

**FACULDADE PATOS DE MINAS**  
**ENGENHARIA ELÉTRICA**

**DYLAN RUGIERY SILVEIRA ASSUNÇÃO**  
**GUSTAVO MENDES SILVA**  
**TIAGO CHAGAS BORGES**

**INVERSORES X MICRO-INVERSORES – COMPARATIVO  
TÉCNICO**

**PATOS DE MINAS**  
**2019**

**DYLAN RUGIERY SILVEIRA ASSUNÇÃO**

**GUSTAVO MENDES SILVA**

**TIAGO CHAGAS BORGES**

**INVERSORES X MICRO-INVERSORES - COMPARATIVO  
TÉCNICO**

Trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado a Faculdade Patos de Minas,  
como requisito parcial, para obtenção de  
título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Guilherme Thyago de Sousa  
Fernandes

**PATOS DE MINAS**

**2019**

**DYLAN RUGIERY SILVEIRA ASSUNÇÃO**  
**GUSTAVO MENDES SILVA**  
**TIAGO CHAGAS BORGES**

**INVERSORES X MICRO-INVERSORES - COMPARATIVO TÉCNICO**

Trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado a Faculdade Patos de Minas,  
como requisito parcial, para obtenção de  
título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Guilherme Thyago de Sousa  
Fernandes

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

---

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

---

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Patos de Minas, 06 de novembro de 2019

## RESUMO

A energia elétrica, desde que foi criada, se tornou imprescindível para a qualidade de vida da população, bem como para o desenvolvimento das cidades, e dentre as diversas fontes destinadas a sua geração, tem conquistado cada vez mais destaque, a energia solar, como uma opção renovável e que não polui e não degrada o meio ambiente. Entretanto, a concepção desse sistema é complexo, e dentre todos os seus componentes, existem os inversores e os micro inversores, que possuem basicamente as mesmas funções, de transformar a corrente contínua em corrente alternada, mas diferenciam-se pelo fato de que esse primeiro, atende o sistema em sua totalidade, enquanto o segundo, atende cada placa, de maneira individualizada. Dessa maneira, esse estudo buscou analisar a viabilidade desses dois componentes, comparando o seu desempenho em relação ao diversos aspectos e fatores. Por fim, foi possível chegar a conclusão de que os micro inversores, sobressaem-se aos inversores, agregando muitas vantagens na produção dessa energia.

**Palavras-chave:** Energia solar; Inversores; Micro inversores; Viabilidade.

## **ABSTRACT**

Since its inception, electric power has become indispensable for the population's quality of life, as well as for the development of cities, and among the various sources destined for its generation, solar energy has become increasingly prominent. a renewable option that does not pollute and does not degrade the environment. However, the conception of this system is complex, and among all its components there are inverters and micro inverters, which have basically the same functions, to transform direct current into alternating current, but differ in the fact that this first , meets the system in its entirety, while the second, meets each card individually. Thus, this study sought to analyze the viability of these two components, comparing their performance in relation to various aspects and factors. Finally, it was possible to conclude that the micro inverters stand out from the inverters, adding many advantages in the production of this energy.

**Keywords:** solar energy; Inverters; Microinverters; Viability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo de energia mundial .....	11
Figura 2 - Matriz elétrica Brasileira .....	12
Figura 3 - Mapa de radiação solar do brasil.....	13
Figura 4 - Tipos de módulos fotovoltaicos.....	14
Figura 5 - Sistema Fotovoltaico "off-grid".....	15
Figura 6 - Módulos fotovoltaicos instalados sistema off grid .....	15
Figura 7 - Controlador de carga instalado .....	16
Figura 8 - Banco de bateria.....	17
Figura 9 - Sistema fotovoltaico "on-grid".....	18
Figura 10 - módulos fotovoltaicos instalado sistema on grid .....	19
Figura 11 - Medidor Bidirecional amostra.....	20
Figura 12 – esquema com um inversor fotovoltaico.....	21
Figura 13 – Inversores Grid Tie .....	23
Figura 14 – Inversores .....	25
Figura 15 – Instalação residencial de micro inversores .....	26
Figura 16 – Sombreamento em inversores .....	27
Figura 17 – Sombreamento em micro inversores .....	28
Figura 18 – Monitoramento de inversor.....	30
Figura 19 - Monitoramento de micro inversor.....	31
Figura 20 – Modularidade de inversor .....	33
Figura 21 – Modularidade de micro inversor .....	34
Figura 22 – Posicionamento do sol durante o dia .....	36
Figura 23 – orientação dos módulos com inversores .....	37
Figura 24 – orientação dos módulos com micro inversores .....	37
Figura 25 – MPPT em Inversores.....	38
Figura 26 – MPPT em micro Inversores.....	39

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>2. ENERGIA SOLAR – FOTOVOLTAICA</b> .....	<b>10</b>
2.1. FUNCIONAMENTO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA .....	13
2.2. SISTEMAS OUTÔNOMOS (OFF GRID) .....	14
2.3. COMPONENTES .....	15
2.3.1. Gerador Fotovoltaico .....	15
2.3.2. Controlador de Carga .....	16
2.3.3. Banco de Baterias .....	16
2.4. SISTEMA FV CONECTADO A REDE (ON GRID) .....	17
2.4.1. Componentes .....	19
<b>3. INVERSORES FOTOVOLTAICOS</b> .....	<b>21</b>
<b>4. MICRO INVERSOR SOLAR</b> .....	<b>25</b>
<b>5. SOMBREAMENTO</b> .....	<b>27</b>
<b>6. MONITORAMENTO</b> .....	<b>30</b>
<b>7. MODULARIDADE</b> .....	<b>33</b>
<b>8. ORIENTAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS</b> .....	<b>35</b>
<b>9. MPPT</b> .....	<b>38</b>
<b>10. CONCLUSÕES</b> .....	<b>40</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>40</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com o decorrer dos tempos, o ser humano passou a necessitar de luz nos períodos noturnos e em ambientes fechados, onde a luz solar não chegava, fazendo com que a descoberta do fogo se tornasse um marco, pois era utilizado principalmente, como fonte de calor e luz a noite, assim como o sol que realiza essa tarefa durante o dia.

Anos depois, mais um grande avanço ocorreu, com a descoberta da eletricidade pelo filósofo grego Tales de Mileto, no século VI A.C, e assim, tornou-se possível o desenvolvimento de inúmeras tecnologias, bem como de diversas maneiras para geração da mesma, onde contemporaneamente, destacam-se a energia hidrelétrica, nuclear, termelétrica, eólica e solar.

Dentre essas fontes, existe divisão entre as que são renováveis, e as não renováveis, sendo que essa primeira, compreende as que a própria natureza é capaz de repor, em uma velocidade maior que o seu consumo, e onde enquadra-se a energia solar fotovoltaica, abordada no presente estudo, de grande destaque em um período de constante busca por fontes sustentáveis, que não gerem danos ao meio ambiente. Já as não renováveis, são do tipo finitas.

Para tanto, existe um sistema que de maneira simplificada, é composto por painéis com células fotovoltaicas, que captam a luz e a convertem em energia elétrica, podendo ser tais sistemas do tipo on-grid, ou seja, conectados a rede elétrica, ou off-grid, não conectados a essa. Dentre os equipamentos que compõem esse sistema, encontram-se o inversor e o micro inversor fotovoltaico, ambos destinados a converter a corrente contínua (CC), em corrente alternada (CA), entretanto, esse primeiro atende o sistema em sua totalidade, e o segundo, atende as placas em separado.

Dessa maneira, os fatores citados justificam esse estudo, que busca se tornar um referencial para a comunidade acadêmica, e tem por objetivo, analisar ambos equipamentos, com suas particularidades e aspectos, identificando as vantagens e possíveis desvantagens que possam apresentar, para uma análise sobre qual desses apresenta-se mais viável de ser utilizado no desenvolvimento de um sistema de captação de energia solar fotovoltaica.

