

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
WELLISSON PASCHOAL

CONVERSÃO DE ENERGIA: estudo comparativo da eficiência de dois modelos de painéis solares para atender a demanda da Cidade Universitária do Grupo Unis

Varginha
2018

WELLISSON PASCHOAL

CONVERSÃO DE ENERGIA: estudo comparativo da eficiência de dois modelos de painéis solares para atender a demanda da Cidade Universitária do Grupo Unis

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, Grupo Unis, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação do Prof. Esp. Thiago Luís Nogueira Silva.

Varginha
2018

WELLISSON PASCHOAL

CONVERSÃO DE ENERGIA: estudo comparativo da eficiência de dois modelos de painéis solares para atender a demanda da Cidade Universitária do Grupo Unis

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, Grupo Unis, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: 01/12/2018

Prof. Dra. Déborah Reis Alvarenga

Prof. Me. Hugo Rodrigues Vieira

Prof. Esp. José Cláudio Furquim

OBS.:

Dedico este trabalho a Deus, minha família, aos meus irmãos em Cristo, aos meus amigos e todos aqueles que contribuíram para a sua realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela Sua grande e infinita misericórdia, por Sua força, por essa rica oportunidade e condição, e ainda, por cumprir o desejo do meu coração e as Suas promessas na minha vida, dando graça de obter a formação como Engenheiro Mecânico.

Agradeço a toda minha família, em especial a minha mãe, que durante todo o tempo de estudo estiveram do meu lado, pela paciência, apoio e por toda a contribuição que foi necessária durante o tempo do curso.

Agradeço aos meus amigos e irmãos em Cristo, por todas as palavras, pelas orações e por muitas vezes serem a minha motivação para persistir e prosseguir nos estudos.

Por fim, agradeço aos colaboradores do Grupo Unis, reitoria, técnico-administrativos, serviços gerais, e ainda, aos coordenadores e professores, que me deram todo o auxílio necessário durante o curso e também para a finalização deste trabalho.

Posso todas as coisas naquele que me fortalece.” Aos Filipenses, cap. 4 vers. 13, Bíblia Sagrada.

RESUMO

Este trabalho visa apresentar estudo comparativo entre a eficiência de dois painéis solares para implantação da energia solar fotovoltaica para atender toda a demanda de energia elétrica da Cidade Universitária do Grupo Unis, tal abordagem se justifica visto a diferença nos resultados obtidos de cada um quando analisados em condições reais, seja na eficiência como parâmetro da efetividade do processo de conversão de energia solar em energia elétrica, quanto em número de painéis, valor total do investimento e a área ocupada para cada modelo estudado.

Com o crescimento populacional e a evolução tecnológica, conseqüentemente tem aumentado a demanda de energia elétrica no Brasil e no mundo, e isso tem sido alvo da atenção de pesquisadores e indústrias, que procuram garantir produção energética de forma sustentável para atender toda a demanda sem prejudicar o meio ambiente. A energia solar fotovoltaica tem se apresentado como uma fonte capaz de atender à essa necessidade, por ela ser totalmente inesgotável e limpa, e ainda, com capacidade de gerar quantidade de energia elétrica considerável, entretanto, para que seja viável a sua utilização é necessário verificar a real viabilidade na sua instalação. O embasamento para a utilização dessa tecnologia se dá pela possibilidade da conversão da energia solar que a Terra recebe do Sol em forma de radiação utilizando o efeito fotovoltaico para converter em energia elétrica, condição dada pela transferência de calor, que modela e dá parâmetros para a transmissão de energia pela radiação.

A partir do estudo, é possível afirmar que para uma determinada aplicação de sistemas fotovoltaicos se faz necessário avaliar diversos fatores, como a quantidade de irradiação solar incidente, temperatura ambiente no local à ser instalado, a área disponível para instalação, a potência, a eficiência de conversão e o custo dos painéis solares disponíveis no mercado, visto que o dimensionamento é condicionado em relação aos custos e a área disponível para instalação.

Palavras-chave: Conversão de Energia. Energia Solar Fotovoltaica. Eficiência.

ABSTRACT

This work aims to present a comparative study between the efficiency of two solar panels for the implantation of solar photovoltaic energy to meet the entire demand of electric power of the Cidade Universitária do Grupo Unis (University City Group Unis), such an approach is justified seeing the difference in the results obtained from each one of them when analyzed in real conditions, such as on efficiency as a parameter of the effectiveness of the process of converting solar energy into electrical energy, as in number of panels.

With the population growth and technological evolution, the demand for electricity in Brazil and the world has increased, it has been the target of attention from researchers and industries, which seek to ensure sustainable energy production to meet all the demand without harming the environment. Photovoltaic solar energy has been presented as a source able to meet this need, because it is totally inexhaustible and clean, and yet, with the capacity to generate considerable amount of electric energy, however, in order to be viable its use is necessary to verify the actual viability of your installation. The basis for the use of this technology is the possibility of converting the solar energy that the Earth receives from the Sun in the form of radiation using the photovoltaic effect to convert into electric energy, a condition given by the heat transfer, which models and gives parameters to the transmission of energy by radiation.

From the study, it is possible to state that for a given application of photovoltaic systems it is necessary to evaluate several factors, such as the amount of incident solar irradiation, ambient temperature at the place to be installed, and the area available for installation, the power, efficiency of conversion and the cost of solar panels available in the market, since the design is conditioned in relation to costs and the area available for installation.

Keywords: *Energy Conversion. Photovoltaic Solar Energy. Efficiency.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro da radiação eletromagnética.....	14
Figura 2 - Processos de conversão da energia solar	15
Figura 3 - Processos de absorção, reflexão e transmissão associados a um meio semitransparente	16
Figura 4 - Médias de irradiação solar no Brasil.....	21
Figura 5 - Radiação solar média diária anual em Minas Gerais (KWh/m ² /dia).....	22
Figura 6 - Radiação solar global (KWh/m ² /dia).....	22
Figura 7 - Irradiação solar diária sobre a Cidade Universitária (KWh/m ² .dia).....	23
Figura 8 - Estudo da massa de ar	26
Figura 9 - Parcelas da radiação solar: direta, difusa e albedo.....	26
Figura 10 - Espectro de uma onda eletromagnética	28
Figura 11 - Influência da temperatura na eficiência de um painel solar considerando uma irradiância solar de 1.000 W/m ²	29
Figura 12 - Influência da irradiância solar na eficiência de uma célula fotovoltaica na temperatura de 25° C	30
Figura 13 - Junção <i>pn</i>	32
Figura 14 - Estrutura física de uma junção <i>pn</i> de uma célula fotovoltaica	33
Figura 15 - Célula fotovoltaica monocristalina, policristalina e de silício amorfo	33
Figura 16 - Componentes de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalino.....	34
Figura 17 - Módulos fotovoltaicos fabricados comercialmente a partir de células de silício (da esquerda para a direita: monocristalino, policristalino e amorfo)	35
Figura 18 - Cidade Universitária do Grupo Unis	37
Figura 19 - Proposta de fornecimento (painel solar de 370 W).....	55
Figura 20 - Proposta de fornecimento (painel solar de 300 W).....	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumo anual de energia elétrica no Brasil.....	17
Gráfico 2 - Matriz energética brasileira.....	18
Gráfico 3 - Capacidade de produção de energia elétrica no Brasil a partir da energia solar....	19
Gráfico 4 - Comparação da irradiação no plano horizontal e no ângulo igual a latitude	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Histórico do consumo de energia elétrica da Cidade Universitária	39
Tabela 2 - Paine Solar - Modelo 1	41
Tabela 3 - Paine Solar - Modelo 2.....	42
Tabela 4 - Informações necessárias para o dimensionamento.....	44
Tabela 5 - Eficiência considerando a irradiância solar do local	46
Tabela 6 - Dados comparativos entre os painéis solares	47
Tabela 7 - Temperatura ambiente na Cidade Universitária.....	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 CONVERSÃO DE ENERGIA E SUAS ATRIBUÇÕES	13
3 CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO	17
3.1 Consumo e matriz energética	17
3.2 Energia solar no Brasil.....	18
3.3 Valores médios de irradiação solar	20
4 A ENERGIA SOLAR E O EFEITO FOTOVOLTAICO.....	25
4.1 Considerações para a utilização da energia solar e seus fatores limitantes	25
4.2 O efeito fotovoltaico.....	31
4.3 As células fotovoltaicas.....	33
4.4 Os módulos ou painéis solares	34
4.5 Formas de montagem de um sistema fotovoltaico	36
5 METODOLOGIA.....	37
5.1 Consumo de energia elétrica da Cidade Universitária.....	38
5.2 Avaliação do recurso solar e a temperatura ambiente.....	40
5.3 Painéis solares escolhidos para o estudo.....	40
5.4 Cálculo da potência real dos painéis considerando a perda pela temperatura	42
5.5 Cálculo do número de painéis necessários	43
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
REFERÊNCIAS	49
ANEXO A – Temperatura ambiente na Cidade Universitária	52
ANEXO B – Propostas de fornecimento	55

