



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES
CAMPUS PATOS DE MINAS

ANDRESSA PEDROSA ALEXANDRINO CARVALHO

**ESTUDO PARA POSSÍVEL IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
PARA ALIMENTAÇÃO DO PRÉDIO DE LABORATÓRIOS DA UFU *CAMPUS*
PATOS DE MINAS**

PATOS DE MINAS – MG

2018

ANDRESSA PEDROSA ALEXANDRINO CARVALHO

**ESTUDO PARA POSSÍVEL IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
PARA ALIMENTAÇÃO DO PRÉDIO DE LABORATÓRIOS DA UFU - *CAMPUS*
PATOS DE MINAS**

Trabalho apresentado como um dos requisitos de avaliação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações pela Universidade Federal de Uberlândia - *Campus* Patos de Minas.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Elise Saraiva

PATOS DE MINAS – MG

2018

ANDRESSA PEDROSA ALEXANDRINO CARVALHO

**ESTUDO PARA POSSÍVEL IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
PARA ALIMENTAÇÃO DO PRÉDIO DE LABORATÓRIOS DA UFU - *CAMPUS*
PATOS DE MINAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações - *Campus* Patos de Minas.

Patos de Minas, 10 de dezembro de 2018

Comissão Examinadora

Prof^a. Dr^a. Elise Saraiva (FEELT/UFU)
Orientadora

Prof. Dr. Júlio César Coelho (FEELT/UFU)
Examinador

Prof. Ms. Alexander Bento (FEELT/UFU)
Examinador

*A toda minha família,
por serem minha base e força
em toda essa longa jornada.*

AGRADECIMENTOS

A concretização deste sonho, percorreu-se durante uma longa caminhada. Com muito orgulho, dedico este agradecimento a todos os envolvidos nesta conquista.

Agradeço a Deus que estivera comigo em todas as horas. Aos meus pais, que acima de tudo batalharam para tornar este sonho possível. Às minhas irmãs, que sempre ouviram meus desabaços e compartilharam de minhas angústias. Ao Lucas, parceiro nesta trajetória, por seu apoio incondicional e companheirismo. Agradeço a toda minha família e amigos, mesmo distantes sempre me transmitiram muita força.

A minha orientadora Prof. Dr.^a Elise Saraiva por essa amizade construída durante esses anos, por todo o conhecimento compartilhado, e por sempre me incentivar e confiar em meu potencial. Aos meus professores e colegas de classe, juntos formamos uma segunda família.

Agradeço a Universidade Federal de Uberlândia e toda comunidade do *campus* Patos de Minas por participarem do meu crescimento pessoal e, por direta ou indiretamente terem contribuído para a realização dessa conquista.

Se saio vitoriosa, foi devido a vocês que acreditaram em mim e não me deixaram carregar o fardo sozinha. Obrigada a todos.

RESUMO

O presente trabalho propõe a viabilização de um projeto de sistema de alimentação de energia elétrica, utilizando energia fotovoltaica, para utilização no prédio de laboratórios da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) – *Campus* Patos de Minas, o qual, será aqui denominado Prédio da Major Jerônimo (MJ). Será realizado um estudo do Sistema de Energia Fotovoltaica e das tecnologias envolvidas na sua implementação. Este projeto concilia um investimento num sistema de geração não poluente e inesgotável de energia, com uma economia na contenção de gastos utilizados em relação a energia elétrica convencional. É apresentado uma descrição dos equipamentos que serão utilizados, assim como as ferramentas computacionais e *softwares*. Além disso, este trabalho traz uma abordagem dos benefícios em utilizar sistemas de energia por geração solar e fornece um conjunto de conhecimentos de apoio para os interessados na área.

Palavras-chave: Engenharia. Energia Renovável. Fotovoltaica.

ABSTRACT

The present work proposes the project of a system of feeding, using photovoltaic energy, it's viabilization will be done for to laboratory building of the Federal University of Uberlândia - campus Patos de Minas, in which will be approached with denomination of Major Jerônimo Building (MJ). There is carried out a study of the System of Photovoltaic Energy and of the technologies wrapped in his implementation. This project contemplates an investment in a generation system non-pollutant and inexhaustible of energy with an economy in the restriction of expenses used regarding conventional electric energy. It is presented a description of the equipments that will be used, as well as the computational tools and softwares. Besides that, this work brings an approach of the benefits in using systems of energy for solar generation and supplies a set of knowledges of support for interested in the area.

Keywords: *Engineer. Renewable Energy. Photovoltaic.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| <i>Figura 1 - Classificação dos SFV</i> | 18 |
| <i>Figura 2 – Esquema básico de um SFI</i> | 20 |
| <i>Figura 3 – Sistema de bombeamento fotovoltaico</i> | 21 |
| <i>Figura 4 – Sistema autônomo sem armazenamento residencial</i> | 21 |
| <i>Figura 5 – Esquema básico de um SFH</i> | 22 |
| <i>Figura 6 – SFH eólico-solar</i> | 23 |
| <i>Figura 7 – Composição básica de um SFCR</i> | 24 |
| <i>Figura 8 – Estrutura básica do Sol</i> | 25 |
| <i>Figura 9 – Modelo de células fotovoltaicas conectadas em série</i> | 28 |
| <i>Figura 10 – Associação em série de módulos fotovoltaicos</i> | 29 |
| <i>Figura 11 – Associação em paralelo de módulos fotovoltaicos</i> | 30 |
| <i>Figura 12 – Associação em mista de módulos fotovoltaicos</i> | 31 |
| <i>Figura 13 – Vista superior da localização do prédio da MJ</i> | 35 |
| <i>Figura 14 – Modelos de radiação solar e HSP equivalentes</i> | 36 |
| <i>Figura 15 – Interface principal RADIASOL 2</i> | 39 |
| <i>Figura 16 – Radiação Solar mensal</i> | 40 |
| <i>Figura 17 – Demonstração do Painel da CanadianSolar</i> | 45 |
| <i>Figura 18 – Inversor trifásico Canadian Solar</i> | 46 |
| <i>Figura 19 – Medidor Bidirecional da Fronius</i> | 48 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| <i>Tabela 1 – Características básicas do Sol</i> | 25 |
| <i>Tabela 2 – Relação de carga e demanda no prédio MJ</i> | 42 |
| <i>Tabela 3 – Histórico do consumo de energia no prédio da MJ</i> | 42 |
| <i>Tabela 4 – Comparação de Painéis</i> | 45 |
| <i>Tabela 5 – Principais especificações técnicas do inversor da Canadian Solar</i> | 47 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|-----------|
| <i>Quadro 1 – Classificação básica das células fotovoltaicas.....</i> | <i>26</i> |
| <i>Quadro 2 – Relação dos Laboratórios da MJ.</i> | <i>34</i> |
| <i>Quadro 3 – Radiância Solar média anual.</i> | <i>41</i> |
| <i>Quadro 4 – Relação do consumo de energia.</i> | <i>43</i> |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- UFU – Universidade Federal de Uberlândia
- MJ – Major Jerônimo
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
- SFV – Sistemas Fotovoltaicos
- SFIE – Sistemas Fotovoltaicos Integrados a Edificações
- SEE – Sistemas de Energia Elétrica
- SFI – Sistema Fotovoltaico Isolado
- SPFV – Sistema Puramente Fotovoltaico
- SFH – Sistemas Fotovoltaicos Híbridos
- CERNE – Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia
- CTPES – Cadastro de Terras com Potencial Eólico Solar
- SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
- IEA – *International Energy Agency*
- CA – Corrente Alternada
- CC – Corrente Contínua
- LABSOL – Laboratório de Energia Solar
- UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- HSP – Horas de Sol Pleno
- MPPT - Pontos de Máxima Potência
- SPDA – Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|--------------------|------------------------------------|
| V | Volts |
| mA/cm ² | Miliampère/Centímetro ² |
| c-Si | Silício Monocristalino |
| pc-Si | Silício Policristalino |
| a-Si | Silício Amorfo |
| p-Si | Silício Amorfo |
| CIGS | Cobre-Índio-Gálio-Selênio |
| CdTe | Telureto de Cádmió |
| GaAs | Arsenieto de Gálio |
| Cm | Centímetro |
| Kg | Quilograma |
| Km | Quilômetro |
| K | Kelvin |
| W | Watt |
| kW/m ² | Quilowatt/metro ² |
| VA | Volt-Ampères |
| kWh | Quilowatt-hora |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 Objetivo Geral..... | 15 |
| 1.2 Objetivo Específico..... | 15 |
| | |
| CAPÍTULO 2 – DESENVOLVIMENTO TEÓRICO..... | 16 |
| 2.1 Sistemas fotovoltaicos | 16 |
| 2.1.1 Breve Histórico..... | 17 |
| 2.1.2 Classificação dos sistemas fotovoltaicos..... | 18 |
| 2.1.3. Sistemas isolados | 19 |
| 2.1.3.1 <i>Sistema puramente fotovoltaico</i> | 19 |
| 2.1.3.2 <i>Sistemas Autônomos sem Armazenamento</i> | 20 |
| 2.1.3.3 <i>Sistemas híbridos</i> | 22 |
| 2.1.4. Sistemas conectados à rede..... | 23 |
| 2.1.5 Radiação Solar e Efeito Fotovoltaico | 25 |
| 2.1.6 Células Fotovoltaicas..... | 26 |
| 2.1.6.1 <i>Células de silício monocristalino</i> | 27 |
| 2.1.6.2 <i>Células de silício policristalino</i> | 27 |
| 2.1.6.3 <i>Células de filme fino</i> | 27 |
| 2.1.7 Componentes básicos de um sistema fotovoltaico | 27 |
| 2.1.7.1 <i>Módulos</i> | 28 |
| 2.1.7.2 <i>Painel Fotovoltaico</i> | 29 |
| 2.1.7.3 <i>Inversor</i> | 31 |
| 2.1.7.3.1 <i>Inversores On-Grid</i> | 32 |
| 2.1.7.3.2 <i>Inversores Autônomos</i> | 32 |
| 2.1.7.4 <i>Baterias</i> | 32 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3 | CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS | 33 |
| 3.1 | Etapas preliminares do projeto..... | 33 |
| 3.2 | Processo de mapeamento | 33 |
| 3.1.1. | Localização | 34 |
| 3.1.2. | Levantamento das características do local da instalação..... | 34 |
| 3.2. | Avaliação do recurso solar..... | 35 |
| 3.2.1. | Levantamento de carga e demanda..... | 37 |
| 3.3. | Materiais de instalação e ferramentas computacionais..... | 37 |
| | | |
| 4. | CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES | 38 |
| 4.1. | Avaliação do Recurso Solar | 38 |
| 4.1.1. | Direcionamento e Inclinação do Telhado | 38 |
| 4.1.2. | Horas de Sol Pico Solar (ESP)..... | 39 |
| 4.2. | Levantamento de Carga e Demanda..... | 41 |
| 4.3. | Potência Mínima do Sistema (P)..... | 44 |
| 4.4. | Escolha dos Equipamentos..... | 44 |
| 4.4.1. | Módulos Fotovoltaicos | 44 |
| 4.4.2. | Inversor | 46 |
| 4.4.3. | Relógio Bidirecional | 47 |
| 4.5. | Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos | 48 |
| 4.5.1. | Compensação da potência do módulo (Pcm) | 48 |
| 4.5.2. | Quantidade e Área dos Módulos..... | 49 |
| 4.5.3. | Associação dos módulos | 50 |
| 4.6. | Levantamento Financeiro..... | 50 |
| | | |
| | CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO | 52 |
| | REFERÊNCIAS | 53 |
| | ANEXO 1..... | 56 |
| | ANEXO 2..... | 57 |
| | ANEXO 3..... | 59 |
| | ANEXO 4..... | 61 |

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O setor de energia tem sofrido grandes modificações nos últimos anos. A preocupação da sociedade com o desenvolvimento sustentável revela questões cruciais discutidas desde o século passado. O grande impacto ambiental causado pela utilização de energias não-renováveis e o iminente fim dos combustíveis fósseis levaram os países a buscarem pelo desenvolvimento de energias consideradas renováveis.

Por muitos anos as energias renováveis foram referidas como fontes alternativas de energia. Porém, fontes de energia como a eólica e solar vêm tendo um crescente aumento e deixou de ser apenas uma forma de energia complementar. Atualmente os principais tipos de energias renováveis são a energia hidrelétrica, eólica, solar e de biomassa [1].

No Brasil, a matriz elétrica dominante é fornecida pelas hidrelétricas, que proporcionam desenvolvimento econômico e integração com regiões remotas. De acordo com dados fornecidos no site da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 2016 foi registrado o recorde de capacidade instalada de energia elétrica, sendo 53% deste crescimento correspondente a de grandes usinas hidrelétricas [2].

Em outubro e novembro de 2018 o consumidor terá que desembolsar uma quantia relativamente maior para pagar sua conta de luz. A ANEEL mudou a bandeira tarifária para vermelha 2, a qual, é a tarifa mais cara do modelo. Esta decisão foi tomada devido aos baixos índices de vazão das hidrelétricas, considerados preocupantes. A agência reguladora recomenda que os consumidores evitem desperdícios e façam uso consciente da energia [3].

Neste âmbito de um sistema que demonstra sinais de exaustão, a busca por alternativas as concessionárias de energia têm aumentado gradualmente. Espera-se que o processo de transição para microgeração de energia fotovoltaica aumente exponencialmente [4].

Este trabalho apresenta uma das soluções mais proeminentes e solicitadas atualmente, que faz a portabilidade de sistemas de energia convencionais para sistemas fotovoltaicos (SFV). Os Sistemas Fotovoltaicos Integrados a Edificações (SFIE) fazem parte desta categoria, a qual, são responsáveis por um conceito de sustentabilidade energética nos edifícios.

Os SFIEs não necessitam de criação de novos espaços, e podem ser projetados em telhados ou fachadas. Possui como principais vantagens o fato de reduzir os gastos com energias provenientes da rede da concessionária, e por serem capazes de reduzir as perdas com transmissão e distribuição usando integralmente a energia gerada. Entretanto, no que consiste a viabilidade econômica, também será feita uma análise e planejamento de gastos para

aquisição e instalação, com intuito de verificar a possibilidade de integração deste sistema no prédio da MJ [5].

1.1 Objetivo Geral

Projetar um sistema de alimentação utilizando energia fotovoltaica para o prédio de laboratórios da MJ.

1.2 Objetivo Específico

Usufruir das inúmeras vantagens proporcionadas pela possível implementação deste projeto, de forma sustentável e não-poluente. O sistema deverá ser capaz de fornecer energia para todo o prédio, incluindo atividades realizadas pelos alunos e professores nos laboratórios. Ao considerar a viabilidade do projeto, o projetista irá analisar e ponderar o valor de implementação com a economia, a médio prazo, a qual o projeto irá fornecer.

CAPÍTULO 2 – DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Os Sistemas de Energia Elétrica (SEE) tem como principal objetivo a produção, transmissão e distribuição de energia elétrica. Neste contexto, o SEE tem por premissa que os consumidores recebam energia elétrica com qualidade e baixo custo. Estas questões devem ser tratadas com a utilização de métodos apropriados, no qual, o desenvolvimento destas pesquisas é tratado em área de Sistemas de Energia distintos [1].

Em síntese todas as formas de energia conhecidas são derivadas da energia solar. Ou seja, exemplificando, é o Sol que aquece as massas de ar utilizadas em parques eólicos; o Sol que altera estado físico da água que será aproveitada nas hidrelétricas, etc. Infelizmente nem todo este potencial é aproveitado diretamente [1].

Contudo, são conhecidos dois modos artificiais do aproveitamento de energia solar: O Efeito Fototérmico e o Efeito Fotovoltaico [1]. Neste trabalho o enfoque está sendo dado ao Sistema de Energia Fotovoltaica, sendo sua obtenção concebida através da conversão direta da luz em eletricidade.

2.1 Sistemas fotovoltaicos

A evolução dos sistemas fotovoltaicos tem sofrido um aumento exponencial nas últimas décadas. Pesquisas relacionadas a melhorias de custos e eficiências estão em desenvolvimento em vários setores de energia. Embora essa busca por conhecimento de energia limpa esteja acontecendo nos tempos atuais, o efeito fotovoltaico foi descoberto há muito tempo no final século XIX, e teve sua mecânica melhor entendida no início do século XX [7].

