de tensão de 56,34%, bem acima do valor máximo estabelecido pela NBR 5410. Para esta aplicação, é recomendado o cabo com seção nominal de  $16 \text{ mm}^2$  que apresenta queda de tensão de 5,28%, portanto atende ao requisito.

A queda de tensão em cada circuito secundário, após o quadro geral, deve ser somada à queda de tensão do circuito principal que vai até o quadro geral. O valor das correntes elétricas para fins de cálculo neste segundo percurso é o valor correspondente a cada um dos equipamentos, visto que os cabos sairão do quadro de distribuição de maneira individualizada.

Considerando que a tensão em todo o circuito será a mesma (12V) e os cabos serão todos de cobre ( $\rho = 1,785 \times 10^{-2}$ ), pode-se agrupar os valores fixos da Eq. (3) para facilitar os cálculos das quedas de tensão nos circuitos secundários ( $\Delta V_{cs}$ ). Dessa forma, os resultados seguirão a Eq. (4), adaptada.

$$\Delta V_{cs} = 0,2975 \frac{L_{cs} I_{cs}}{S_{cs}} (\%) \quad (4)$$

sendo  $L_{cs}$  o comprimento de cada circuito,  $I_{cs}$  a corrente que irá circular em cada um deles e  $S_{cs}$  a seção nominal dos cabos.

A

Tabela 4 demonstra os valores das variáveis para cada um dos circuitos secundários, bem como o resultado da queda de tensão em cada circuito terminal somada com a queda de tensão no circuito principal.

Tabela 4. Queda de tensão dos circuitos secundários. Fonte: Dados da pesquisa (2023).

| Circuito secundário | $L_{cs}$ (m) | $I_{cs}$ (A) | $S_{cs}$ ( $\text{mm}^2$ ) | $\Delta V_{cs}$ (%) | $\Delta V_{cs} + \Delta V_{cp}$ (%) |
|---------------------|--------------|--------------|----------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| Iluminação          | 10           | 0,75         | 1,5                        | 1,48                | 6,76                                |
| Tomada para Monitor | 5            | 1,67         | 2,5                        | 0,99                | 6,27                                |
| Tomada para DVR     | 5            | 1,67         | 2,5                        | 0,99                | 6,27                                |
| Câmeras             | 10           | 0,25         | 0,75                       | 0,99                | 6,27                                |
| Tomada USB          | 6            | 1,25         | 2,5                        | 0,89                | 6,17                                |



De acordo com os valores encontrados, deve-se utilizar condutores de  $1,5 \text{ mm}^2$  para cada uma das lâmpadas de 9W, com comprimento individual de até 10 metros. Para o monitor e o DVR do sistema de vídeo monitoramento, se faz necessária a seção nominal de  $2,5 \text{ mm}^2$ , em cada uma das tomadas individuais, considerando que ficarão a cinco metros de distância do quadro geral.

Em relação às câmeras de vídeo monitoramento, a seção nominal ideal precisa ser de, no mínimo  $0,75 \text{ mm}^2$  para cada uma delas, distanciando cerca de 10 metros. E, por fim, para as tomadas de USB o cabo de  $2,5 \text{ mm}^2$  é suficiente para esta aplicação, estando distante cerca de seis metros do quadro geral.

### 3.4 Validação em protótipo

Utilizou-se de um protótipo (Figura 4), para validar a capacidade de fornecimento de energia pela bateria e o funcionamento do sistema em modo *off grid*, como um sistema de *no-break*, sem necessidade de energia da concessionária e de conversor CC-CA.



Figura 4. Protótipo utilizado para testes.

O protótipo foi dimensionado de maneira proporcional, compreendendo carga total de 46 W, composto pelos seguintes componentes:

- 2 lâmpadas LED de 12 V e 9 W;
- 1 Vídeo monitor de 12 V e 16 W;
- 1 Câmera de vídeo monitoramento de 12 V e 12 W.
- 1 Módulo Fotovoltaico de 60 W;
- 1 Controlador de carga de 10 A;
- 1 Bateria selada de 12 V e 7 Ah.

Sabendo a capacidade da bateria em Ah, a potência da carga e também a tensão do circuito é possível calcular a energia total a ser fornecida pela bateria e, de posse desse valor, mensurar o tempo que esta carga pode ser mantida com a bateria do protótipo.