A pergunta que buscou-se responder é: “Ao analisar os inversores e micro inversores, qual apresenta-se mais viável de ser utilizado em um sistema de captação de energia solar?”. Para tanto, utilizou-se como metodologia, a pesquisa bibliográfica,

com uma gama de dados qualitativos, acerca do que dissertaram diferentes autores e estudiosos sobre essa abordagem em questão, no material disponível como acervo em sites como scielo, artigos, livros, revistas e outros trabalhos acadêmicos com o mesmo objetivo aqui proposto.

## 2. ENERGIA SOLAR – FOTOVOLTAICA

Desde o descobrimento da energia elétrica, essa passou a ser indispensável para que os países se desenvolvessem, mantendo a qualidade de vida da população, e quanto maior a população e esse desenvolvimento, maior é a demanda por eletricidade, aumentando a necessidade de ações para preservação do meio ambiente.

Com isso, ao observar-se os recursos minerais mais requeridos na geração de energia são limitados, surge uma constante busca por novas fontes e alternativas para geração limpa. Pode-se dividir as fontes primárias em duas classificações, a primeira são as renováveis, e a segunda, as não renováveis, sendo que essa segunda, compreende as que podem esgotar-se, se utilizadas com uma velocidade superior a da sua formação (REIS, 2003).

Dentre essas matérias não renováveis, estão o gás natural, os combustíveis radioativos, o petróleo, dentre outros, muitos utilizados no caso de geração através do meio térmico, conhecido como geração termelétrica. Já as renováveis, são aquelas que tem uma rápida reposição na natureza, superando ao seu consumo para geração energética, ou compatível com o mesmo. Nessa, destacam-se as usinas eólicas, hidrelétricas, biomassa e solar fotovoltaica (REIS, 2003).

Nas últimas décadas, esse assunto tem conquistado uma importância cada vez maior em relação ao meio ambiente e as buscas pelo desenvolvimento sustentável, sendo que esse segundo, baseia-se na capacidade de favorecer a superação dos problemas na sociedade, e assegurar a vida, através da manutenção e da proteção dos sistemas naturais (REIS, 2003).

De acordo com as pesquisas realizadas pela British Petroleum em 2013, o Gráfico 1 abaixo demonstra que até o ano da mesma, grande parte do consumo energético mundial, provinha da queima dos combustíveis fósseis, dos quais, destaca-se o petróleo, seguido por carvão mineral e gás natural, além da energia nuclear, consumida proporcionalmente a energia hidráulica, entretanto, com exceção dessa última citada, nenhuma dessas fontes é renovável.

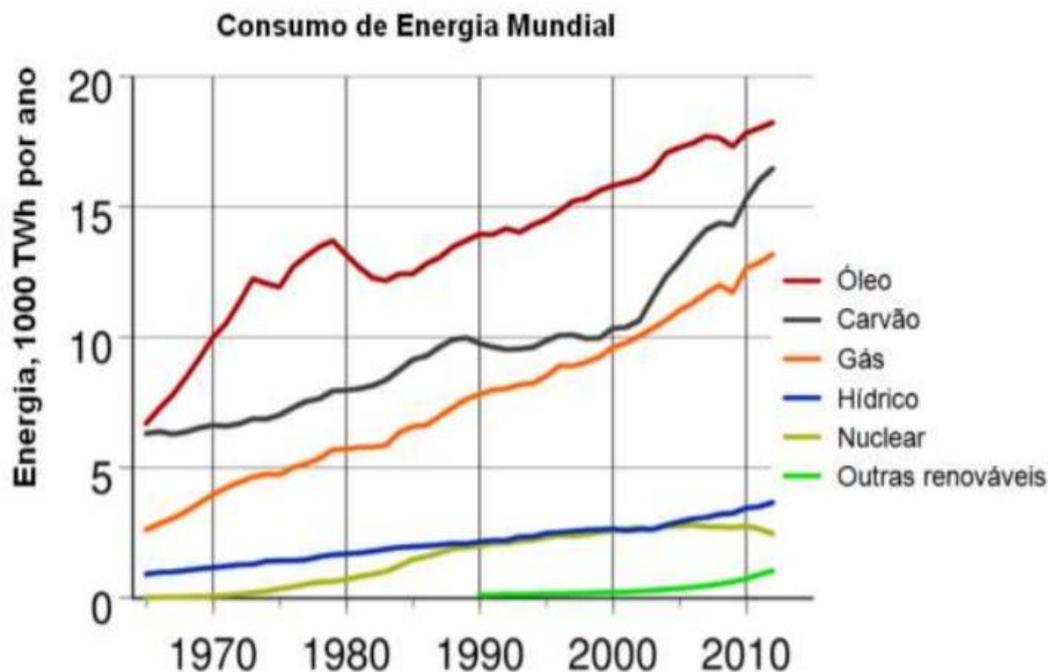


Figura 1 – Consumo de energia mundial  
Fonte: BP – British Petroleum, 2013

Nesse mesmo período, o Brasil também tinha predominância da geração energética através do petróleo, seguida por biomassa e hidrelétricas, sendo que essa última supria a maior proporção consumida. Nas fontes renováveis, a energia hidrelétrica predomina no país, devendo manter-se assim, já que existe um grande potencial disponível, porém, com a crescente demanda, passam a ser necessárias outras fontes (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2013).

Assim, com o desenvolvimento de tecnologias relacionadas ao meio energético, passaram a se destacar muitas fontes renováveis, dentre as quais, a energia solar, com o reaproveitamento da energia que é transmitida pelo Sol para a Terra. Os preços dessa energia passaram a ser estabilizados nas últimas décadas, com o crescimento da sua utilização.

Porém, no Brasil, ainda é pequena a sua difusão, mas podem ser identificados esforços significativos, voltados ao aproveitamento de energia solar no país, objetivando atender as comunidades que ainda não tem acesso à energia elétrica, levando ao seu desenvolvimento, mesmo não havendo uma boa base para as tecnologias relacionadas a equipamentos sejam desenvolvidos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2013).

Dessa maneira, os projetos voltados a energia solar fotovoltaica passaram a ser uma realidade não só para a população, mas também para organizações que

buscam alternativas para economia e para a preservação do meio ambiente, sendo os painéis fotovoltaicos utilizados na geração de energia elétrica. Nesse contexto, surge o inversor fotovoltaico, com a função de abastecer residências e demais ambientes ou dispositivos, que requerem a eletricidade.

O Brasil possui um alto potencial para aproveitamento de energia solar fotovoltaica, sendo prova disso o crescimento no ranking das fontes de geração de energia, no qual ocupa a oitava colocação, ultrapassando a energia nuclear, que é umas das principais fontes de geração do país (Figura 2).



Figura 2 - Matriz elétrica Brasileira  
Fonte: ANEEL/ABSOLAR (2019)

Nesse contexto, torna-se importante destacar que o país possui índices de radiação solar muito superiores ao que é encontrado na maioria dos países europeus, que lideram o ranking na utilização desta fonte, como pode ser verificado no mapa da Figura 3 abaixo.



Figura 3 - Mapa de radiação solar do Brasil.  
Fonte: Portal Solar (2019)

Como pode ser verificado, a região do Nordeste tem a melhor insolação direta do país, entretanto, a cidade que tem maior destaque no setor de energia fotovoltaica é Uberlândia – MG, localizada no triângulo mineiro, região sudeste do Brasil.

## 2.1. FUNCIONAMENTO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

A Energia Solar Fotovoltaica é uma fonte alternativa e renovável, obtida pela conversão direta da radiação solar em energia elétrica, conforme dispõe a Figura 4. Existem vários tipos de células fotovoltaicas, porém, as mais utilizadas são de silício cristalino, sendo que cada painel solar contém células fotovoltaicas (PV), as quais captam luz ou fótons, e convertem a luz em eletricidade. Quando a luz do sol bate no painel solar, células PV trabalham produzindo eletricidade de corrente direta (DC).



Figura 4 - Tipos de módulos fotovoltaicos  
Fonte: Pacote digital SOLSIST (2018)

Basicamente, esse é que um sistema de painel solar usa fótons, são partículas de luz, para separar os elétrons dos átomos. Esse processo de separação cria eletricidade, sendo que desta forma, um painel solar pode transformar a luz do sol e usá-la para alimentar o seu forno, televisão e outros aparelhos elétricos.