Um SFV possui inúmeras vantagens, no entanto, para fins de exemplificação serão citadas as principais: a matéria prima é considerada inesgotável; não há emissão de poluentes, considerado energia limpa; possui um sistema com vida útil superior a 20 anos; é resistente a condições climáticas extremas; exige-se pouca manutenção e, por fim, permite o aumento da potência instalada. Enquanto as desvantagens são baseadas nos investimentos econômicos iniciais, que são considerados caros em relação aos sistemas convencionais [1].

2.1.1 Breve Histórico

O início da história dos sistemas fotovoltaicos, percorreu-se pela época de 1700, no qual, as primeiras experiências realizadas com enfoque na exploração da energia solar foram documentadas. Em 1767 o geólogo suíço Horace-Bénédict de Saussure desenvolveu experiências relacionadas ao isolamento térmico e construiu o primeiro coletor solar [8].

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839 pelo físico francês, Alexandre Edmond Becquerel. Ao conduzir experiências na área de eletroquímica, Becquerel ao inserir uma célula eletrolítica numa solução condutora de eletricidade, observou que a eletricidade aumentava quando seu experimento era exposto à luz solar [9]. Ou seja, quando existe uma diferença de potencial nos extremos de um semicondutor, o mesmo absorvia a luz visível, dando origem ao que ficou conhecido por efeito fotovoltaico. [1]

Em 1876 o físico Dr. William Grylls Adams, professor pela universidade *King's College* na Inglaterra, juntamente com seu estudante Richard Evans, descobriram que o elemento químico selênio produz eletricidade quando é exposto à luz. [10]

Em 1891 o inventor Clarence Kemp natural da cidade de Baltimore EUA, patenteou o primeiro coletor solar, que tinha como principal função o aquecimento da água. [11]

Nos anos de 1900 foram feitas várias descobertas significativas no campo de estudo fotovoltaico, e o interesse dos estudiosos pela área aumentou rapidamente. Como por exemplo, em 1905 o cientista Albert Einstein publicou um artigo sobre o efeito fotoelétrico, e em 1908 o físico William J. Bailey inventou e patenteou um coletor solar que tem como princípio fundamental a utilização de tubos de cobre em espiral e caixa isolante, este conceito de projeto continua sendo usado atualmente. [9]

A princípio, o desenvolvimento da tecnologia para sistemas fotovoltaicos foi apoiado na busca por atender e solucionar os problemas das regiões com localidade remota. Além disso, outro propósito que impulsionou o estudo desta área, foi o setor de telecomunicações com a chamada “corrida espacial”, pois, necessitava-se de um meio adequado e de baixo custo para enviar satélites (e até mesmo pessoas) ao espaço. [6]

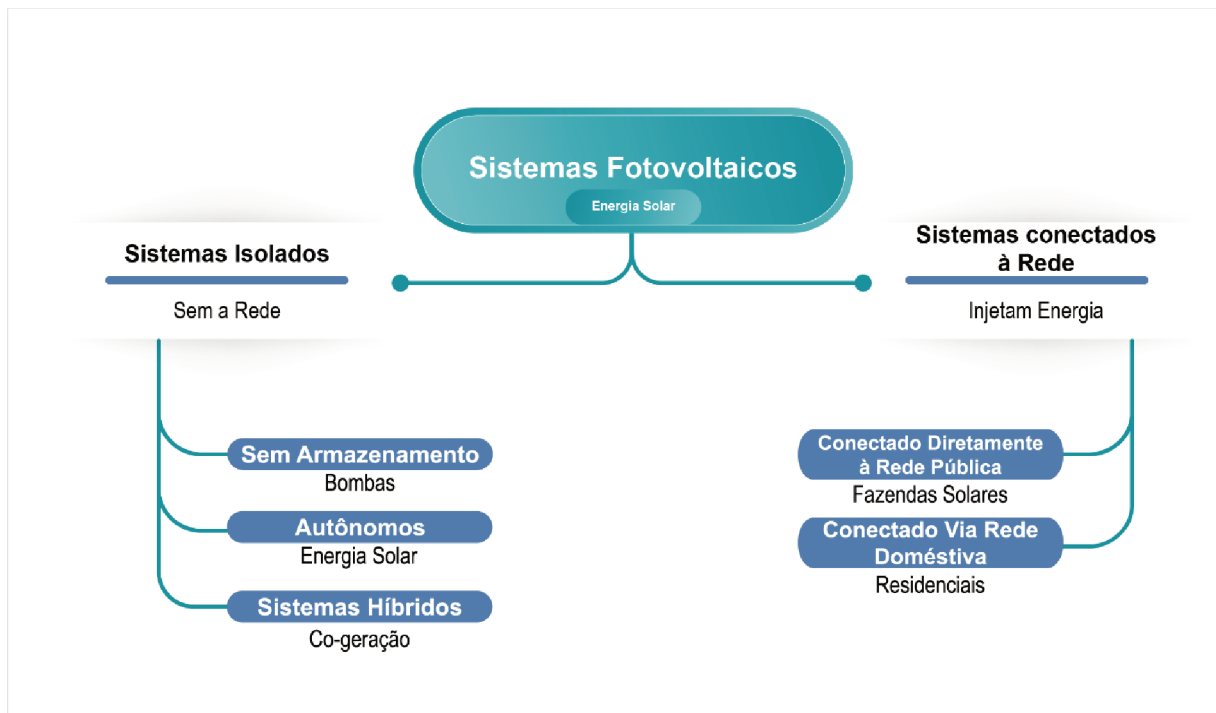
Nos dias de hoje, a energia solar é aplicada nas mais diversas áreas e regiões do mundo. Porém, pode-se dizer que a aplicação mais promissora ainda é nas zonas que ficam afastadas da rede de distribuição elétrica, ou seja, nas zonas mais remotas. Podendo por meio deste, gerar energia de forma considerada independente e limpa. [1]

2.1.2 Classificação dos sistemas fotovoltaicos

Os SFV podem ser classificados em dois tipos: Sistemas Isolados e Sistemas Conectados à Rede (*On-Grid*). Ambas classificações têm a capacidade de atuar utilizando somente energia fotovoltaica, ou pela combinação de outras fontes de energia (denominados híbridos) [12]. A escolha relacionada a estas divisões é feita observando fatores como a disponibilidade dos recursos energéticos, localidade e o objetivo da aplicação. Ademais, outros fatores que influenciam nesta escolha são a complexidade e custo do sistema, pois, estes sistemas possuem complexidade variável, fundamentado na aplicação e restrição do projeto [5].

Existem subclassificações que são determinadas conforme a geração ou a entrega da energia elétrica é feita [1]. A Figura 1 mostra quais são estas subclassificações. Neste trabalho será dado ênfase somente nas classificações principais.

Figura 1 - Classificação dos SFV



Fonte: A autora. Adaptado de [1] p.14.

2.1.3. Sistemas isolados

O sistema fotovoltaico isolado (SFI) são aqueles que operam independentemente da rede de distribuição da concessionária e, geralmente necessitam de armazenamento da energia. Esta parte de armazenamento de energia do sistema é comumente chamada de “acumuladores” e são compostos por baterias recarregáveis. Além disso, existem outras formas de armazenamento como por ar comprimido, energia gravitacional e etc [5].

Os SFI's podem ser classificados quanto a geração da energia: Individuais ou em minirredes. Os sistemas individuais, são os sistemas que possuem geração de energia exclusiva. Ao passo que, os sistemas de minirredes possuem geração de energia compartilhada em um grupo que estejam localizadas numa região próxima [5].

Estas classificações foram necessárias devido ao aumento do interesse do consumidor nesta tecnologia. Por causa deste aumento e do grande potencial na utilização de SFI's em diversas aplicações, em junho de 2012 a ANEEL publicou uma resolução que regulamentava não somente as fontes isoladas, como também o atendimento de minirredes [5]. A resolução que previu esta mudança foi a ANEEL N° 493/201 [13].

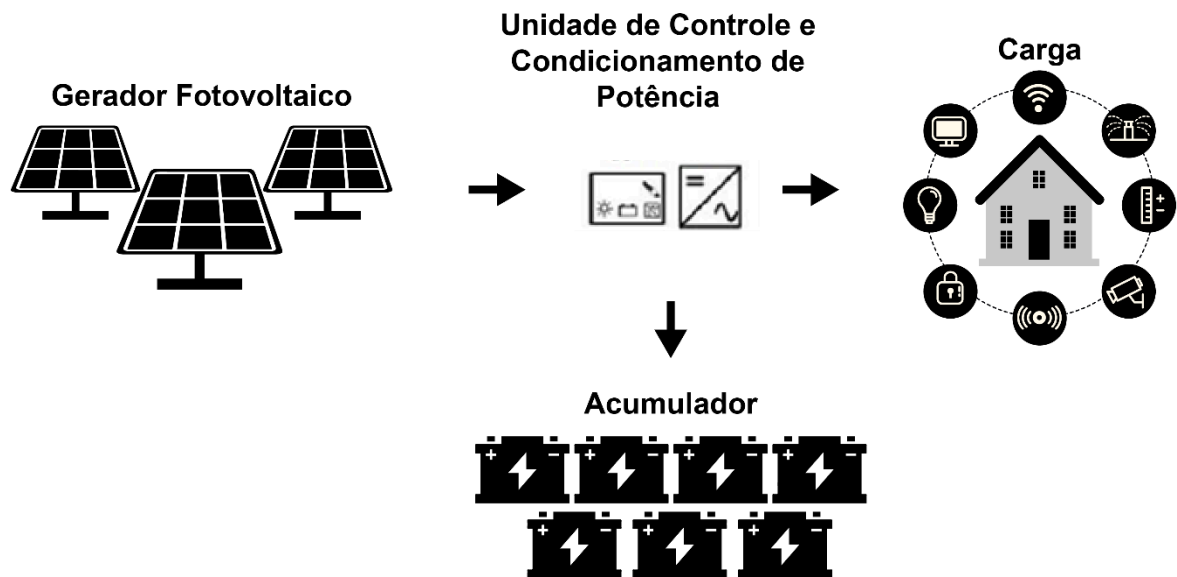
Os SFI's podem ser essencialmente de três tipos: autônomos puramente fotovoltaico, autônomos sem armazenamento ou híbridos [1].

2.1.3.1 Sistema puramente fotovoltaico

Sistemas puramente fotovoltaico (SPFV), são aqueles que funcionam integralmente com energia solar, ou seja, não necessitam de outra forma de gerar energia [5]. Neste tipo de sistemas tem-se a utilização de acumuladores para armazenar a energia e, posteriormente utilizá-la nos períodos de horas sem sol. Estes sistemas são equipados seguindo alguns fatores, como, as necessidades do usuário, as condições climatológicas, a localidade e aplicação [1].

Pode-se dizer que um SPFV é basicamente composto por um acumulador, um gerador e uma unidade responsável pelo controle e condicionamento de potência. Essa unidade é constituída por um inversor e um controlador de carga [5]. A Figura 2 mostra esse esquema de composição.

Figura 2 – Esquema básico de um SFI.



Fonte: A autora. Adaptado de [5] p.256.

2.1.3.2 Sistemas Autônomos sem Armazenamento

Um sistema fotovoltaico autônomo sem armazenamento, são aqueles que funcionam integralmente com energia solar, ou seja, não necessitam de outra forma de gerar energia. Porém, a diferença deste sistema para os sistemas puramente fotovoltaicos vistos na seção 2.1.3.1, são que nestes sistemas não há necessidade de acumuladores, ou seja, não existe um sistema de armazenamento elétrico. Estes sistemas geralmente são utilizados em locais com grande incidência de radiação solar ou onde não há necessidade de energia em tempo integral. Um exemplo de aplicação seria em sistemas de bombeamento de água [1]. A Figura 3 mostra visualmente a exemplificação citada.

Figura 3 – Sistema de bombeamento fotovoltaico



Fonte: [1] p.16.

A Figura 4 mostra como é composto basicamente um sistema autônomo sem armazenamento para o caso de uma aplicação residencial.

Figura 4 – Sistema autônomo sem armazenamento residencial



Fonte: [1] p.17.

Legenda:

- 1- Painel Fotovoltaico;
- 2- Controlador de carga ou descarga das baterias;
- 3- Inversor autônomo, para cargas em CA;
- 4- Cargas CC ou CA.

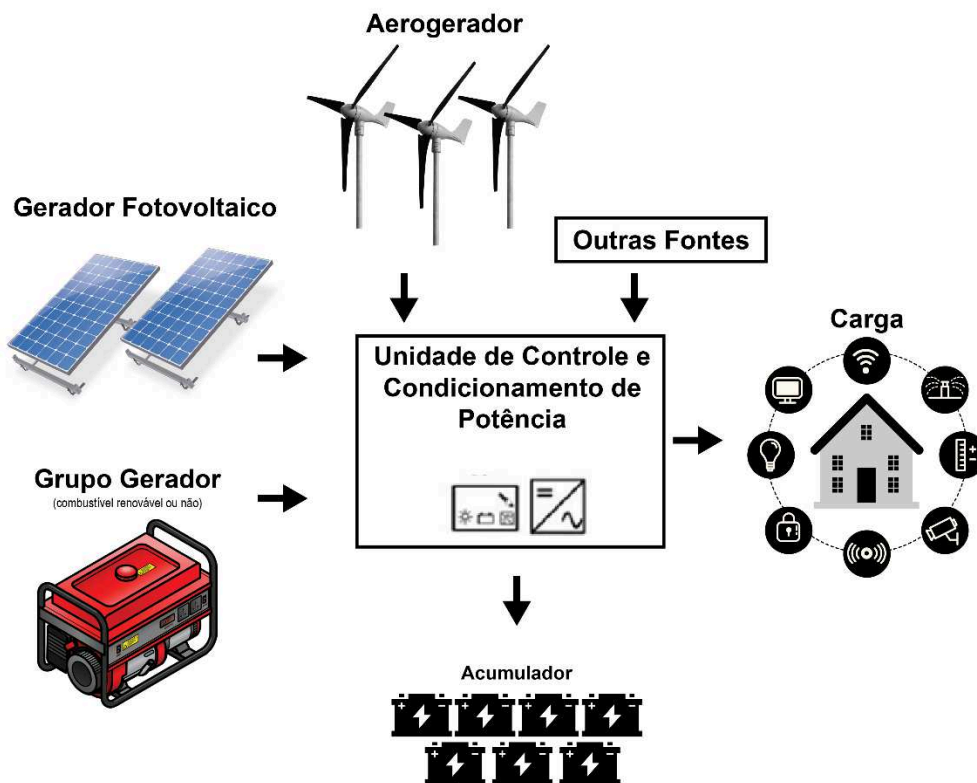
2.1.3.3 Sistemas híbridos

Um sistema fotovoltaico híbrido (SFH), são aqueles que funcionam parcialmente com energia solar, ou seja, existe mais de uma forma de geração de energia. Neste caso, os SFH podem ou não possuir sistema de armazenamento, dependendo da aplicação e necessidade do usuário [1].

Estes sistemas são considerados mais complexos, e como combinam duas fontes de geração de energia, são naturalmente mais caros. Os SFH precisam de uma unidade de controle que seja capaz de monitorar os vários geradores e quando utilizar qual fonte de energia.

Os sistemas de geração de energia aliados ao fotovoltaico podem ser, por exemplo, o eólico (aerogerador), um combustível líquido (moto-gerador), ou qualquer outro gerador de energia [1]. Existem várias possibilidades de se montar um SFH. Uma possível composição é mostrada na Figura 5, o qual fornece uma exemplificação esquemática dos exemplos de composição citados.

Figura 5 – Esquema básico de um SFH.



Fonte: A autora. Adaptado de [1] p.256.

Em abril de 2016 o Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia (CERNE) lançou o Cadastro de Terras com Potencial Eólico Solar (CTPES). Este foi o primeiro cadastro realizado no Brasil, e é capaz de abranger áreas localizadas no mundo. O serviço encontra-se disponível no site do CERNE e é destinado aos proprietários que tenham interesse de realizar a instalação de geração de energia eólica ou solar [14].

