

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA (UFU)
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA (FEELT)

ZORMIRO TOMAIN FILHO

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS ÀS
REDES ELÉTRICAS EM PROPRIEDADES RURAIS**

UBERLÂNDIA

2018

ZORMIRO TOMAIN FILHO

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS ÀS
REDES ELÉTRICAS EM PROPRIEDADES RURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, como item obrigatório parcial ao título de bacharel em engenharia elétrica.

Orientador: Carlos Eduardo Tavares

UBERLÂNDIA

2018

ZORMIRO TOMAIN FILHO

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS ÀS
REDES ELÉTRICAS EM PROPRIEDADES RURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado ao curso de Engenharia
Elétrica, da Faculdade de Engenharia
Elétrica, Universidade Federal de
Uberlândia, como item obrigatório parcial
ao título de bacharel em engenharia
elétrica.

Uberlândia, ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Carlos Eduardo Tavares (Orientador)
UFU

Paulo Henrique Oliveira Rezende
UFU

Luciano Coutinho Gomes
UFU

AGRADECIMENTOS

Agradeço à oportunidade concedida a mim, de poder adquirir conhecimento, valores e concluir graduação em uma entidade referência em nosso país.

Aos meus pais, Elsa Elaine e Zormiro por todo o suporte, doação, amor, compreensão e apoio afim de me proporcionar uma boa formação. Ao meu irmão Anselmo por sempre estar ao meu lado. A minha namorada Ana Olympia por todo companheirismo, motivação, apoio e amor compartilhados durante essa jornada.

Aos meus familiares que me incentivaram, e me possibilitaram esta grande conquista. Aos meus amigos, colegas de graduação que estiveram presentes na minha caminhada acadêmica.

Ao Professor Carlos Eduardo, professor e orientador a quem admiro e sou grato pela orientação, paciência, dedicação e possibilidade de desenvolvimento deste estudo.

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo fazer uma proposição e análise de um sistema fotovoltaico integrado a uma propriedade rural eficiente. Os sistemas fotovoltaicos são compostos por painéis solares capazes de converter a radiação proveniente do Sol em energia elétrica acessível. Esta energia pode ser utilizada pelo consumidor ou injetada na rede elétrica de baixa-tensão em um conceito de geração distribuída. Ao analisar a importância da agropecuária e os custos com energia elétrica de uma propriedade rural, percebe-se a necessidade de estimular essa atividade econômica. A implementação de um projeto fotovoltaico visando a redução de gastos com energia é mostrada e explorada. É mostrada a importância do agronegócio no Brasil e do panorama fotovoltaico, com uma exposição dos conceitos dos mesmos. Também é feito um estudo de caso para análise de viabilidade econômica da implantação do sistema fotovoltaico conectado na rede elétrica de uma propriedade rural, almejando proporcionar o crescimento sustentável.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica, Agronegócio, Geração Distribuída, Desenvolvimento Sustentável

ABSTRACT

The present study aims to make a proposal and analysis of a photovoltaic system integrated to an efficient rural property. Photovoltaic systems are composed of solar panels capable of converting radiation from the Sun into accessible electrical energy. This energy can be used by the consumer or injected into the low-voltage power grid into a distributed generation concept. When analyzing the importance of agriculture and the electricity costs of a rural property, it is perceived the need to stimulate this economic activity. The implementation of a photovoltaic project aimed at reducing energy costs is shown and explored. It shows the importance of agribusiness in Brazil and the photovoltaic panorama, with an exposition of the concepts of the same. A case study is also carried out to analyze the economic viability of the implantation of the connected photovoltaic system in the electric network of a rural property, aiming to provide sustainable growth.

Keywords: Photovoltaic Energy, Agribusiness, Sustainable development, Distributed Generation.

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 - Gráfico da evolução do PIB brasileiro [2]	11
Fig. 2 - Gráfico da variação trimestral dos setores no PIB [2]	12
Fig. 3 - Gráfico de potência na geração brasileira [7]	13
Fig. 4 - Gráfico exclusão de energia elétrica [7]	15
Fig. 5 - Geração distribuída no Brasil [7]	16
Fig. 6 - Espectro de ondas da radiação solar [12]	19
Fig. 7 - Ângulação zenital [3]	20
Fig. 8 - Tipos de radiação [13]	21
Fig. 9 - Mapa solarimétrico Brasil [14]	23
Fig. 10 - Movimentos translação e rotação Planeta Terra [15]	24
Fig. 11 - Declinação solar e estações do ano [3]	24
Fig. 12 - Ângulo azimutal [3]	26
Fig. 13 - Ângulo de incidência dos raios solares [3]	26
Fig. 14 - Ângulo de inclinação dos módulos (<i>Installation and Safety Manual of the Bosch Solar Modules</i>) [3]	27
Fig. 15 - Sistema fotovoltaico "off-grid" [16]	28
Fig. 16 - Sistema fotovoltaico "on-grid" [17]	30
Fig. 17 - Módulo fotovoltaico [18]	31
Fig. 18 - Funcionamento células fotovoltaicas [3] [1]	32
Fig. 19 - Curvas I-V módulo fotovoltaico Canadian [18]	33
Fig. 20 - Controlador de carga [19]	34
Fig. 21 - Banco de baterias [20]	35
Fig. 22 - Inversor Fotovoltaico Fronius "Grid-Tie" [21]	36
Fig. 23 - Princípio de funcionamento Inversor Fotovoltaico [22]	37
Fig. 24 - Medidor bidirecional Fronius [23]	38
Fig. 25 - Irradiação solar no plano horizontal	40
Fig. 26 - Tarifa B2 Cemig [25]	44
Fig. 27 - Gráfico TRC	46
Fig. 28 - Módulo Fotovoltaico CanadianSolar CS6U – 330 [18]	51
Fig. 29 - Módulo Fotovoltaico CanadianSolar CS6U – 330 [18]	52
Fig. 30 - Inversor Fotovoltaico PHB14K-DT [26]	53
Fig. 31 - Inversor Fotovoltaico PHB14K-DT [26]	54

LISTA DE TABELAS

Tab. 1 - Detalhamento conta de energia elétrica da propriedade rural	39
Tab. 2 - Consumo médio mensal em KWh	40
Tab. 3 - Coordenadas geográficas de Conceição das Alagoas	40
Tab. 4 - Irradiação solar diária média de Conceição das Alagoas	40
Tab. 5 - Irradiação solar diária média mensal	41
Tab. 6 - Custo de disponibilidade de energia elétrica	41
Tab. 7 - Tabela preço dos equipamentos do sistema	44
Tab. 8 - Parâmetros do TRC	45

LISTA DE SIGLAS

AGM	<i>Absorbed Glass Mat</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente contínua
GD	Geração Distribuída
IF	Inversor Fotovoltaico
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PRODEEM	Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
SF	Sistemas Fotovoltaicos
SIN	Sistema Interligado Nacional
STC	<i>Standart Test Conditions</i>
TRC	Tempo de Retorno Capitalizado
TRS	Tempo de Retorno Simples
VLP	Valor Presente Líquido
VLRA	<i>Valve Regulated Lead Acid</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS.....	11
1.1.1	Agronegócio no Brasil	11
1.1.2	Energia solar fotovoltaica no Brasil.....	12
1.2	JUSTIFICATIVAS	14
1.2.1	Propriedades rurais e energia fotovoltaica	14
1.2.2	Geração fotovoltaica ligada diretamente na rede elétrica brasileira (ON GRID)	15
2	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E CONCEITOS BÁSICOS	18
2.1	CONCEITOS BÁSICOS.....	18
2.2.1	Radiação solar	18
2.2.2	Massa de ar	20
2.2.3	Tipos de radiação solar.....	21
2.2.4	Irradiância.....	22
2.2.5	Insolação	22
2.2.6	Movimentos do Planeta Terra, declinação solar e altura solar.....	23
2.2.7	Orientação dos módulos fotovoltaicos e ângulo azimutal.....	25
2.3	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	27
2.3.1	Tipos de sistemas fotovoltaicos	27
2.3.2	Componentes de um sistema fotovoltaico	30
3	ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS ÀS REDES ELÉTRICAS EM PROPRIEDADES RURAIS ...	39
3.1	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO NA PROPRIEDADE RURAL.....	39
3.2	ANÁLISE FINANCEIRA	43
4	CONCLUSÃO.....	47
	REFERENCIAS	48
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	50
	ANEXO A – Módulo Fotovoltaico CanadianSolar CS6U – 330	51
	ANEXO B – Inversor Fotovoltaico PHB14K-DT	53

1 INTRODUÇÃO

O Sol é a principal fonte de energia do nosso planeta. A superfície da Terra recebe anualmente uma quantidade de energia solar, nas formas de luz e calor, suficiente para suprir milhares de vezes as necessidades mundiais durante o mesmo período. Apenas uma pequena parcela dessa energia é aproveitada. Mesmo assim, com poucas exceções, praticamente toda a energia usada pelo ser humano tem origem no sol [3].

A energia do sol pode ser utilizada para produzir eletricidade pelo efeito fotovoltaico, que consiste na conversão direta da luz solar em energia elétrica. Diferentemente dos sistemas térmicos, que são empregados para realizar aquecimento ou para produzir eletricidade a partir de energia térmica do Sol, os sistemas fotovoltaicos (SF) têm a capacidade de captar diretamente a luz solar e produzir corrente elétrica. Essa corrente é coletada e processada por dispositivos controladores e conversores, podendo ser armazenada em baterias ou utilizada diretamente em sistemas conectados à rede elétrica [3].

O Brasil é o quinto país com maior extensão territorial, tendo o tamanho de 8.515.759,090 de quilômetros quadrados de extensão. Aliado a isso, sua posição geográfica proporciona grande potencial para aproveitamento da energia solar, além de uma vasta gama de atividades econômicas como agronegócio, indústrias e serviços [1].

O Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro após dois anos de retração (2015, 2016), cresceu 1% no ano de 2017. O agronegócio foi destaque positivo neste crescimento, responsável por 0,7% deste aumento, mesmo tendo um peso de apenas 5,3% na composição do PIB. No ano de 2017, a agropecuária avançou 13% e possui grande influência em todos os outros setores da economia brasileira [2].

Neste contexto, este estudo está voltado para a análise da viabilidade de redução da demanda de energia elétrica contratada nas áreas rurais, por meio da implementação de um sistema de energia fotovoltaica conectado diretamente na rede. O objetivo é a diminuição dos gastos com energia elétrica oriunda da concessionária de energia, sendo que o excedente gerado pelo sistema fotovoltaico é injetado na rede pública, gerando créditos e tornando o agronegócio mais eficiente e rentável.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Agronegócio no Brasil

O conceito do agronegócio se trata da produção, processamento, armazenamento e distribuição dos produtos agrícolas juntamente com a pecuária. Moderno, eficiente e competitivo, o agronegócio brasileiro é uma atividade próspera, segura e rentável. Considerado a principal locomotiva da economia brasileira ele responde por um em cada três reais gerados no país [4].

Com um clima diversificado, chuvas regulares, energia solar abundante e quase 13% de toda a água doce disponível no planeta, o Brasil tem 388 milhões de hectares de terras agricultáveis férteis e de alta produtividade, dos quais 90 milhões ainda não foram explorados. Esses fatores fazem do país um lugar de vocação natural para a agropecuária e todos os negócios relacionados à suas cadeias produtivas [5].

Conforme indicado na figura 1, o PIB brasileiro após dois anos de retração (2015, 2016), cresceu 1% no ano de 2017 [2].

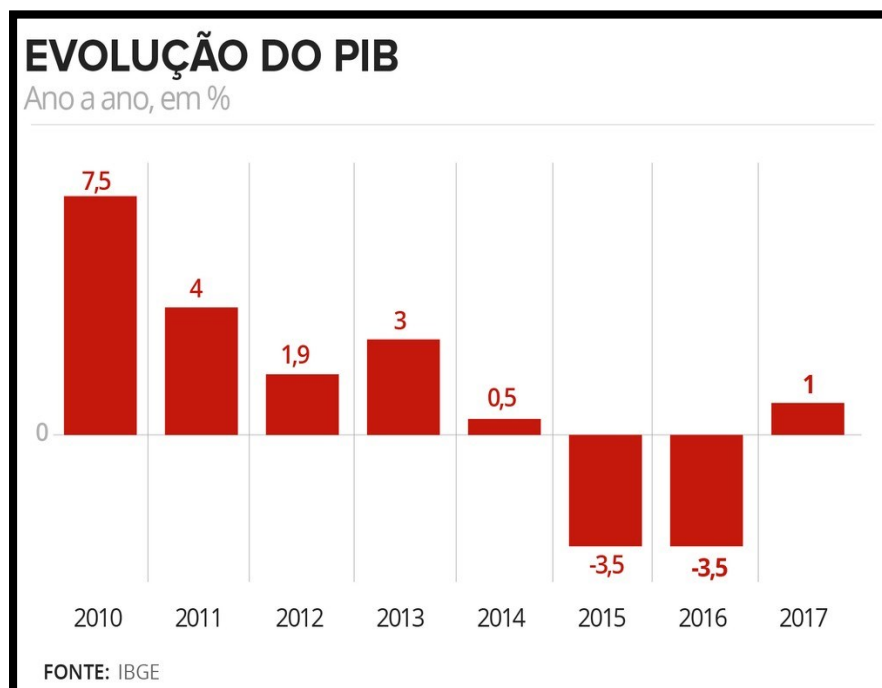


Fig. 1 - Gráfico da evolução do PIB brasileiro [2]

O agronegócio, foi destaque positivo deste crescimento, responsável por 0,7% deste aumento, mesmo tendo um peso de apenas 5,3% na composição do PIB. No ano de 2017, a agropecuária avançou 13% e possui grande influência em todos os outros setores da economia brasileira [2], como pode ser observado na figura 2.