## 2.2. SISTEMAS OUTÔNOMOS (OFF GRID)

Os sistemas fotovoltaicos isolados da rede elétrica, também denominados de sistemas fotovoltaicos “*off-grid*”, possuem a característica de prover a energia elétrica para locais sem a necessidade de estarem conectados ao restante do sistema elétrico, como demonstra a Figura 5.

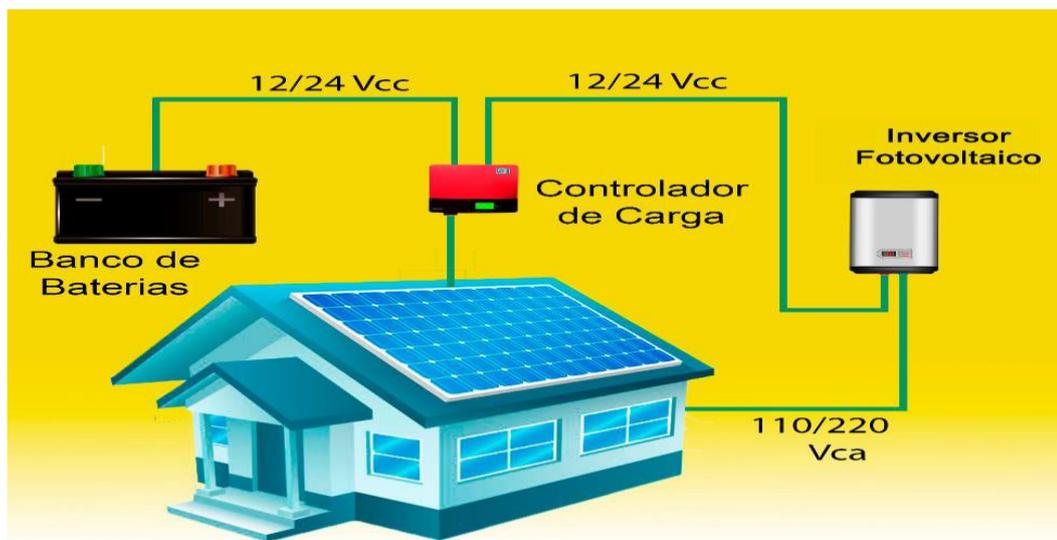


Figura 5 - Sistema Fotovoltaico "off-grid".  
Fonte: Pacote digital SOLSIST (2018)

## 2.3. COMPONENTES

### 2.3.1. Gerador Fotovoltaico

O gerador fotovoltaico possui a responsabilidade de gerar energia em tensão contínua (CC), utilizando-se para, isso dos módulos fotovoltaicos, conforme é apresentado na Figura 6, disposta abaixo.

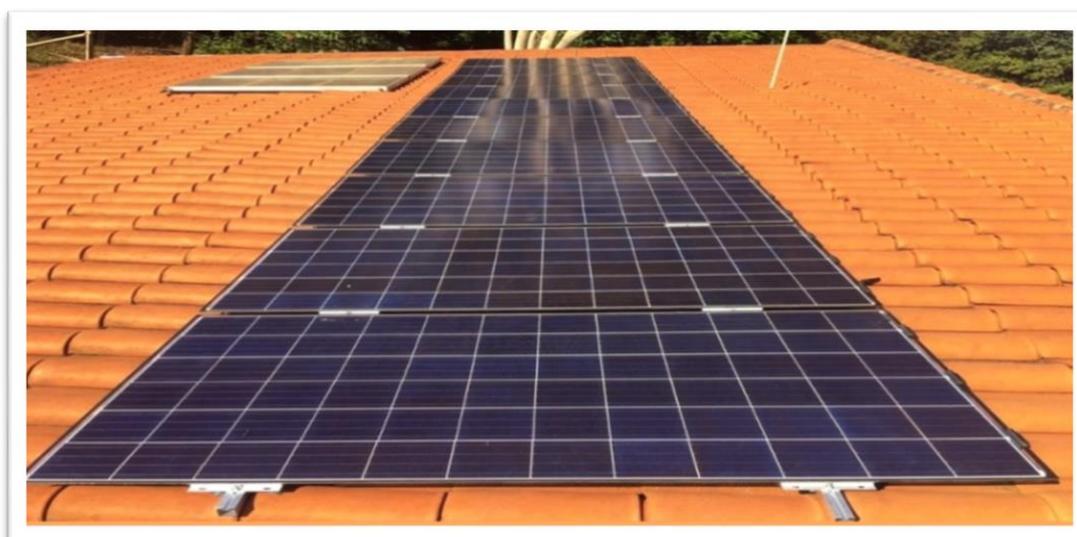


Figura 6 - Módulos fotovoltaicos instalados sistema off grid  
Fonte: BLUE ENERGIA SOLAR (2018)

### 2.3.2. Controlador de Carga

O controlador de carga se encarrega de controlar a tensão e do carregamento do banco de baterias, conforme apresenta a Figura 7, disposta na sequência.



Figura 7 - Controlador de carga instalado  
Fonte: BLUE ENERGIA SOLAR (2018)

### 2.3.3. Banco de Baterias

São baterias projetadas para ciclos de descarga profundos, com materiais internos nobres e placas de chumbo mais espessas, desenvolvidas para durarem por mais tempo, em torno de 5 anos, havendo casos onde ultrapassam 10 anos, dependendo dos ciclos de carga, temperatura ambiente e outros fatores que impactam na sua vida útil, conforme Figura 8.



Figura 8 - Banco de bateria  
Fonte: Autor próprio, 2019.

No mercado, são encontrados diversos tipos diferentes de opções de baterias para aplicações fotovoltaicas, sendo que a de chumbo ácido estacionária com eletrólito líquido é a mais presente nas instalações, devido ao seu reduzido custo quando comparadas ao restante. Essas podem utilizar ácido líquido ou em gel, e podem ser abertas ou seladas.

#### 2.4. SISTEMA FV CONECTADO A REDE (ON GRID)

Os Sistemas fotovoltaicos também podem operar de forma conectada ao restante do sistema elétrico, no caso brasileiro, conecta-se ao SIN, sendo que esses sistemas são conhecidos como sistemas fotovoltaicos “*on-grid*” (Figura 19). A resolução da ANEEL nº 482/2012, foi um dos primeiros incentivos no Brasil para a viabilidade de projetos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

Por meio dessa, instituiu-se o sistema de compensação tarifária (net metering), no qual o consumidor investe em um sistema fotovoltaico que irá produzir energia, armazenando-a na rede elétrica. Com isso, o consumidor paga apenas a diferença entre a energia elétrica que consome e a energia elétrica que gera por meio do sistema.

Em novembro de 2015, a resolução foi atualizada para RN nº 687, que entrou em vigor em 01 de março de 2016, onde se diminuiu a burocracia, aumentou o tamanho das usinas e aumentou os prazos para se compensar os créditos de energia gerados.