A Figura 6 exemplifica visualmente um SFH utilizando a combinação de energia eólica e solar.

Figura 6 – SFH eólico-solar



Fonte: [14].

2.1.4. Sistemas conectados à rede

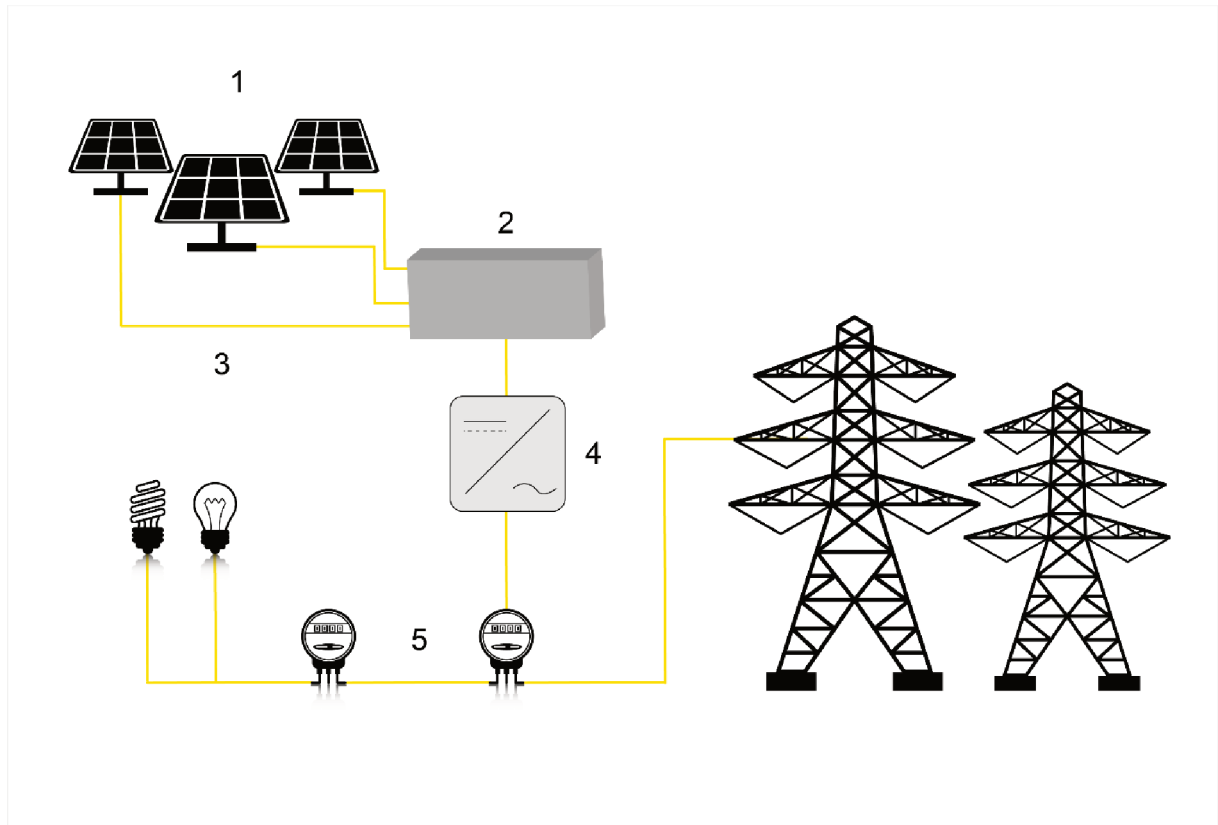
Um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) – comumente chamados *on-grid*, são aqueles que funcionam entregando a potência produzida diretamente a rede elétrica. Ou seja, usualmente não possuem sistema de armazenamento (acumuladores). Para que seja possível entregar a energia diretamente na rede, a utilização de inversores seguros é indispensável [1].

Assim como no caso de sistemas isolados em minirredes, os SFCR foram incluídos na regulamentação 482 da ANEEL em 2012. Atualmente, rege a resolução normativa Nº 786, de 17 de outubro de 2017 [13]. Neste caso, para executar um projeto utilizando SFCR necessita-se atender todas as regras regidas na regulamentação, tendo em vista que, este tipo de sistema utiliza a rede de distribuição provida das concessionárias para realizar o escoamento da energia

[1]. Além disso, como a regulamentação não outorgou a utilização isolada deste sistema, em caso de falta de energia o SFCR irá parar de funcionar [5][14].

Um sistema *on-grid* pode possuir várias composições, porém, necessita sobretudo dos componentes mostrados na Figura 7.

Figura 7 – Composição básica de um SFCR



Fonte: A autora. Adaptado de [1] p.18.

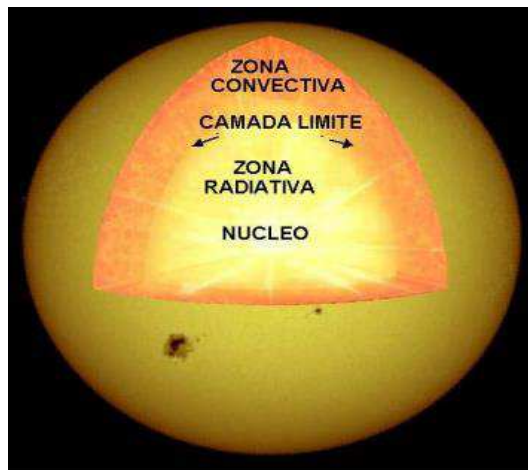
Legenda:

- 1- Painel Fotovoltaico;
- 2- Caixa de junção do painel fotovoltaico;
- 3- Cabeamento;
- 4- Inversor *Grid-Tie*;
- 5- Medidor(es) de energia;

2.1.5 Radiação Solar e Efeito Fotovoltaico

O Sol é a estrela central do Sistema Solar, o qual, todos os outros corpos giram ao seu redor [15]. Essencialmente é formado por uma esfera de gás incandescente, e composto pelo núcleo, as zonas radioativas e convectivas, as camadas fotosfera e cromosfera e pela corona [1]. A Figura 8 exemplifica esquematicamente essa composição.

Figura 8 – Estrutura básica do Sol



Fonte: NASA adaptado [16].

A Tabela 1 relaciona as principais características do Sol, desde sua composição à quantificação de potência luminosa.

Tabela 1 – Características básicas do Sol

| SOL | |
|---|---|
| Massa | $1,989 \times 10^{30}$ kg |
| Raio | 696.000 km |
| Temperatura efetiva | 5,785 K |
| Temperatura central | $1,5 \times 10^7$ K |
| Potência luminosa | $3,83 \times 10^{26}$ W |
| Composição química principal | Hidrogênio = 91,2% Hélio = 8,7% Oxigênio e carbono = 0,121% |
| Período rotacional no Equador | 25 dias |
| Período rotacional na latitude 60° | 29 dias |

Fonte: Adaptado de [5].

A energia irradiada pelo sol é considerada imensuravelmente grande. Um único segundo de irradiação seria o suficiente para suprir a energia consumida na Terra desde o início dos

tempos. Porém, é claro que nem toda esta energia chega à Terra, devido a longa distância entre os corpos celestes (aproximadamente 150 milhões de quilômetros) [1].

A parcela de energia produzida no sol que atinge a Terra é altíssima, e é considerada a principal fonte energético do mundo, além de ser a responsável pela sustentação de vida no planeta [1]. Ao considerar essa parcela de energia que chega a superfície do planeta por um intervalo de tempo de 1 hora, tem-se aproximadamente o consumo das atividades humanas durante todo o ano [15].

Devido à grandes reduções de preço e a confiabilidade do sistema, os SFV's possuem um grande potencial de crescimento a longo prazo em todo o mundo. Por esses motivos, a busca dos países e grandes empresas por esta tecnologia veem aumentando exponencialmente. Atualmente, os SFV's proveem mundialmente cerca de 0,1% de energia. Porém, de acordo com a previsão da agência internacional de energia (IEA – *International energy agency*) espera-se um aumento de 5% em 2030 e 11% em 2050 à níveis globais [15].

O efeito fotovoltaico pode ser gerado a partir de materiais que possuam natureza semicondutora, ou seja, tem como característica principal a condutividade elétrica entre os isolantes e condutores. Alguns destes semicondutores podem ser: o silício, telureto de cádmio, arsenieto de gálio etc., porém, mais de 90% dos sistemas fotovoltaicos utilizam o silício ou algum processo de dopagem do mesmo [1].

2.1.6 Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são predominantemente pelo material semicondutor silício (Si). Pode-se dizer que existem dois tipos de células principais: Células de silício e de filme fino [6].

O Quadro 1 mostra basicamente como é feita essa classificação das células fotovoltaicas, e as seções subsequentes descrevem brevemente os principais tipos.

Quadro 1 – Classificação básica das células fotovoltaicas

| Tipo de célula fotovoltaica | | |
|-----------------------------|---------------------------|-------------|
| | Nomes | Simbologia |
| Silício Cristalino | Silício monocristalino | c-Si |
| | Silício policristalino | pc-Si |
| FilmeFino | Silício: amorfo | a-Si e p-Si |
| | Cobre-Índio-Gálio-Selênio | CIGS |
| | Telureto de cádmio | CdTe |
| | Arsenieto de Gálio | GaAs |

Fonte: Adaptado de [9] p.34.

2.1.6.1 Células de silício monocristalino

Esta célula é a mais usada no comércio. Podem ser obtidas através do corte de barras cilíndricas que são formadas em fornos. Além disso, este tipo de célula possui 12% de eficiência em relação a conversão de luz solar em eletricidade [17].

2.1.6.2 Células de silício policristalino

Esta célula é mais barata, tendo em vista que não exige um procedimento tão rigoroso. Ao contrário da célula monocristalina (barras) esta célula é formada por blocos que são adquiridos por meio da fusão de silício puro com moldes especiais, ou seja, os átomos não se fundem em um único cristal. A eficiência, no entanto, é um pouco mais baixa [17].

2.1.6.3 Células de filme fino

Esta célula de filme fino, também chamada de silício amorfo, tem o processo de fabricação considerado mais simples e barato do que as células de silício puro. Além disso, vem sendo mais utilizada, pois, está sendo muito procurada para projetos de baixo custo. Pode-se obter essas células por meio da deposição de camadas bem finas de silício sobre superfície de metal ou vidro. Sua eficiência varia na faixa de 5% a 7% [17].

2.1.7 Componentes básicos de um sistema fotovoltaico

Pode-se dizer que um SFV é composto por um bloco gerador, um bloco de condicionamento de potência e, um bloco de armazenamento (se necessário) [1].

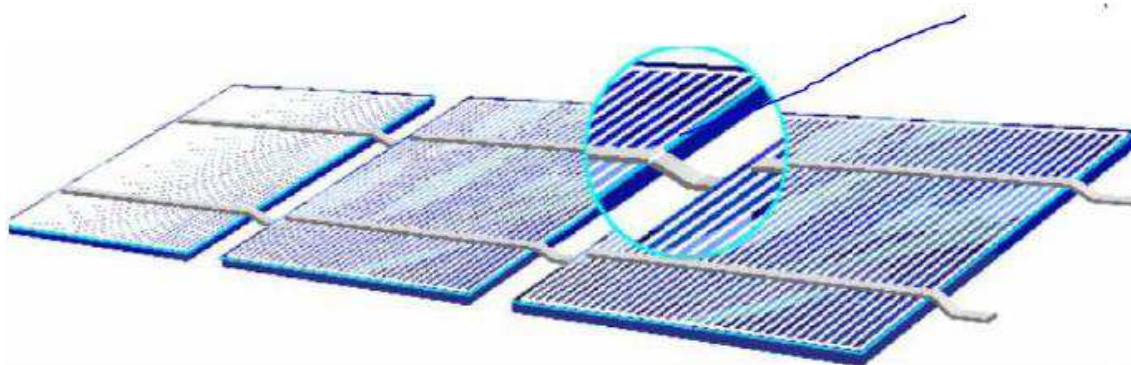
Os blocos geradores abrangem os arranjos fotovoltaicos (módulos, cabeamentos), os blocos de condicionamento de potência abrangem os conversores e inversores, o bloco de armazenamento abrange os acumuladores [1].

2.1.7.1 Módulos

Os módulos fotovoltaicos são compostos pelas células individuais conectadas em série ou paralelo, no qual, busca-se alcançar valores de tensão comerciais (1A a 7A) [1]. Além disso, ao realizar a construção de módulos fotovoltaicos alguns fatores devem ser levados em consideração: rigidez em sua estrutura, isolamento elétrico e resistência a fatores climatológicos [17].

O tipo de conexão mais comum é em série, no qual, a corrente produzida no efeito fotovoltaico é contínua [17]. Os fabricantes soldam a parte frontal de uma célula à traseira da subsequente. A Figura 9 mostra um esquema visual das células fotovoltaicas conectadas em série.

Figura 9 – Modelo de células fotovoltaicas conectadas em série.



Fonte: [1]

Para viabilizar a construção destes módulos podem ser utilizados processos de montagem por manufatura (baixa escala de produção) ou automático [1].

As características de um módulo são determinadas de acordo com a tecnologia utilizada na célula. Por exemplo, um módulo de silício cristalizado comercial possui formato geralmente quadrado ou retangular e uma espessura de aproximadamente 4 cm.

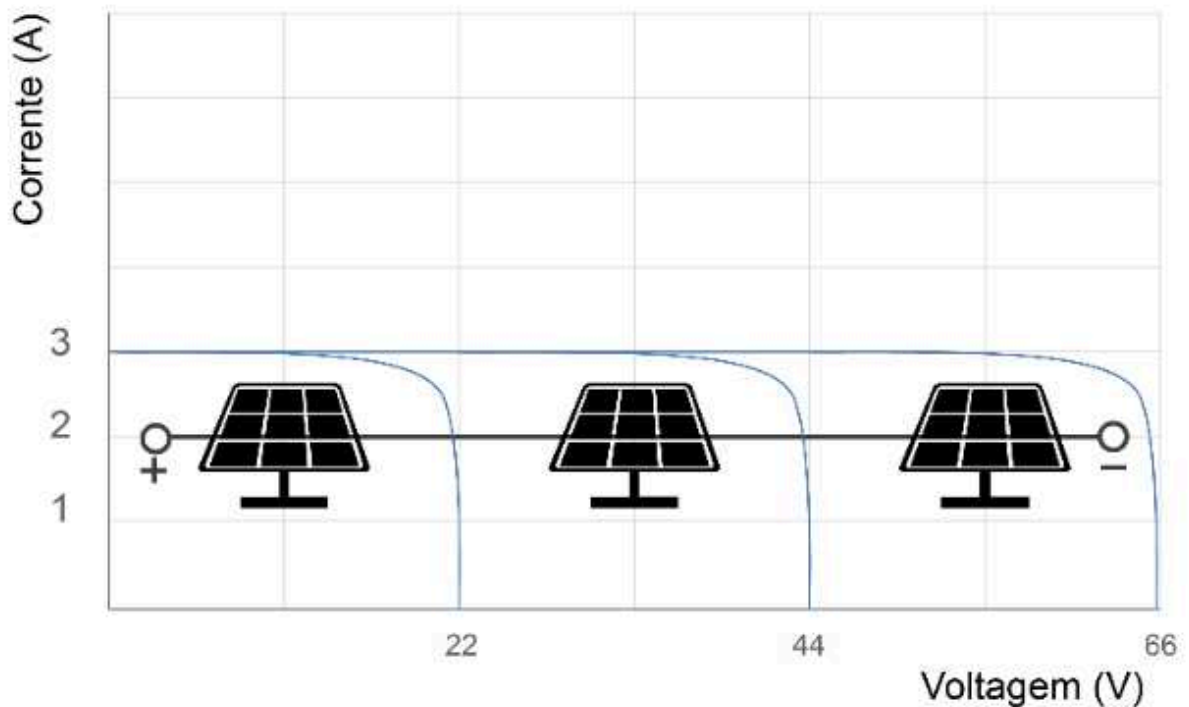
Os módulos fotovoltaicos geralmente são protegidos com diodos de desvio – conhecido como *by-pass*. Estes diodos têm como função proteger os módulos de possíveis pontos considerados quentes, por meio de caminhos alternativos disponibilizados para a corrente. Ou seja, essa técnica irá limitar a dissipação de potência [5].