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica do Brasil e do mundo está em constante crescimento, com isso faz-se necessário implantar fontes geradoras de energia alternativa, capazes de contribuir para atender toda a demanda. E cada vez há uma busca maior para encontrar fontes onde consegue-se melhor custo e benefício, que garanta a produtividade com o menor investimento possível, e uma forma capaz de atender essa necessidade é a utilização da energia solar, que por meio da conversão de energia solar em elétrica é possível obter quantidade de energia considerável sem prejudicar o meio ambiente.

A partir do desenvolvimento tecnológico é possível obter técnicas para conversão de energia e a sua aplicação em diversos segmentos, dessa forma tecnologias que emitem poluentes, possuem alto risco de contaminação, são perigosas, não são renováveis, inundam grandes áreas verdes, etc., vão perdendo espaço no mercado e as que não poluem e são mais eficientes ganham a atenção de indústrias e pesquisadores. A instalação dos painéis solares e equipamentos para fornecer energia elétrica para a Cidade Universitária torna-se viável devido a necessidade de ter somente um investimento inicial, com o longo tempo de vida útil dos painéis isso torna-se atraente, pois após finalizado o seu pagamento, passará a ter somente lucro.

O trabalho será desenvolvido a partir da pesquisa bibliográfica, buscando conhecimento teórico já disponível, seja em periódicos, livros, anais de congressos, normas, arquivos de meio digital, teses, entre outros, que proporcionará base como parte das informações necessárias para compor o estudo. Pelo trabalho será possível ter um embasamento teórico sólido dentro do tópico de conversão de energia e ter condições para compreender a conversão de energia solar em elétrica, para assim, pela coleta das informações da irradiação solar incidente e a temperatura ambiente na Cidade Universitária, realizar estudo comparativo entre dois painéis solares objetivando encontrar a eficiência de cada um e verificar a melhor opção de instalação.

2 CONVERSÃO DE ENERGIA E SUAS ATRIBUÇÕES

O termo energia, do latim *energia* e do grego *energeia*, possui uma longa discussão relacionado à sua definição, visto tantas formas e definições que representa ele tem sido acompanhado por um adjetivo, como energia elétrica, energia nuclear, energia química, energia cinética, energia potencial gravitacional, energia solar, entre outras. Ainda no século IV a.c. na obra *Metafísica*, Aristóteles relacionava a energia como uma realidade em movimento, a partir do século XIX, juntamente com a Termodinâmica, foi utilizado para descrever uma grande variedade de fenômenos físicos, e já em tempos modernos, a definição utilizada por diversos autores é que energia é a capacidade de gerar trabalho, entretanto, por ser um conceito fundamental, definir energia é mais difícil e pouco menos importante do que compreender a sua existência, conversões e aplicações (VIANA, 2012).

A energia pode ser trabalhada de diversas formas, seja no ramo da termodinâmica, que engloba as suas transformações e o relacionamento entre as grandezas físicas das substâncias envolvidas, pela mecânica dos fluidos, relacionado ao escoamento dos fluidos, e ainda, pela transferência de calor, quando essa transferência ocorre apenas por diferenças de temperatura e inicialmente sem a presença de trabalho. Dentro da transferência de calor é classificada de três diferentes maneiras a forma com que a energia é transferida: condução, convecção e radiação.

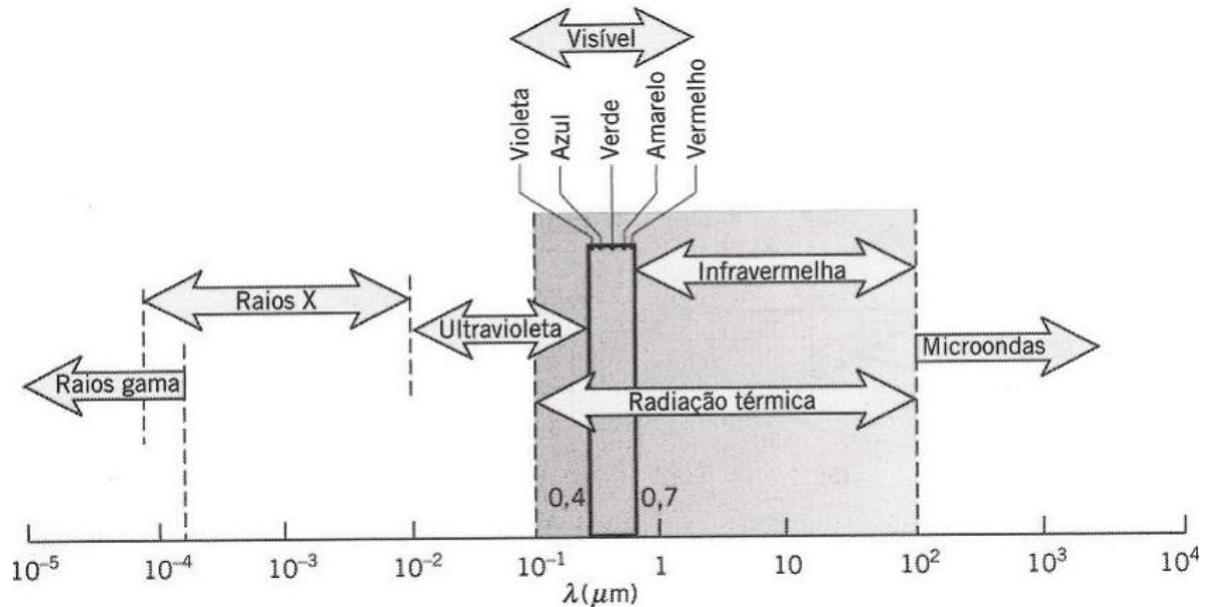
A utilização da transferência de energia pela radiação tem sido alvo da atenção de pesquisadores e indústrias devido a quantidade de energia que a Terra recebe do Sol, por possuir a capacidade de ser convertida em outra forma de energia, como térmica, elétrica, etc., e ainda ser uma fonte inesgotável e totalmente limpa. Essa transferência de energia acontece por meio de ondas eletromagnéticas quando um corpo possui uma temperatura acima do zero absoluto, e assim, devido à sua atividade molecular e atômica, essa energia é irradiada sendo transportada como um conjunto de partículas conhecidas por *fótons* ou *quanta*. Para essa propagação de ondas magnéticas, é atribuído para a radiação as propriedades de onda padrões de frequência ν e para o comprimento de onda λ , dessa forma, a propagação da radiação em um meio é dada pela equação 1:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (1)$$

onde c é a velocidade da luz no meio (INCROPERA, 2011). A unidade de comprimento de onda é comumente o micrômetro (μm), com $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$, entretanto, de toda a radiação

emitida pelo sol, apenas uma parte dela pode ser convertida em energia elétrica, sendo somente a variação da onda em torno de 0,1 até 100 μm . Devido ela afetar o estado térmico ou a temperatura da matéria é denominada radiação térmica, pertencendo a transferência de calor, como visto na Figura 1.