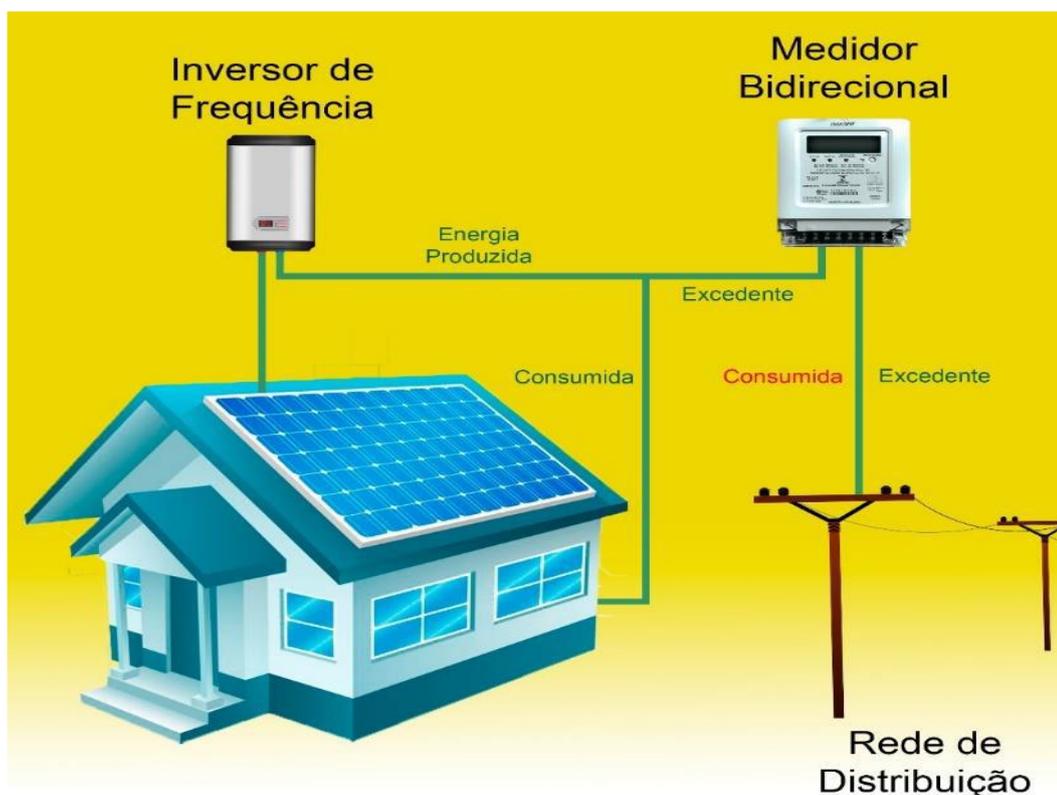


Figura 9 - Sistema fotovoltaico "on-grid".  
Fonte: Pacote digital SOLSIST (2018)

O sistema começa a funcionar logo pela manhã, onde os módulos solares captam a luz do sol, gerando assim energia elétrica de acordo com a intensidade da luz. Essa energia passa pelo inversor, e é convertida para as características da rede elétrica para alimentar qualquer aparelho elétrico.

O sistema vai gerar energia suficiente para o consumo, e até um excedente. Nos períodos noturnos não ocorre geração, caso tenha gerado crédito durante o dia, poderá ser consumido a noite. Não é necessário ter bateria para armazenar energia, pois os o próprio relógio bidirecional da concessionária faz a contabilidade de todos seus créditos.

### 2.4.1. Componentes

#### a) Gerador fotovoltaico

Assim como no off grid, o módulo é responsável por gerar a energia em tensão (CC), sendo composto por células fotovoltaicas, associadas em série e em paralelo (Figura 10).



Figura 10 - módulos fotovoltaicos instalado sistema on grid  
Fonte: BLUE ENERGIA SOLAR (2019)

#### b) Medidor Bidirecional

O medidor bidirecional, ilustrado na Figura 11, é utilizado para fazer a conexão entre o Inversor Fotovoltaico e a rede elétrica. É dentro dele que estão contidos equipamentos necessários e capazes de mensurar a energia elétrica em kWh fornecida e consumida da rede elétrica. Além disso, operam de maneira bidirecional.

Os medidores são instalados conforme a normatização da concessionária de energia elétrica do local, e geralmente estão localizados no padrão de entrada CA e ponto de interconexão com a da rede elétrica. Os medidores bidirecionais mais sofisticados possuem recursos como o acompanhamento da geração e do consumo de energia elétrica em tempo real, por meio de relatórios e aplicativos.



Figura 11 - Medidor Bidirecional amostra  
Fonte: Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG (2018)

Existem outros equipamentos e componentes a serem utilizados em Sistemas fotovoltaicos, como cabos, conectores, equipamentos de proteção, transformadores, suporte para os módulos e disjuntores, mas por não serem enfoque desse estudo, não serão abordados. Como o assunto principal são os inversores e os microinversores, esses serão explanados em capítulos separados.

### 3. INVERSORES FOTOVOLTAICOS

O inversor solar consiste em um equipamento eletrônico, que realiza a conversão da corrente elétrica contínua (CC), em corrente elétrica alternada (sinal elétrico CA), no sistema fotovoltaico, conforme Figura 12 abaixo, sendo considerado, simplificada, como um adaptador de energia para o sistema fotovoltaico. Além disso, também garante a segurança do sistema, medindo a energia que é produzida pelos painéis e a otimizando (GUIMARÃES, 2018).



Figura 12 – esquema com um inversor fotovoltaico  
Fonte: Sol e energia, 2018

Os inversores podem ou não possuir em seu interior, um transformador, sendo que aqueles não possuem, é em decorrência da busca por otimização da energia, já que os transformadores geram calor, ou seja, quanto menos energia térmica foi produzida, menos energia elétrica é desperdiçada, o que, por sua vez, aumenta a eficiência do aparelho.

Segundo Guimarães (2018), esse aparelho possui um formato de caixa metálica, contendo poucos botões, e repleto de componentes em seu interior. A conversão da energia ocorre no provimento, na saída do inversor, de uma tensão de corrente alternada, sendo utilizada a tensão ou corrente contínua para que essa saída seja alimentada.

Em meio a esse processo, o aparelho possui chaves eletrônicas ou interruptores, podendo ser transistores como o Transistor Bipolar de Porta Isolada – IGBT, Transistor de Efeito de Campo Metal – óxido – semicondutor – MOSFET, ou Portão Integrado Controlado – IGCT.

O Portal Solar (2013) conta que nas residências, esse inversor costuma ser instalado próximo ao quadro de luz, em local que fique abrigado do calor, da água e do sol. No caso de mini usinas industriais e comerciais, é possível a construção de uma sala específica para eles, pois acaba sendo preciso que sejam maiores, ocupando um grande espaço.

De acordo com Guimarães (2018), esses inversores são muito confiáveis, no entanto, é preciso atentar-se para determinadas características, como sua eficiência, pois para a inversão de corrente contínua em alternada, os aparelhos precisam possuir um grau alto de eficiência para economizar energia, sendo que o mínimo aceito é 94%.

Outra característica relevante é o padrão de proteção do inversor, pois só considera-se como seguro, aqueles que atendem as recomendações dadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR IEC 60529, que especifica os graus de proteção para o revestimento dos equipamentos elétricos, designados como IP. Esse padrão varia conforme local a ser instalado, mas recomenda-se como mínimo o IP 55 (GUIMARÃES, 2018).

Segundo o Portal Solar (2013), existem diferentes tipos de inversores, cada qual com sua destinação, conforme os objetivos, sendo que o mais utilizado é o inversor grid tie, apresentado na Figura 3, utilizado para que o sistema fotovoltaico seja conectado à rede elétrica.

Ainda de acordo com o Portal Solar (2019), esse afirma que contrariamente ao que ocorre no off grid, apresentado na sequência, ele tem sua utilização para realizar a ligação dos sistemas fotovoltaicos sem baterias, nas redes industriais ou residenciais.



Figura 13 – Inversores Grid Tie  
Fonte: Flandoli, 2017

Sua principal vantagem, é que são desenvolvidos para o rápido desligamento da rede elétrica, em casos de queda de energia, pois esse é um procedimento de segurança, denominado de ilhamento. Esse inversor faz uma cópia da frequência da rede, interrompendo seu funcionamento e evitando problemas ou curtos quando ocorre a interrupção do fornecimento de energia (PORTAL SOLAR, 2019).

Ao ser conectado à rede wifi, os sistemas de monitoramento presentes nesse inversor, que realiza o registro de dados, é ativado. Também pode ser realizada uma sincronização com a rede pública de eletricidade, assim, a energia solar que é fornecida iguala-se com a que é recebida pela rede.

Outro tipo é o inversor off grid, que indica algo fora de rede ou desconectado, sendo sistemas independentes, que não requerem integração com a rede pública de distribuição de energia, assim, são os mais viáveis e utilizados no caso de regiões rurais ou isoladas, especialmente naqueles onde a eletricidade ainda não chega (GUIMARÃES, 2018).