2.1.7.2 Paineis Fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos são compostos por módulos conectados em série ou paralelo, e, geralmente estão conectados a dispositivos de controle ou condicionamento de potência [1].

Para aplicações em que há necessidade de atingir o valor de tensão nominal do sistema, ou de minimizar as perdas de potência, é feita a associação dos módulos em série, denominados fileiras [1]. Este tipo de configuração é mostrado na Figura 10.

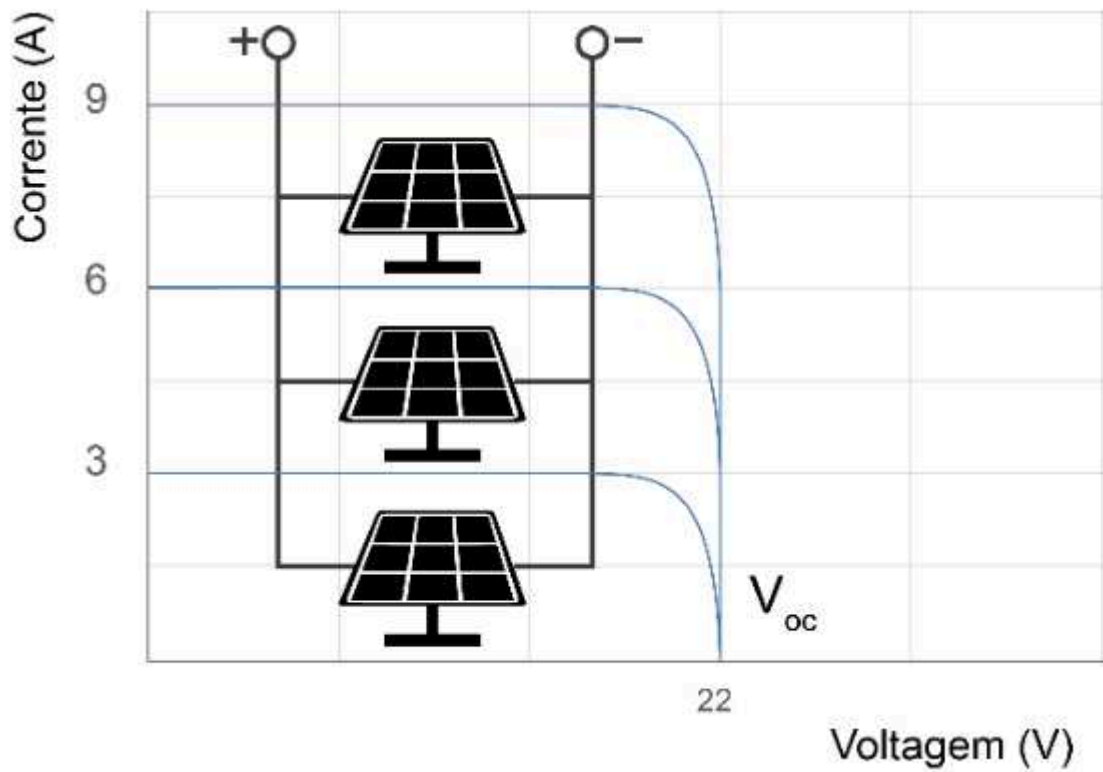
Figura 10 – Associação em série de módulos fotovoltaicos



Fonte: A autora. Adaptado de [1].

Contudo, quando se deseja atingir o valor de potência calculada no projeto utiliza-se da associação de módulos em paralelo, pois, neste caso tem-se a soma das correntes de cada módulo. A associação em paralelo é usualmente aplicada em sistemas com características autônomas [5]. Este tipo de configuração é mostrado na Figura 11.

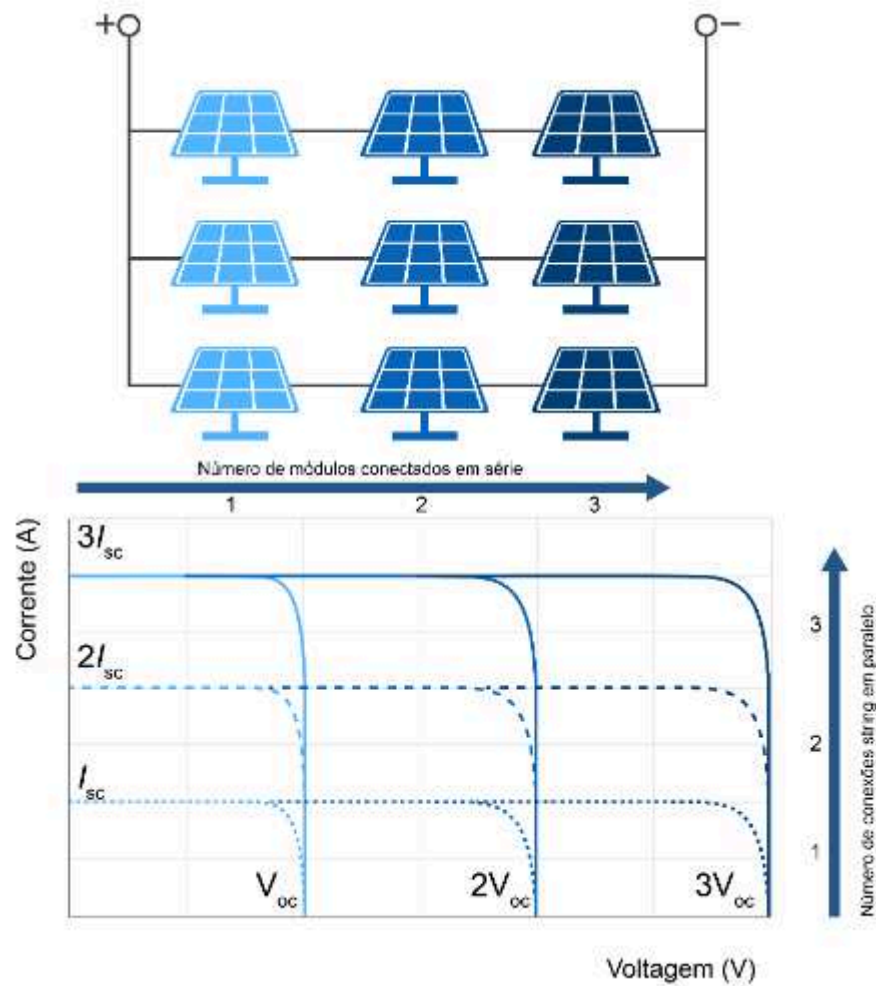
Figura 11 – Associação em paralelo de módulos fotovoltaicos.



Fonte: A autora. Adaptado de [1].

Entretanto, atualmente a maioria dos painéis (principalmente os que são empregados em sistemas conectados à rede) são conectados utilizando uma associação série-paralelo. Ou seja, o sistema é capaz de adquirir ambas as características citadas [1]. Esse tipo de configuração mista é mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Associação em mista de módulos fotovoltaicos.



Fonte: A autora. Adaptado de [1]

2.1.7.3 Inversor

Inversores são dispositivos eletrônicos que tem como principal função fornecer corrente alternada (CA), por meio de uma fonte de corrente contínua (CC). Eles devem imprescindivelmente ter as relações de amplitude e frequência correlacionada com as cargas que serão alimentadas. Além disso, para o caso de sistemas SFCR a tensão do sistema deve também estar correlacionada com a tensão da rede [5].

A evolução dos inversores está proporcionalmente ligada a evolução da eletrônica de potência. Ou seja, quanto mais consegue-se evoluir os semicondutores e as topologias do circuito, maior a probabilidade de redução de custos e aumento de eficiência [5].

Os inversores podem ser classificados quanto sua aplicação (SFI's e SFCR's) e em relação ao seu princípio de operação (comutação natural ou forçada) [5].

Os inversores com comutação natural são os comutados pela rede, aplicados em SFCR's, enquanto que, os inversores com comutação forçada são os aplicados aos SFI's [5].

2.1.7.3.1 Inversores On-Grid

O principal inversor aplicado em SFCR (*On-Grid*) é denominado *grid-tie*. Este tipo de inversor é considerado mais sofisticado, pois, deve apresentar alto controle sobre a tensão, a frequência e a fase, tendo em vista que estão diretamente ligados à rede [1].

2.1.7.3.2 Inversores Autônomos

Neste caso, os inversores autônomos são aqueles aplicados em SFI's. Tendo em vista que, sistemas autônomos operam com tensão CC, o uso destes inversores é indicado no caso em que for necessário a conexão de aparelhos elétricos que funcionem com fonte CA [1].

2.1.7.4 Baterias

O uso de sistema de armazenamento (acumuladores) é necessário quando tem-se aplicação em SFI's. Esse sistema é necessário para períodos em que a energia fotovoltaica gerada é insuficiente. Existem vários dispositivos e formas de armazenamento, como por ar comprimido e energia gravitacional, porém, a bateria ainda é a mais utilizada atualmente [5].

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Etapas preliminares do projeto

Para implementação de um projeto fotovoltaico, é necessário atender alguns fatores determinantes, sendo os principais: disponibilidade da área e do recurso solar, orientação dos módulos, dimensionamento dos equipamentos e sistemas, demanda e carga necessárias, além da estética do projeto [5].

Neste capítulo serão apresentadas as etapas preliminares para iniciar o projeto. Para que seja possível fazer o estudo de implementação, como dimensionamento e orçamentos, primeiramente é necessário fazer o levantamento de todo o local da instalação e suas respectivas características. Neste âmbito, será estudado nas seções seguintes as possíveis ferramentas e materiais necessários, além do processo de mapeamento do local.

Outro fator a ser determinado, como visto na seção 2, é o tipo de configuração (classificação) de sistemas a ser utilizado. A princípio, o sistema escolhido para a realização do estudo é o SFCR (*On-grid*), pois, como trata-se de um prédio de laboratórios, que podem envolver pesquisas científicas que necessitem de energia 24 horas ao dia, busca-se por um sistema capaz de complementar as necessidades em caso de falta de energia, através da utilização da energia da concessionária.

Neste caso, o sistema deve indispensavelmente operar (em CA) na mesma frequência e tensão da rede da concessionária. Além disso, o gerador fotovoltaico pode ser integrado diretamente a estrutura do telhado. Como o local da instalação do sistema é urbano, neste caso, deve-se verificar as perdas por sombreamento [5].

3.2. Processo de mapeamento

Nesta seção é realizado o estudo do local e suas principais características. A abordagem que está sendo realizada, busca a possível viabilização de um SFIE.

Os SFIE's são considerados vantajosos, pois, dispensam a construção de novos locais, ou seja, podem ser montados nos telhados e fachadas da edificação já existente [5].

3.2.1. Localização

Visitas ao local de instalação foram feitas para desenvolver as avaliações prévias em relação as condições relevantes existentes. Neste âmbito, vale constar que o prédio possui telhado plano e está localizado nas coordenadas 18°35”S de latitude e 46°30”O de longitude. O prédio dos laboratórios da Universidade Federal de Uberlândia (Prédio da MJ), encontra-se localizado na Rua Major Jeronimo, nº 566 no Centro de Patos de Minas – MG.

3.2.2. Levantamento das características do local da instalação

O prédio da MJ possui 6 andares, sendo estes compostos de laboratórios de ensino e pesquisa, além de outros departamentos, como: almoxarifados, espaço de professores e técnicos.

No prédio, existe um total de 21 laboratórios, o Quadro 2 faz a listagem de cada um deles.

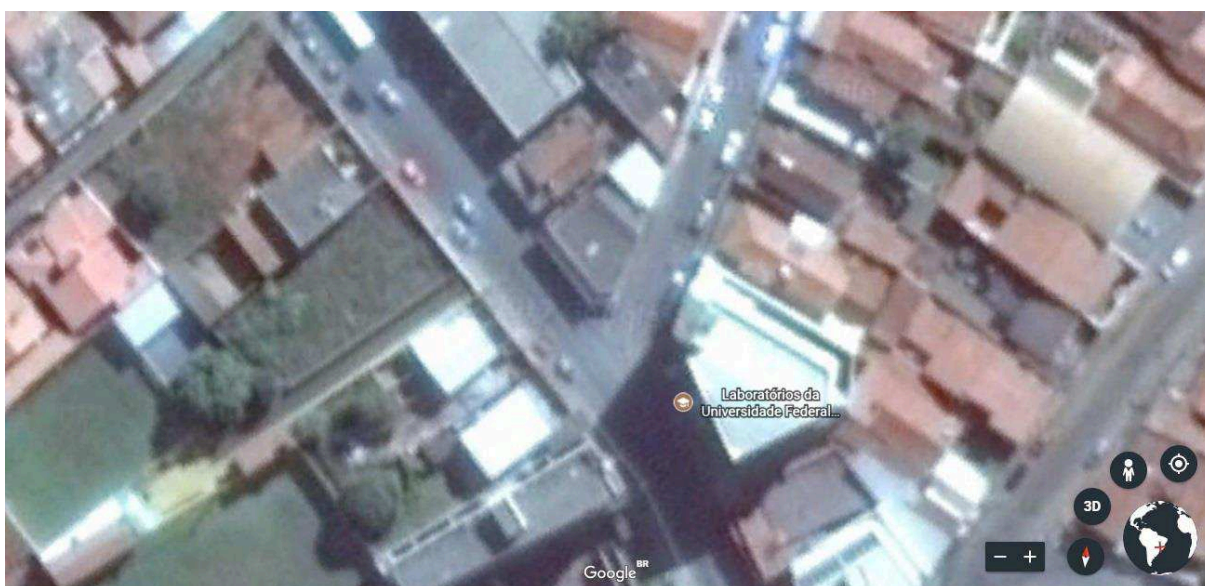
Quadro 2 – Relação dos Laboratórios da MJ.

| Nº do andar | Nomes dos Laboratórios | Áreas de Pesquisa |
|-------------|------------------------|--|
| 1º | Física | Física |
| 2º | LAGEM e LEDEV | Engenharia Molecular e Engenharia Genética |
| | MICRO | Microbiologia |
| | LAMIC | Microscopia e lupas |
| | LBBM | Bioquímica e Biologia molecular |
| 3º | LQAAL | Química e Análise de Alimentos |
| | LINST | Instrumental |
| | LASEN | Análise Sensorial |
| 4º | LAELE | Eletrônica |
| | LRDV e LACAD | Redes de Dados e Voz e, Comunicações Analógicas e Digitais |
| | LASE e LCA | Sistemas de Energia e, Controle e Automação |
| | LAP | Antenas e Propagação |
| | LATEL | Telecomunicações |
| 5º | LACEL E LACCA | Biologia Celular e Cultura de Células Animais |
| | LFTOU | Fenômenos de Transportes e Operações Unitárias |
| | LAPSE | Processamento de Sinais e Sistemas Embarcados |
| | LATUR | Laboratório de Tecnologias Urbanas e Rurais |
| 6º | GBIO | Genética e Biotecnologia |
| | LBAM | Bioinformática e Análise moleculares |
| | LEABE | Eletroquímica Aplicada |
| | IET | Interferência Eletromagnética nas Telecomunicações |

Fonte: Dados retirados do prédio da MJ.

A Figura 13 mostra uma visão superior da localização do prédio. Foi verificado através de visitas e pode-se perceber através a Figura 13 que não há grandes prédios ou obstáculos e, portanto, pressupõe-se que não há efeitos de sombreamento no telhado. Além disso, não há terrenos baldios e, portanto, não há previsões de construções nas áreas próximas pelos próximos anos. A área do telhado foi obtida através do *software* AutoCAD, no qual, obteve-se 300 m².