Figura 1 - Espectro da radiação eletromagnética

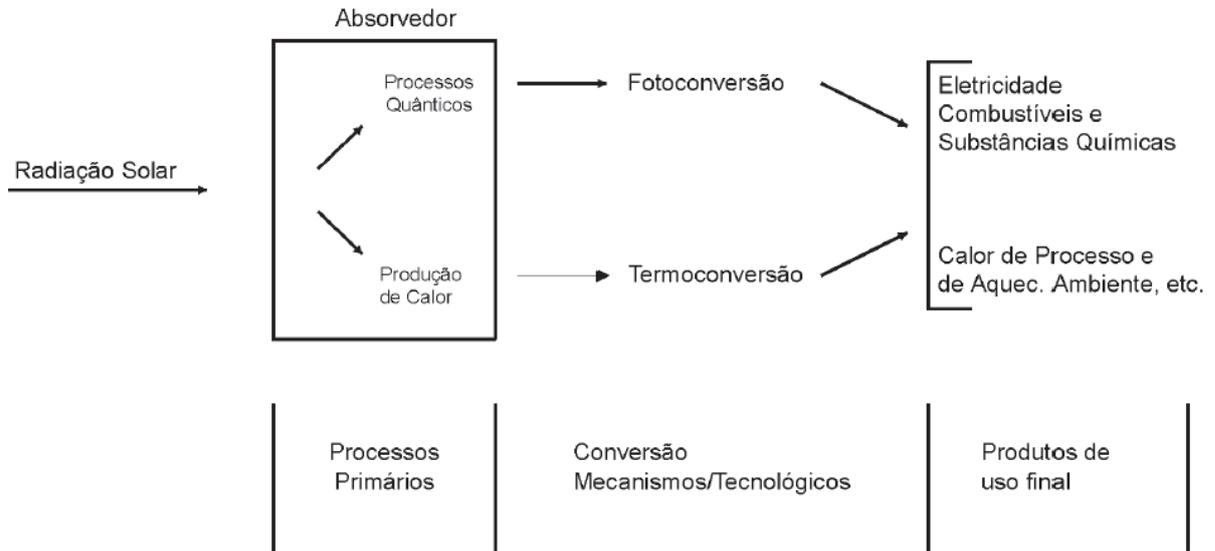


Fonte: Incropera (2011).

A partir da figura, vê-se que na faixa de 0,1 até 100 μm , esse tamanho de onda é classificado como radiação térmica, onde parte da sua faixa é referente as ondas ultravioletas, visíveis (violeta, azul verde, amarelo e vermelho), e ainda, a infravermelha.

A partir da Figura 2, é possível ver o caminho para o processo de conversão da energia solar. Na fase primária eles podem ser absorvidos de duas maneiras, por processos quânticos e produção de calor, em que, a conversão em calor de processo de aquecimento ambiente acontece por meio da termoconvesão, e para a geração de eletricidade, combustíveis e substâncias químicas, a fotoconversão.

Figura 2 - Processos de conversão da energia solar



Fonte: Guimarães (2004).

É importante ressaltar que a taxa na qual a radiação de comprimento de onda λ incide sobre uma superfície, por unidade de área e por um intervalo de comprimento de onda, é definido como irradiação espectral G_λ e é dada por Watts por metro ao quadrado (W/m^2), e que nem toda a componente espectral da irradiação é convertida em energia ao ser incidida em superfícies reais, podendo ser refletidas, absorvidas e transmitidas (INCROPERA, 2011). Como mostrado na equação 2 a seguir:

$$G_\lambda = G_{\lambda,\text{ref}} + G_{\lambda,\text{abs}} + G_{\lambda,\text{tr}} \quad (2)$$

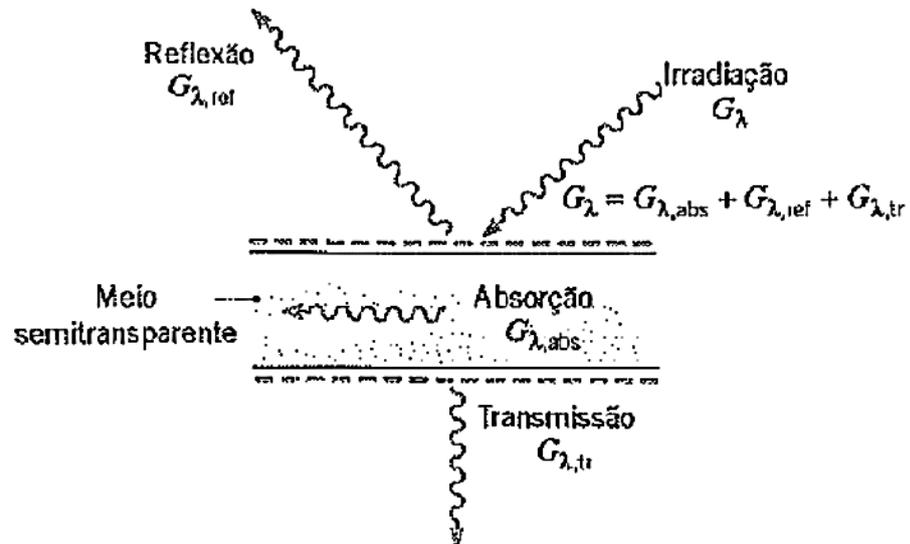
Tal situação varia de acordo com o material que é incidido a onda espectral, alterando cada componente refletida, absorvida e transmitida, e é por isso que se faz necessário identificar o material que mais atende o objetivo quando se tem uma aplicação como essa.

Em uma situação mais simples, relacionada à maioria das aplicações de engenharia, o meio é opaco à radiação incidente. Nesse caso, $G_{\lambda,\text{tr}} = 0$ e a absorção e a reflexão podem ser tratadas como fenômenos de superfície. Isto é, elas são controladas por processos que ocorrem em uma fração de um micrômetro a partir da superfície irradiada. É, portanto, apropriada falar da irradiação sendo absorvida e refletida pela superfície, com as magnitudes relativas de $G_{\lambda,\text{abs}}$ e $G_{\lambda,\text{ref}}$ dependendo de λ e da natureza do material da superfície. Não há qualquer efeito líquido no meio do processo de reflexão, enquanto a absorção tem o efeito de aumentar a energia interna térmica do meio (INCROPERA, 2011, p. 476).

A partir da Figura 3, é possível ver a irradiação interagindo com um meio

semitransparente, como acontece com uma placa de vidro ou uma camada de água.

Figura 3 - Processos de absorção, reflexão e transmissão associados a um meio semitransparente



Fonte: Incropera (2011).

A irradiação total G_λ é a somatória da irradiação refletida, absorvida e transmitida, sendo assim, isso explica o funcionamento e eficiência dos painéis solares conversores de radiação solar em energia térmica ou elétrica.