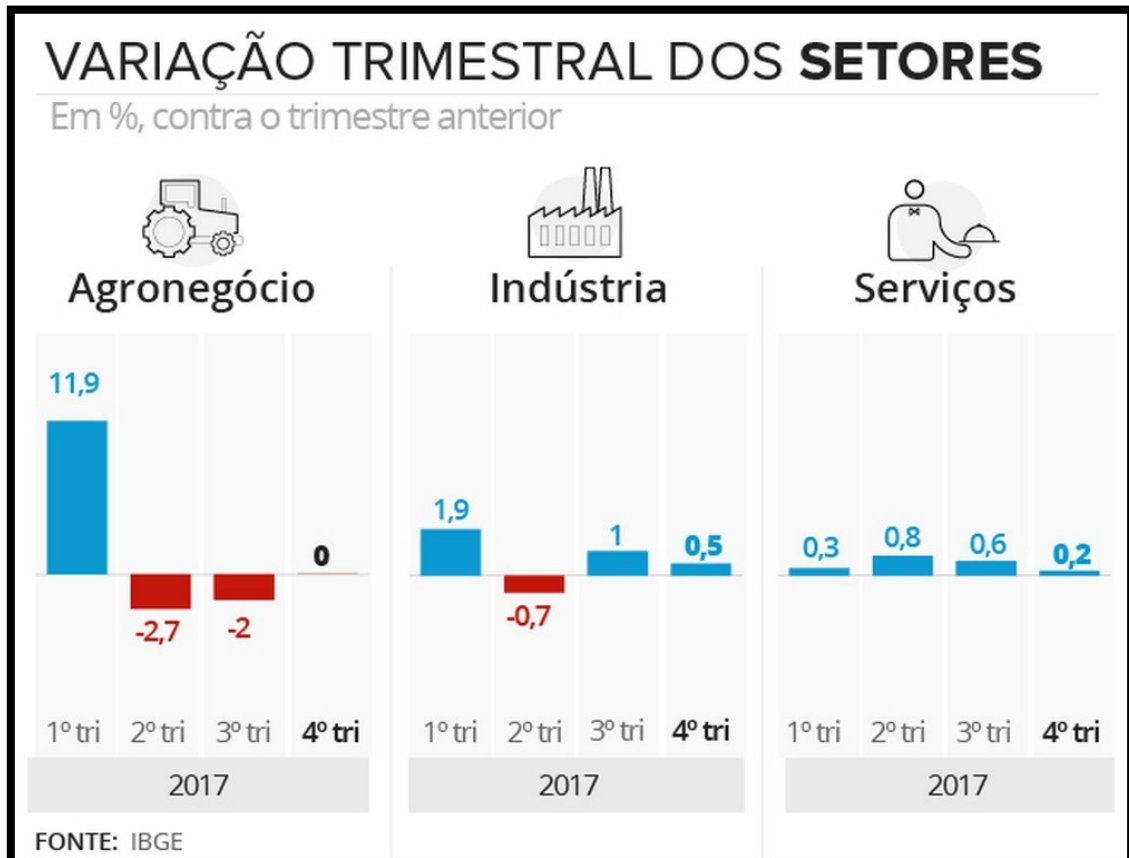


Fig. 2 - Gráfico da variação trimestral dos setores no PIB [2]

1.1.2 Energia solar fotovoltaica no Brasil

A energia solar fotovoltaica tem uma característica muito vantajosa de poder ser usada em qualquer local, gerando eletricidade no próprio ponto de consumo, sem a necessidade de levar energia para outro lugar através de linhas de transmissão ou redes de distribuição. Além disso, diferentemente de outras fontes de energia, ela pode ser empregada em praticamente todo território nacional, em áreas rurais e urbanas [3].

Antes, praticamente restrita a aplicações em pequeno sistemas de eletrificação, instalados em localidades não atendidas pela rede de energia elétrica, desde o ano 2012 a energia solar fotovoltaica tornou-se uma importante fonte de complementação

energética para o Brasil, tendo sua inserção na matriz energética nacional garantida com a aprovação resolução normativa nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que incentiva e regulamenta a geração de eletricidade com fontes renováveis de energia em sistemas conectados à rede elétrica de distribuição [3].

A aprovação dessa resolução foi um marco no setor energético brasileiro, colocando o Brasil no grupo de países que incentivam e apoiam a autoprodução de energia elétrica por cidadãos, empresas e instituições que desejam suprir seu consumo de energia a partir de sistemas fotovoltaicos operando em paralelismo com a rede elétrica pública [6]. A Fig. 3 apresenta a parcela de contribuição de cada tipo de geração de energia ao sistema elétrico brasileiro, evidenciando que energia fotovoltaica representa 1% do total produzido.

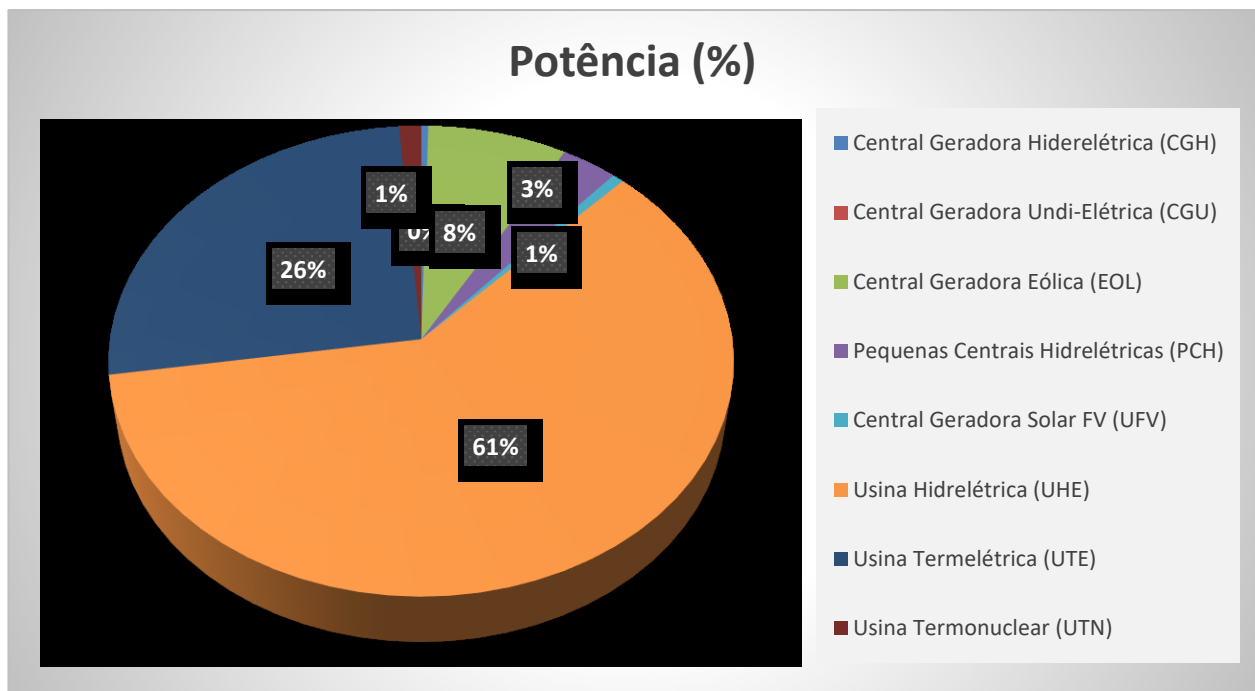


Fig. 3 - Gráfico de potência na geração brasileira [7]

O Brasil possui um considerável potencial para gerar energia proveniente do Sol. O território brasileiro tem altos índices de irradiação solar, principalmente na região Nordeste. Contudo, a geração no país é de apenas 438,3MW de potência instalada em 15,7 mil instalações [8].

Com a criação da Resolução Normativa nº 482 da ANEEL, de 17 de abril de 2012, foram estabelecidas as normas e regimentos regulatórios sobre o acesso à rede de distribuição de microgeração e minigeração distribuída a partir da fonte fotovoltaica. Foi definido o sistema de compensação de geração de energia elétrica (*net metering*)

e as adequações necessárias nos Procedimentos de Distribuição (PRODIST) [3], [6]. O sistema de compensação de energia *net metering*, se baseia no conceito de uma “conta-corrente” de energia existente entre o consumidor que está injetando energia na rede de distribuição e a concessionária. É calculada a diferença entre geração e o consumo de energia elétrica. Caso haja uma diferença positiva é gerado um “crédito” em energia elétrica a ser utilizado nos próximos 36 meses [3], [6]. Em relação as alterações estabelecidas ao PRODIST a partir de Resolução nº 482, as principais alterações contemplam: etapas de viabilização do acesso, critérios técnicos e operacionais, requisitos dos projetos, implantação de novas conexões, requisitos para operação, manutenção e segurança da conexão, sistemas de medição e contratos [6]. Posteriormente, esta resolução sofreu algumas alterações e foi revogada pela RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015 que alterou também os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.

O Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), com o objetivo de incentivar a implementação de geração distribuída, propôs que empreendimentos residenciais seriam financiados em até 80% pelo programa PROESCO de apoio a projetos de eficiência energética, com taxa de juros de cerca de 4% a.a. em termos reais [3], [9].

1.2 JUSTIFICATIVAS

1.2.1 Propriedades rurais e energia fotovoltaica

O Brasil é um país com grande extensão territorial, fato que justifica o alto desenvolvimento de atividades no campo. O agronegócio é um dos pilares da economia brasileira, e vem se destacando positivamente no ano de 2017 [2], [10].

Com tamanha importância do agronegócio no Brasil, torná-lo cada vez mais eficiente e produtivo é essencial para o crescimento do país. Uma alternativa para conter os gastos de uma propriedade rural é reduzir a conta de energia elétrica, elevando o seu rendimento.

O fornecimento de energia elétrica em áreas rurais está passando por um processo de melhoria no atendimento, através do desenvolvimento de programas de eletrificação, como o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM), o Programa Nacional de Eletrificação Rural “Luz no Campo”

e o Programa de Universalização de Energia Elétrica “Luz Para Todos”. Como pode ser visto na Fig. 4, na qual a exclusão de energia elétrica na área rural apresenta um decréscimo ao longo dos anos [1].

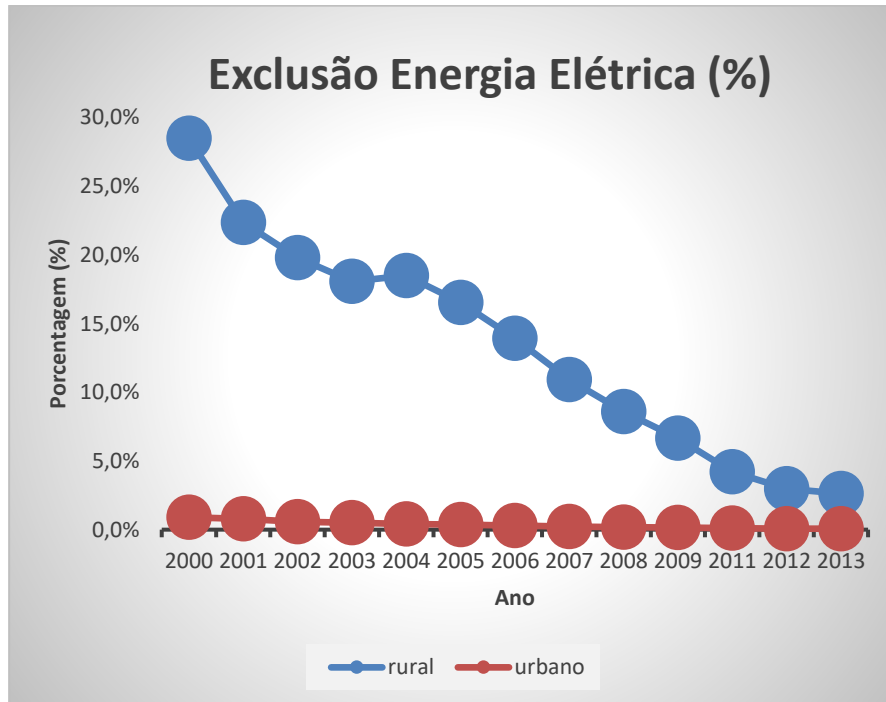


Fig. 4 - Gráfico exclusão de energia elétrica [7]

O Norte do território brasileiro é cortado pela linha do Equador, o que garante um alto índice de luz solar em toda sua extensão. Este fato, torna o Brasil um país propício para a produção de energia provinda do Sol, energia limpa, que pode operar interligado ao sistema elétrico ou de forma isolada. A energia solar fotovoltaica proveniente da radiação solar, transformada em energia elétrica pelos painéis fotovoltaicos pode ser utilizada em sincronismo com a energia gerada por usinas disponível na rede de distribuição, ou pode ser armazenada em bancos de baterias para serem utilizadas em um momento diferente da geração, normalmente armazenada para usufruto em períodos noturnos [3].

Considerando taxa de exclusão de energia elétrica na área rural em decaimento, com auxílio do Sistema Interligado Nacional (SIN), a viabilidade de um projeto de energia fotovoltaica conectada na rede elétrica em áreas rurais se torna cada vez mais promissora. Este fato é evidenciado ao se observar a alta capacidade de produção de energia solar no Brasil associada a importância do agronegócio para a economia brasileira.

1.2.2 Geração fotovoltaica ligada diretamente na rede elétrica brasileira (ON GRID)

Com a ascensão de fontes de energias renováveis, como a eólica e fotovoltaica, a geração de energia elétrica não necessita estar próximo as usinas hidrelétricas e sim perto às unidades consumidoras. Assim podem ser conectadas à rede de distribuição, possibilitando inclusive a interação com o SIN na forma de compra ou venda de energia. A Fig. 5 mostra o crescimento da Geração distribuída nos últimos anos, com destaque para 2016 e 2017. Devido as vantagens climáticas e geográficas a geração fotovoltaica apresenta crescimento nos indicadores nacionais observador nos últimos semestres [1], [2].

Com a criação do conceito de Geração Distribuída (GD), coligado a Resolução Normativa ANEEL nº482/2012 permite ao próprio consumidor a geração ou cogeração de energia elétrica qualificada com base em fontes renováveis, e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição [3], [6].