É comum a sua utilização para o abastecimento dos sistemas de estação meteorológica, radio e telefonia, dentre muitos outros. O terceiro tipo é o Micro inversor, que como se faz como um dos principais enfoques desse trabalho, é apresentado em subcapítulo individual, apresentado na sequência.

#### 4. MICRO INVERSOR SOLAR

De acordo com o Portal Solar (2013), o micro inversor ou inversor solar grid tie minuatizado, tem seu dimensionamento destinado a suprir a necessidade individual dos painéis solares, ao invés de diversos painéis solares. Sua função é a mesma adquirida pelo inversor solar tradicional, ou seja, transformar a energia elétrica que os painéis solares produzem, em corrente contínua (CC), para a corrente alternada (CA), sincronizando o sistema fotovoltaico com a rede empresarial o residencial, de maneira confiável e segura.

O surgimento dos micro inversores, data do final da década de 1990, passando a ser disseminando, e fazendo com que existam ao menos 20 tipos diferentes do mesmo em todo o mundo. No Brasil, existe somente uma marca aprovada pelo Inmetro para sua comercialização e utilização em sistemas fotovoltaicos (PORTAL SOLAR, 2013).

A Figura 14 na sequência, apresenta do lado esquerdo, o inversor convencional, no qual um equipamento possui capacidade de alimentar cada sistema, e do lado direito, o micro inversor, destinado a atender, individualmente, cada painel solar.



Figura 14 – Inversores  
Fonte: Portal solar, 2013

Segundo os estudos de Muller (2019), esses micro inversores possuem uma ótima aplicação em caso de sistemas fotovoltaicos de porte pequeno, e apesar das diferenças com o inversor convencional, é muito eficiente e robusto. É comum que sejam importados, pois sua produção no país ainda não conquistou um espaço significativo, fazendo com que sejam sempre compostos por materiais de primeira linha e de qualidade. Sua aplicação se dá, em um painel solar residencial, conforme demonstra a Figura 15 abaixo.



Figura 15 – Instalação residencial de micro inversores  
Fonte: Muller, 2019

De acordo com o Portal Solar (2019), estima-se que os micro inversores possuam uma durabilidade de cerca de 25 anos, contra uma média entre 10 e 15 anos dos inversores, e os preços, variam conforme a dimensão dos sistemas que são projetados.

## 5. SOMBREAMENTO

Em função da quantidade de luz solar que recebem, sistemas de energia solar fotovoltaicos geram eletricidade, no entanto, quando ocorre o efeito de sombreamento no arranjo solar fotovoltaico, a produção de energia diminui drasticamente, podendo atingir 75%, e sendo provocado por objetos como: árvores, vegetação, edificações ou até por outros painéis solares (SOLAR BRASIL, 2019).

De acordo com o Portal Solar (2019), quando os painéis são conectados em série, a sombra em apenas um deles, pode afetar drasticamente toda a matriz de painéis solares, causando a redução de energia produzida pelo sistema, de um modo geral, sendo muito comum em sistemas onde faz-se uso dos inversores convencionais, que através de suas strings, dependem dos painéis serem conectados em série, obtendo-se uma pequena corrente e alta tensão. A Figura 16 ilustra essa perda.

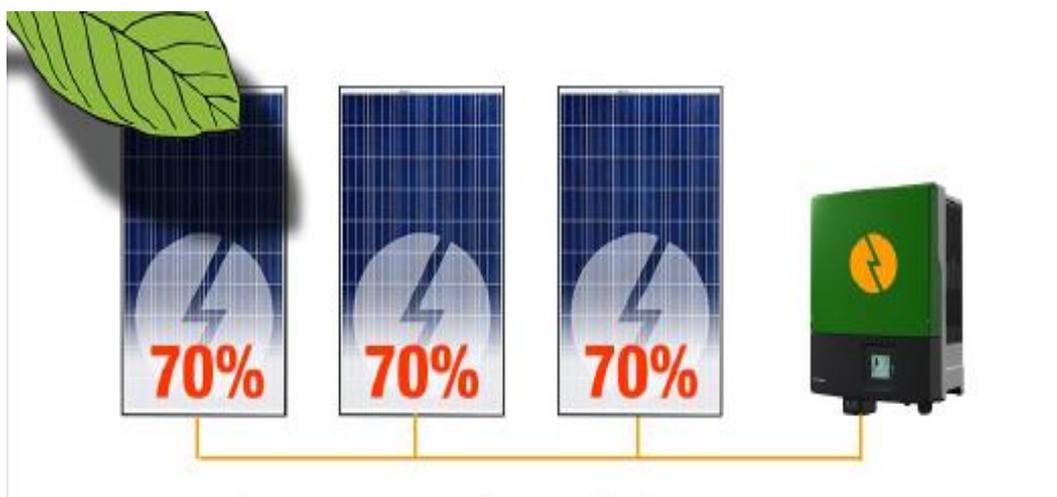


Figura 16 – Sombreamento em inversores  
Fonte: Portal Solar, 2019

Já em sistemas com microinversores, obtém-se o que é comumente chamado de diversos cérebros em funcionamento, e quando alguma das placas recebe a sombra, as perdas ficam isoladas, o que significa mais eficiência para uma mesma quantidade de módulos no sistema com micro inversores, ou seja, mais geração de energia (PORTAL SOLAR, 2019). A Figura 17 apresenta o que ocorre nesse caso de micro inversor.

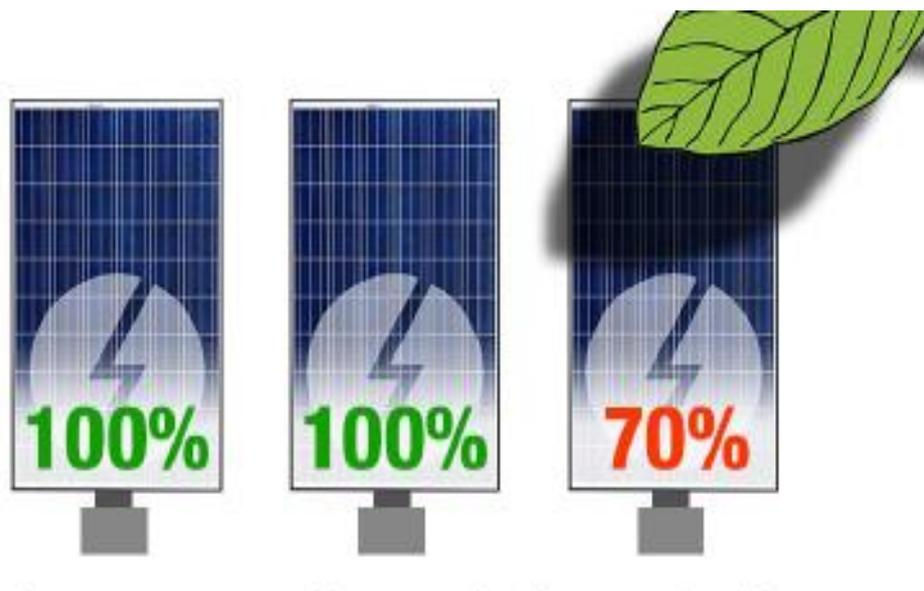


Figura 17 – Sombreamento em micro inversores  
 Fonte: Portal Solar, 2019

Como pode ser verificado, através do comparativo entre as duas imagens, quando um painel fica sob sombreamento, no caso dos inversores, a sua capacidade produtiva sofre redução, a qual se propaga para o sistema como um todo. Já abaixo, no caso dos micro inversores, a sombra interfere somente no painel em questão, possibilitando que o restante do sistema, opere em sua totalidade.

De acordo com Guimarães (2018), e como já citado, é comum que esses painéis sejam conectados em série, fazendo com que a energia produzida por cada um, passe por toda a extensão, até que chegue ao conversor da sequência, ou seja, o sombreamento sobre um painel, irá afetar o sistema por completo, comprometendo a energia produzida, pois para que haja uma operação correta, todas as unidades precisam receber a mesma carga.