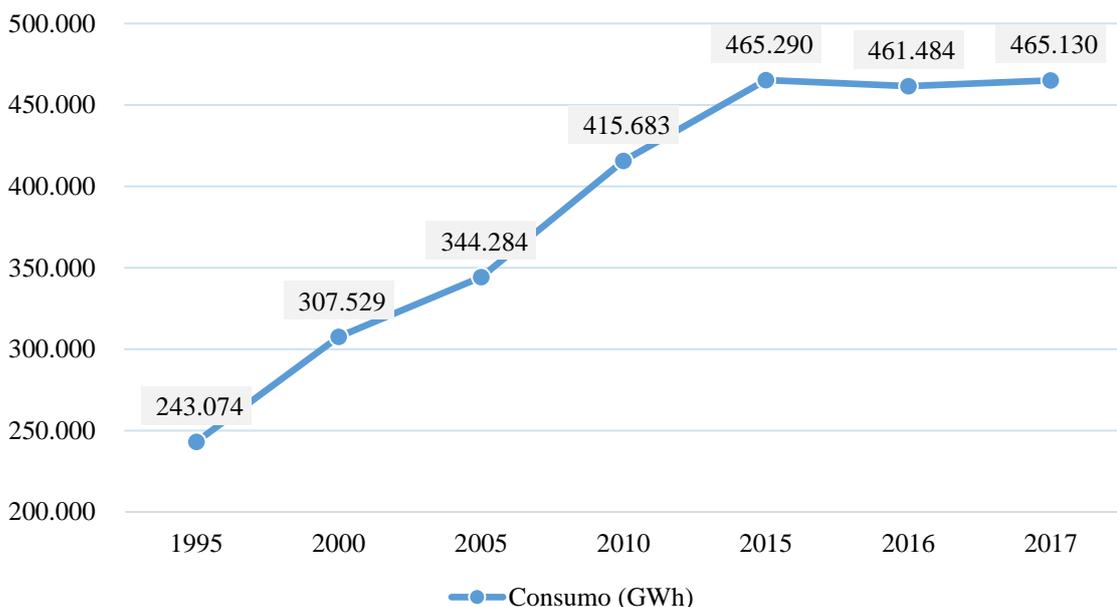
3 CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO

O aumento do número de pessoas e o desenvolvimento tecnológico têm sido fatores primordiais sobre a grande necessidade de produzir energia elétrica para atender a demanda atual e futura, hoje em dia há diversas fontes que podem ser utilizadas, seja por hidrelétricas, usinas nucleares e até pelo carvão mineral, entretanto, algumas delas tem contribuído no aumento da poluição no mundo, e com isso tem gerado graves consequências, como o aumento da temperatura global, derretimento das geleiras, o aumento do número de pessoas sofrendo pela contaminação do ar, entre outros, e com isso muitos países proíbe o uso de algumas dessas técnicas que poluem e dão incentivos para a utilização de fontes limpas e mais seguras, como o caso da energia solar.

3.1 Consumo e matriz energética

De acordo com a EPE, Empresa de Pesquisa Energética, o consumo de energia elétrica no Brasil aumentou 91% nos últimos 23 anos (considerando do ano de 1995 até 2017), a partir do Gráfico 1 é possível ver que o valor ultrapassou 450.000,00 GWh desde 2015, no ano de 2016 o valor sofreu uma pequena queda, já no ano 2017 o consumo contabilizado foi de 465.130,00 GWh.

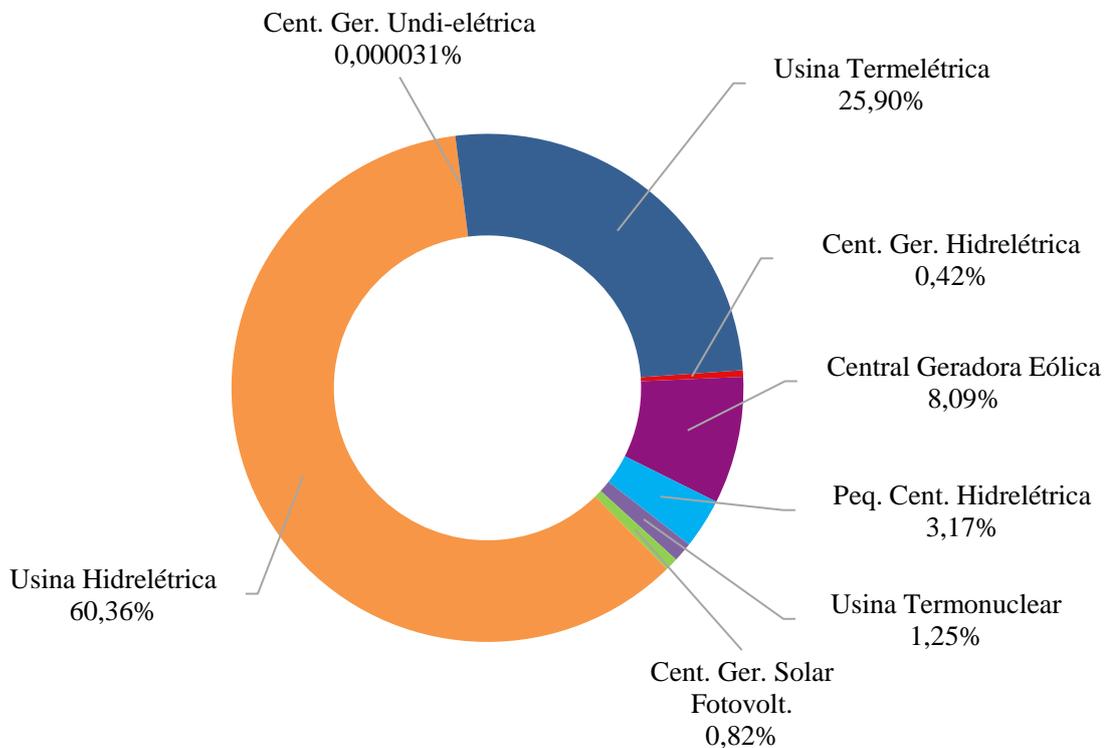
Gráfico 1 - Consumo anual de energia elétrica no Brasil



Fonte: Brasil (2018).

Atualmente, em vários países do mundo há utilização da energia solar para produzir energia elétrica, alguns deles possui quase a metade da sua geração utilizando essa tecnologia, já no Brasil ainda é muito pequena. Em junho de 2018, conforme informado pela ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, foi contabilizado que o Brasil possui a capacidade de produzir 159 GW de energia elétrica por diversas formas, seja por usinas termonucleares, usinas termelétricas, usinas hidrelétricas, entre outras, entretanto, como mostrado na Gráfico 2, é possível ver que 60% dessa energia é produzida pelas hidrelétricas e apenas 0,82% é a partir da energia solar.

Gráfico 2 - Matriz energética brasileira



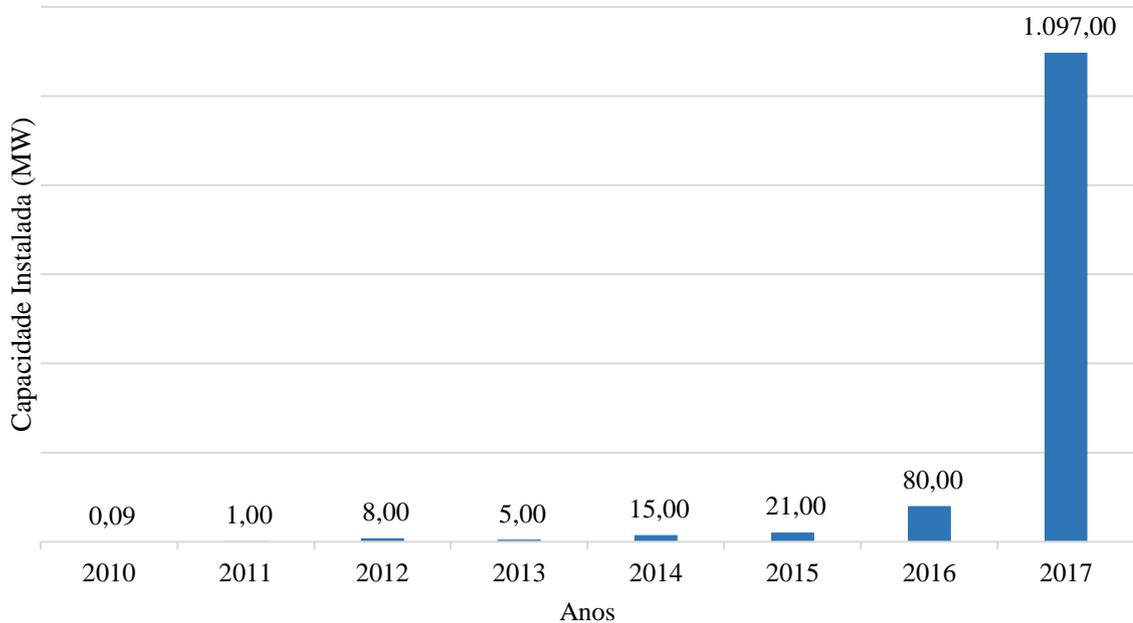
Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2018).