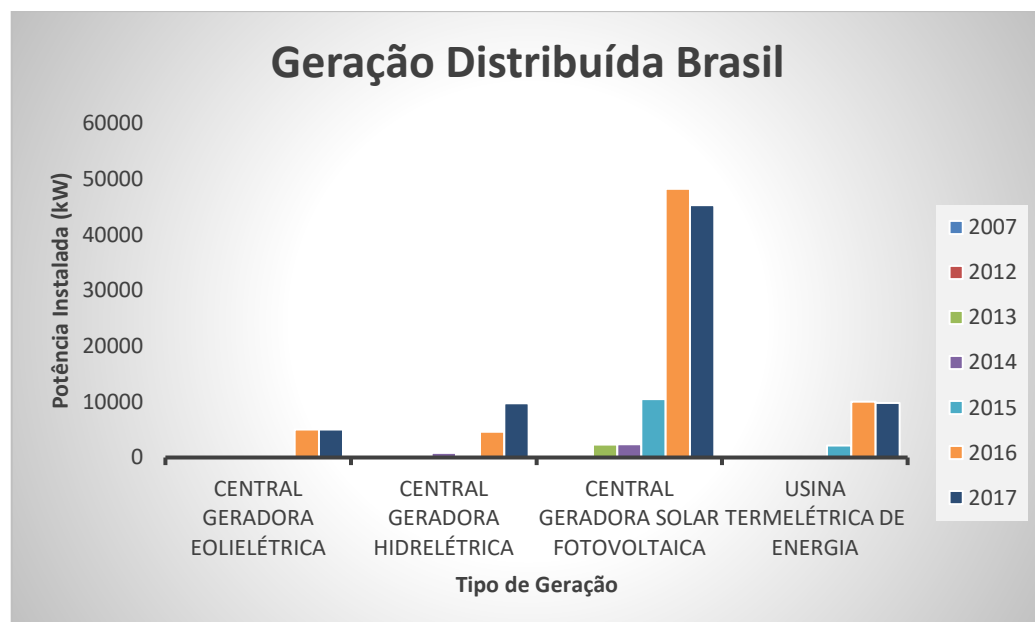


Fig. 5 - Geração distribuída no Brasil [7]

De forma interligada ao SIN, os sistemas fotovoltaicos podem implicar em muitos benefícios [6]:

- a) menores investimentos em obras para a construção de usinas de grande porte;
- b) redução de perdas por transmissão e distribuição de energia, já que a eletricidade é consumida onde é produzida;
- c) redução em investimentos em linhas de transmissão e distribuição;
- d) baixo impacto ambiental;
- e) não exigência de área física dedicada;
- f) rápida instalação;
- g) redução na conta de energia elétrica.

Alicerçado nestas proposições, este trabalho apresenta um estudo e uma análise de viabilidade para que uma propriedade rural em conjunto com um sistema fotovoltaico, conectado à rede elétrica, possa reduzir seus custos com energia elétrica, tornando-se mais eficiente, dinâmica e rentável.

2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E CONCEITOS BÁSICOS

2.1 CONCEITOS BÁSICOS

Durante este capítulo serão apresentados conceitos essenciais para entendimento do estudo proposto. Portanto serão discutidos conceitos básicos de sistemas fotovoltaicos que servem para nortear a análise da sua aplicação em uma propriedade rural, interligado diretamente na rede de distribuição de energia elétrica. O referencial teórico utilizado para a conceituação de sistemas fotovoltaicos se baseia na obra de Villalva [3].

2.2.1 Radiação solar

A energia solar é transmitida ao planeta Terra por meio de radiação eletromagnética. A radiação é composta por ondas eletromagnéticas que possuem frequências e comprimentos de onda diferentes [3].

A energia que uma onda pode transmitir é proporcional a sua frequência e inversamente proporcional ao seu comprimento de onda. Conhecida como relação de Planck ou equação de Planck-Einstein, mostra a relação entre a energia de uma onda eletromagnética E , expressa em joules [J], e a sua frequência f , expressa em Hertz [Hz], pela Equação 1:

$$E = h * f \quad (1)$$

A constante física de proporcionalidade h , constante de Plank, completa a equação. A mesma possui o valor de aproximadamente $6,636.10^{-34}$ [J.s] .

A luz possui velocidade constante no vácuo do espaço fora da Terra, esta pode ser expressa pela Equação 2:

$$c = \lambda * f \quad (2)$$

Onde c é a velocidade da luz no vácuo, com valor aproximado de 300.000 km/s, λ é o comprimento da onda em metros e f é a frequência da onda em hertz [3].

As ondas eletromagnéticas provenientes do Sol podem ter efeitos diferentes quando em contato com objetos e seres vivos. Chama-se de espectro todas as frequências de ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol, desse espectro somente uma pequena parcela é percebida pelo olho humano, conforme Fig. 6, mas todas as frequências de onda transportam energia [3].

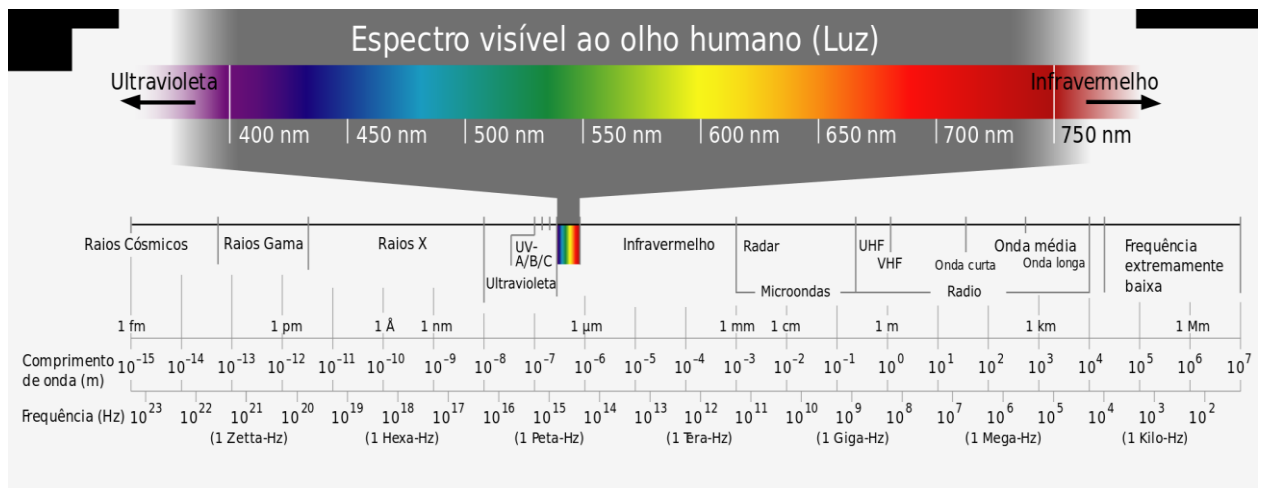


Fig. 6 - Espectro de ondas da radiação solar [12]

A radiação solar ao atravessar a atmosfera terrestre até chegar ao solo ou módulos fotovoltaicos sofre influência das diversas partículas de ar, poeira e obstáculos. Os equipamentos capazes de medir a radiação solar são denominados de pirômetros [3].

Os materiais se comportam de modo diferente ao submetidos a radiação solar. As ondas eletromagnéticas podem ser captadas e transformadas em calor, a energia eletromagnética transmitida pelo Sol é transformada em energia térmica, quando incidem em um corpo com capacidade de absorver radiação, é transformada em energia cinética e transmitida para átomos e moléculas deste corpo [3].

Certos materiais em contato com as ondas eletromagnéticas produzem alterações elétricas, dois efeitos são o fotovoltaico e fotoelétrico. No efeito fotovoltaico o material transforma radiação eletromagnética em energia elétrica através de uma diferença de potencial ou uma tensão elétrica sobre uma célula formada por materiais semicondutores. O efeito fotoelétrico é responsável pela remoção de elétrons, entretanto não é capaz de criar tensão elétrica diferentemente do fotovoltaico. Neste estudo será analisado o efeito fotovoltaico [3].

2.2.2 Massa de ar

A radiação solar sofre influência conforme as características e composição da camada de ar que ela atravessa na atmosfera terrestre até chegar ao solo. A espessura dessa camada é conhecida como massa de ar (AM) ela é quantificada e depende do ângulo zenital (θ_z), dada pela Equação 3:

$$AM = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad (3)$$

O zênite refere-se a uma linha imaginária perpendicular ao solo. Quando o Sol está acima do observador, o ângulo zenital é zero conforme a Fig. 7. A espessura da camada de ar que a radiação atravessa depende do comprimento do seu trajeto até chegar ao solo, que está relacionado com o ângulo zenital conforme pode-se observar, quanto maior for o ângulo zenital maior será o comprimento da massa de ar [3].

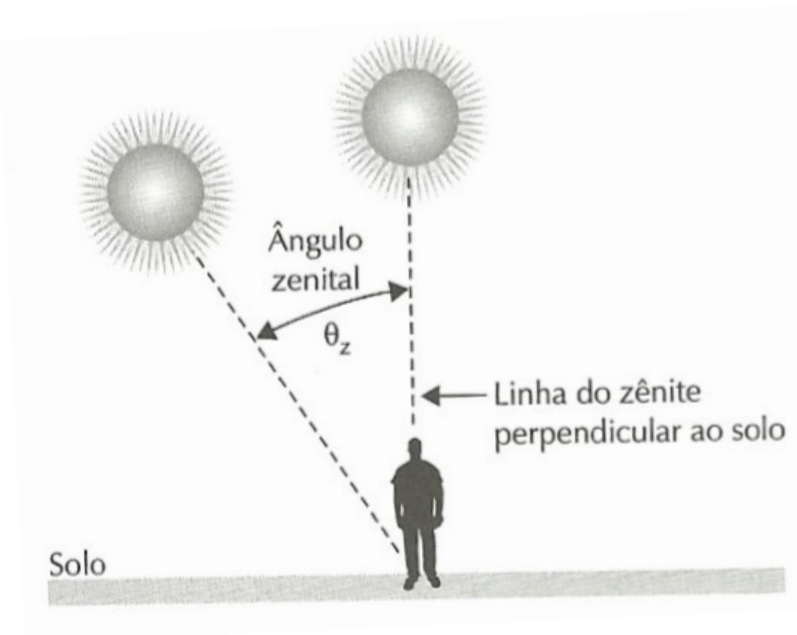


Fig. 7 - Ângulo zenital [3]

A distribuição energética no espectro radiação solar depende da localização geográfica, hora e dia, condições climáticas, composição da camada de ar, altitude, entre outros fatores. O perfil médio característico da radiação solar em um local é função da massa de ar e pode ser adquiri através de experimentos. A distribuição espectral AM1,5 a qual refere-se ao ângulo zenital igual à $48,5^\circ$, é utilizada como

padrão em diversos livros e catálogos de células e módulos fotovoltaicos, e corresponde a radiação média solar de países do hemisfério norte, adeptos do uso de energia solar [3].

2.2.3 Tipos de radiação solar

A radiação solar sofre influência do ar atmosférico, das nuvens e da poluição antes de chegar ao solo, células e módulos fotovoltaicos. A radiação que chega ao solo é composta por raios solares vindo de todas as direções e são absorvidos, espalhados e refletidos pelo ar, poeira, nuvens e vapor [3].

A radiação pode ser dividida em duas diretrizes, a radiação direta e a radiação difusa, as quais somadas geram a radiação global, conforme a Fig.8. A radiação direta refere-se aos raios solares que incidem em linha reta sobre o solo e depende do ângulo zenital do Sol. A radiação difusa corresponde aos raios solares que chegam de forma indireta ao solo, consequência da difração da atmosfera e reflexão da luz [3].

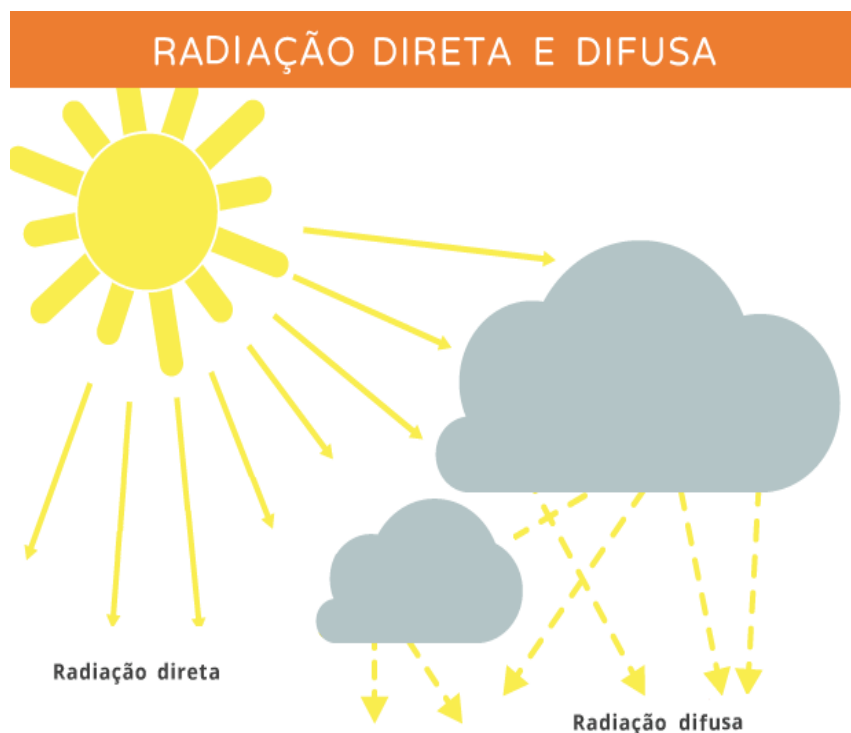


Fig. 8 - Tipos de radiação [13]

2.2.4 Irradiância

A grandeza a qual quantifica a radiação solar é a irradiância, medida em W/m^2 (watt por metro quadrado), uma unidade de potência por área. O dispositivo responsável por medir a radiação solar, pirômetro, exibe suas medidas nesta unidade de grandeza. As unidades de potência expressam a quantidade de energia transportada em uma unidade de tempo, logo, quanto maior a potência da radiação solar, mais energia é transportada em determinado tempo [3].