Com isso, ainda conforme as análises de Guimarães (2018), quando são utilizados os micro inversores, a energia solar passa a ser convertida, sem que haja necessidade de percorrer todos os demais painéis, não gerando as perdas de desempenho.

Além disso, considera-se importante destacar, que a produtividade da energia solar, pode ser comprometida por fatores inevitáveis e naturais, como os dias nublados, que fazem com que as células que são formadas por silício amorfo, adaptem-se melhor a situação imposta, que as células formadas por silício cristalino. Entretanto, o mercado já conta com tecnologias inovadoras, destinadas a driblar o

mau tempo, com eficiência em relação aos impactos produtivos em dias assim (GUIMARÃES, 2018).

Com isso, Guimarães (2018) afirma que de um modo geral, quando ocorre o planejamento para instalar um sistema desse tipo, o primeiro passo é verificar criteriosamente o local, sempre considerando se a luz incide em todos os períodos diários e estações, para que haja um aproveitamento maximizado desse sistema.

## 6. MONITORAMENTO

De maneira geral, o sistema de monitoramento fotovoltaico, possibilita que o usuário acompanhe todas as informações necessárias e básicas relacionadas com o seu equipamento. Tal sistema, é composto por um software, que realiza a conexão entre o sistema e o consumidor, geralmente por meio da rede wifi, apresentando assim, as informações (SUNERGIA, 2018).

De acordo com o Sunergia (2018), através desse monitoramento, encontram-se valores que indicam a potência que o equipamento está produzindo e a porcentagem de gastos, como encontra-se a instalação e ainda, a possibilidade de um controle geral acerca de seu rendimento e funcionalidade, ou seja, torna-se possível acompanhar todo o desempenho do sistema, de qualquer lugar e a todo momento.

Como poderá ser observado nas Figuras 18 e 19 abaixo, a diferença de monitoramento para os inversores e os micro inversores, é que no caso desses primeiros, os resultados expressos referem-se ao sistema como um todo, enquanto no segundo, monitora-se individualmente, cada um dos painéis.



Figura 18 – Monitoramento de inversor  
Fonte: Portal solar, 2019



Figura 19 - Monitoramento de micro inversor  
Fonte: Portal solar, 2019

Segundo as análises dispostas em Sunergia (2018), na grande parte das vezes, mensura-se qualitativamente os benefícios ambientais, mas também existe a possibilidade de realizar sua quantificação de maneira objetiva. Ao seu produzir 100 kWh em um sistema fotovoltaico, deixa-se de emitir 53kg de CO<sub>2</sub>, um dos maiores causadores do efeito estufa, para a atmosfera.

Voltando-se ao monitoramento, esse controle trazido pelo monitoramento é de suma importância também financeiramente, pois em casos onde uma residência produz quantidade de energia superior ao que encontra-se consumindo em determinado momento, a energia extra é destinada para a distribuidora, originando um crédito para quem a fornece, e o qual tem validade de 60 meses, sendo automaticamente aplicado nos momentos onde a produção torna-se inferior a demanda (PORTAL SOLAR, 2019).

Um bom exemplo da produção inferior ao consumo, pode ser identificado nos casos de dias chuvosos, e a energia vai sendo fornecida para as luzes, eletrodomésticos e demais equipamentos que possam estar conectados na tomada, pela própria distribuidora de energia, ou seja, o consumidor acaba nem percebendo essa transição de uma para a outra (PORTAL SOLAR, 2019).

Ainda de acordo com o Portal Solar (2019), com isso, verifica-se que o consumidor consegue ir acompanhando toda a situação relacionada a produção de energia pelo sistema, já que esse é projetado com o intuito de reduzir a conta de energia, e existem dias nos quais será necessário fazer uso daquela fornecida pelas concessionárias.

## 7. MODULARIDADE

Segundo as análises de Neosolar (2014), cada um dos inversores, recebe um string ou uma série, sendo que diversos inversores são utilizados paralelamente, cada qual com o seu otimizador MPPT. Devido a essa configuração, existe uma flexibilidade maior, como orientações diferentes para cada um dos strings. Em casos de perdas eventuais, devido a sujeiras, defeitos, sobreamentos, dentre outros, essas são reduzidos, já que cada uma das séries funciona em separado.

Quanto a modularidade do inversor, o Neosolar (2014) que existe a possibilidade de aumentar a quantidade dos painéis, porém, deve-se atender determinado limite, pois esse trabalha em chamadas faixas de voltagem, com limites de potência e de corrente, conforme ilustra a Figura 20.

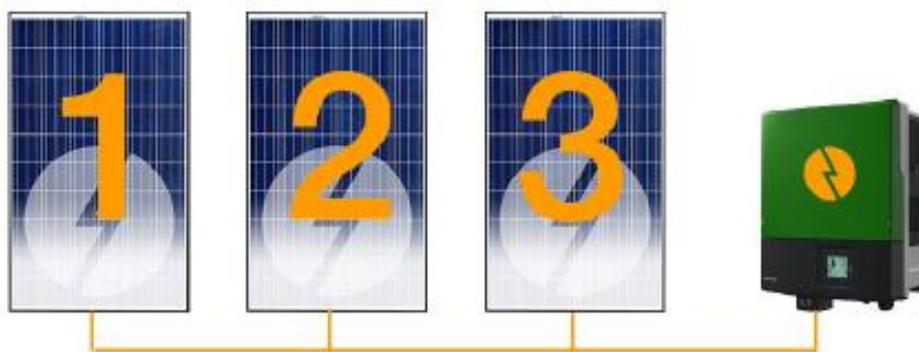


Figura 20 – Modularidade de inversor  
Fonte: Portal solar, 2019

Dentro desse contexto, se os limites forem atendidos, o Portal Solar (2019) afirma que existe a possibilidade de desenvolver sistemas de tamanhos diferentes, utilizando-se de um mesmo inversor. Assim, de maneira geral, seu dimensionamento é conforme a quantia de painéis, com limitação nas opções de expansão. Quanto aos micro inversores, esses são totalmente modulares, configurando-se conforme Figura 21 abaixo.

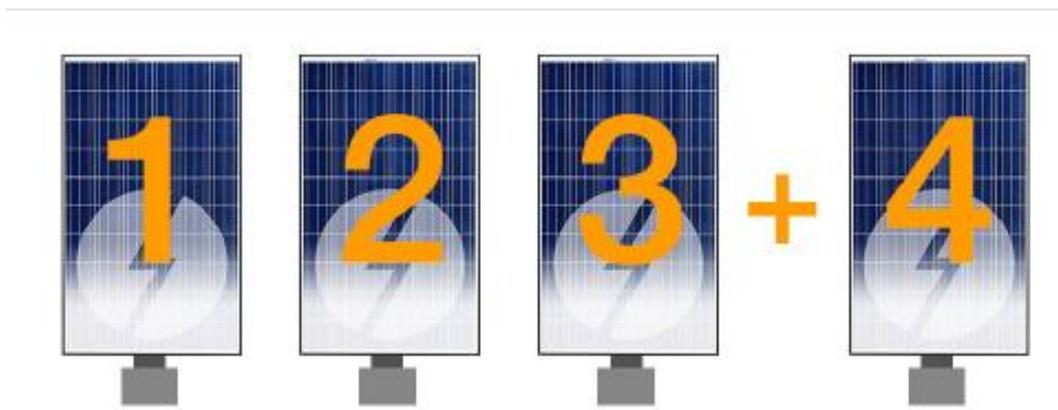


Figura 21 – Modularidade de micro inversor  
Fonte: Portal solar, 2019

Nesse caso, cada painel possui o seu micro inversor, permitindo que os sistemas sejam compostos dos mais diversos tamanhos. Ao abordar esse item, o Portal Solar (2019) afirma que além de uma maior modularidade, os micro inversores também tendem a possuir um rendimento mais elevado, com menos perdas e facilidade de manutenção, em comparação com os inversores.