3.2 Energia solar no Brasil

O Brasil, por estar localizado na região intertropical, possui forte capacidade de utilizar o sol como fonte energética, seja para conversão em energia térmica ou elétrica, e a sua utilização tem aumentado exponencialmente ao longo dos anos. A partir da coleta de dados feito pelo Ministério de Minas e Energia (MME) durante os últimos sete anos nota-se um crescimento de 1.217% de 2016 para 2017 da capacidade instalada de geração de energia

elétrica por energia solar (ver Gráfico 3).

Gráfico 3 - Capacidade de produção de energia elétrica no Brasil a partir da energia solar



Fonte: Brasil (2018).

Para a montagem do gráfico foram coletados os dados disponibilizados no Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico quanto à capacidade instalada de produção de energia elétrica utilizando a irradiação solar, considerando também a Geração Distribuída (GD).

Tendo em vista a resolução normativa N° 482 de 2012 da ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, que regulamenta e estabelece condições gerais para o acesso a micro (menor ou igual a 75 kW) e mini geração distribuída (superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW) aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e a resolução normativa N° 687 de 2015 também da ANEEL, que estabelece condição de compensação de energia elétrica, em que a energia ativa injetada na rede à distribuidora local pode ser compensada com o consumo de energia ativa posteriormente, dá condições para residências, universidades, indústrias e outros, para instalarem sistemas solares de geração individual de energia elétrica conectados à rede, de forma a atender a sua demanda e gerar créditos com a concessionária quando a energia excedente produzida for lançada na rede e não for consumida.

De forma simplificada, essa energia produzida em condições ótimas será consumida pelo produtor e lançada na rede para utilização de outros consumidores, em casos que a produção excede o consumo gera-se um crédito com a concessionária podendo ser consumida

em até 60 meses, já em dias em que a produção for menor ou em períodos que não há produção (período noturno, em dias nublados ou chuvosos), a empresa ou residência produtora poderá consumir a energia da rede normalmente compensando o crédito gerado.

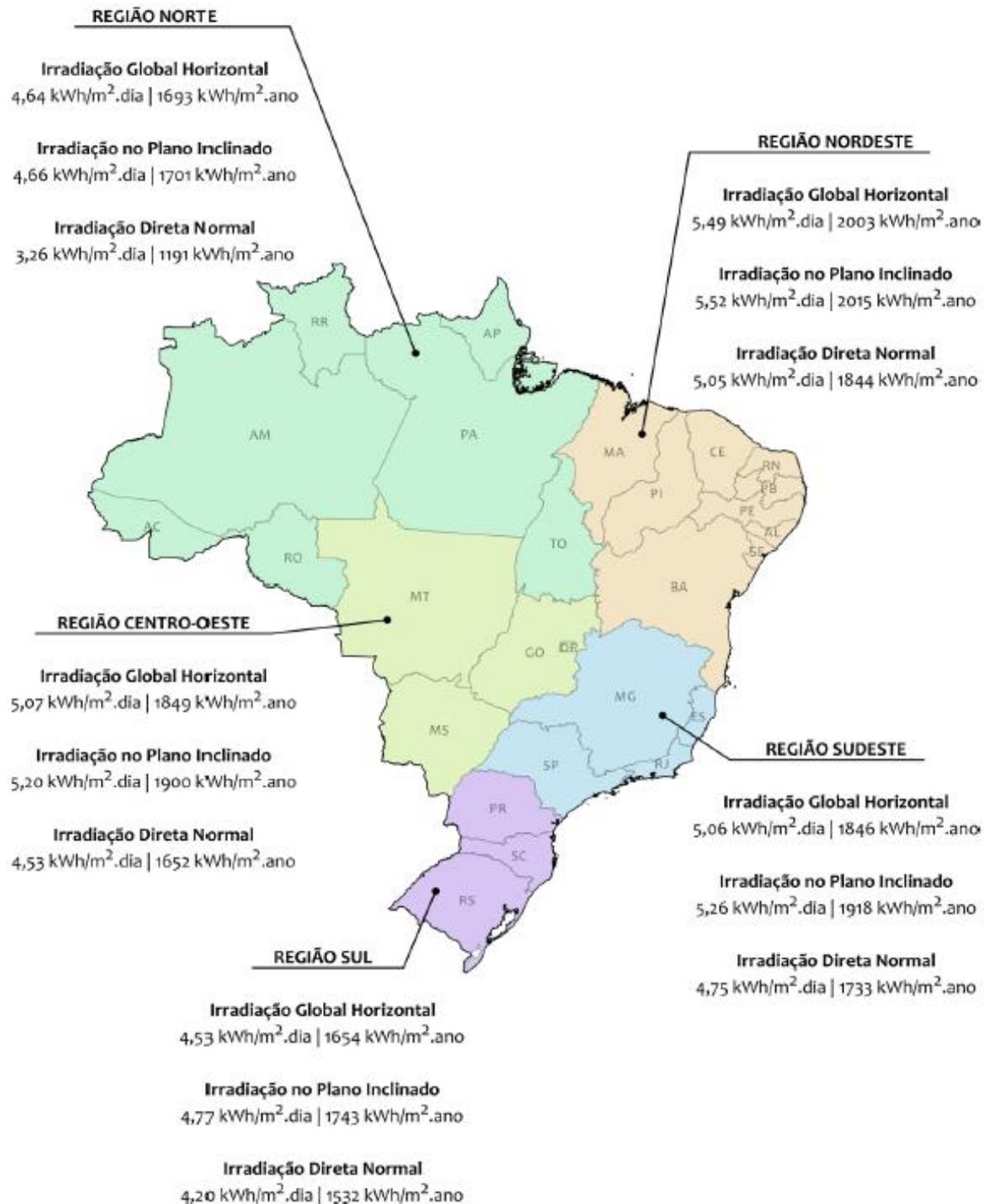
3.3 Valores médios de irradiação solar

A energia solar, segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), é um recurso intermitente, ou seja, não possui fornecimento contínuo e sem interrupção, devido estar totalmente ligada em condições meteorológicas, seja pelo aparecimento de nuvens, pelos gases atmosféricos, e ainda pela rotação da Terra. Essa coleta de dados do recurso solar pode ser feita de diversas formas, alguns estudos utilizam a técnica de interpolação de dados para mapear a irradiação disponível, para isso é utilizado instrumentos adequados e a coleta é realizada na superfície terrestre em estações específicas, entretanto, a margem de erro é muito alta (Tiba, 2000).

Outra forma possível para levantar essas informações é via satélite, que possui porcentagem de incertezas menor que por interpolação, além de ser mais economicamente viável. Com a utilização dos satélites houve uma considerável redução nas incertezas durante a coleta de radiação solar incidente, e isso é essencial para considerar a energia solar confiável para a sua utilização (ATLAS, 2017).