A irradiância da luz solar na superfície terrestre é caracteristicamente 1000 W/m^2 , e é utilizada como um ponto de referência assim como a massa de ar AM1,5. Deste modo, a eficiência das células e módulos fotovoltaicos podem ser especificadas e comparadas com uma base de irradiância e massa de ar (1000 W/m^2 e AM1,5) [3].

2.2.5 Insolação

A insolação é a grandeza utilizada para quantificar a energia solar incidente em uma área de superfície, sua unidade é Wh/m^2 (watt-hora por metro quadrado). A unidade de energia expressa em Wh dividida por uma unidade de área m^2 determina a densidade de energia por área [3].

A medida da insolação é de grande valor no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, para se obter é necessário adquirir as coordenadas geográficas do local onde projeto será instalado e correlacionar por meio de tabelas, mapas solarimétricos e ferramentas computacionais, Os dados obtidos por sensores espalhados ao longo da superfície terrestre são expressos em $\text{Wh/m}^2/\text{dia}$ (watt-hora por metro quadrado por dia). Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico proposto nesse trabalho será utilizado a ferramenta computacional no site <http://www.cresesb.cepel.br>, o qual se insere as coordenadas geográficas e se obtém as grandezas do local [3], [14]. A Fig. 9 é um exemplo de mapa solarimétrico, no qual é possível determinar o nível de insolação de cada região.

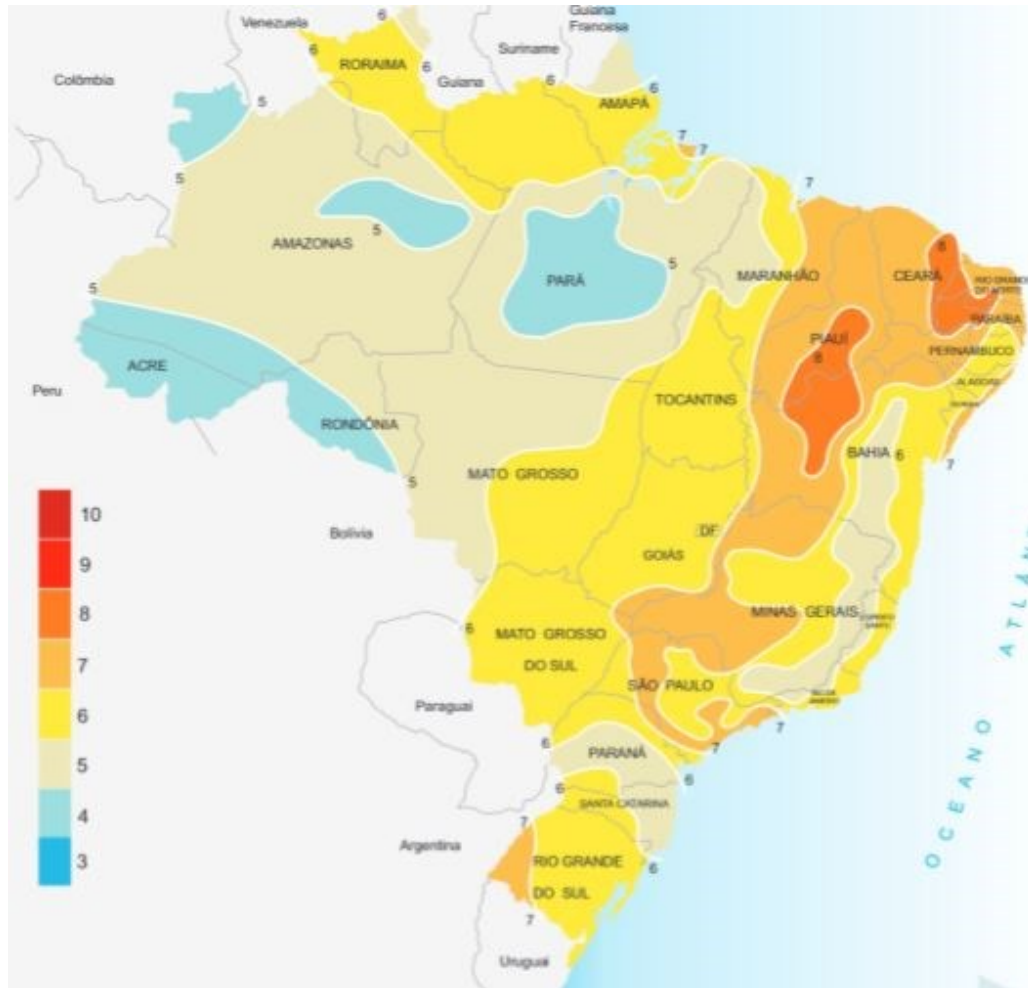


Fig. 9 - Mapa solarimétrico Brasil [14]

2.2.6 Movimentos do Planeta Terra, declinação solar e altura solar

O Planeta Terra se encontra em constante movimento em uma trajetória elíptica ao redor do Sol, o chamado movimento de translação, uma volta completa ao redor do Sol demoram 365 dias e 6 horas, um ano em nosso calendário. Ao mesmo tempo, a Terra faz um movimento de rotação em relação ao seu próprio eixo, que dura cerca de 24 horas, no calendário corresponde a um dia. O eixo de rotação da Terra é inclinado num ângulo de aproximadamente $23,5^\circ$ em relação ao eixo de translação como mostra a Fig. 10, a inclinação dos eixos faz com que a distância dos hemisférios norte e sul sejam diferentes a cada dia do ano, em relação ao Sol, dando origem às estações do ano [3].

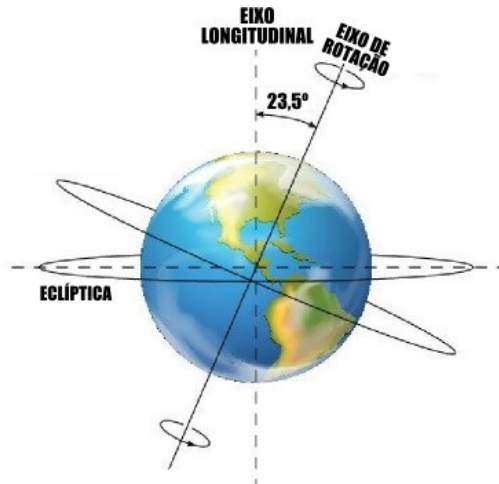


Fig. 10 - Movimentos translação e rotação Planeta Terra [15]

O ângulo em que os raios solares incidem em relação a Linha do Equador é conhecido como declinação solar (δ), o qual varia de acordo com a posição da Terra no movimento de translação, conforme a Fig. 11. Próximo a linha do equador a inclinação não possui grande influência sobre as estações do ano, mas quando se afasta deste os efeitos são claros, dias mais longos no verão e no inverno mais curtos. No início do outono e da primavera tem-se os dias em que a radiação solar incide diretamente sobre a Linha do Equador [3].



Fig. 11 - Declinação solar e estações do ano [3]

A declinação solar é o ângulo dos raios solares com relação ao equador, este faz com que o Sol descreva uma trajetória diferente a cada dia do ano, isto reflete no ponto em que o Sol nasce e se põe no globo terrestre [3].

Um observador que olha ao norte descreve o movimento do Sol ao longo do dia como sendo circular em relação à Terra, o ângulo que descreve a inclinação da trajetória do Sol com o plano horizontal é chamado de altura solar (γ_s). A altura solar é maior nos dias de verão, o que significa que nessa época do ano os raios incidem mais próximos à cabeça do observador, logo com um ângulo zenital menor percorrendo uma reduzida massa de ar. Durante os dias de inverno se observa o contrário: a altura solar é menor, logo o ângulo zenital e a massa de ar percorrida são maiores [3].

2.2.7 Orientação dos módulos fotovoltaicos e ângulo azimutal

Os raios solares são ondas eletromagnéticas paralelas entre si, os quais chegam a Terra em linha reta. Ao cruzar a atmosfera terrestre os raios sofrem efeito da difusão e são desviados em várias direções, mas a maior parte segue trajetória reta (radiação direta). Para estudos fotovoltaicos é considerado a aplicação da radiação direta [3].

Em todo planeta, a radiação direta incide no solo com uma inclinação diferente, esta inclinação varia de acordo com os dias e meses do ano, posição da Terra e do Sol no espaço. Não é possível melhorar a captação da radiação difusa por esta ser irregular, contudo, é possível maximizar a captação da radiação direta, aumentando o aproveitamento da radiação global [3].

A orientação dos raios solares em relação ao norte geográfico possui uma angulação chamada ângulo azimutal (θ_a), como mostrado na Fig. 12. Um observador localizado no hemisfério Sul e tendo como referência um ponto fixo voltado para o norte, notará que pela manhã o ângulo azimutal irá variar pela sua direita, enquanto durante a tarde a sua variação ocorrerá à esquerda do observador. Quando o ângulo azimutal é nulo tem-se o chamado de meio-dia solar e o Sol localiza-se exatamente à frente do observador e está na metade do seu percurso, o meio-dia solar não necessariamente coincide com o meio-dia horário. Considerando o movimento do Sol desde o período em que nasce até o momento em que se põe, observando as variações do ângulo azimutal, é visto que a melhor maneira de se instalar os módulos fotovoltaicos é com a face voltada para o norte geográfico, caso o mesmo não possua um sistema de rastreamento automático do Sol, pois dessa maneira ele aproveitará da melhor maneira a radiação solar disponível durante o dia [3].



Fig. 12 - Ângulo azimutal [3]

A maneira a qual os raios solares incidem nos módulos fotovoltaicos dependem da posição do Sol naquele instante de tempo, e como já foi visto essa posição é definida pelos ângulos anteriormente citados. A Fig. 13 mostra como os raios solares incidem em um módulo fotovoltaico, o ângulo de inclinação do painel (α) em relação ao solo deve ser dimensionado de maneira a minimizar e de uma maneira ideal até anular o ângulo de incidência dos raios solares (β). O ângulo de incidência do raio solar depende da altura solar em referência a uma reta perpendicular imaginária na face do módulo fotovoltaico, a altura solar varia diariamente, portanto para um aproveitamento máximo dos raios solares ocorreria com $\beta = 0$ e definido diariamente para cada altura solar [3].

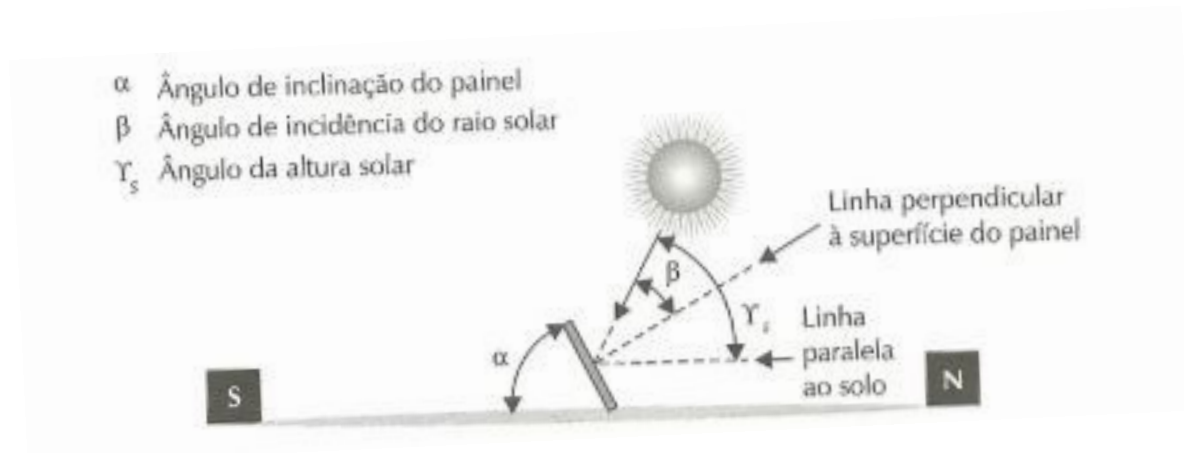


Fig. 13 - Ângulo de incidência dos raios solares [3]

A grande maioria dos sistemas possuem a instalação fixa, a escolha do ângulo de inclinação (α) deve seguir algum critério de maneira a maximizar a captação da

radiação solar, para fins de dimensionamento nesse estudo será utilizado o critério adotado por muitos fabricantes, conforme Fig. 14. A escolha incorreta pode reduzir a captação e comprometer a produção de energia elétrica do módulo fotovoltaico [3].

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	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

Fig. 14 - Ângulo de inclinação dos módulos (*Installation and Safety Manual of the Bosch Solar Modules*) [3]

2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos são responsáveis por transformar a energia proveniente da radiação solar em energia elétrica. Por meio dos módulos fotovoltaicos e devido ao efeito fotovoltaico, estes são capazes de captar a radiação solar e a transformar em energia elétrica [3].

Se apresentam como uma alternativa para o fornecimento de energia a locais que por algum motivo se encontram isolados do restante do sistema elétrico. Também são considerados como uma fonte limpa para a geração de energia elétrica, visto que a mesma utiliza somente a radiação solar na geração não emitindo nenhum tipo de gás poluente que contribua para o efeito estufa. São uma forma de redução do custo de energia, podendo gerar créditos para redução dos gastos mensal da conta de energia [3].

2.3.1 Tipos de sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos autônomos da rede elétrica os chamados sistemas fotovoltaicos “off-grid”, possuem a característica de prover energia elétrica a locais sem a necessidade de estarem conectados ao restante do sistema elétrico, estes podem utilizar baterias para o armazenamento da energia elétrica. Alguns exemplos

de aplicações são: uso em sistema de sinalização e de telecomunicações, em aparelhos eletrônicos, embarcações marítimas eletrificadas, recarregar baterias de veículos elétricos, uso em sistema de bombeamento de águas, estações meteorológicas, iluminação públicas, dentre outros [3].