Figura 13 – Vista superior da localização do prédio da MJ



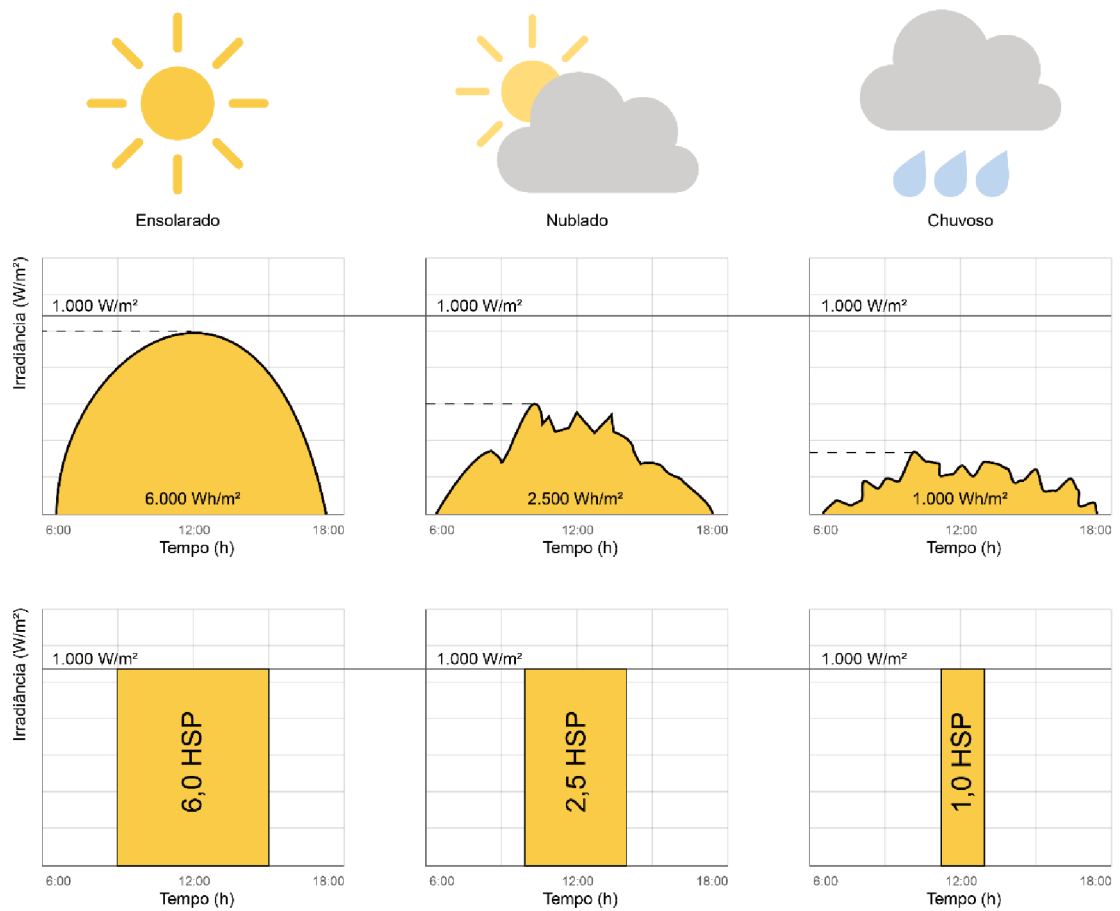
Fonte: Google Earth [19].

3.3. Avaliação do recurso solar

Nesta seção de avaliação do recurso solar, busca-se métodos capazes de realizar a quantificação de radiação solar a qual será incidida no painel fotovoltaico. A forma mais usual de se coletar dados de radiação solar é por meio da média de valores mensais da energia acumulada em um dia [5].

Um método de medição utilizado para apresentar esse valor de energia acumulado no dia, é o número de Horas de Sol Pleno (HSP). Através desta grandeza é possível obter o número de horas em que a irradiância solar perdurou constante por 1kW/m² [5]. A Figura 14 exemplifica por meio de três modelos de radiação solar e seus respectivos valores de HSP.

Figura 14 – Modelos de radiação solar e HSP equivalentes



Fonte: A autora. Adaptado de [5].

Para realizar as medidas de radiação solar necessárias para a continuação do projeto, será utilizado o *software* RadiaSol 2, construído e idealizado pelo Laboratório de Energia Solar (LABSOL) da Universidade Federal do Rio grande do Sul (UFRGS). Este *software* é utilizado para o processamento de dados meteorológicos, no qual, pode-se adquirir dados de irradiação global anual ou mensal utilizando a HSP [18].

3.3.1. Levantamento de carga e demanda

O levantamento de carga e demanda pode ser feito de duas formas:

- Método 1: Previsão estimada em função dos equipamentos;
- Método 2: Diretamente da conta de energia.

O primeiro método é indicado no contexto de instalações novas, a qual, é feito uma previsão estimada da carga em função dos equipamentos e potência instalada no projeto. Esta previsão pode ser obtida por meio de *softwares* que são capazes de fornecer os diagramas de carga em função da planta elétrica [20]. Dois exemplos de *softwares* para realização desta e várias outras funções no âmbito de engenharia elétrica são o *AutoDesk AutoCAD* e o *AltoQI Lumine*. Neste trabalho, será utilizado o AutoCAD.

O segundo método é indicado no contexto de instalações existentes, a qual é feito uma análise do consumo anual de energia baseado no Histórico de Consumo fornecido nas contas de energia [20].

Neste projeto será analisado e avaliado a demanda e a carga utilizadas levando em consideração o método 2 (consumo de energia), e o que é necessário para viabilizar o projeto em todo o prédio.

3.4. Materiais de instalação e ferramentas computacionais

Foi feito um estudo detalhado dos materiais necessários para o projeto. É importante estudar as plantas baixas do local, bem como plantas elétricas para determinação dos mesmos.

O uso de *softwares* para auxiliar no dimensionamento do projeto é de extrema importância. Foi necessário apenas a utilização do *software* AutoCAD para visualização das plantas do local, e optou-se pelo *software* RADIASOL 2 para processamento de dados meteorológicos.

Além disso, foi utilizado o Simulador Solar da AISol Energias Renováveis para verificar a equivalência de economia do projeto quando correlacionado a emissão de CO₂ e ao plantio de árvores.

Por fim, foi utilizado o simulador da Portal Solar, afim de equiparar os resultados obtidos no projeto com os valores de mercado.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos durante o projeto, assim como, os principais dados e configurações escolhidas. Será mostrado uma avaliação do recurso solar para o prédio na cidade de Patos de Minas, além disso, será mostrado o levantamento de carga e demanda realizado, a quantificação e configuração dos painéis, e por fim, será feita a escolha dos principais equipamentos.

4.1. Avaliação do Recurso Solar

Nesta seção é feita avaliação do recurso solar em função do direcionamento e inclinação do telhado, e em função da análise de sombreamento do mesmo. Utilizando o *software* RADIASOL 2 é calculado a irradiação média por dia em Patos de Minas, ou seja, a HSP.

4.1.1. Direcionamento e Inclinação do Telhado

Para os continentes localizados no hemisfério sul, tem-se que o desvio ao azimute solar esteja direcionado ao norte geográfico, ou seja, um sistema fotovoltaico apontado para o norte irá possuir melhor eficiência, tendo em vista que, faz um maior aproveitamento da irradiação solar. Além disso, estudos comprovam que para aprimorar a instalação dos painéis, estes devem seguir a inclinação referente a latitude do local [22].

O prédio da MJ possui telhado plano, este tipo de telhado caracteriza-se por uma fácil instalação, à curto prazo isto não ocasionaria grandes perdas para o sistema. Porém, à longo prazo, este tipo de telhado encontra-se mais susceptível ao acúmulo de sujeira. Este fator, pode chegar a ocasionar perdas com cerca de 20% no sistema.

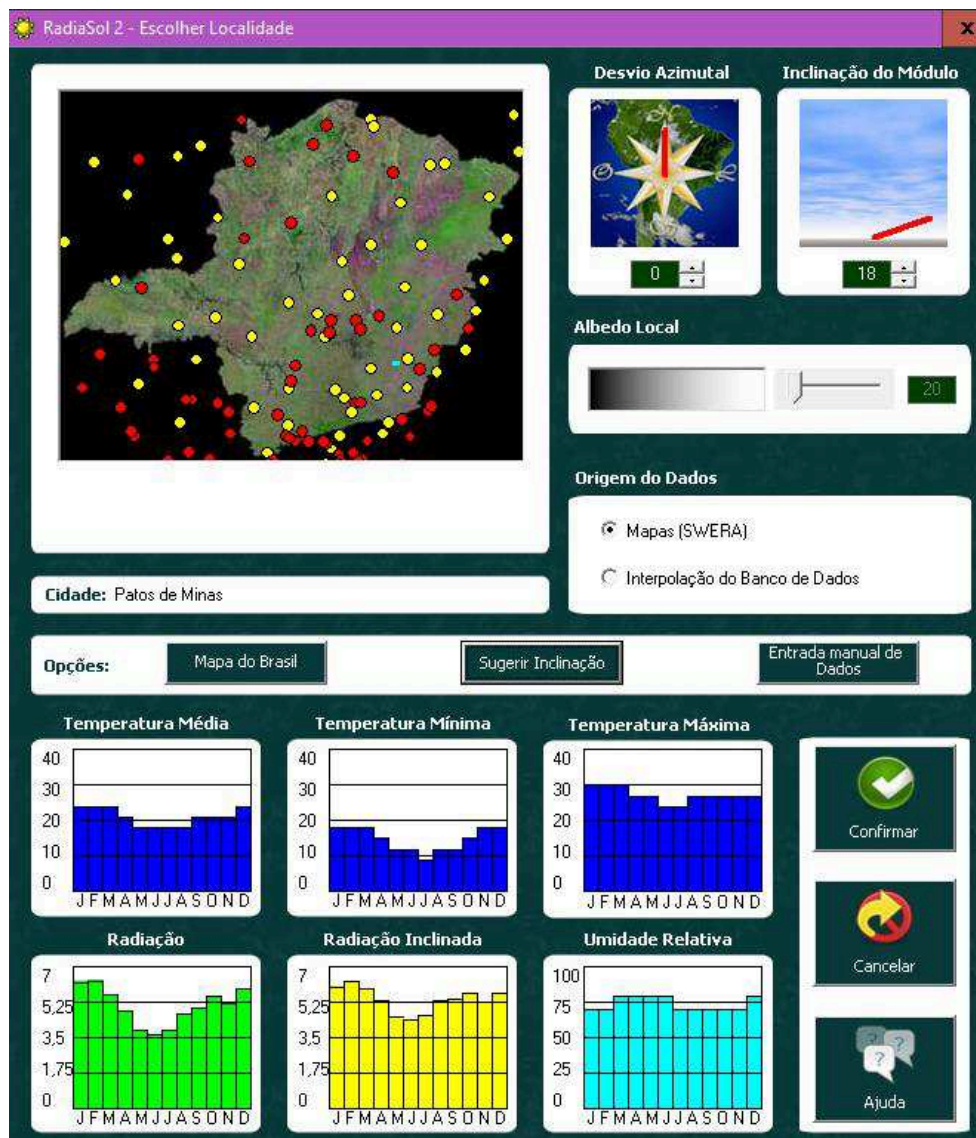
Portanto, define-se que para este projeto os painéis serão instalados considerando as condições ideais e indicadas, direcionados ao norte geográfico e com inclinação de 18°. Esta inclinação pode ser obtida com o auxílio de suportes e estruturas de fixação.

4.1.2. Horas de Sol Pico Solar (ESP)

O cálculo da ESP foi feito utilizando o *software* RADIASOL 2, o mesmo é capaz de medir e gerar gráficos relacionando a irradiância em função dos meses do ano.

A Figura 15 foi retirada da interface principal do *software*, onde é possível escolher a cidade a qual deseja-se analisar (tanto pelo mapa geográfico, quanto por coordenadas). Nesta interface é possível alterar os dados do azimute e a inclinação dos módulos, como definido na seção anterior, a direção do azimute foi ajustada em 0° (norte) e inclinação dos painéis em 18° . Além disso, também é possível analisar gráficos de temperatura e de umidade relativa.

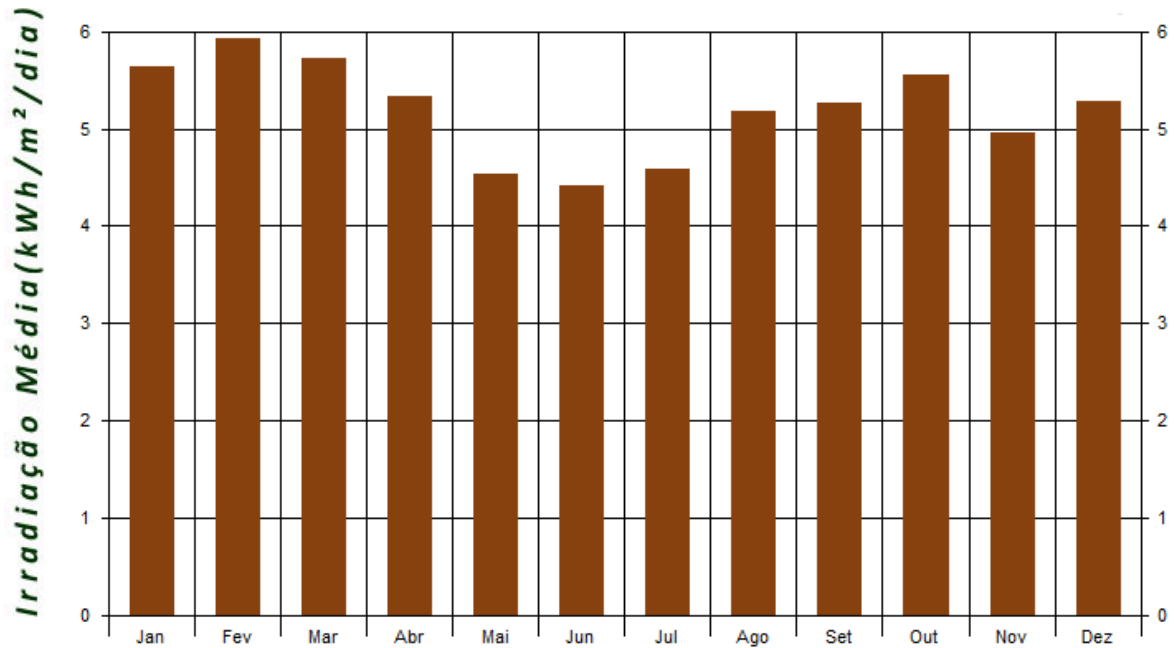
Figura 15 – Interface principal RADIASOL 2



Fonte: RADIASOL 2.

A Figura 16 é um gráfico retirado do *software*, o qual, mostra a relação de irradiação média diária em relação aos meses do ano. Por meio deste gráfico e do Quadro 3 é possível concluir que para a cidade de Patos de Minas, tem uma HSP média anual de 5,2. Sendo que, nos meses de maio e junho detectou-se os menores índices.

Figura 16 – Radiação Solar mensal



Fonte: RADIASOL 2.

O Quadro 3 também é composto de dados retirados do *software*, neste pode-se analisar mais detalhadamente os respectivos valores fornecidos no gráfico da Figura 15, sendo possível através dos dados, calcular de forma exata a média de radiação solar anual.

Quadro 3 – Radiância Solar média anual.

| Mês | Inclinada |
|--------------|------------------|
| Jan | 5,63 |
| Fev | 5,92 |
| Mar | 5,73 |
| Abr | 5,34 |
| Mai | 4,51 |
| Jun | 4,41 |
| Jul | 4,59 |
| Ago | 5,18 |
| Set | 5,26 |
| Out | 5,56 |
| Nov | 4,96 |
| Dez | 5,27 |
| MÉDIA | 5,20 |

Fonte: Dados retirados do *software* RADIASOL 2.

Assim como mostrado na Figura 14, um nível de irradiância média de aproximadamente 5,2 HSP equivale a uma média para dias ensolarados, gerando uma condição satisfatória.

4.2. Levantamento de Carga e Demanda

Como mostrado no Capítulo 3, na seção 3.3.3, o levantamento de carga e demanda para este projeto pode ser feito de duas formas:

- Método 1: Previsão estimada em função dos equipamentos (por meio da planta elétrica do local);
- Método 2: Análise do consumo de energia.

No primeiro método (por análise da planta elétrica) foi utilizado o *software* AutoCAD para ter acesso à planta. Neste caso, as plantas do local forneciam o quadro de demanda e carga instalada por andar e, não foi necessário gerá-lo. A Tabela 2 mostra um resumo desse levantamento.