## 8. ORIENTAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

De acordo com o Portal Solar (2016), a direção em que os painéis solares serão instalados, é de suma importância para uma boa captação de energia, fazendo ainda, com que sua instalação requeira uma menor quantidade de recursos financeiros de tempo, além de maximizar a eficiência.

Para definir-se o ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos ( $\alpha$ ), não se há um consenso mundial. Assim como a grande maioria dos sistemas possuem a instalação fixa, a escolha do ângulo ( $\alpha$ ) deve seguir algum critério, de maneira a maximizar a captação da radiação solar. Para fins de dimensionamento, nesse estudo será utilizado o critério definido pela fabricante Bosch, encontrado no manual do fabricante de seus módulos fotovoltaicos, conforme Tabela 1.

Latitude geográfica do local	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

Tabela 1 - Ângulo de inclinação dos módulos  
Fonte: Bosch,( 2011)

Conforme o Portal Solar (2016), no caso do Brasil, o direcionamento considerado como ideal para o posicionamento de tais painéis, é a direção Norte, pois o sol nasce na direção Leste, sobe inclinando-se para o Norte, e se põe no Oeste, conforme ilustra a Figura 22.

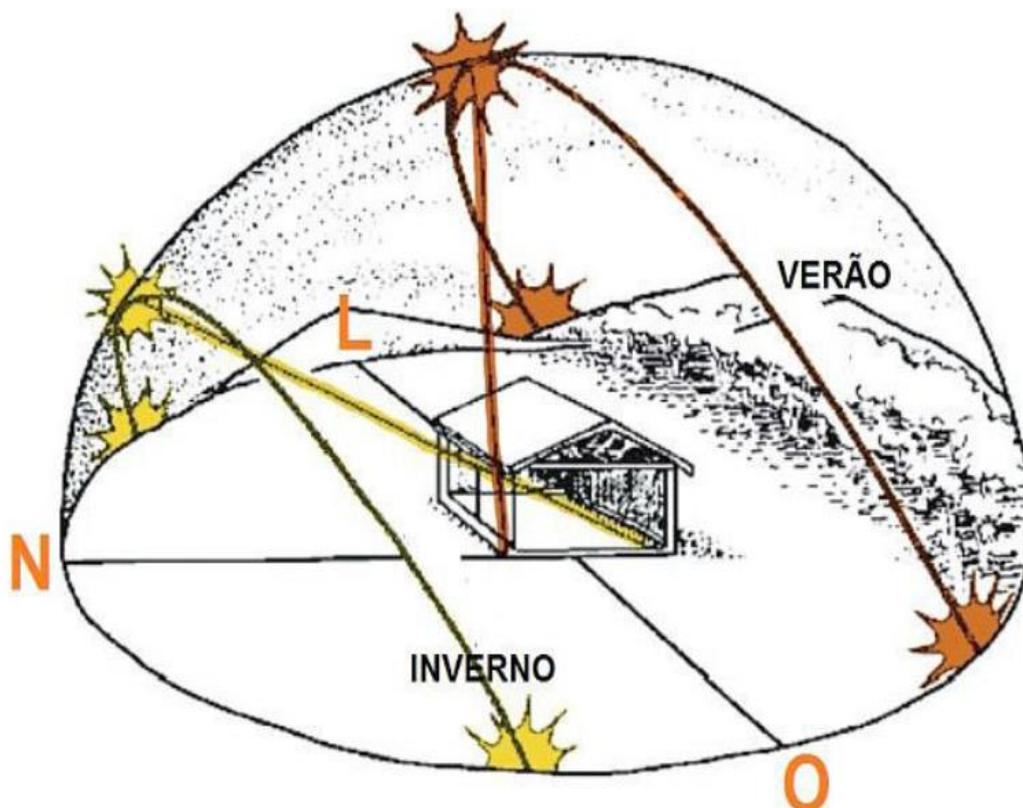


Figura 22 – Posicionamento do sol durante o dia  
 Fonte: Portal Solar, 2016

Quando determinado telhado possui uma de suas faces posicionadas para a direção Norte, sem nada que possa causar sombra, é onde o painel deve ser instalado, para que o gerador seja favorecido na produção de energia. No caso dos sistemas interligados com a rede elétrica, o ângulo de inclinação como o da latitude, costuma ser o melhor para a instalação (PORTAL SOLAR, 2016).

Em casos onde nenhuma das faces do telhado é voltada a direção Norte, a perda não é tão significativa, se ainda houver possibilidade de instalação para a direção Oeste ou Leste. As perdas em telhados com face NO ou NE, possuem uma variação entre 3 e 8%. Já em telhados voltados ao Oeste ou Leste, essa perda tende a variar entre 8 e 20%, e na face sul, só se deve considerar a instalação de placas, caso a residência seja na região Norte do país (PORTAL SOLAR, 2019).

Devido ao posicionamento do Brasil em relação ao sol, recomenda-se que o sistema seja posicionado com um grau de inclinação inferior ao da latitude, por exemplo, no caso de uma residência localizada na cidade de São Paulo, que tem a latitude de cerca de 23°, e dois telhados voltados ao norte, um com inclinação de 32°

e outro com inclinação de  $10^\circ$ , deve-se optar por esse segundo, que tende a gerar uma maior quantidade de energia (PORTAL SOLAR, 2019).

Nessa abordagem de orientação dos painéis, em caso de utilizar o inversor normal, é necessário que todos os painéis fiquem com a mesma orientação, exceto quanto inversores com dois ou mais MPPT, conforme apresenta a Figura 23. Em relação aqueles com micro inversores, onde a produção de cada um é independente, é possível que sejam colocados em diferentes lugares ou posicionamentos, conforme Figura 24.



Figura 23 – orientação dos módulos com inversores  
Fonte: Portal Solar, 2019



Figura 24 – orientação dos módulos com micro inversores  
Fonte: Portal Solar, 2019

## 9. MPPT

De acordo com o Energia Solar (2015), o Maximum Power Point Tracking (MPPT), traduzido como Seguidor do Ponto de Máxima Potência, consiste em uma tecnologia consideravelmente recente, que integra os inversores, para aumentar a eficiência energética, sendo que a cada momento, o painel solar apresenta um ponto máximo de aproveitamento, e suas características elétricas de tensão não lineares versus corrente, são variáveis, de acordo com os seguintes níveis:

- Temperatura;
- Radiação solar.

A cada momento de variação solar, ocorre somente um ponto de máximo, que é a máxima potência, lembrando-se que essa radiação solar é variável no decorrer do dia, fazendo com que a máxima potência também sofra variação. Com isso, é necessário que a todo o momento, o sistema mantenha-se rastreando e fazendo com que o inversor opere nesse ponto, garantindo que o modulo transfira o máximo de potência elétrica instantânea (ENERGIA SOLAR, 2015). As Figuras 25 e 26, mostram a configuração do MPPT para inversores e micro inversores, respectivamente.

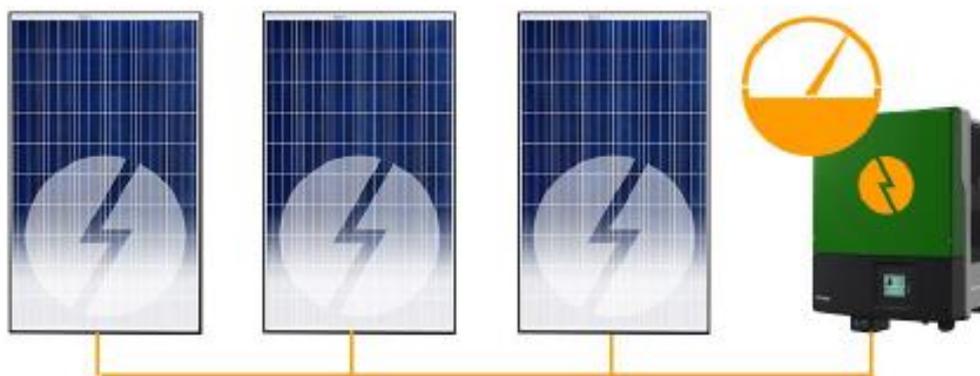


Figura 25 – MPPT em Inversores  
Fonte: Portal Solar, 2019

Segundo o Portal Solar (2019), grande parte dos inversores Grid-Tie possui somente 1 MPPT, em caso da instalação dos painéis ocorrer em duas diferentes posições, como por exemplo em uma água virada para o Leste, e outra para o Norte, passa a ser necessária a utilização de 2 MPPTs, para que haja um funcionamento

adequado, ou seja, cada sistema deve ser planejado visando a utilização de somente um MPPT.