A partir da Figura 4, que mostra o valor diário e anual da irradiação solar em cinco regiões brasileiras, é possível ver os valores de três formas de coleta, por Irradiação Global Horizontal, Irradiação no Plano Inclinado e Irradiação Direta Normal, fornecido pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017). Pela figura é possível ver que há uma variação da quantidade de irradiação solar em cada região coletada, e ainda, como demonstrado, a Irradiação no Plano Inclinado é o que possui maior valor em comparação às outras.

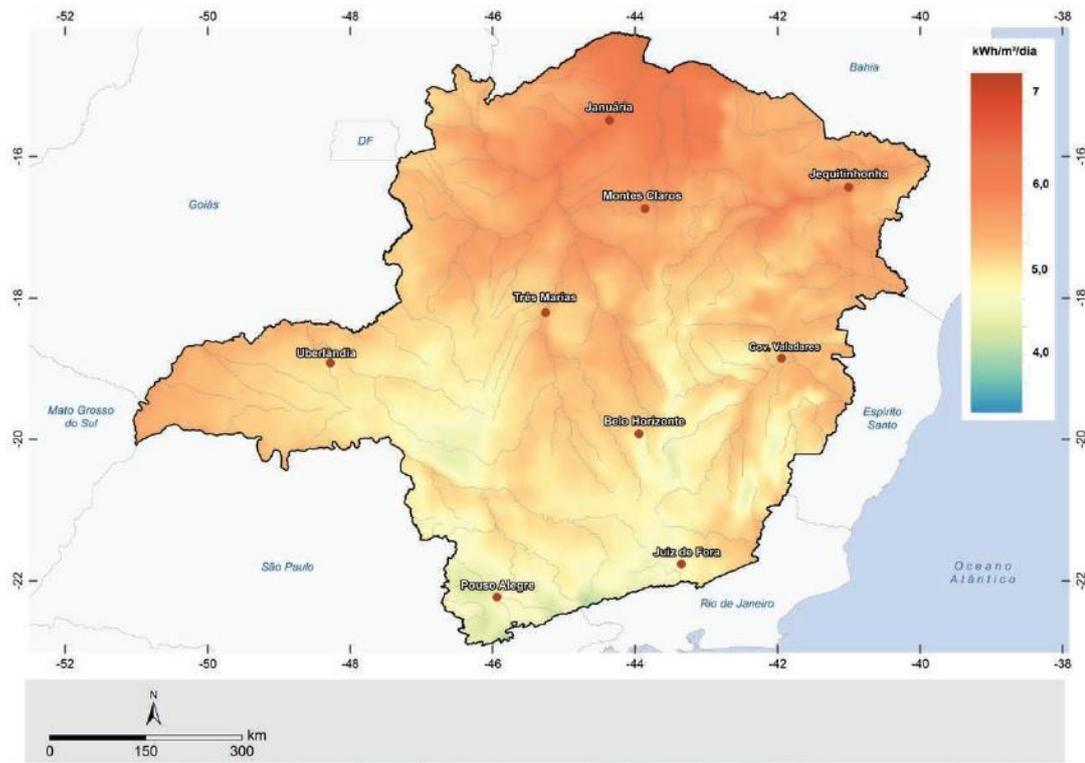
Figura 4 - Médias de irradiação solar no Brasil



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017).

A partir da Figura 5, coletada do Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, também é possível verificar o valor médio da radiação solar anual, entretanto os dados são somente de Minas Gerais.

Figura 5 - Radiação solar média diária anual em Minas Gerais (kWh/m²/dia)



Fonte: Atlas Solarimétrico de Minas Gerais (2016).

Complementando, pela Figura 6 é possível ver os valores mensais da irradiação solar global (kWh/m²/dia) por microrregiões de Minas Gerais.

Figura 6 - Radiação solar global (kWh/m²/dia)

Microregião	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Janaúba	6	6,1	5,7	5,7	5,3	5,2	5,4	6	6,3	6,1	5,3	5,5	5,7
Janaúba	6,2	6,2	5,7	5,7	5,1	4,9	5,2	5,8	6,2	6,1	5,4	5,7	5,7
Montes Claros	5,9	6,1	5,5	5,5	5,1	5	5,2	5,7	6,1	5,9	5,2	5,4	5,6
Pirapora	5,7	6	5,5	5,5	5,2	5	5,1	5,7	6,1	6	5,2	5,3	5,5
Ituiutaba	5,5	5,7	5,5	5,5	4,9	4,7	4,9	5,5	5,7	5,9	5,9	5,6	5,5
Unai	5,5	5,7	5,3	5,3	5,2	5,1	5,3	5,8	6,1	5,8	5	5,1	5,4
Paracatu	5,5	5,8	5,3	5,3	5,1	4,9	5	5,7	6	5,8	5,1	5,2	5,4
Frutal	5,5	5,8	5,5	5,5	4,7	4,5	4,6	5,4	5,6	5,9	5,9	5,7	5,4
Uberlândia	5,3	5,7	5,3	5,3	4,9	4,7	4,9	5,5	5,7	5,8	5,5	5,4	5,3
Três Marias	5,4	5,9	5,3	5,3	4,9	4,8	4,9	5,6	5,8	5,8	5,1	5,2	5,3
Curvelo	5,5	5,9	5,3	5,3	4,9	4,8	4,9	5,5	5,8	5,8	5,1	5,2	5,3
Bocaiúva	5,6	5,9	5,3	5,3	4,8	4,7	4,9	5,5	5,9	5,8	5	5,2	5,3
Uberaba	5,1	5,6	5,1	5,1	4,7	4,5	4,7	5,4	5,6	5,7	5,4	5,3	5,2
Sete Lagoas	5,4	5,9	5,2	5,2	4,8	4,6	4,7	5,4	5,7	5,7	5,1	5,1	5,2
Patrocínio	5,2	5,6	5	5	4,9	4,7	4,9	5,6	5,8	5,7	5,2	5,1	5,1
Pará de Minas	5,4	5,8	5,2	5,2	4,7	4,5	4,6	5,3	5,6	5,6	5,1	5,1	5,2
Salinas	5,7	5,8	5,2	5,2	4,3	4	4,3	5	5,6	5,6	4,9	5,3	5,1
Patos de Minas	5,1	5,5	4,9	4,9	4,8	4,6	4,8	5,5	5,7	5,6	4,9	4,9	5,1
Passos	5,1	5,6	5,1	5,1	4,6	4,4	4,6	5,3	5,5	5,7	5,3	5,1	5,1
Grão Mongol	5,6	5,9	5,1	5,1	4,5	4,3	4,6	5,3	5,6	5,7	4,9	5,2	5,1
Formiga	5,2	5,7	5	5	4,6	4,4	4,5	5,3	5,5	5,6	5	5	5,1
Divinópolis	5,3	5,8	5,1	5,1	4,6	4,5	4,6	5,3	5,5	5,6	5,1	5,1	5,1
Bom Despacho	5,3	5,7	5,1	5,1	4,7	4,5	4,7	5,4	5,6	5,6	5	5,1	5,1
Belo Horizonte	5,2	5,7	5,1	5,1	4,6	4,4	4,6	5,3	5,5	5,6	5	4,9	5,1
Varginha	5,1	5,6	5	5	4,4	4,2	4,4	5,2	5,3	5,6	5,1	5,1	5
São Sebastião do Paraíso	4,9	5,4	4,9	4,9	4,4	4,2	4,4	5,2	5,4	5,6	5,2	5	5
Pedra Azul	5,7	5,8	5,2	5,2	5,2	3,8	4,1	4,7	5,1	5,4	4,9	5,3	5

Fonte: Adaptado de Atlas Solarimétrico de Minas Gerais (2016).

Tal informação se faz necessário para verificar os valores com maior precisão, visto que esse trabalho faz referência a um estudo para utilização da energia solar em Minas Gerais, especificamente na cidade de Varginha. Após análise dos dados vê-se que há uma proximidade nos valores informados e que ambos giram em torno de 5 kWh/m²/dia, entretanto essa não é a melhor forma de coletar a irradiação solar em um determinado local, visto às diferenças apresentadas em cada Atlas apresentado.