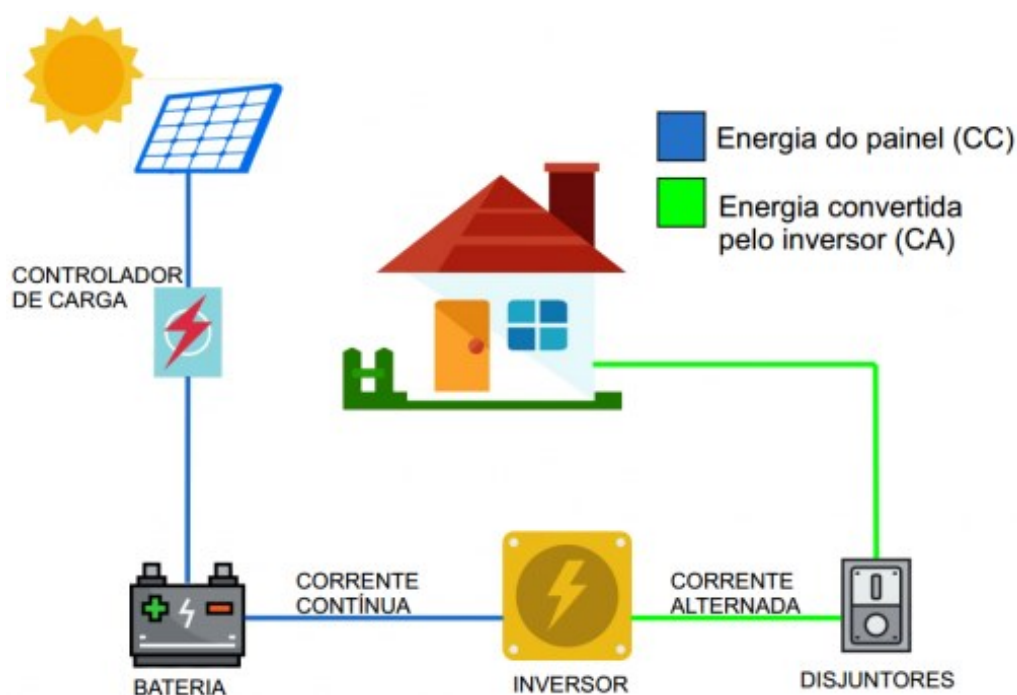


Fig. 15 - Sistema fotovoltaico "off-grid" [16]

Na Fig. 15, tem-se o esquema de uma aplicação fotovoltaica autônoma. Um conjunto de módulos fotovoltaicos conectados, para gerar maiores tensões e potência, são responsáveis por gerar uma tensão contínua (CC), o controlador de carga se encarrega de controlar a tensão e o carregamento do banco de baterias. Para utilizar a energia elétrica em aparelhos residenciais, motores, cargas que sejam alimentadas por corrente alternada (CA) em geral devem utilizar um Inversor Fotovoltaico (IF) para transformar a tensão disponível no controlador de carga CC em uma tensão alternada CA [3].

Os SF também podem operar de forma conectada ao restante do sistema elétrico, no caso brasileiro conectado ao SIN, esses sistemas são conhecidos como sistemas fotovoltaicos “on-grid”. Esta aplicação pode ser utilizada para a geração de energia elétrica próxima ao local de consumo da mesma, utilizando os conceitos de geração distribuída segundo a Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL, permitindo aos consumidores a geração da sua própria eletricidade e entregando o excedente de sua produção ao SIN, havendo excedente o consumidor poderá utilizar o crédito em

energia elétrica posteriormente. Ou de forma concentrada utilizando grandes strings de módulos fotovoltaicos conectados a centrais inversoras constituindo usinas fotovoltaicas, que entregam grandes quantidades de potência elétrica ao restante do sistema [3].

Para efeito de estudo, nesse trabalho será focado no SF que se baseiam nos conceitos de geração distribuída conforme a resolução nº 482/2012, complementada pela resolução nº 687/2015. Conforme disposições preliminares da normativa, os sistemas dividem-se em:

- a) microgeração distribuída: potência instalada menor ou igual a 75 kW;
- b) minigeração distribuída: potência instalada superior a 75 kW e inferior a 5MW;
- c) sistema de compensação de energia elétrica: potência elétrica ativa injetada por um consumidor a rede, posteriormente compensada pela utilização de energia elétrica oferecida pela rede;
- d) melhoria: instalação, substituição ou reforma de componentes do sistema de distribuição elétrica, visando manter a prestação de serviço adequada;
- e) reforço: instalação, substituição ou reforma de componentes do sistema de distribuição elétrica, visando aumentar a capacidade do mesmo;
- f) empreendimento com múltiplas unidades consumidora;
- g) geração compartilhada;
- h) autoconsumo remoto: utilização de energia elétrica injetada na rede em um local diferente desde que pertença ao mesmo proprietário os locais de geração e consumo.

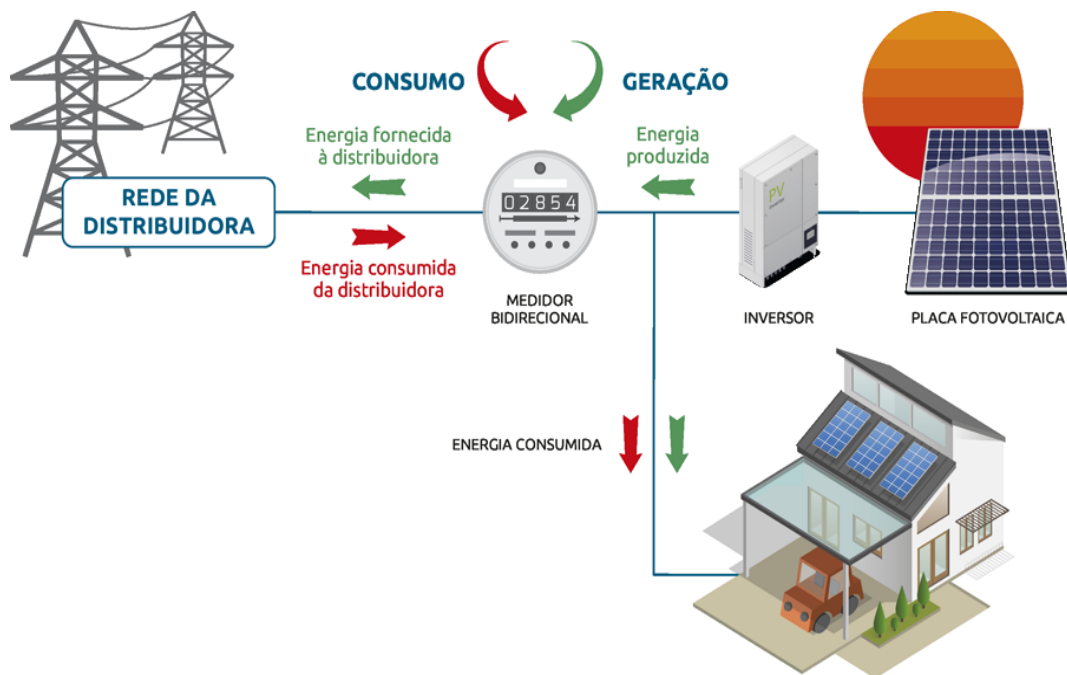


Fig. 16 - Sistema fotovoltaico "on-grid" [17]

Na Fig. 16, observa-se que os módulos fotovoltaicos estão conectados diretamente ao IF, responsável por fazer a conexão entre a geração e o consumo da energia elétrica. Na saída do inversor a energia elétrica disponível pela geração tem dois caminhos diferentes: o consumo da energia pela própria residência ou injetar o excedente da produção no sistema de distribuição. Para quantificar e fazer o balanço entre a quantidade de energia elétrica injetada pelo consumidor à rede elétrica e a energia que o mesmo consome de rede, existe entre a conexão consumidor e rede de distribuição um medidor bidirecional, que é capaz de sensibilizar-se pela energia elétrica consumida e injetada na rede [3].

2.3.2 Componentes de um sistema fotovoltaico

Dentre os componentes utilizados para a instalação de SF serão conceituados os principais e mais importantes para o dimensionamento do sistema proposto neste estudo:

- a) módulos fotovoltaicos;
- b) controlador de carga;
- c) banco de baterias;

- d) inversor fotovoltaico;
- e) medidor bidirecional.

Os módulos fotovoltaicos são compostos por células fotovoltaicas associadas em série e em paralelo, conforme a Fig. 17 [3].



Fig. 17 - Módulo fotovoltaico [18]

Por sua vez as células fotovoltaicas são constituídas por diferentes camadas de materiais semicondutores do tipo P e N, são responsáveis devido ao efeito fotovoltaico de transformar a luz ou radiação eletromagnética proveniente do Sol em energia elétrica [3].

Os semicondutores são caracterizados pela mudança no comportamento de suas propriedades na adição de materiais dopantes ou impurezas. As células fotovoltaicas são compostas por na parte superior uma camada semicondutora do tipo N abaixo dessa camada está um semicondutor do tipo P, formando a junção P e N [3].

Os semicondutores do tipo N possuem isoladamente elétrons em excesso em sua camada, enquanto os semicondutores do tipo P possuem lacunas de elétrons em sua forma isolada. Quando esses materiais são colocados em contato, formando a junção P e N, os elétrons que estão em excesso no semicondutor tipo N migram para as lacunas do tipo P, gerando um campo elétrico na junção dos materiais. Isto cria a barreira de potencial, esta somente é vencida quando a luz incide sobre a célula fotovoltaica, oferecendo um caminho para os elétrons livres da camada tipo N transitarem até as lacunas do tipo P resultando no aparecimento de uma corrente elétrica no percurso conforme Fig. 18. As células fotovoltaicas são conectadas em série para conseguirem fornecer maiores tensões de operação [3].

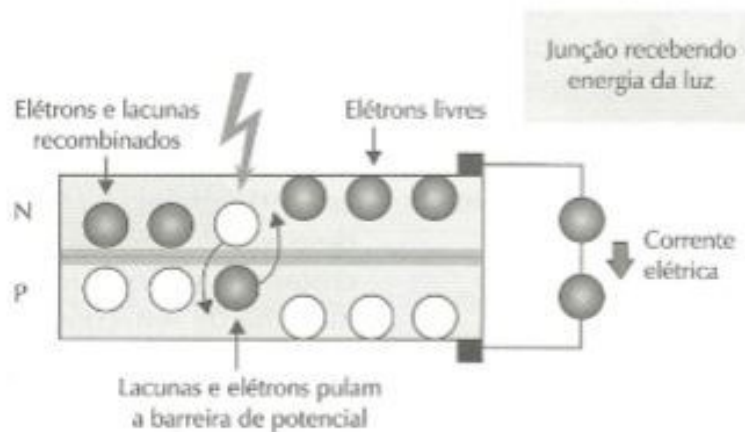


Fig. 18 - Funcionamento células fotovoltaicas [3] [1]

Existem diversos tipos de módulos fotovoltaicos conforme o material utilizado na sua fabricação. No cenário comercial os módulos que predominam são os constituídos de silício cristalino. Os módulos fabricados com silício monocristalino apresentam uma tensão máxima de até 40 V, com potência de 50W a 300W e podem fornecer uma corrente de até 8^a. As células de silício monocristalino são as mais eficientes no cenário comercial. Existem também módulos mais recentes fabricados com novas tecnologias chamadas de filmes finos, este são formados por uma célula única com dimensões do próprio módulo, com potência de 50W a 110W, tensão de saída de 70V. Módulos de filmes finos têm uma baixa eficiência, já que possuem uma corrente de saída muito baixa e necessitam um conjunto em paralelo para alcançar a produção desejada [3].

O módulo fotovoltaico não se comporta como uma fonte elétrica convencional de tensão constante, o mesmo apresenta variados valores de tensão de acordo com a carga conectada, corrente que transita entre os seus terminais. A relação de tensão e corrente (I-V) dos módulos são de extrema importância para análise e dimensionamento, portanto são sempre apresentadas pelos catálogos dos fabricantes. Na Fig. 19 são apresentadas as curvas I-V de um módulo fotovoltaico comercial [3].

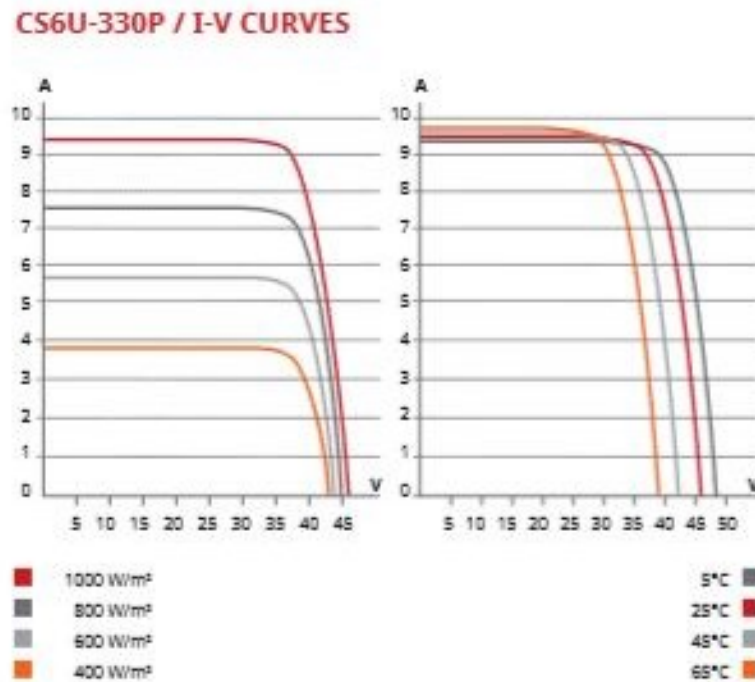


Fig. 19 - Curvas I-V módulo fotovoltaico Canadian [18]

Pelo gráfico é possível notar que o ponto corrente de curto-circuito é aquele quando a tensão nos terminais é nula e a corrente é máxima. Outra informação contida na Fig. 19 é o ponto de tensão de circuito aberto, a tensão apresentada nos terminais do módulo sem carga conectada, corrente igual à zero. Além desses dois pontos, existe um único ponto para cada módulo fotovoltaico o qual o mesmo apresenta a máxima potência extraída do Sol chamado de ponto de máxima potência, os módulos devem operar neste ponto. Para cada curva I-V existe uma curva de potência e tensão (P-V) equivalente [3].