Para a potência de carga de 46W ligada a 12V de tensão, a corrente que circula é de aproximadamente 3,83 A. A bateria de 7Ah utilizada no protótipo possui autonomia, em horas, que corresponde à divisão da capacidade de fornecimento pela corrente do circuito. Desse modo, foi calculada a autonomia do protótipo que obteve como resultado 1 hora e 48 minutos, com carga máxima. Na fase de testes o tempo verificado foi de 1 hora e 35 minutos de funcionamento constante em carga total, o que permite validar a capacidade da bateria.

## 4 Conclusões

- a) A implantação desse sistema em uma residência é possível, com baixo custo, comparado ao sistema *Off Grid* convencional, pois não necessita da mesma quantidade de placas, muito menos do mesmo banco de baterias, além de não necessitar do inversor para corrente alternada.
- b) O sistema proposto tem um custo aproximado de R\$ 3.000,00 (três mil reais) para implantação, pois são necessárias apenas duas placas fotovoltaicas, uma bateria de 180 Ah, um controlador de carga de 20 A e em torno de 400 metros de fio condutor.



- c) O projeto é capaz de gerar 3,5 kWh/dia (quilowatt hora por dia), mas consome aproximadamente 2 kWh/dia, ou seja, tem 1,5 kWh/dia de reserva, o que dá uma margem de segurança para dias em que não haja incidência de sol. Para uma residência com quatro habitantes, com consumo total de energia elétrica estimada em 220 kWh/mês, este valor tem um *payback*, ou seja, tempo de retorno do investimento de aproximadamente 46 meses, na medida em que o sistema proposto gera em média 105 kWh/mês.
- d) Pelos testes em protótipo, é válido afirmar que o projeto é eficaz como um sistema de *nobreak*, independente da energia da concessionária, o que significa que o sistema de vídeo monitoramento permanece em pleno funcionamento na falta de energia elétrica e o circuito de iluminação pode funcionar também como luzes de emergência.
- e) Como é um circuito de Extra Baixa Tensão (EBT), eliminam-se os riscos de choque elétrico em toda extensão da rede, diminuindo consideravelmente os acidentes domésticos dessa natureza. No entanto, a corrente tende a ser mais alta, assim como a queda de tensão, o que influencia diretamente na seção nominal do cabo. Para a potência projetada foi possível estabelecer os condutores ideais, porém o projeto pode se tornar inviável para potências maiores, o que merece estudos específicos.
- f) No Brasil não existe um padrão definido para instalação de redes domésticas em corrente contínua assim como se tem na corrente alternada, mas este campo merece estudos mais aprofundados, pois demonstrou pontos de vantagem em comparação com a rede convencional.

## Referências bibliográficas

Agência Nacional de Energia Elétrica (2022) *Ouvidoria ANEEL 2022*. [online] Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/1206d323-ad8c-46c6-bc2d-9b731e42ee26/resource/927c458a-760c-470f-9967-f9f5e8809095/download/ouvidoria-aneel-2022.csv> (Acessado 29 abril 2023).

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1999) *ABNT NBR 10898- Sistema de iluminação de emergência*. Associação Brasileira de Normas Técnicas., Disponível em: <https://www.vigilanciato.com.br/wp-content/uploads/2016/08/ABNT-LUMINÁRIA.pdf> (Acessado 6 maio 2023).

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004. *ABNT NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Biggi, RR (2013) *O Uso Da Luz Solar Como Fonte De Energia Elétrica Através De Sistema Fotovoltaico – Sf*. TCC (Especialização em Formas Alternativas de Energia). Universidade Federal de Lavras. Disponível em: <https://www.solenerg.com.br/wp-content/uploads/2013/02/TCC-Roger.pdf>.

Bortoloto, VA, Souza, A, Goes, G, Martins, MA, Berghe, MJ e Kimura Montanha, G (2017) Geração de Energia Solar On Grid e Off Grid. *VI Jornada Científica e Tecnológica*, [online] p.6. Disponível em: <http://www.fatecbt.edu.br/ocs/index.php/VIJTC/VIJTC/paper/viewFile/1069/1234>.

Chuco, B (2007) *Otimização da potência de operação em sistema isolado fotovoltaico usando técnicas de inteligência artificial*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Disponível em: [https://repositorio.ufms.br/bitstream/123456789/626/1/Braulio Chuco Pauca.pdf](https://repositorio.ufms.br/bitstream/123456789/626/1/Braulio%20Chuco%20Pauca.pdf).