A melhor forma de coletar a radiação é pela medição no próprio local da instalação dos painéis, sendo essa a mais indicada no momento do dimensionamento para instalação de painéis solares, e para isso, é possível utilizar uma ferramenta online disponibilizada no portal do CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito) (2018), mas para isso, inicialmente se faz necessário coletar a latitude e longitude do local, podendo ser no Google Maps (2018), e preencher no portal do CRESESB gerando as irradiações. Utilizando tais ferramentas, primeiro no Google Maps, tem-se o valor da latitude de 21.574053° S e longitude 45.478667° O, e após lançar no portal do CRESESB é possível obter os valores da irradiação solar diária em kWh/m².dia que incide na Cidade Universitária, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Irradiação solar diária sobre a Cidade Universitária (kWh/m².dia)

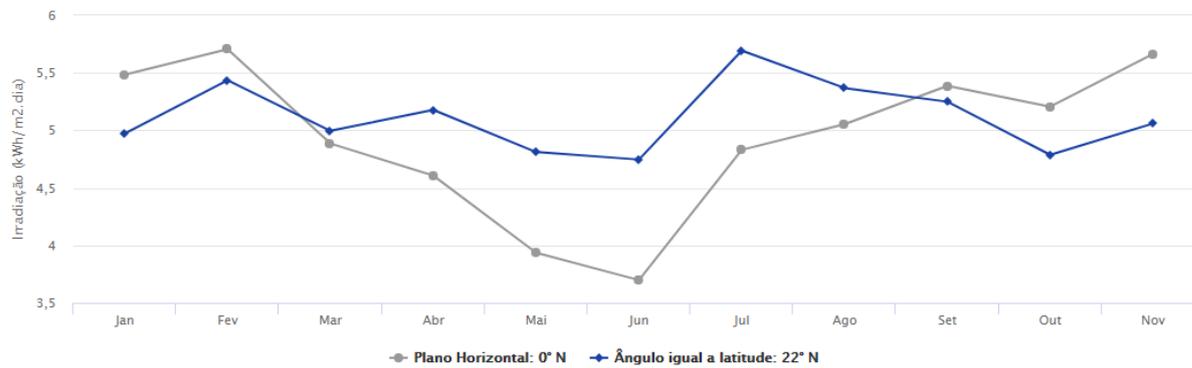
Estação: Varginha
Município: Varginha, MG - BRASIL
Latitude: 21,601° S
Longitude: 45,449° O
Distância do ponto de ref. (21,574053° S; 45,478667° O): 4,3 km

#	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		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,48	5,71	4,89	4,61	3,94	3,70	3,97	4,83	5,05	5,39	5,21	5,67	4,87	2,01
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	22° N	4,97	5,44	5,00	5,18	4,81	4,75	5,02	5,69	5,37	5,25	4,79	5,06	5,11	,95
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	21° N	5,01	5,46	5,00	5,16	4,78	4,71	4,98	5,67	5,37	5,27	4,82	5,10	5,11	,96
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	23° N	4,94	5,41	4,99	5,19	4,84	4,78	5,05	5,72	5,37	5,23	4,76	5,02	5,11	,96

Fonte: Cresesb (2018).

A partir da figura, é possível ver que a irradiação solar diária média mensal tem o valor no plano horizontal de 4,87 kWh/m².dia, entretanto, a inclinação ideal para a instalação dos painéis solares fixos é considerar o ângulo no mesmo valor da latitude do local, e nesse caso, utilizando o valor de aproximadamente 22°, tem-se o valor médio de 5,11 kWh/m².dia. Essa variação da quantidade de irradiação pode ser vista pelo Gráfico 4, em que é feito um comparativo da quantidade de irradiação no plano horizontal e no ângulo igual a latitude do local. Para a montagem do gráfico foi considerado os valores de irradiação do mês de janeiro até novembro.

Gráfico 4 - Comparação da irradiação no plano horizontal e no ângulo igual a latitude



Fonte: Cresesb (2018).

A partir do gráfico nota-se grande diferença nos valores irradiados em alguns meses, principalmente no mês de junho, que no plano horizontal recebe uma irradiação de 3,7 kWh/m².dia, e considerando a inclinação igual a latitude, passa a ter um valor de 4,75 kWh/m².dia, representando uma diferença de 77,89%.

Outro fator à ser considerado, é a disponibilidade da irradiância solar durante o momento da conversão de energia para geração de energia elétrica, esse que faz menção a fluxo de potência. Vale ressaltar que há uma certa variação na sua disponibilidade ao longo do tempo, e por isso, para estimar a produção de energia elétrica, se torna mais viável considerar a totalidade da energia elétrica convertida em intervalos horários, e assim, de forma representativa, o valor acumulado de energia solar é denominado Horas de Sol Pleno (HSP), grandeza que mostra o número de horas (em um dia) em que a irradiância solar permanece constante e igual a 1 kWh/m², ideal para sistemas solares fotovoltaicos (CRESESB, 2014).

Conforme equação 3, mostra-se um exemplo para calcular o número de HSP para o caso da irradiação de 5,11 kWh/m² incidente na Cidade Universitária:

$$HSP = \frac{5,11 \text{ (kWh/m}^2\text{)}}{1 \text{ (kWh/m}^2\text{)}} = 5,11 \text{ (h/dia)} \quad (3)$$

A partir do cálculo, nota-se que na Cidade Universitária a irradiância solar permanece constante e igual a 1.000 Wh/m² durante o período de 5,11 horas por dia, tal informação é essencial para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

4 A ENERGIA SOLAR E O EFEITO FOTOVOLTAICO

A energia solar é considerada uma fonte de energia inesgotável, limpa e capaz de produzir calor e eletricidade. Para gerar energia elétrica utilizando a irradiação solar é necessário realizar o efeito fotovoltaico, descoberto por Becquerel no ano de 1839 utilizando inicialmente o Selênio, logo depois, no ano de 1958 foi utilizado o Silício como semicondutor para gerar eletricidade, naquela época foi possível atingir 11% de eficiência e o custo era de \$ 1.000 W/h. No ano de 1960 foram descobertos outros materiais que também realizavam o efeito fotovoltaico, como o Arseneto de Gálio (GaAs), que consegue produzir energia com uma temperatura mais alta que a do Silício, entretanto possui preço mais elevado também, logo foi descoberto os compostos de Sulfeto de Cádmio (CdS), Sulfeto de Cobre (Cu₂S) (MOREIRA; CORRÊA, 2016).

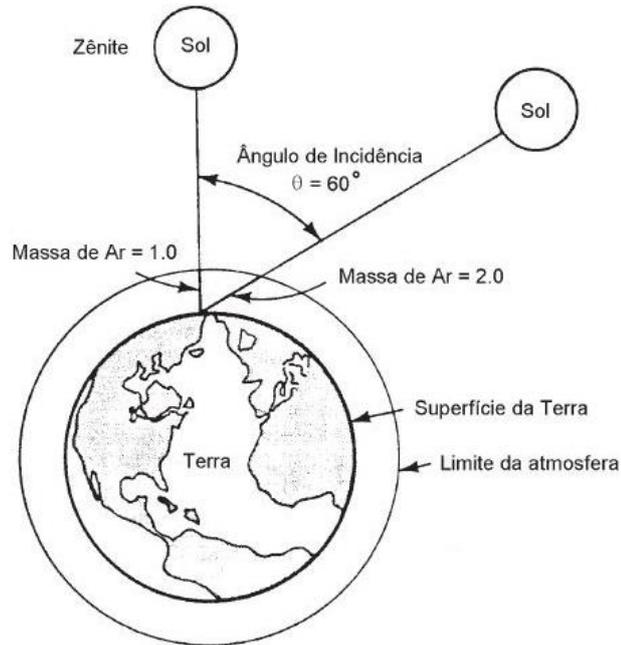
Hoje em dia foram desenvolvidos células solares com alguns semicondutores existentes, como por Compostos III A-VA (ou 13-15), Calcogênios Compostos II B-VI A (ou 12-16), Células Sensibilizadas por Corantes (DSSC), Células Orgânicas (filme fino), Multijunção, entre outros (CRESESB, 2018), entretanto, para esse estudo será dado ênfase apenas nas células fotovoltaicas de Silício, visto ser a opção que se encontra facilmente no mercado e possui um custo-benefício relativamente considerável.