As curvas de operação I-V sofrem influências devido a radiação e a temperatura apresentando variações conforme as condições climáticas. A corrente fornecida pelo módulo depende da radiação solar que incide sobre o mesmo e sua área. A temperatura influi diretamente na tensão elétrica de operação, apresentando deste modo variações de potência. A eficiência de um módulo fotovoltaico é calculada a partir da Equação 4:

$$\eta_p = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_p \cdot 1000} \quad (4)$$

Sendo $P_{m\acute{a}x}$ a máxima potência ou potência de pico (Wp) fornecida pelo módulo e A_p a área do módulo fotovoltaico em $[m^2]$. Essa eficiência é padronizada conforme

as condições de teste padrão (*Standart Test Conditions*, STC), para utilizarem os mesmos parâmetros em diferentes modelos na análise de eficiência. As condições de STC conforme já foi citado neste estudo apresentam radiação equivalente a 1000 W/m^2 , massa de ar AM1,5 e temperatura de 25°C . Os dados fornecidos pelos fabricantes em seus catálogos utilizam-se desses padrões para teste [3].

O controlador de carga é o ponto de conexão entre os módulos fotovoltaicos ao restante do sistema, responsável por estabelecer níveis de tensão de operação adequada, conforme mostra a Fig. 20. Já que os módulos têm característica inerente de ser uma fonte de tensão que varia. Item indispensável nos SF autônomos faz o controle do carregamento do banco de baterias, geralmente operando com tensões de 12/24 V, mantém a tensão do banco em níveis de permitam o seu carregamento e a desconexão das mesmas para garantir a integridade da sua vida útil [3].



Fig. 20 - Controlador de carga [19]

O controle pode ser feito através de proteção de sobrecarga e descarga excessiva do banco de baterias, o chamado controlador de carga convencional. Ou através de controles eletrônicos PWM (*Pulse Width Modulation*) e MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) que permitem fazer o carregamento conforme o perfil de carga do banco de baterias e operar no ponto de máxima potência do módulo fotovoltaico, respectivamente. Os controladores de carga eletrônicos com o recurso de MPPT possuem em média 30% melhor eficiência quando comparados aos controladores de carga convencional, isto acontece devido ao fato de sempre estarem operando no ponto de máxima de potência [3].

Nos SF nem sempre o consumo da energia elétrica acontece no mesmo momento em que os módulos convertem a radiação do Sol em eletricidade. Para armazenamento da energia elétrica utilizam-se baterias conectadas em série e

paralelo formando um banco de baterias como ilustrado na Fig. 21. As baterias são conectadas em série para aumentar a tensão de operação do banco logo também do sistema, enquanto a conexão em paralelo acontece para aumentar a capacidade armazenamento em ampere-hora (Ah) [3].



Fig. 21 - Banco de baterias [20]

Existem no mercado diferentes de opções de baterias para aplicações fotovoltaicas. A bateria de chumbo ácido com eletrólito gel é um avanço da bateria de chumbo ácido com eletrólito líquido, tem como vantagens: maior vida útil, maior número de ciclos de carga e descarga e opção de ser utilizada em lugares com pouca ventilação, pois estas não liberam gases durante o funcionamento. Têm-se também baterias de NiCd e NiMH, níquel-cádmio e níquel-metal-hidreto, possuem um valor maior que as de chumbo ácido líquidas ou de gel, suas características são um baixo coeficiente de autodescarga, suportam elevadas variações de temperaturas e permitem descargas mais profundas. Outro exemplo de baterias são as baterias AGM (*absorbed glass mat*), é um tipo avançado de bateria VLRA (*Valve Regulated Lead Acid*), com diferencial de permitir ciclos de descarga mais profundos do que as convencionais [3].

A profundidade de descarga de uma bateria é importante para análise e dimensionamento de um sistema. Existem dois fatores que influem diretamente na vida útil de uma bateria que são a temperatura de operação e a profundidade de descarga. Os fabricantes de baterias fornecem no catálogo de seus produtos as informações em forma de gráfico de como esses dois fatores atuam na vida útil do equipamento [3].

O IF é um equipamento eletrônico responsável por converter a tensão e corrente contínua (CC) em uma tensão e CA, como ilustrado na Fig. 22. Os modelos de inversores variam em diversos aspectos, como por exemplo: classe de potência, tipos de operação e classe de tensão [3].



Fig. 22 - Inversor Fotovoltaico Fronius “Grid-Tie” [21]

A grande maioria dos equipamentos presentes em nos locais de trabalho, residências e no cotidiano foram feitos para serem alimentados por tensão e CA, pois é a tensão fornecida pelos sistemas convencionais. Os módulos fotovoltaicos fornecem tensão CC na saída de seus terminais, o que gera uma incompatibilidade na conexão dos equipamentos e torna o IF um item quase que indispensável em instalações fotovoltaicas [3].

O seu princípio básico de funcionamento opera com um conjunto de chaves eletrônicas conectadas aos módulos como mostra na Fig. 23, que possuem como característica permitir ou bloquear o fluxo de corrente de acordo com o seu estado ligado ou desligado. Alternando o estado das chaves e o caminho do fluxo de corrente, obtêm-se uma onda de característica alternada na saída dos terminais das chaves, porém essa onda apresenta altos níveis de distorções harmônicas e não é indicada para a alimentação de equipamentos devido a interferência eletromagnética que pode causar nos mesmos [3].

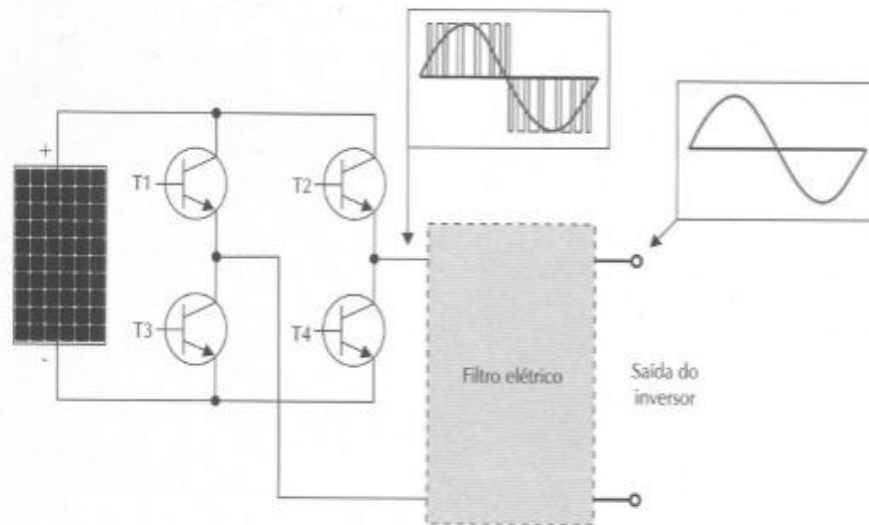


Fig. 23 - Princípio de funcionamento Inversor Fotovoltaico [22]

Equipamentos a serem utilizados devem funcionar pelo princípio da modulação por largura de pulsos (PWM, *Pulse Width Modulation*), gerando uma sequência de ondas quadradas de alta frequência e resultando em uma onda pura senoidal na frequência fundamental de 60 Hz adicionado a suas componentes harmônicas de alta frequência. Um filtro, dispositivo elétrico capaz de mitigar as componentes harmônicas, é colocado anterior a saída do inversor para que o mesmo forneça aos dispositivos ligados a ele uma onda senoidal pura na frequência de 60 Hz, no caso brasileiro [3].

O IF pode ser utilizado em aplicações fotovoltaicas autônomas e conectadas ao restante da rede elétrica, porém, os inversores empregados nestas aplicações deverão ser diferentes. Os IF instalados em sistemas autônomos, possuem como característica trabalharem como uma fonte de tensão para os equipamentos que serão alimentados por ele, sendo as características da forma de onda e magnitude da tensão fornecidas pelo IF ao sistema. Em aplicações conectadas à rede elétrica, deve-se preocupar com a proteção do sistema elétrico em caso de anormalidades ou manutenção do mesmo, para tanto, os IF utilizados em aplicações deste tipo funcionam como uma fonte de corrente ao restante do sistema, para que o mesmo se mantenha conectado à rede elétrica é necessário que o sistema elétrico forneça uma tensão elétrica em seus terminais, sendo esta tensão fornecida de características imposta pelo sistema elétrico [3].

Todos os inversores fabricados para operarem em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica possuem o recurso de MPPT ou rastreamento do ponto de

máxima potência. O recurso permite que o sistema sempre opere no ponto que forneça a máxima potência na curva I-V dos módulos ou conjunto de módulos fotovoltaicos [3].

O medidor bidirecional ilustrado na Fig. 24 é utilizado para fazer a conexão entre o IF 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, operam de maneira bidirecional [3].

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 [3].



Fig. 24 - Medidor bidirecional Fronius [23]

Outros equipamentos e componentes a serem utilizados em SF, como cabos, conectores, equipamentos de proteção, suporte para os módulos e disjuntores.

3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ENERGIA FOTOVOLTAICA EM PROPRIEDADES RURAIS

O sistema fotovoltaico integrado com uma propriedade rural, discorrido neste estudo como uma alternativa de obtenção de energia elétrica de forma limpa e eficiente, será apresentado neste capítulo.

O projeto tem como objetivo a redução de custo da propriedade, para que esta possa se tornar mais produtiva e dinâmica. O agronegócio vem se destacando e tendo grande importância na economia brasileira, o que demonstra a importância de se investir nesse seguimento. A propriedade rural em que o estudo é realizado, situa-se em Conceição das Alagoas (MG), Estado em que esta atividade econômica possui destaque.

3.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO NA PROPRIEDADE RURAL

O sistema fotovoltaico conectado à rede da propriedade rural situada no município de Conceição das Alagoas, será baseado na análise da conta de energia da propriedade. Os dados da conta de energia elétrica são apresentados nas Tabelas 1 e 2:

Tab. 1 - Detalhamento conta de energia elétrica da propriedade rural

Mês	Consumo KWh	Média KWh/dia	Dias contabilizados
Outubro/2017	2267	73,14	31
Novembro/2017	2234	79,78	28
Dezembro/2017	2055	64,21	32
Janeiro/2018	2055	66,29	31
Fevereiro/2018	1843	76,79	24
Março/2018	2200	73,35	30
Abril/2018	2021	67,39	30
Maio/2018	1865	60,17	31
Junho/2018	1889	62,37	29
Julho/2018	1809	58,35	31
Agosto/2018	2122	64,31	33

Setembro/2018	2044	70,48	29
---------------	------	-------	----

Tab. 2 - Consumo médio mensal em KWh

Média Consumo KWh	2033
-------------------	------

O projeto do sistema fotovoltaico conectado à rede será baseado no “Método de Insolação” [3]. As coordenadas geográficas de Conceição das Alagoas (MG), obtidas através do Google Maps estão demonstradas na Tabela 3:

Tab. 3 - Coordenadas geográficas de Conceição das Alagoas

Latitude	Longitude
-19,925188	-48,382278

Com posse das coordenadas da cidade e utilizando o site “<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>”, é possível obter a informação sobre a energia do Sol disponível diariamente, conforme as Tabelas 4,5 e a Fig. 25. Os resultados são:

Tab. 4 - Irradiação solar diária média de Conceição das Alagoas

Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]																	
			Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta	
Conceicao das Alagoas	MG	BRASIL	19,901° S	48,349° O		4,4	5,72	5,93	5,09	4,96	4,38	4,13	4,39	5,30	5,18	5,53	5,65	5,95	5,18	1,82

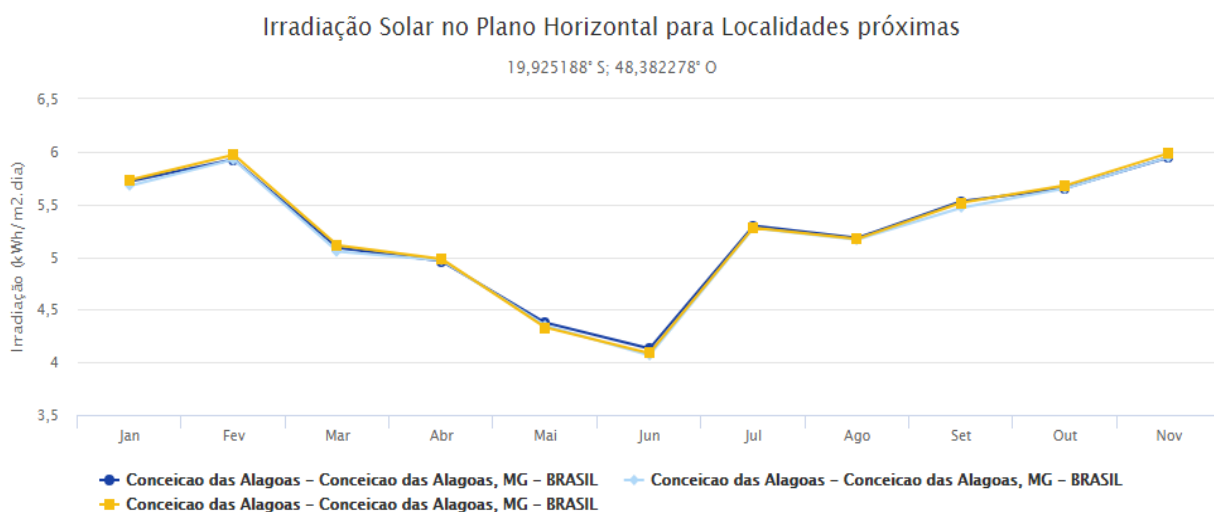


Fig. 25 - Irradiação solar no plano horizontal

Tab. 5 - Irradiação solar diária média mensal

Estação: Conceicao das Alagoas

Município: Conceicao das Alagoas, MG - BRASIL

Latitude: 19,901° S

Longitude: 48,349° O

Distância do ponto de ref. (19,925188° S; 48,382278° O) : 4,4 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
☑	Plano Horizontal	0° N	5,72	5,93	5,09	4,96	4,38	4,13	4,39	5,30	5,18	5,53	5,65	5,95	5,18	1,82
☑	Ângulo igual a latitude	20° N	5,21	5,66	5,18	5,52	5,27	5,21	5,45	6,17	5,46	5,39	5,21	5,34	5,42	,98
☑	Maior média anual	20° N	5,21	5,66	5,18	5,52	5,27	5,21	5,45	6,17	5,46	5,39	5,21	5,34	5,42	,98
☑	Maior mínimo mensal	20° N	5,21	5,66	5,18	5,52	5,27	5,21	5,45	6,17	5,46	5,39	5,21	5,34	5,42	,98

Tab. 6 - Custo de disponibilidade de energia elétrica

Monofásico	30kWh
Bifásico	50kWh
Trifásico	100kWh

Com estes dados, se determina o dimensionamento de geração, o qual consiste na média de consumo mensal subtraindo o custo de disponibilidade de energia elétrica, retirados do site da Cemig (resolução 414 ANEEL). O custo de disponibilidade de energia elétrica é um valor mínimo pago a concessionária de energia elétrica, no caso de estudado é trifásico, ou seja, 100kWh, de acordo com a Tabela 6. Sendo assim:

$$\text{Energia (Geração)} = 2033 - 100 = 1933 \text{ kWh/mês}$$

$$\text{Energia (Geração)} = 1933/30 = 64,43 \text{ kWh/dia}$$

Com a geração diária necessária calculada, é preciso calcular a energia produzida por um módulo fotovoltaico. O qual pode ser expressa pela expressão:

$$Ep = Es * Am * \eta m \quad (5)$$

A equação permite calcular a energia produzida (Ep) em kilo-watt-hora [kWh/dia], a partir de dados da insolação (Es) em kilo-watt-hora por metro quadrado

por dia [kWh/m²/dia], da área ocupada pelo painel fotovoltaico (A_m) expressa em [m²] e a eficiência do módulo (η_m).