Dias, A de F (2013) *Implementação De Microrredes Residenciais Em Corrente Contínua Através Da Microgeração*. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/118874/000734768.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Empresa de Pesquisa Energética (2022) *Anuário estatístico de energia elétrica 2022*. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Fact Sheet - Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022.pdf>.

Filho, CAP de QL (2007) *Construção e Análise de Desempenho de um Fogão Solar à Concentração Utilizando dois Focos para Cozimento Direto*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15523/1/CarlosAlbertoPQLF.pdf>.

Filho, JM (2023) *Instalações elétricas industriais*. 10º ed. [online] Grupo GEN. Disponível em: [https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521638643/epubcfi/6/24\[%3Bvnd.vst.idref%3Dchapter03\]!/4/282/328/16/3:112\[0%5E%2C3%2C0.\]](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521638643/epubcfi/6/24[%3Bvnd.vst.idref%3Dchapter03]!/4/282/328/16/3:112[0%5E%2C3%2C0.]) (Acessado 6 maio 2023).

Grupo de Trabalho de Energia Solar (2004) *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltáicos*. CRESESB. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2004.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf) (Acessado 7 maio 2023).

Imhoff, J (2007) *Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8608/JOHNINSONIMHOFF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Junior, AC e Souza, IM (2018) *Células fotovoltaicas: o futuro da energia alternativa*. TCC (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade Evangélica de Goianésia. Disponível em: [http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/520/1/2018\\_1\\_IGOR\\_ANIZIO.pdf](http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/520/1/2018_1_IGOR_ANIZIO.pdf).

Lima, JLB (2014) *Energia fotovoltaica como alternativa energética viável*. TCC (Graduação em Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Lorenzi, BR (2012) *Em busca de alternativas energéticas: estudo sobre as pesquisas em células combustíveis no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Sociedade). Universidade Federal de São Carlos. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/1090>.

Martins, FR, Pereira, EB e Echer, MP de S (2004) Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário: o Projeto Swera. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, [online] 26(2), p.145–159. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442004000200010>.

Nascimento, LBF do, Teixeira, RCM, Fernandes, R de A e Ego, SBT (2019) Implementação de uma chave de transferência estática aplicada a sistemas de iluminação a LED utilizando um sistema fotovoltaico off-grid. *Brazilian Technology Symposium*. [online]. Disponível em: <https://lev.fee.unicamp.br/images/BTSym-19/Papers/160.pdf>.

Pesenti, GR (2012) *Medição remota como estratégia de monitoramento de baterias estacionárias*. Dissertação (Mestrado em Metrologia). Pontifícia Universidade Católica.

Pinho, JT e Galdino, MA (2014) *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf) (Acessado 7 maio 2023).

Prodanov, CC e Freitas, EC de (2013) *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. 2º ed. [online] Novo Hamburgo: Feevale. Novo Hamburgo (RS): Feevale. Disponível em: [http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book Metodologia do Trabalho Cientifico.pdf](http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf).

Silva, DG da Costa, MA (2017) *Energia elétrica por irradiação solar: aplicabilidades*. TCC (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade Evangélica de Goianésia. Disponível em: [http://repositorio.aee.edu.br/jspui/bitstream/aee/466/1/2017\\_1\\_MIRAIR\\_DIEGO.pdf](http://repositorio.aee.edu.br/jspui/bitstream/aee/466/1/2017_1_MIRAIR_DIEGO.pdf).

Soares, EMM (2017) *Estudo de eficiência energética de um sistema CC para suprimento de residências*. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: [http://www.cpdee.ufmg.br/~trolliveira/docs/tcc/2017\\_EdgarSoares.pdf#:~:text= Nesse estudo foi avaliada a eficiência de um,alimentar cargas CA e isso introduz novas perdas.](http://www.cpdee.ufmg.br/~trolliveira/docs/tcc/2017_EdgarSoares.pdf#:~:text= Nesse estudo foi avaliada a eficiência de um,alimentar cargas CA e isso introduz novas perdas.)

Souza, DF de, Martinho, E, Martinho, MB e Martins Junior, WA (2023) *ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ACIDENTES DE ORIGEM ELÉTRICA 2023 - Ano base 2022*. [online] Associação Brasileira para a Conscientização dos Perigos da Eletricidade - Abracopel. <https://doi.org/10.29327/5194308>