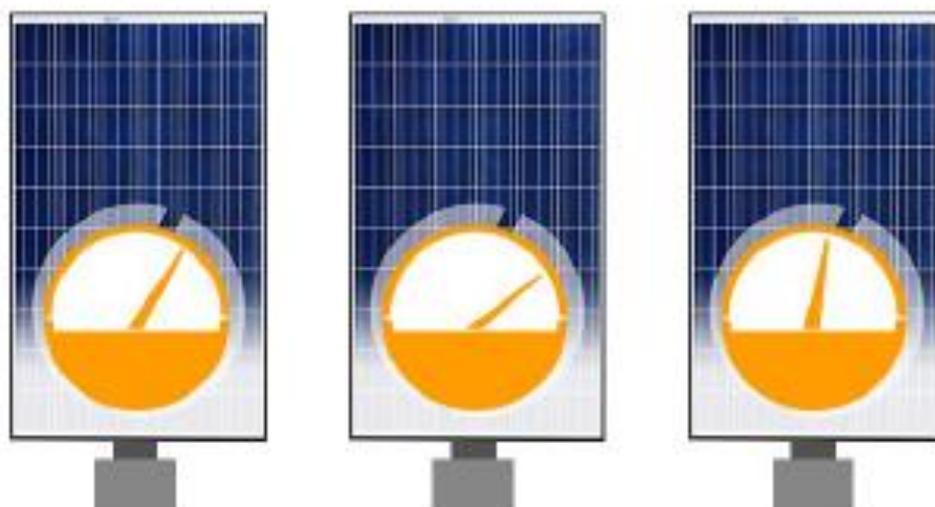


Figura 26 – MPPT em micro Inversores  
Fonte: Portal Solar, 2019

Já no caso dos micro inversores, como pode ser analisado na figura acima, não existe essa necessidade de planejar o sistema para somente um MPPT, pois cada um dos painéis, recebe um aparelho correspondente para atendê-lo, podendo ser utilizados tanto quanto for a quantidade de placas (POTAL SOLAR, 2019).

## 10. CONCLUSÕES

Durante todas as pesquisas realizadas para o desenvolvimento desse estudo, torna-se nítidos que o inversor e o micro inversor são utilizados nos sistemas de energia solar fotovoltaica, com a mesma finalidade, ou seja, realizar a conversão de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA).

Entretanto, a aplicação se dá de maneira completamente diferente, pois enquanto o inversor atende o sistema como um todo, o micro inversor atende isoladamente cada uma das placas, e com isso, qualquer interferência que possa ocorrer em alguma dessas, não influencia nas demais.

Foram analisados diversos aspectos, o primeiro, com relação ao sombreamento, que em caso de os painéis serem conectados em série, o efeito em um deles, pode reduzir drasticamente a capacidade produzida do sistema como um todo, enquanto naqueles com micro inversores, apenas a placa em questão sofre interferência, enquanto as demais continuam a operar com sua máxima capacidade.

Quanto ao monitoramento, quando utilizam-se os micro inversores, é possível acompanhar o desempenho de cada placa, ao passo que em caso de inversores, tem-se apenas um apanhado geral do sistema. A modularidade e a orientação dos painéis também é muito diferentes para ambos os casos, pois os micro inversores fornecem mais possibilidades, ou seja, não há limitação na quantidade de placas que podem compor o sistema, e essas podem ficar posicionadas em direções diferentes, conforme a configuração do telhado e a melhor incidência de raios solares.

Por fim, abordou-se a diferença entre os dois dispositivos, em relação ao MPPT, para o qual, no caso de utilizar-se inversores, os sistemas possuem apenas um, enquanto aqueles que utilizam micro inversores, podem receber um por painel. Quando se considera que tal dispositivo visa, simplificarmente, aumentar a eficiência do sistema, percebe-se que é muito mais vantajoso em sistemas com micro inversores.

Além disso, existem dois itens que foram citados mais superficialmente no decorrer de estudo, relacionado com o tempo de vida útil dos inversores e dos micro inversores, que é de 10 a 15 anos, e de 25 anos, respectivamente. Com isso, de maneira geral, verifica-se que a utilização dos micro inversores é significativamente mais viável nos sistemas de energia solar fotovoltaica.

## REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Bandeiras tarifárias**. Brasília, 2019. Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em 12 out 2019.

BLUE ENERGIA SOLAR. Controlador de carga instalado. Uberlandia, 2018. Disponível em:< <https://blueenergiasolar.com/>>. Acesso em 22 out 2019.

BRITISH PETROLEUM, 2013, **Londres.Statistical Review of World Energy**. Disponível em:< <http://www.bp.com/statisticalreview>>. Acesso em 25 out 2019.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG. **Manual de Distribuição - Projetos de Iluminação Pública ND – 3.4**. Belo Horizonte, 2012. Disponível em:< <http://www.cemig.com.br>>. Acesso em 20 jun 2019.

ENERGIA SOLAR. **MPPT – Seguidor de máxima potência – Eficiência energética**. [S.l.], 2015. Disponível em:< <https://energiasolar-microgr.com.br/inversores/mppt/>>. Acesso em 06 nov 2019.

FLANDOLI, Fábio. **Inversores conectados a rede (on grid)**. [S.l.], 2017. Disponível em:< <http://www.eletricistaconsciente.com.br/pontue/fasciculos/3-inversores/inversores-conectados-rede-on-grid/>>. Acesso em 05 out 2019.

GUIMARÃES, Gabriel. **Entenda por que o sombreamento parcial pode ser ruim para painéis de energia solar**. [S.l.], 2017. Disponível em:< <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/entenda-por-que-o-sombreamento-parcial-pode-ser-ruim-para-paineis-de-energia-solar/>>. Acesso em 02 out 2019.

I9 SOLAR. **Tudo sobre micro inversor**. São Paulo, 2013. Disponível em:< <https://www.i9solar.com/tudo-sobre-o-microinversor/>>. Acesso em 27 out 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2013, Brasília. **Balanco Energético Nacional**. Brasília, 2013. Disponível em:< <https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em 25 out 2019.

MULLER, Natalia. **Micro inversor de energia: um breve resumo**. São Paulo, 2019. Disponível em:< <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/micro-inversor-fotovoltaico/>>. Acesso em 03 out 2019.

PACOTE DIGITAL SOLSIST. **Tipos de módulos fotovoltaicos** (2018)

PORTAL SOLAR. **A melhor direção do painel solar fotovoltaico**. [S.l.], 2019. Disponível em:<<https://www.portalsolar.com.br/a-melhor-direcao-do-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em 22 out 2019.

\_\_\_\_\_. **Micro inversor solar grid tie**. São Paulo, 2019. Disponível em:< <https://www.portalsolar.com.br/micro-inversor-solar-grid-tie.html>>. Acesso em 02 nov 2019.

\_\_\_\_\_. **Inversor grid tie.** São Paulo, 2016. Disponível em:< <https://www.portalsolar.com.br/micro-inversor-solar-grid-tie.html>>. Acesso em 02 nov 2019.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade.** Barueri, SP: Manole, 2003.

SOL E ENERGIA. **Inversor solar fotovoltaico.** [S.l.], 2018. Disponível em:< <https://soleenergias.com.br/inversor-solar-fotovoltaico/>>. Acesso em 01 out 2019.

SUNERGIA. **Monitoramento de energia solar fotovoltaica – Inversor on grid.** Tatuapé, 2018. Disponível em:< <https://sunergia.com.br/blog/monitoramento-de-energia-solar-fotovoltaica-inversor-ongrid/>>. Acesso em 01 out 2019.