Os dados relativos a insolação que serão utilizados neste estudo foram coletados pelo 'Cresesb', na cidade de Conceição das Alagoas a média no plano horizontal foi de 5,18 [kWh/m²/dia]. O Módulo Fotovoltaico escolhido para ser utilizado trata-se de um modelo da marca Canadian Solar modelo CS6U-330. A partir disto e das informações sobre os painéis utilizados contidas no Anexo I, aplicando a equação (6):

$$E_p = 5,18 * (0,99 * 1,96) * 0,1697 = 1,71 \text{ kWh/dia} \quad (6)$$

Com o valor de energia produzida por um módulo, é possível calcular a quantidade de módulos necessários para suprir a energia elétrica utilizada pela propriedade rural através da equação (7):

$$N_p = E_{\text{sistema}}/E_{\text{módulo}} \quad (7)$$

Onde, N_p é o número de módulos da instalação fotovoltaica, E_{sistema} é a energia produzida pelo sistema [kWh] no intervalo de tempo considerado e $E_{\text{módulo}}$ é a energia produzida por um módulo [kWh] no mesmo intervalo de tempo. Utilizando a expressão:

$$N_p = 64,43/1,71 = 37,68 \quad (8)$$

Com o valor obtido é possível determinar que serão utilizados 38 módulos fotovoltaicos da marca Canadian Solar modelo CS6U-330.

A escolha do inversor para o sistema fotovoltaico deve levar em conta os seguintes aspectos:

- a) a tensão de circuito aberto do string não pode ultrapassar a tensão máxima permitida na entrada do inversor. Uma sobretensão na entrada do inversor pode danificar o equipamento irreversivelmente;

- b) o inversor deve ser especificado para uma potência igual ou superior à potência de pico do conjunto de módulos;
- c) módulos em série = ΣV e $I(A)$ igual;
- d) módulos em paralelo = $\Sigma I(A)$ e V igual.

A partir destes aspectos, e considerando um fator de segurança de 10%, a potência do inversor será de:

$$P_{\text{inversor}} = P_{\text{max}} (\text{módulo}) * \text{número de módulos} * \text{fator de segurança}$$

$$P_{\text{inversor}} = 330 * 38 * 1,1 = 13794W$$

Aproximando o resultado obtido, tem-se que será necessário um inversor de 14kW. O inversor escolhido será PHB14K-DT. Poderia ser utilizado o microinversor, o qual possibilita a expansão do sistema independente da potência já instalada, maior facilidade de manutenção e menores perdas quando tiver uma ocorrência em um painel ou inversor, contudo, tem como empecilho um valor consideravelmente superior ao inversor central.

Sendo assim, o sistema fotovoltaico da propriedade estudada terá 38 módulos fotovoltaicos da marca Canadian Solar modelo CS6U-330 e 1 inversor PHB14K-DT. Com um arranjo de 19 módulos em série paralelo com outro arranjo de 19 módulos em série, acarretando uma tensão de circuito aberto do string de 866,4 V ($19 * 45,6V$) na entrada do inversor ($866,4 < 1000V$), de acordo com o critério de dimensionamento.

3.2 ANÁLISE FINANCEIRA

Para elaboração da análise financeira será necessário utilizar alguns parâmetros que já foram calculados neste estudo e outros que serão definidos aqui. De acordo com Eletrobrás e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) [24], o tempo de retorno de capitalizado, considerando as taxas de juros do capital investido, é dado pela Equação 9:

$$n = - \frac{\ln(1 - \frac{I}{A} * i)}{\ln(1 + i)} \quad (9)$$

Em que o tempo de retorno capitalizado (TRC) (n) é função do investimento financeiro realizado (I), da economia anual obtida pelo sistema (A) e das taxas de juros (i) vigentes.

Para determinar o investimento financeiro (I) realizado os valores dos equipamentos utilizados na instalação estão na Tabela 7 a seguir:

Tab. 7 - Tabela preço dos equipamentos do sistema

Equipamento	Qtde	Preço	Total
Painel Fotovoltaico Canadian 330Wp	38	R\$ 729,00	R\$ 27.702,00
Inversor PHB14K-DT	1	R\$ 20.790,00	R\$ 20.790,00
Custos variáveis		R\$ 24.000,00	R\$ 24.000,00
TOTAL			R\$ 72.492,00

Os custos variáveis são compostos pelo valor da troca do medidor de energia, cabeamento, manutenção e mão de obra.

Para calcular a economia anual (A) deverá ser considerado a economia anual devido a geração de energia elétrica pelos painéis fotovoltaicos. A energia produzida (E_p) foi determinada neste estudo. Para determinar a energia economizada em um ano é necessário multiplicar a energia produzida em um dia por 365. Desta forma é calculado:

$$E_p \text{ anual} = 365 * 64,43 = 23.516,95kWh \quad (10)$$

Para calcular a economia anual devido ao SF, será utilizado a tarifa B1 da concessionária de energia elétrica Cemig, conforme a Fig. 26.

B2 - RURAL	 Consumo R\$/kWh	 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 1 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 2 Consumo R\$/kWh
Rural - Normal (Consumo R\$/kWh)	0,41079	0,42079	0,44079	0,46079
Rural - Vale Jequitinhonha - (Irrigação noturna) - 73% de desconto (Consumo R\$/kWh)	0,11091	0,11361	0,11901	0,12441
Rural - Demais Regiões - (Irrigação noturna) - 67% de desconto (Consumo R\$/kWh)	0,13556	0,13886	0,14546	0,15206

Fig. 26 - Tarifa B2 Cemig [25]

$$Eco_{SF} = Ep \text{ anual} * \text{Tarifa B2} \quad (11)$$

$$Eco_{SF} = 23.516,95 * 0,41079 = R\$ 9.660,5279$$

A economia anual (A) será de:

$$A = Eco_{SF} \quad (12)$$

$$A = R\$9.660,5279$$

Como último parâmetro utilizado, também foi determinada uma taxa de juros (i) a ser considerada, caso o capital não fosse investido neste sistema, a taxa na qual o mesmo renderia em uma aplicação. Para a análise do sistema proposto será utilizada a taxa base de juros do Sistema Especial de Liquidação e Custódia (SELIC).

$$i = 6\% \text{ a. a.} \quad (13)$$

Os parâmetros expostos que servirão de base para o cálculo do TRC (n), foram organizados conforme a Tabela 8.

Tab. 8 - Parâmetros do TRC

Investimento (I)	R\$ 72.492,00
Economia anual (A)	R\$ 9.660,5279
Energia produzida (Ep) [kWh]	23.516,95
Tarifa CEMIG [R\$/kWh]	0,41079
Economia anual SF [R\$]	9.660,5279
Tempo retorno simples (TRS) [a]	7,50
Taxa de Juros (i) [% a.a]	0,06

a) Tempo de Retorno Simples (TRS): o TRS não considera as taxas de juros aplicadas ao capital. Trata-se de uma relação simples entre o investimento e a economia anual.

$$TRS = \frac{I}{A} \quad (14)$$

$$TRS = \frac{72.492,00}{9.660,53} = 7,5039 \text{ anos}$$

b) Tempo de Retorno Capitalizado (TRC): utilizando a equação exposta anteriormente e os parâmetros organizados na tabela é possível o cálculo do TRC do investimento feito no sistema.

$$n = -\frac{\ln(1 - \frac{I}{A} * i)}{\ln(1 + i)} \quad (15)$$

$$n = 10,2624 \text{ anos}$$

De acordo com a Eletrobrás e PROCEL [24], o Valor Presente Líquido (VPL) disponível a cada ano pode ser mensurado, e para obter o tempo em que o valor investido se iguala ao VPL utiliza-se da equação. Variando VPL em função do tempo obtém-se o Gráfico mostrado na Fig. 27, a partir do mesmo é possível observar o comportamento financeiro do investimento realizado.

Conforme Fig. 27, observa-se que em até 10 anos o investimento será negativo. A partir do 11º ano o valor presente líquido da instalação passa a ser positivo. Caso a vida útil do sistema seja maior que o TRC, pode-se assim dizer que será um sistema viável financeiramente.

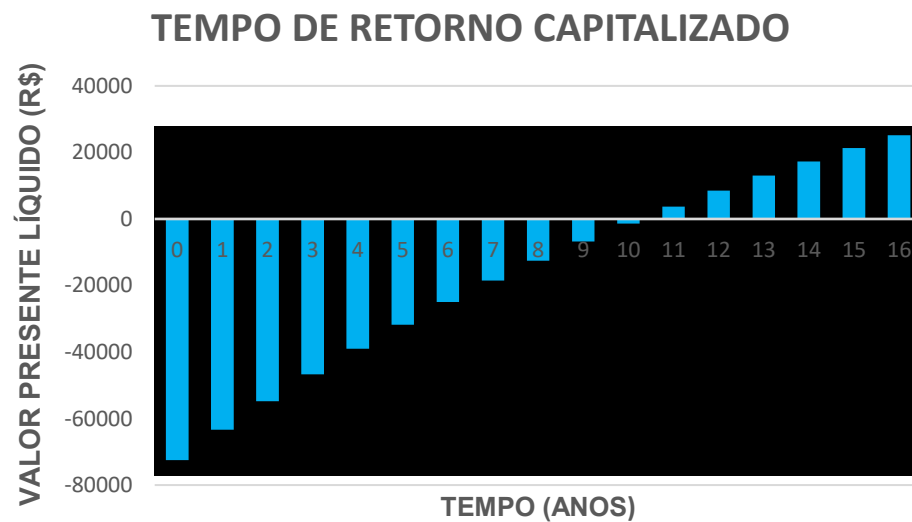


Fig. 27 - Gráfico TRC

4 CONCLUSÃO

O trabalho apresentou o projeto e a análise da viabilidade econômica de se utilizar sistemas de geração fotovoltaica integrado à rede elétrica de distribuição de energia elétrica em propriedades rurais. Dado a importância do agronegócio na economia brasileira e o seu crescimento nos últimos anos este tipo de análise se torna imperativa para a promoção do desenvolvimento sustentável. Favorecido geograficamente, o grande potencial para aproveitamento de energia solar do Brasil aponta a geração fotovoltaica como excelente e promissora solução no contexto deste trabalho.

Os resultados mostram a grande viabilidade econômica para sua implantação. Para o caso de estudo utilizando, foi obtido um retorno financeiro simples de 7,50 anos e um retorno capitalizado de 10,2624 anos. Sistemas fotovoltaicos, geralmente possuem uma vida útil de aproximadamente 20 anos de duração sendo esta alternativa, portanto, uma solução viável e sustentável.