Tabela 2 – Relação de carga e demanda no prédio MJ.

| Potência (VA) | | |
|----------------------|----------------|------------------|
| Nº do Andar | Demanda | Instalado |
| 1º | 29520 | 49200 |
| 2º | 72550 | 145100 |
| 3º | 32730 | 65460 |
| 4º | 30600 | 61200 |
| 5º | 36300 | 72600 |
| 6º | 9600 | 16000 |
| Total | 211300 | 409560 |

Fonte: Dados retirados das plantas elétricas originais.

Para este projeto será utilizado como análise de dimensionamento o segundo método (consumo de energia). O mesmo foi escolhido, levando em consideração sua melhor eficiência. Pois, tendo em vista que o método 1 é uma previsão do que será utilizado, não necessariamente existirá toda carga de potência instalada. Enquanto que, por meio das contas de energia tem-se o valor real do consumo.

A Tabela 3 relaciona os valores do histórico de consumo anual do prédio da MJ, referentes aos meses de abril de 2016 a março de 2017. A conta de energia utilizada para montagem desta tabela pode ser visualizada no Anexo 1.

Tabela 3 – Histórico do consumo de energia no prédio da MJ.

| Mês | Ano | Consumo kWh | Média kWh/dia | Dias de Faturamento | Médio kWh/mês |
|--------------|------------|--------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|
| Abril | 2016 | 8000 | 258,06 | 31 | 7999,86 |
| Maio | 2016 | 7520 | 242,58 | 31 | 7519,98 |
| Junho | 2016 | 6880 | 221,93 | 31 | 6879,98 |
| Julho | 2016 | 4960 | 171,03 | 29 | 4959,87 |
| Agosto | 2016 | 6080 | 190,00 | 32 | 6080,00 |
| Setembro | 2016 | 7200 | 232,25 | 31 | 7199,75 |
| Outubro | 2016 | 8560 | 276,12 | 31 | 8559,72 |
| Novembro | 2016 | 9280 | 320,00 | 29 | 9280,00 |
| Dezembro | 2016 | 8560 | 285,33 | 30 | 8559,90 |
| Janeiro | 2017 | 8320 | 260,00 | 32 | 8320,00 |
| Fevereiro | 2017 | 8000 | 266,66 | 30 | 7999,80 |
| Março | 2017 | 8080 | 278,62 | 29 | 8079,98 |
| TOTAL | | 91440 | 3002,58 | 366 | 91438,69 |

Fonte: Dados retirados da conta CEMIG – [Anexo 2].

Portanto, o consumo total é obtido através do somatório do consumo mensal, ou seja, tem-se o consumo total de energia de 91438,69 \approx 91439 kWh/ano.

Ao observar a conta de energia disponibilizada no Anexo 2, tem-se que, o prédio da MJ possui fornecimento de energia para sistema trifásico, ou seja, consumidor grupo B de baixa tensão. Com essa informação, é possível determinar o inversor a ser instalado, tendo em vista que, existem diferentes inversores para cada tipo de sistema.

De acordo com a resolução normativa nº697/2015 (a qual, revisou a resolução de 2012) tem-se que, para unidades do grupo B deverá ser pago o valor equivalente em reais a 30 kWh para sistemas monofásicos, 50 kWh para bifásicos e 100 kWh para trifásicos [21]. Ou seja, para o caso do prédio da MJ, mesmo que a energia gerada e injetada na rede seja superior ao consumo, o pagamento referente a 100 kWh deve ser realizado.

Portanto, para realizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico, deve-se subtrair a energia mínima para sistema trifásico, em relação a quantidade de energia consumida ao mês, obtendo-se assim o valor relativo a energia compensável [22]. Logo:

$$E_{compensável} = E_{consumo} \text{ kWh/mês} - \text{Tarifa kWh} \quad (\text{Equação 1})$$

Sabendo que o valor médio do consumo anual é de 91439 kWh/ano, obtém-se o valor médio do consumo mensal de 7620 \approx 8000 kWh/mês. Ao substituir na Equação 1, tem-se:

$$E_{compensável} = 8000 \text{ kWh/mês} - 100 \text{ kWh} = 7900 \text{ kWh/mês}$$

O Quadro 4 mostra a relação de valores para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, referente ao consumo anual, mensal e diário. Essa tabela foi feita afim de facilitar a visualização do leitor para os cálculos subsequentes.

Quadro 4 – Relação do consumo de energia.

| Energia Compensável | kWh |
|--------------------------------|------------|
| Anual | 91439 |
| Mensal | 8000 |
| Diária | 251 |

Fonte: A autora.

A partir dos dados disponibilizados na Tabela 4, pode-se dizer portanto, que a potência mínima para o consumo diário (E_p) é equivalente a 251 kWh/dia

4.3. Potência Mínima do Sistema (P)

A potência mínima do sistema é definida como sendo a menor potência necessária para que o prédio funcione de forma autônoma, ou seja, sem consumir a energia da distribuidora.

Embora, assim como dito anteriormente, um sistema autônomo seja inviável para a atual situação do prédio, o qual, funciona como laboratórios para a UFU e necessita de equipamentos ligados durante o dia e a noite. É de comum interesse para o comprador do projeto, utilizar o mínimo da energia da distribuidora possível.

Porém, o cálculo da potência mínima é feito para facilitar posteriormente o dimensionamento do número de módulos a serem utilizados. Pode ser obtido através da relação entre a potência mínima de consumo (E_p) e a quantidade de horas de pico solar, assim como mostrado na equação 2.

$$P = \frac{E_p}{HSP}$$

$$P = \frac{251}{5,2}$$

$$P = 48 \text{ kW/dia}$$

4.4. Escolha dos Equipamentos

Nesta seção é apresentado os principais equipamentos a serem utilizados e suas especificações. Serão definidos os módulos fotovoltaicos, o inversor e o relógio bidirecional respectivamente. Todos equipamentos escolhidos estão na lista do INMETRO [22].

4.4.1. Módulos Fotovoltaicos

Afim de escolher o melhor painel a atender as condições de custo/benefício para o projeto, foi feito um levantamento das principais marcas do mercado. Foram avaliados fatores como eficiência, resistência ao vento e a potência, os dados foram retirados de suas respectivas especificações técnicas [23]. Enquanto que para comparações de preço de mercado, foi utilizado um site de buscas na internet. A Tabela 4 faz uma comparação entre os fatores avaliados. Todos os modelos avaliados são para células monocristalinas.

Tabela 4 – Comparação de Painéis

| Marca | Modelo | Eficiência (%) | Potência (W) | Resistência (Pa) | Estimativa De Preço |
|-----------------|---------------|----------------|--------------|------------------|---------------------|
| Canadian Solar | CS6K-300MS | 19,3 | 300 | 4600 | € 250,00 |
| LG Solar | LG320N1C-G4 | 19,5 | 320 | 5400 | € 320,00 |
| Panasonic-Sanyo | VBH-N295-SJ46 | 19,1 | 295 | 2400 | € 280,00 |
| SunPower | SPR-X21-345 | 21,5 | 345 | 2400 | € 500,00 |

Fonte: A autora.

À primeira vista o painel da SunPower apresenta melhores características técnicas. Porém esta tabela de comparação visa buscar um melhor custo/benefício em relação ao equipamento. Portanto, foi definido que será utilizado o painel da Canadian Solar, por possuir um menor custo e especificações semelhantes ao da SunPower. As especificações técnicas deste painel podem ser visualizadas no Anexo 2 deste relatório. A Figura 17 mostra o painel da Canadian escolhido.

Figura 17 – Demonstração do Painel da CanadianSolar



Fonte: Retirado do Anexo 2.

4.4.2. Inversor

Assim como citado na seção 2.7.1.3 a função de um inversor é converter a energia elétrica gerada em corrente contínua para corrente alternada. Além disso, o inversor também deve assegurar a segurança do sistema, medindo a energia produzida pelos painéis e garantir os requisitos da rede (tensão trifásica e frequência). Ao escolher um inversor existem duas principais características que devem ser levadas em consideração, a eficiência e a procedência do mesmo. A escolha do inversor foi feita visando uma expansão futura, ou seja, ele deve possuir uma potência superior a capacidade do sistema.

O inversor escolhido para este projeto é um *grid-tie* é também da marca Canadian Solar, uma empresa canadense considerada top 3 no *ranking* mundial de soluções fotovoltaicas [24]. Portanto, assegura a característica de verificar a procedência do fabricante, visando prevenir futuros problemas com o mesmo. Além disso, possui uma eficiência de 98,8%, considerada alta, atendendo a segunda característica considerada de caráter determinante.

A Figura 18 mostra o equipamento escolhido, suas especificações técnicas podem ser visualizadas no Anexo 3 deste projeto. Vendido no Brasil possui uma faixa de preço de aproximadamente 33 mil reais.

Figura 18 – Inversor trifásico Canadian Solar



Fonte: Retirado do Anexo 3.

A Tabela 5 mostra as principais especificações técnicas deste inversor. Possui 4 pontos de máxima potência (MPPT) e 12 entradas de monitoramento. O MPPT é capaz de transformar a energia variável que chega ao inversor na melhor relação de corrente e tensão, melhorando seu funcionamento e eficiência [25].

Tabela 5 – Principais especificações técnicas do inversor da Canadian Solar

| GRANDEZA | VALOR |
|----------------------------------|------------------|
| ENTRADA CC | |
| Potência máxima de entrada | 58kW |
| Tensão máxima de entrada | 1100V |
| Faixa de tensão | 439-850V |
| Corrente máxima de entrada | 178 ^a |
| Nº de entradas CC | 12 |
| Nº de MPPT | 4 |
| ENTRADA CA | |
| Potência máxima nominal de saída | 55kW |
| Tensão de saída nominal | 380-400 V AC |
| Faixa de tensão de saída | 304-460 V AC |
| Corrente de saída nominal | 72,2 A |
| Eficiência | 98,8% |

Fonte: Anexo 3

4.4.3. Relógio Bidirecional

O relógio bidirecional registra a energia recebida da distribuidora e a energia solar injetada na rede elétrica. O medidor escolhido foi o de alta precisão trifásico da Fronius. A Figura 19 mostra o medidor escolhido, suas especificações técnicas podem ser visualizadas no Anexo 4. Sua faixa de preço é de aproximadamente 2 mil reais.

Figura 19 – Medidor Bidirecional da Fronius



Fonte: Retirado do Anexo 4.

A Tabela 6 mostra as principais especificações técnicas do relógio bidirecional. Este relógio possui uma visão clara do consumo de energia no painel, além de possuir uma interface direta ao inversor, com um *display* LCD.

4.5. Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos

Como visto na seção 4.3, a potência mínima para o sistema calculado foi de 48kW/dia. Para obter a quantidade mínima de módulos faz a divisão da potência mínima de geração (P) em relação a potência compensada do módulo (P_{cm}). Este cálculo mostra aproximadamente a capacidade que a edificação deve ter para que seja possível manter-se autônoma, ou seja, independente da rede pública.

O cálculo de P_{cm} é feito na subseção seguinte e por fim é determinado o número de módulos para o projeto.

4.5.1. Compensação da potência do módulo (P_{cm})

A compensação do módulo faz-se necessário devido a temperatura ambiente de Patos de Minas ser diferente da temperatura utilizada para obter os dados da folha de especificações. Ou seja, com isso tem-se um dimensionamento mais eficaz para o projeto. A temperatura utilizada na folha de especificações é de 25°C, enquanto que para obter a temperatura ambiente

máxima de Patos de Minas, consultou-se o banco do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e encontrou-se uma temperatura de 29°C [26].

Na folha de especificações mostrada no Anexo B, tem-se um coeficiente de -0.39%/°C para realizar a compensação de temperatura e uma potência máxima nominal de 300W.

Tem-se uma diferença de 4°C entre as temperaturas. Se é compensado -0,39% para cada grau Celsius, então para 4°C tem-se um fator de compensação de -1,56%. Portanto, para uma potência nominal de 300W, será utilizada uma potência compensada (P_{cm}) de 295W.

4.5.2. Quantidade e Área dos Módulos

$$P = 48 \times 10^3 W$$

$$P_{cm} = 295 W$$

$$N = \frac{P}{P_{cm}} \cong 162 \text{ módulos}$$

Sendo:

P = Potência mínima de geração diária;

P_{cm} = Potência nominal compensada;

N = Quantidade de módulos necessários.

Portanto, para que o sistema funcione de forma autônoma no prédio da MJ, necessita-se de aproximadamente 162 módulos fotovoltaicos. Valor este projetado para o módulo da Canadian Solar.

Nas especificações mostradas no Anexo 2, cada painel tem 1,63 m². Portanto, para a instalação dos módulos, necessita-se de uma área estimada de 266 m².

Utilizando as plantas elétricas do prédio e, com o auxílio do *software* AutoCAD, obteve-se uma área útil de 300m² para o telhado. Portanto, teoricamente a instalação do sistema seria viável. Porém, outros fatores devem ser levados em consideração, como a área das estruturas, a área necessária para manutenção, entre outras. Neste caso, conclui-se que a instalação pode ser feita com um menor número de módulos, de forma a atender a capacidade do telhado e a necessidade da Universidade.

4.5.3. Associação dos módulos

Para este projeto a associação dos módulos será feita série-paralela, assim como descrito na seção 2.1.7.2, este tipo de associação é comum para projetos conectados à rede. Pois, deseja-se atingir o valor de tensão nominal do sistema (soma das tensões), e potência do projeto (fazendo a soma das correntes).

4.6. Levantamento Financeiro

Neste tópico foi feito uma pesquisa de mercado para fazer um levantamento aproximado do custo deste projeto, os orçamentos foram feitos nas lojas e sites das marcas escolhidas. A Tabela 6 mostra o resultado desse levantamento.

Tabela 6 - Levantamento Financeiro do Sistema

| EQUIPAMENTO | QTD. | VALOR UNITÁRIO | SUB TOTAL |
|-----------------------------|-------------|-----------------------|-------------------|
| Módulo | 162 | R\$ 1.100,00 | R\$ 178.200,00 |
| Inversor | 1 | R\$ 33.000,00 | R\$ 33.000,00 |
| Relógio Bidirecional | 1 | R\$ 2.000,00 | R\$ 2.000,00 |
| Estrutura | 162 | R\$ 250,00 | R\$ 40.500,00 |
| Total = R\$ | | | 253.700,00 |

Fonte: A Autora.

O dimensionamento do custo estrutural foi feito com embasamento no catálogo da Romagnole [27], para suportes de lajes triangulares com inclinação de até 25°.

Para dimensionar o custo da instalação e homologação do projeto, seria necessário entrar em contato com empresas que instalam projeto de minirredes em edifícios. Porém, tais empresas não fazem orçamento mediante mão de obra, e sim para todo o projeto. Como alternativa, encontrou-se um levantamento feito pela Portal Solar em julho de 2018, a qual, conseguiu orçar o projeto completo em 4.500 empresas de energia solar fotovoltaica. A pesquisa faz uma média entre os valores fornecidos pelas empresas em relação a potência demandada do sistema.

Para sistemas entre 75.000 e 90.000 kWp (demanda deste projeto) o projeto completo varia no valor de R\$ 300.000,00. Portanto, neste contexto, seria possível atribuir um valor aproximado de instalação de R\$ 50.000,00 para o levantamento mostrado na Tabela 6.

Ao tomar como referência uma conta de energia de novembro de 2018, tem-se um valor cobrado de 0,95 no kWh. Sem adicionar tarifas e valores cobrados relativo a bandeira, em 1 ano a Universidade iria gastar aproximadamente R\$ 86.000,00 em energia proveniente da distribuidora, ou seja, com a implementação do projeto em aproximadamente 4 anos o custo de implantação seria estornado à Universidade, considerando um sistema trabalhando de forma autônoma. Ao considerar um sistema trabalhando com 50% de sua capacidade projetada, esse estorno seria feito em 8 anos.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho está proporcionando um estudo mais abrangente em relação a sistemas de energia fotovoltaicos, além do estudo de outras áreas, como conhecimento em Gerenciamento de projetos.

É perceptível que são muitos os benefícios ao utilizar energia fotovoltaica voltada para edificações. Essa tecnologia mostra-se vantajosa em relação a questões ambientais e econômicas. Porém, é notório que o incentivo das regulamentações é imprescindível para aumentar cada vez mais a evolução das energias limpas e renováveis.