REFERENCIAS

- [1] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). *Home* [Online]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>
- [2] D. Silveira e M. Gazzoni, “PIB brasileiro cresce 1,0% em 2017, após 2 anos de retração”, *G1*, Mar. 2018. [Online]. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/pib-brasileiro-cresce-10-em-2017-apos-2-anos-de-retracao.ghtml>
- [3] M. G. Villalva, *Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações*. 3. ed. São Paulo: Érica, 2015.
- [4] J. C. Lourenço e C. E. B. Lima. “Evolução do agronegócio brasileiro”, *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 2009. [Online]. Disponível em: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/09/clbl.htm>
- [5] Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. (2018). *Agronegócio: Atividade próspera no Brasil* [Online]. Disponível em: <http://www.sebraemercados.com.br/agronegocio-atividade-prospera-no-brasil/>
- [6] *Guia de microgeradores fotovoltaicos: como faço para ter eletricidade solar em minha casa?* (2013). [Online]. Disponível em: <http://www.americadosol.org/guiaFV/>
- [7] Agência Nacional de Energia Elétrica. (2018). *Capacidade de geração do Brasil* [Online]. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>
- [8] *Ministério de Minas e Energia*. (2018). [Online]. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>
- [9] Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2018). *BNDES muda regra e pessoas físicas podem investir em energia solar* [Online]. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-muda-regra-e-pessoas-fisicas-podem-investir-em-energia-solar>
- [10] Solarvolt. (2018). *Os benefícios da energia solar em propriedades rurais* [Online]. Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/energia-solar-em-propriedades-rurais/>
- [11] Reuters, “Participação do agronegócio no PIB é a maior em 13 anos, estima CNA”. *G1*, Dez. 2017. [Online]. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/participacao-do-agronegocio-no-pib-e-a-maior-em-13-anos-estima-cna.ghtml>
- [12] *Radiações ultravioleta, visível e infravermelha* [Blog]. (2016, Mar. 11). Disponível em: <https://radiacaoblog.wordpress.com/2016/03/11/radiacoes-ultravioleta-visivel-e-infravermelha/>

- [13] “O sol: Fonte de energia”, *Energia heliotérmica*. [Online]. Disponível em: <http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/o-sol-fonte-de-energia>
- [14] Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. (2018). *Home* [Online]. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>
- [15] *Mundo Educação*. (2018). [Online]. Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/>
- [16] Energytec. (2016). *Home* [Online]. Disponível em: <http://www.energytecsolar.com.br/>
- [17] Inovacare Solar. (2018). *Home* [Online]. Disponível em: <http://www.inovacare.solar/>
- [18] Canadian Solar. (2018). *Home* [Online]. Disponível em: <https://www.canadiansolar.com/>
- [19] NeoSolar. (2018). *Controlador de carga Epsolar Landstar LS2024E 20A 12/24V* [Online]. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/controlador-de-carga-epsolar-landstar-ls2024e-20a-12-24v.html>
- [20] MPPT Solar (2017). *Ligações de baterias em série e paralelo* [Online]. Disponível em: <https://www.mpptsolar.com/pt/baterias-serie-paralelo.html>
- [21] Portal Solar. (2018). *O inversor solar* [Online]. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/o-inversor-solar.html>
- [22] M. G. Villalva, M. G. e J. R. Gazoli. *Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações*. São Paulo: Érica, 2012.
- [23] Eco Brasil Solar. (2017). *Medidor bidirecional alta precisão monofásico Fronius* [Online]. Disponível em: <https://ecobrasilsolar.com/produto/smart-meter-fronius-eco-brasil-solar-4300011477-63a-1-medidor-bidirecional-alta-precisao-monofasico/>
- [24] Eletrobrás e Procel. *Conservação de energia: Eficiência energética de equipamentos e instalações*. 3. ed. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 2006.
- [25] Companhia Energética de Minas Gerais. (2018). *Valores de tarifas e serviços* [Online]. Disponível em: https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx
- [26] PHB Solar. (2017). *Inversor Solar 14kW On-Grid. - PHB14K-DT* [Online]. Disponível em: http://www.phb.com.br/produtos/solar/inversores/14kW_br.aspx

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

“Potencial solar no Brasil”, *América do sol*. [Online]. Disponível em: <http://americadosol.org/potencial-solar-no-brasil/>

Calpar, “Um panorama do agronegócio o Brasil”, *G1*, Ago. 2018. [Online]. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/parana/especial-publicitario/calpar/produktividade-sem-fronteiras/noticia/um-panorama-do-agronegocio-no-brasil.ghtml>

Coastal Solar Energy Solutions. (2017). *On-grid or off-grid solar power: What's best for your farm?* [Online]. Available: https://coastalsolar.com/grid-off-grid-solar-power-whats-best-farm/?fbclid=IwAR3vD-nuCLK-u3TbbpoNJhSg0bY4_olZW_z61GKJRXDWOqj_nGDlgEiHuXI

Companhia Energética de Minas Gerais. (2018). *Mini e microgeração distribuída: Sistema de compensação de energia* [Online]. Disponível em: http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/corporativo/Paginas/micro_minigeracao.aspx

Companhia Energética de Minas Gerais. (2018). *Programa de eficiência energética: Energia Inteligente* [Online]. Disponível em: http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/Eficiencia_Energetica/Paginas/Conheca_o_PEE.aspx

L. G. Menezes, “Campo eficiente: Saiba mais sobre eficiência energética no meio rural”, *Sebrae*, Jan. 2017. [Online]. Disponível em: <https://sebraers.com.br/energia/saiba-mais-sobre-eficiencia-energetica-no-meio-rural/>

N. M. G. Silva, A. V. Cesario e I. R. Cavalcanti, Relevância do agronegócio para a economia brasileira atual. Apresentado em ENED'17 Encontro Anual [Online]. Disponível em: <http://www.prac.ufpb.br/anais/IXEnex/iniciacao/documentos/anais/8.TRABALHO/8CC SADAMT01.pdf>

Ohio State University. (2018). *On-farm solar energy development* [Online]. Available: <https://energizeohio.osu.edu/farm-solar-energy-development?fbclid=IwAR31SPjGwNiOMCn3UNLq8f12Y43kAE7TII68LwQfEnz88CjIDBuXtsbUZeE>

Paradise Energy Solution. (2018). *Solar panels for farms* [Online]. Available: <https://www.paradisepolarenergy.com/solar-services/farms/?fbclid=IwAR3znlf8HuSiy5V58dZtaFpf-zVmgQlmaN2Dq6aTSQslfL5CdYclKB0ssP0>

Sunpower (2018). *Sunpower's solutions for agriculture: Add power to your harvest* [Online]. Available: <https://us.sunpower.com/commercial-solar/industries/agriculture/?fbclid=IwAR2R2sbwgl8WAIiSNhJoeK1wLT43cb2LUA6XNPhBqUuJyAIH1PcDHbg0c2gw>

Weg. (2018). *Índice de rendimento* [online]. Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/solutions/energy-efficiency/efficiency-index>

ANEXO A – Módulo Fotovoltaico CanadianSolar CS6U – 330



MAXPOWER CS6U-325 | 330 | 335 | 340P

Canadian Solar's modules use the latest innovative cell technology, increasing module power output and system reliability, ensured by 15 years of experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

KEY FEATURES



Excellent module efficiency of up to: 17.49 %



Outstanding low irradiance performance of up to: 96.0 %



High PTC rating of up to: 92.21 %



IP68 junction box for long-term weather endurance



Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa



linear power output warranty



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



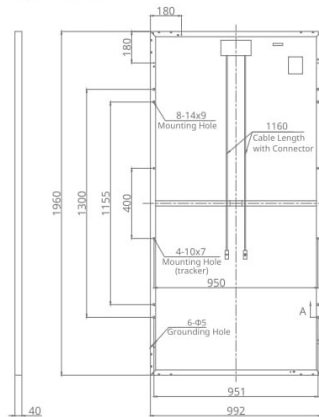
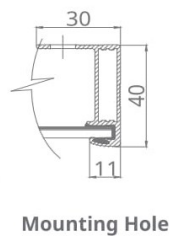
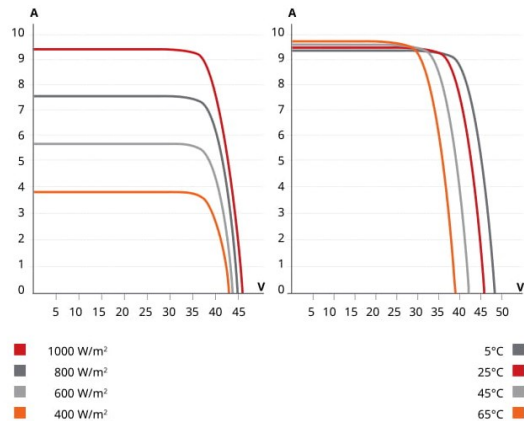
* Please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific product certificates applicable in your market.

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 21 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

CANADIAN SOLAR INC.

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

Fig. 28 - Módulo Fotovoltaico CanadianSolar CS6U – 330 [18]

ENGINEERING DRAWING (mm)**Rear View****Frame Cross Section A-A****CS6U-330P / I-V CURVES****ELECTRICAL DATA | STC***

CS6U	325P	330P	335P	340P
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	330 W	335 W	340 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.0 V	37.2 V	37.4 V	37.6 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.78 A	8.88 A	8.96 A	9.05 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.5 V	45.6 V	45.8 V	45.9 V
Short Circuit Current (Isc)	9.34 A	9.45 A	9.54 A	9.62 A
Module Efficiency	16.72%	16.97%	17.23%	17.49%
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.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6 × 12)
Dimensions	1960 × 992 × 40 mm (77.2 × 39.1 × 1.57 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 diodes
Cable	4.0 mm² (IEC), 12 AWG (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connector	T4 series
Per Pallet	26 pieces, 635 kg (1400 lbs)
Per Container (40' HQ)	624 pieces

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS6U	325P	330P	335P	340P
Nominal Max. Power (Pmax)	239 W	242 W	246 W	250 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.0 V	34.2 V	34.4 V	34.6 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.01 A	7.08 A	7.15 A	7.22 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.4 V	42.5 V	42.6 V	42.7 V
Short Circuit Current (Isc)	7.54 A	7.63 A	7.70 A	7.77 A

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

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43 ± 2 °C

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 96.0 % for irradiances between 200 W/m² and 1000 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The aforesaid datasheet only provides the general information on Canadian Solar products and, due to the on-going innovation and improvement, please always contact your local Canadian Solar sales representative for the updated information on specifications, key features and certification requirements of Canadian Solar products in your region.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

PARTNER SECTION

ANEXO B – Inversor Fotovoltaico PHB14K-DT



INVERSOR SOLAR FOTOVOLTAICO TRIFÁSICO PHB

INVERSOR SOLAR CERTIFICADO PELO INMETRO.
CONCESSÃO 005808/2015 E 007126/2016

A PHB Eletrônica lançou em 2017 seus inversores Trifásicos com sistema de monitoramento Wi-Fi para completar sua linha de inversores fotovoltaicos conectados a rede. Como a PHB Eletrônica foi a pioneira nas certificações de inversores fotovoltaicos, com essa nova linha não seria diferente. Mesmo sem a necessidade de certificação para potências maiores, a PHB vê a extrema importância de lançar no mercado produtos adequados para a rede brasileira. Assim sendo, os modelos PHB14K-DT/PHB20K-DT/PHB25K-DT já estão certificados no INMETRO.

Os inversores PHB-DT são adequados para sistemas comerciais e industriais. Possui um conceito industrial moderno que facilita a instalação e manuseio, além de possuir um design inovador.

A PHB adquiriu todos os equipamentos de testes necessários para atender os requisitos técnicos que as normas exigem. Possui seu próprio laboratório pronto para o desenvolvimento, teste e manutenção de seus inversores.

- Inversor Solar Fotovoltaico certificado pelo INMETRO;
- Inversor com sistema de comunicação Wi-fi homologada na ANATEL;
- 3 modelos certificados da linha DT:
 - o PHB14K-DT
 - o PHB20K-DT
 - o PHB25K-DT
- Atende as Normas (ABNT-NBR-16149; ABNT-NBR-16150; ABNT-NBR-IEC-62116);
- Possui a garantia de 5 anos para defeitos de fabricação (ver observação no manual).

EXCELENTE DESEMPENHO	ALTA SEGURANÇA E CONFIABILIDADE	PROJETO ORIENTADO PARA O CLIENTE
• Eficiência Máxima de até 98,4%; • Eficiência do MPPT > 99,8%; • TDH menor que 5%; • Sem transformador para baixo custo e tamanho compacto; • Interface de comunicação: Wi-Fi, USB e RS485 (MODBUS RTU); • Tensão de partida 250V.	• IP65 anti-poeira e à prova d'água; • Duplo MPPT.	• LCD em português 5"; • Wi-fi integrada (certificada ANATEL); • Design de baixo ruído; • Fácil e rápida instalação; • Peso < 38Kg; • Adequado para instalações comerciais e industriais.

Fig. 30 - Inversor Fotovoltaico PHB14K-DT [26]

DADOS TÉCNICOS

SUPORTE TÉCNICO

A PHB mantém uma estrutura de equipamentos calibrados, "setups" de testes e técnicos treinados, para proporcionar aos seus clientes um rápido serviço de reparo.

Dados da Entrada CC	PHB14K-DT	PHB20K-DT	PHB25K-DT
Max. Potência Fotovoltáica[W]	18200	26000	32500
Max. Tensão CC [V]	1000	1000	1000
Faixa de Operação SPMP [V]	260~850	260~850	260~850
Tensão CC de Partida [V]	250	250	250
Corrente CC Máxima [A]	27/27	22/22	27/27
Número de Strings /MPPT	6/2 (permite paralelo)	4/2 (permite paralelo)	6/2 (permite paralelo)
Conector CC	MC IV, SUNCLIX(opcional)		
Consumo em Standby [W]	10	10	10
Dados da Saída CA			
Potência CA Nominal [W]	14000	20000	25000
Max. Potência CA [W]	14660	20000	25000
Max. Corrente CA [A]	37	30	37
Saída Nominal CA	60Hz; 220/127Vca	60Hz; 380/220Vca	
Faixa de Operação CA	57.5~62Hz; 101.6~139.7Vca	57.5~62Hz; 176~242Vca	
THD	<5%		
Fator de Potência	Unitário (0.9 Capacitivo / 0.9 Indutivo)		
Conexão CA	Trifásico (3F+N+T)		
Eficiência			
Max. Eficiência	98.2%		98.4%
Eficiência SPMP	>99.9%		
Segurança do Equipamento			
Monitoramento de corrente de fuga	Integrado	Integrado	Integrado
Proteção Anti-Illhamento	AFD	AFD	AFD
Monitoramento de Rede	VDE-AR-N 4105, VDE 0126-1-1/NA1, RD1699, G59/2, AS4777.2/3		
NBR (Normas Brasileiras)	ABNT NBR 16149, 16150 e ABNT NBR IEC 62116		
Normas de Referência			
EMC	EN 61000-6-1, EN 61000-6-2,		
EMC	EN 61000-6-3, EN 61000-6-4		
Segurança	IEC 62109-1, AS3100		
Dados Gerais			
Dimensões (LxAxP) [mm]	516*650*203		
Peso Líquido [kg]	39		
Ambiente de Operação	Interno ou Externo		
Montagem	Fixado na parede		
Temperatura de Operação	-25~60°C		
Umidade relativa	0~95%		
Altitude [m]	4000m (>3000m com derate)		
Grau de Proteção IP	IP65		
Topologia	Sem Transformador		
Ventilação	Ventilação Forçada		
Nível de Ruído [dB]	<45		
Display	5" LCD (Português)		
Comunicação	Wi-Fi, USB2.0 e RS485 (MODBUS RTU)		
Cor	Vermelho		
Garantia (anos)	5/10/15/20/25 (opcional)		

Fig. 31 - Inversor Fotovoltaico PHB14K-DT [26]