O objetivo deste trabalho foi fazer um estudo para a implementação de energia fotovoltaica para o prédio de laboratórios da UFU em Patos de Minas, buscando avaliar sua implementação e benefícios da utilização do mesmo. O objetivo foi alcançado, e durante o projeto foi possível aprofundar os conhecimentos de projeto para edificações e minirredes.

Para melhor comparar os dados obtidos no projeto foi utilizado o simulador solar da empresa Portal Solar [27]. Neste simulador é possível obter quantidades de módulos e fazer uma estimativa de custo e potência instalada. Para um mesmo consumo (90.000kwh/ano) foram sugeridos uma instalação de 180 painéis, e um custo de R\$ 225.650,00. Ambos valores condizem com os resultados obtidos neste estudo.

Além disso, como objetivo fundamental era buscar alternativas para utilização de energia limpa e renovável, utilizou o simulador on-line da AISol Energias Renováveis para verificar a equivalência de economia do projeto quando correlacionado a emissão de CO₂ e ao plantio de árvores [28]. Ao simular os mesmos dados do projeto obteve-se uma representação equivalente a 400 árvores plantadas e a evitar a emissão de 49,08 de CO₂ por ano.

Para projetos futuros, um possível investimento seria no novo *Campus* da UFU – Patos de Minas, localizado na região dos 30 paus, que poderá contar não só com um sistema fotovoltaico que vise a sustentabilidade energética, mas também com um projeto focado em questões ambientais.

Além disso, outro possível estudo seria em relação a proteção contra descargas atmosféricas (SPDA). É recomendável que ambos os sistemas sejam analisados, e que um não interfiram no funcionamento do outro.

Por fim, outra sugestão seria na implementação de uma Fazenda Solar, uma iniciativa de caráter inovadora para região.

REFERÊNCIAS

- [1] SOUZA, Ronilson. Livro Digital: **Introdução a sistemas de energia solar fotovoltaica**. Grupo de Trabalho Blue Sol. Disponível em: <www.blue-sol.com>. Acesso em: set 2017
- [2] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasil registra recorde anual de nova capacidade instalada de geração. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: set 2017
- [3] REVISTA EXAME ONLINE. Conta de luz fica mais cara a partir de outubro. Exame, 2017. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br>>. Acesso em: out 2017
- [4] REVISTA EXAME ONLINE. Solar e eólica vão ‘eclipsar’ hidrelétricas no Brasil. Exame, 2017. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br>>. Acesso em: out 2017
- [5] CRESESB – CEPEL; GTES – Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Coleção Tópicos de Atualização em Equipamentos Elétricos. Rio de Janeiro, 2014.
- [6] CRESESB – CEPEL; GTES – Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Energia Solar Princípios e Aplicações**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: out 2017
- [7] IRENA – *International Renewable Energy Agency*. **Letting in the Light: How Solar PV will revolutionise the electricity system**. Abu Dhabi, 2016.
- [8] Solar Cookers International. *Horace de Saussure and his hot boxes of the 1700's*. Disponível em: <<http://solarcooking.org/saussure.htm>>. Acesso em: nov.2017.
- [9] CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. **Atlas Solarimétrico de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2012.
- [10] **Proceedings of the London Mathematical Society**. Volume s2_14, Issue 1, 1 janeiro 1915, Páginas xxxv–xxvi. Disponível em: <https://doi.org/10.1112/plms/s2_14.1.xxxv> Acesso em: nov. 2017.
- [11] *History Commons*. **Profile: Clarence Kemp**. Disponível em: <<http://www.historycommons.org>>. Acesso em nov. 2017.

- [12] GREENPRO projeto; ALTENER programa. Energia Fotovoltaica – **Manual sobre tecnologias, projeto e instalação**. Parte integrante da coleção de volumes técnicos. Portugal, 2004.
- [13] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 786, de 17 de outubro de 2017. Dispõe de alteração atual na Resolução Normativa nº 482, 2012.
- [14] CERNE - Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia. **CERNE lança cadastro de terras com potencial eólico ou solar**. Disponível em: <<http://cerne.org.br>>. Acesso em: nov. 2017.
- [15] IEA – *International Energy Agency*. **Solar Photovoltaic Energy**. Publicação OECD. Paris, 2010.
- [16] CECATTO, Roberto. **O Sol**. Parte integrante da coleção de volumes. São Paulo, 2009.
- [17] Solarterra – Soluções em Energia Alternativa. Guia prático *online*: Energia Solar Fotovoltaica. São Paulo, 2016.
- [18] LABSOL – Laboratório de Energia Solar. **RADIASOL 2: Software para geração de dados horários de radiação solar**. Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/>>. Acesso em: nov.2017.
- [19] GOOGLE – Google Earth. Versão *Online*. **Rua Major Jeronimo, 566**. Patos de Minas, 2017. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-PT/earth/>>. Acesso em: nov. 2017.
- [20] OAK ENERGIA – “Fatores que influenciam em um projeto fotovoltaico”. Disponível em: <<http://www.oakenergia.com.br/fatores-que-interferem-em-um-projeto-fotovoltaico/>>. Acesso em: out. 2018.
- [21] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2018. Dispõe de alteração atual na Resolução Normativa nº 482, 2012.
- [22] Modelos de equipamentos fotovoltaicos etiquetados pelo INMETRO. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/sistema-fotovoltaico.asp>> Acesso em: out. 2018.

[23] As melhores marcas de painéis solares. Disponível em: <<https://www.mpptsolar.com/pt/melhores-marcas-de-paineis-solares.html>>. Acesso em: nov. 2018.


[24] “ *The top Solar Panel Manufactures in the USA*”. Disponível em: <<https://news.energysage.com/best-solar-panel-manufacturers-usa/>>. Acesso em: nov. 2018.

[25] MPPT – Seguidor do Ponto de Máxima Potência – Eficiência Energética. Disponível em: <<https://energiasolar-microgr.com.br/inversores/mppt/>>. Acesso em: nov. 2018.

[26] Normais Climatológicas do Brasil, Temperaturas Máximas, INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: nov.2018.

[27] Estruturas para painéis Fotovoltaicos. Romagnole. Disponível em: <www.romagnole.com.br>. Acesso em: dez. 2018.

ANEXO 1 – Conta de energia


www.cemig.com.br/atendimento
Call Center 0800 728 3838
File.com.br/Cemig1440

Cemig Distribuição S.A. CNPJ 06.951.180/0001-15 / Ins. Estadual 062.322136.0097
 Av. Barbacena, 1.200 - 17º andar - Ala A1 - CEP 30190-131 - Belo Horizonte - MG

Tarifa Social de Energia Elétrica - TSEE foi criada pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002

LABORATORIO DA UFU
 RUA MAJOR JERONIMO 566 CO
 CENTRO
 38700-002 PATOS DE MINAS, MG
 CNPJ 18.602.011/0001-07

Referente a
MAR/2017
 Código de Débito Automático:
000039332598

Nº DO CLIENTE
7000026512

NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE U Nº 000038194 - PTA Nº16.000114527.70

| Classe | Subclasse | Datas de Leitura | | | Datas da Nota Fiscal | | Nº DA INSTALAÇÃO |
|----------------------------|----------------------------|-------------------|----------------|------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|
| Poder Público Trifásica | Poder Público Municipal | ANTERIOR 01/02 | ATUAL 02/03 | PRÓXIMA 01/04 | EMISSÃO 02/03 | APRESENTAÇÃO 06/04 | 3012059014 |

| Informações Técnicas | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------|--|
| Tipo de Medição Energia kWh | Medição BAB141001120 | Letura Anterior 1.454 | Letura Atual 1.555 | Constante de Multiplicação 80 | Consumo kWh 8.080 | |

Informações Gerais

Tarifa vigente conforme Res Aneel nº 2.076, de 24/05/2016. O pagamento desta conta não quita débitos anteriores. Para estes, estão sujeitas penalidades legais vigentes (multas) e/ou atualização financeira (juros) baseadas no vencimento das mesmas.
 Leitura realizada conforme calendário de faturamento

FEV/2017 Band. Verde - MAR/2017 Band. Amarela

Valores Faturados

| Descrição | Quantidade | Preço | Valor (R\$) |
|---|------------|------------|-------------|
| Energia Elétrica kWh | 8.080 | 0,70617782 | 5.705,90 |
| Tarifas aplicadas (sem impostos) | | | |
| Energia Elétrica kWh | | 0,53259631 | |
| Adicional Bandeiras - Já incluído no Valor a Pagar | | | |
| Bandeira Amarela | | | 14,78 |

| Indicadores de Qualidade de Fornecimento | | | | |
|---|---------------------|--------|------------|-------|
| Patos de Minas 1 | | | | |
| Mês: 01/2017 | | | | |
| | Apresentação Mensal | Mensal | Trimestral | Anual |
| DIC | 0,00 | 4,95 | 9,91 | 15,82 |
| FSC | 0,00 | 3,17 | 6,35 | 12,70 |
| DMIC | 0,00 | 2,71 | - | - |
| DICRI | 0,00 | 12,22 | - | - |
| Tensão: Nominal=127/220 V Min.=117/202 V Mês.=133/231 V | | | | |
| Valor Encargo Uso Sist. Distribuição: R\$2.317,03 | | | | |

| Informações de Faturamento | | | | |
|----------------------------|-----------|-------|-------------|-----------|
| Parâmetro | Valor R\$ | % | Parâmetro | Valor R\$ |
| Energia | 1.572,45 | 27,56 | Enc. Social | 985,74 |
| Distribuição | 1.308,97 | 22,93 | Tributos | 1.402,50 |
| Transmissão | 109,39 | 1,92 | Totais | 5.705,90 |
| Perdas | 326,84 | 5,73 | | |


| | |
|--|---|
| VENCIMENTO 27/04/2017 | VALOR A PAGAR R\$ 5.705,90 |
|--|---|

| | |
|---|--|
| Reservado ao Fisco | |
| 1407.91E5.E385.7B69.F6FE.109E.EF5C.514B | |

| <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Base de cálculo (R\$)</th> <th>ICMS Aliquota (%)</th> <th>Valor (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5.705,90</td> <td>18</td> <td>1.027,06</td> </tr> </tbody> </table> | Base de cálculo (R\$) | ICMS Aliquota (%) | Valor (R\$) | 5.705,90 | 18 | 1.027,06 | <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">PASEP (R\$)</td> <td style="text-align: center;">COFINS (R\$)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">66,18</td> <td style="text-align: center;">309,26</td> </tr> </table> | PASEP (R\$) | COFINS (R\$) | 66,18 | 309,26 |
|---|-----------------------|-------------------|-------------|----------|----|----------|--|--------------------|---------------------|-------|--------|
| Base de cálculo (R\$) | ICMS Aliquota (%) | Valor (R\$) | | | | | | | | | |
| 5.705,90 | 18 | 1.027,06 | | | | | | | | | |
| PASEP (R\$) | COFINS (R\$) | | | | | | | | | | |
| 66,18 | 309,26 | | | | | | | | | | |

| Histórico do Consumo | | | |
|----------------------|-------------|---------------|---------------------|
| Mês/Ano | Consumo kWh | Média kWh/Dia | Dias de Faturamento |
| MAR/17 | 8.080 | 278,62 | 29 |
| FEV/17 | 8.000 | 265,66 | 30 |
| JAN/17 | 8.320 | 260,00 | 32 |
| DEZ/16 | 8.560 | 265,33 | 30 |
| NOV/16 | 9.280 | 320,00 | 29 |
| OUT/16 | 8.560 | 276,12 | 31 |
| SET/16 | 7.200 | 232,25 | 31 |
| AGO/16 | 8.080 | 190,00 | 32 |
| JUL/16 | 4.960 | 171,03 | 29 |
| JUN/16 | 6.880 | 221,93 | 31 |
| MAI/16 | 7.520 | 242,58 | 31 |
| ABR/16 | 8.000 | 258,06 | 31 |
| MAR/16 | 7.040 | 242,75 | 29 |

Ovidório CEMIG: 0800 728 3838 - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - 167 - Ligação gratuita de telefones fixos e tarifada na origem para telefones celulares.

| | | | | |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|---|
|  Distribuição S.A. | Unidade de Leitura 01520114 | Conta Contrato 000039332598 | Vencimento 27/04/2017 | Total a Pagar R\$ 5.705,90 |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|---|

Março/2017

ANEXO 2 – Folha de Especificações Técnicas do módulo solar da CanadianSolar, referente ao modelo CS6K







*Black frame product can be provided upon request.

SUPERPOWER CS6K-290 | 295 | 300MS

Canadian Solar's new SuperPower modules with Mono-PERC cells significantly improve efficiency and reliability. The innovative technology offers superior low irradiance performance in the morning, in the evening and on cloudy days, increasing the energy output of the module and the overall yield of the solar system.

KEY FEATURES

-  11 % more power than conventional modules
-  Excellent performance at low irradiance of up to 97.5 %
-  High PTC rating of up to 91.87 %
-  Improved energy production due to low temperature coefficients
-  IP67 junction box for long-term weather endurance
-  Heavy snow load up to 6000 Pa, wind load up to 4000 Pa +

25

linear power output warranty

10

product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
 ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
 OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: TÜV-Rheinland / VDE / CE / MCS / CEC AU / JET
 UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)
 UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE
 UNE 9177 Reaction to Fire: Class 1
 IEC 60068-2-68: SGS
 Take-e-way



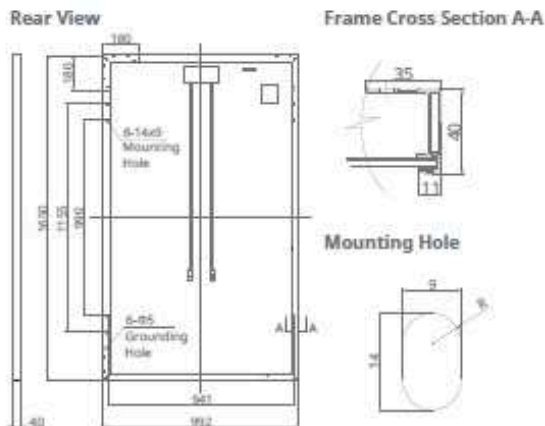
* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 17 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

*For detail information, please refer to Installation Manual.

CANADIAN SOLAR INC.
 545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



ELECTRICAL DATA | STC*

| CS6K | 290MS | 295MS | 300MS |
|------------------------------|---|---------|---------|
| Nominal Max. Power (Pmax) | 290 W | 295 W | 300 W |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 32.1 V | 32.3 V | 32.5 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 9.05 A | 9.14 A | 9.24 A |
| Open Circuit Voltage (Voc) | 39.3 V | 39.5 V | 39.7 V |
| Short Circuit Current (Isc) | 9.67 A | 9.75 A | 9.83 A |
| Module Efficiency | 17.72 % | 18.02 % | 18.33 % |
| Operating Temperature | -40°C ~ +85°C | | |
| Max. System Voltage | 1000 V (IEC) or 1000 V (UL) | | |
| Module Fire Performance | TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730) | | |
| Max. Series Fuse Rating | 15 A | | |
| Application Classification | Class A | | |
| Power Tolerance | 0 ~ + 5 W | | |

* Under Standard Test Conditions (STC) of Irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NOCT*

| CS6K | 290MS | 295MS | 300MS |
|------------------------------|--------|--------|--------|
| Nominal Max. Power (Pmax) | 210 W | 213 W | 216 W |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 29.0 V | 29.2 V | 29.4 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 7.25 A | 7.30 A | 7.35 A |
| Open Circuit Voltage (Voc) | 36.2 V | 36.4 V | 36.6 V |
| Short Circuit Current (Isc) | 7.74 A | 7.83 A | 7.92 A |

* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), Irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

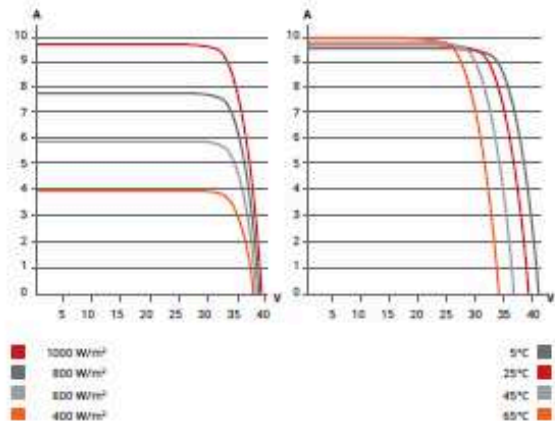
PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Excellent performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 97.5 % from irradiances, between 1000 W/m² and 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

CS6K-295MS / I-V CURVES



MECHANICAL DATA

| Specification | Data |
|------------------------|---|
| Cell Type | Mono-crystalline, 6 inch |
| Cell Arrangement | 60 (6×10) |
| Dimensions | 1650×992×40 mm (65.0×39.1×1.57 in) |
| Weight | 18.2 kg (40.1 lbs) |
| Front Cover | 3.2 mm tempered glass |
| Frame Material | Anodized aluminium alloy |
| J-Box | IP67, 3 diodes |
| Cable | 4 mm ² (IEC) or 4 mm ² & 12 AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in) |
| Connector | T4 series or PV2 series |
| Per Pallet | 26 pieces, 520 kg (1146.4 lbs) |
| Per container (40' HQ) | 728 pieces |

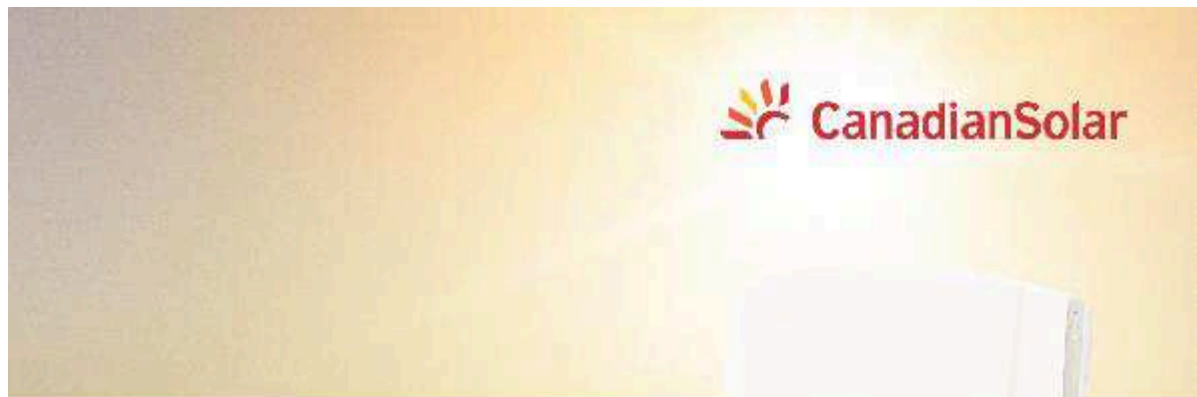
TEMPERATURE CHARACTERISTICS

| Specification | Data |
|------------------------------------|--------------|
| Temperature Coefficient (Pmax) | -0.39 % / °C |
| Temperature Coefficient (Voc) | -0.30 % / °C |
| Temperature Coefficient (Isc) | 0.053 % / °C |
| Nominal Operating Cell Temperature | 45±2 °C |

PARTNER SECTION



ANEXO 3 - Folha de Especificações Técnicas do inversor da CanadianSolar, referente ao modelo CSI-50KTL-GI



INVERSOR DE STRING TRIFÁSICO DE 40-50 KW CSI-40KTL-GI-FL | CSI-50KTL-GI

Os inversores de string sem transformador, on-grid, da Canadian Solar ajudam a acelerar o uso de arquiteturas de string trifásicas em aplicações em telhados comerciais e pequenas aplicações de solo. Uma alternativa econômica aos inversores centrais, estes inversores, aprovados pela NRTL, são blocos de design modular que oferecem alta saída e permitem economias de BoS significativas. Oferecem até 99% de eficiência de conversão, uma ampla faixa de operação entre 200 e 1000 VCC e quatro MPPTs, que maximizam a coleta de energia.

5
ANOS

Garantia padrão

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

- Eficiência máxima de 99%. Eficiência IEC máxima de 98.8%
- 4 MPPTs para uma eficiência de sistema mais elevada
- Design sem transformador
- Frequência de comutação elevada e MPPTs ultrarrápidos (<5 seg.) asseguram a máxima eficiência em uma ampla faixa de carga.

CURVA DE EFICIÊNCIA

CSI-50KTL-GI@380 Vac



Para informações detalhadas, consulte o Manual de Instalação.

ALTA CONFIABILIDADE

- Design térmico e resfriamento por convecção avançados
- Proteção contra sobrecorrente e sobretensão
- Proteção contra polaridade reversa CC e curto-circuito CA

AMPLA ADAPTABILIDADE

- Com grau IP65 para aplicações externas
- Controles interativos: Redução de potência efetiva, controle de potência reativa e redução de sobrefrequência
- Suporta até 12 entradas CC de string (3 por MPPT)
- Desconectores de carga CC nominal
- Ampla faixa MPPT que permite um dimensionamento flexível das strings

CANADIAN SOLAR (USA), INC., comprometida em fornecer produtos, serviços e soluções em sistemas solares para clientes de todo o mundo. Líder no desenvolvimento de projetor de sistemas PV e na fabricação de módulos solares, com mais de 25 GW implantados em todo o mundo, desde 2001, a Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) é uma das empresas solares mundiais de maior reputação.

CANADIAN SOLAR (USA), INC.

3000 Oak Road, Suite 400, Walnut Creek, CA 94597, USA | www.canadiansolar.com/vn | sales.us@canadiansolar.com

| DADOS TÉCNICOS/SISTEMA | | |
|---|---|-------------------------------------|
| NOME DO MODELO | CSI-40KTL-GI-FL | CSI-50KTL-GI |
| ENTRADA CC | | |
| Máx. Potência PV | 48 kW (16 kW/MPPT) | 58 kW (22,5 kW/MPPT) |
| Máx. Tensão de Entrada CC | 1100 V _{cc} | |
| Faixa de Tensão de Entrada CC de Operação | 200 - 1000 V _{cc} | |
| Tensão/Potência de Partida da Entrada CC | 200 V | |
| Número de MPPTs | 4 | |
| Faixa de Tensão de MPPT | 454 - 850 V _{cc} | 439 - 850 V _{cc} |
| Corrente de Operação (Imp) | 88 A (22 A por MPPT) | 114 A (28,5 A por MPPT) |
| Máx. Corrente de Entrada (Isc) | 137,2 A (34,3 A por MPPT) | 178 A (44,5 A por MPPT) |
| Número de Entradas CC | 8 (2 por MPPT) | 12 (3 por MPPT) |
| Tipo de Desconexão CC | Chave de Carga CC Nominal | |
| SAÍDA CA | | |
| Potência Nominal de Saída CA | 40 kW | 50 kW |
| Potência Nominal de Saída CA | 44 kW | 55 kW |
| Tensão Nominal de Saída | 380/400 V _{ca} | |
| Faixa de Tensão de Saída* | 304 - 460 V _{ca} | |
| Tipo de Conexão de rede | 3 Ø/PE | |
| Corrente Nominal CA de Saída @480 Vca | 60,8/58 A | 76/72,2 A |
| Frequência Nominal de Saída | 50/60 Hz | |
| Faixa de Frequência de Saída* | 47-52/57-62 Hz | |
| Fator de Potência | 1 padrão (±0,8 ajustável) | |
| Corrente THD | < 3 % | |
| SISTEMA | | |
| Topologia | Sem Transformador | |
| Máx. Eficiência | 98,8 % | 98,8 % |
| Eficiência CEC | 98,4% | 98,4 % |
| Consumo Noturno | < 1 W | |
| AMBIENTE | | |
| Grau de proteção | IP65 | |
| Resfriamento | Resfriamento por Convecção Natural | Resfriamento Inteligente Redundante |
| Faixa de Temperaturas de Operação | -25 ° C a +60 ° C | |
| Faixa de Temperaturas de Armazenamento | -40 ° C a +70 ° C | |
| Umidade de Operação | 0 - 100 % Condensação | |
| Altitude de Operação | 4000 m | |
| Ruído Audível | <60 dBA @ 1 m | |
| MOSTRADOR E COMUNICAÇÃO | | |
| Mostrador | LCD + LED | |
| Comunicação | Padrão: RS485 (Modbus) | |
| DADOS MECÂNICOS | | |
| Dimensões (L / A / P) | 630 x 700 x 357 mm | |
| Peso | 61 kg | 63 kg |
| Ângulo de Instalação | 90 graus em relação à horizontal | |
| Entradas CC | Compatíveis com MC4 | |
| SEGURANÇA | | |
| Segurança e Padrão EMC | IEC62109-1/-2, AS3100, EN61000-6-1, EN61000-6-3, NB/T 32004 | |
| Padrão da rede | EN50438, G59/3, AS4777, VDE0126-1-1, IEC61727 | |
| Recursos Smart-Grid | Voltage-Ride Thru, Frequency Ride Thru, Soft-Start, Volt-Var, Frequency-Watt, Volt-Watt | |

*A "Faixa de tensão de Saída" e a "Faixa da Frequência de Saída" podem variar em função do padrão da rede específico.

ANEXO 4 - Folha de Especificações Técnicas do relógio bidirecional da Fronius, referente ao modelo 50kA-3

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



FRONIUS SMART METER

/ The bidirectional meter for recording power consumption, feed-in and surplus energy in the home



/ The Fronius Smart Meter is a bidirectional meter that optimises self-consumption and records the household's load curve. Together with Fronius Solar.web, the Fronius Smart Meter presents a clear overview of power consumption. In the Fronius Energy Package storage solution, the Fronius Smart Meter provides perfectly coordinated management of the energy flows and optimises overall energy management. The Fronius Smart Meter is ideal for use with the Fronius Symo, Fronius Symo Hybrid, Fronius Galvo, Fronius Primo, Fronius Eco inverters and the Fronius Datamanager 2.0.

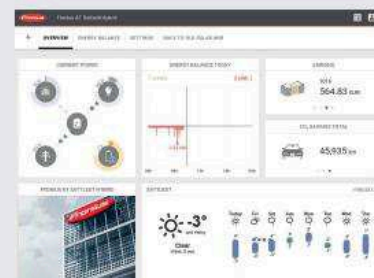
FRONIUS SMART METER

| GENERAL DATA | FRONIUS SMART METER 63A-3 | FRONIUS SMART METER 50kA-3 | FRONIUS SMART METER 63A-1 |
|--|---------------------------|---|---------------------------|
| Nominal voltage | 400 - 415 V | 400 - 415 V | 230 - 240 V |
| Maximum current | 3 x 63 A | 3 x 50,000 A | 1 x 63 A |
| Cable cross-section, power path | 1 - 16 mm ² | 0.05 - 4 mm ² | 1 - 16 mm ² |
| Cable cross-section, communication & neutral | | 0.05 - 4 mm ² | |
| Power consumption | 1.5W | 2.5W | 1.5W |
| Starting current | | 40mA | |
| Accuracy class | | 1 | |
| Active Energy Accuracy | | Class B (EN50470) | |
| Reactive Energy Accuracy | | Class 2 (EN/IEC 62053-23) | |
| Short-time overcurrent | | 30 x I _{max} / 0.5 s | |
| Installation | | Indoors (DIN rail) | |
| Housing | 4 pole DIN 43880 | 4 pole DIN 43880 | 2 pole DIN 43880 |
| Degree of protection | | IP 51 (front frame), IP 20 (terminals) | |
| Specified operating range | | -25 - +55 °C | |
| Dimensions (Height ± Width x Depth) | | 89.0 x 71.2 x 65.6 mm | 89.0 x 35.0 x 65.6 mm |
| Interface to inverter | | Modbus RTU (RS485) | |
| Display | | 8-digit LCD | 6-digit LCD |
| Voltage transformer ratio (adjustable) | N/A | 1 - 500 | N/A |
| Current transformer ratio (adjustable) | N/A | 1 - 9,999 | N/A |
| Connection for measurement (current) | Direct connect | Via current transducers (CTs) ¹⁾ | Direct connect |

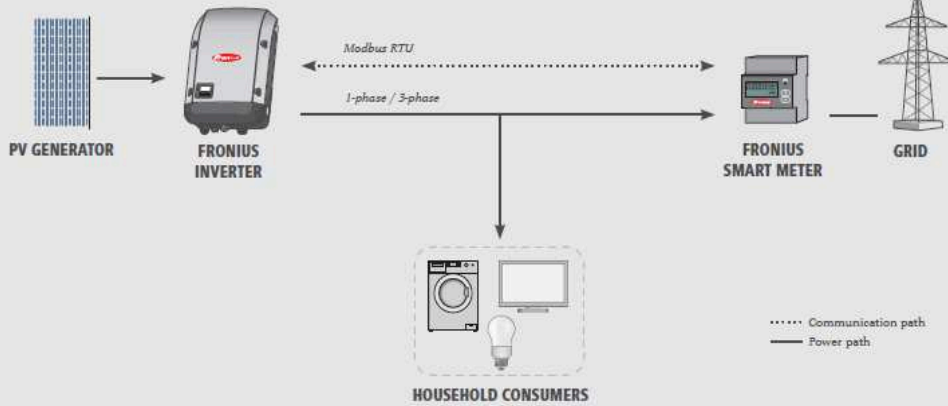
¹⁾ CTs with 5A or 1A secondary output. CTs are not included in Smart Meter. Further information about selecting suitable current sensors can be found at www.fronius.com

THE ADVANTAGES AT A GLANCE

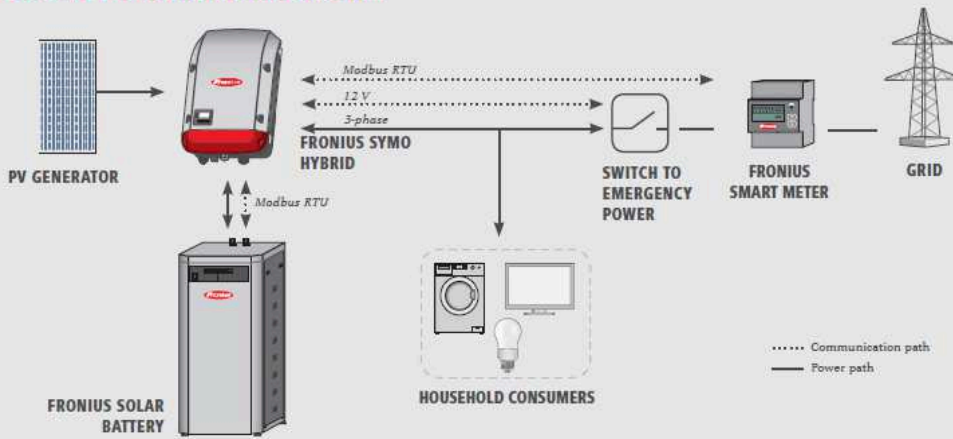
- / Fast and accurate dynamic feed-in control
- / Clear overview of power consumption, feed-in and surplus energy in Fronius Solar.web
- / Optimised energy management with the Fronius Energy Package storage solution



GRID CONNECTED CONFIGURATION DIAGRAM



GRID CONNECTED CONFIGURATION DIAGRAM



/ The Fronius Smart Meter is compatible with all inverters with an RS485 interface (Modbus RTU). The Fronius Smart Meter works in conjunction with the Fronius Datamanager 2.0 for the Fronius 1G Plus inverters. The Fronius Smart Meter can be retrofitted at any time together with the Fronius Datamanager 2.0 in inverters that have already been installed.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

WE HAVE THREE DIVISIONS AND ONE PASSION: SHIFTING THE LIMITS OF POSSIBILITY.

/ Whether welding technology, photovoltaics or battery charging technology – our goal is clearly defined: to be the innovation leader. With around 3,800 employees worldwide, we shift the limits of what's possible - our record of over 1,200 granted patents is testimony to this. While others progress step by step, we innovate in leaps and bounds. Just as we've always done. The responsible use of our resources forms the basis of our corporate policy.

Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at www.fronius.com

v07 Apr 2017 EN

Text and images correspond to the current state of technology at the time of printing. Subject to modifications. All information is without guarantee in spite of careful editing. Liability excluded. Copyright © 2011 Fronius™. All rights reserved.