4.1 Considerações para a utilização da energia solar e seus fatores limitantes

A utilização da energia solar possui algumas considerações que devem ser analisadas, tendo em vista que nem toda a irradiação que chega no planeta Terra pode ser convertida em energia térmica ou elétrica. Inicialmente, antes dela atingir o solo, os raios solares são afetados por interações com a atmosfera sofrendo efeitos de absorção e espalhamento, essas considerações dependem do momento em que os raios solares estão percorrendo, que influenciará na espessura da camada atmosférica que eles irão cruzar, tal situação é representada por um coeficiente denominado “Massa de Ar” (AM) (CRESESB, 2004).

A partir da Figura 8, é possível verificar o ângulo de incidência zenital do sol e a superfície da Terra e dois exemplos de valores de massa de ar de acordo com o ângulo θ , sendo o primeiro igual a 1 e o segundo 2, nesse último caso o valor de θ é igual a 60°, entretanto, o valor padrão considerado nos testes e ensaios é de 1,5 AM (CRESESB, 2004).

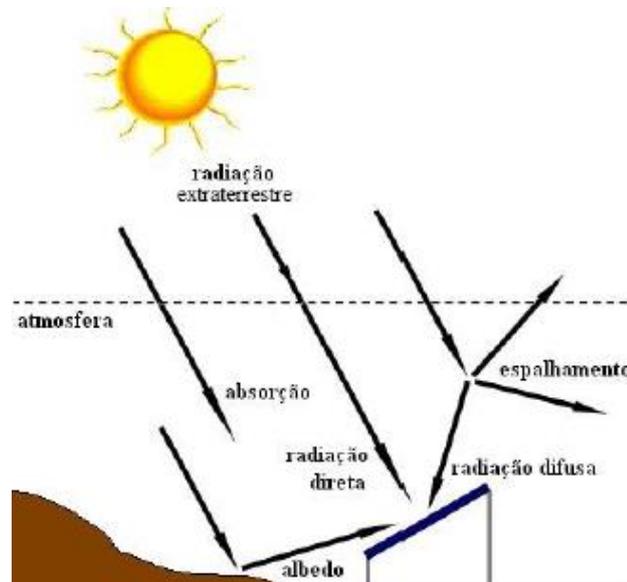
Figura 8 - Estudo da massa de ar



Fonte: Cresesb (2004).

Após ultrapassar a camada atmosférica, a radiação solar antes de atingir o receptor alvo é dividida em três parcelas diferentes: componente direta (que não sofre nenhum desvio), difusa (após ser dividida pelo efeito de espalhamento) e o albedo, essa última caso receba uma parcela refletida pelo ambiente de entorno, que pode ser o solo, vegetação, obstáculos, terrenos rochosos, entre outros, como visto na Figura 9.

Figura 9 - Parcelas da radiação solar: direta, difusa e albedo



Fonte: Pinho et al (2008).

Um sistema fotovoltaico tem seus parâmetros elétricos dependentes basicamente da temperatura nos módulos e da irradiância incidente no local da instalação, de toda a irradiância solar que chega no topo da atmosfera totalizando 1.367 W/m^2 , com as perdas pela massa de ar, pela parcela refletida e absorvida (pelo Ozônio, vapor d' água, dióxido de carbono, entre outros), por materiais particulados em suspensão na atmosfera, pela divisão nas componentes direta, difusa e albedo, entre outras, que totalizam 27% de perdas, a quantidade de irradiância solar que chega na superfície terrestre resulta-se em aproximadamente 1.000 W/m^2 (CRESESB, 2014).

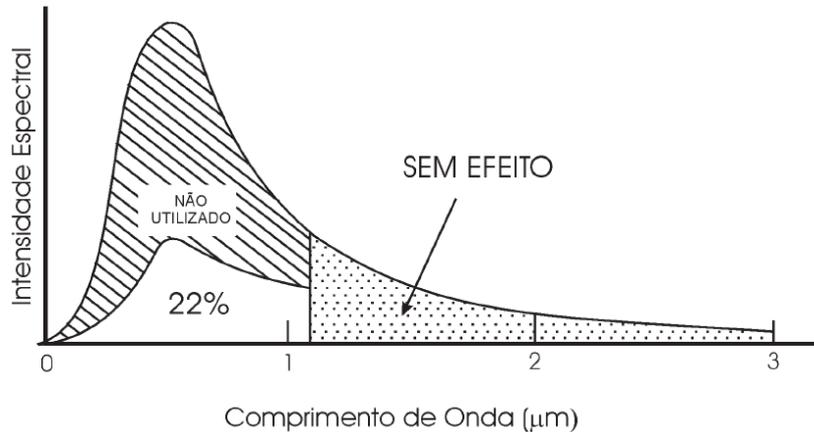
Na sequência, para que seja possível utilizar a radiação solar, é necessário considerar ainda alguns pontos, como a trajetória elíptica que a Terra gira em torno do Sol em um plano inclinado de $23,5^\circ$ em relação ao plano equatorial, o movimento de translação, para assim obter os ângulos notáveis da radiação solar na Terra. O estudo sobre a inclinação se deve ao fato da irradiância solar não ser constante em todas as horas, visto que as horas variam de acordo com a posição da Terra, motivo esse que o sol fica exposto mais tempo no verão do que no inverno. Analisando a questão astronômica, no hemisfério norte o sol está mais baixo no horizonte à medida que se aproxima do norte, já no hemisfério sul acontece o contrário, e por esse motivo nos hemisférios norte, parte da África, países da Europa e no Pólo Norte os painéis solares deverão ser virados para o Sul, enquanto nas regiões Sul, como América do Sul, Sul da África, Oceânia, entre outros, os painéis são instalados virados para o Norte. Essa consideração se deve ao fato de identificar a posição ideal que deverá ser instalada um painel solar para que o seu funcionamento seja mais eficiente possível, considerando a instalação fixa dos painéis solares (CRESESB, 2014). No caso desse estudo, pela localização da cidade de Varginha no estado de Minas Gerais estar no hemisfério Sul, a face dos módulos solares deverão estar voltados para o Norte Verdadeiro, e a inclinação deverá ser igual a latitude do local onde o sistema será instalado.

Resta a questão de quais são os fatores limitantes neste processo de conversão de energia da luz em energia elétrica. O primeiro limitador, ao se tentar transformar a luz do Sol em eletricidade, é o espectro de sua radiação. Como foi visto, ele se espalha numa ampla faixa e apenas a parcela com comprimento de onda inferior a aproximadamente $1 \mu\text{m}$ é capaz de excitar os elétrons em células de silício. Outro fator é o de que cada fóton só consegue excitar um elétron. Portanto, para fótons com energia superior à energia do gap, haverá um excesso de energia que será convertida em calor. Por fim, mesmo para os elétrons excitados, existe uma probabilidade de que estes não sejam coletados, e não contribuam para a corrente. A tecnologia de fabricação de células fotovoltaicas tenta reduzir ao máximo este último efeito. (CRESESB, 2004, p. 31).

Sendo assim, como mostrado na Figura 10, para a tecnologia da célula fotovoltaica de

Silício, considerando a intensidade espectral e o comprimento da onda eletromagnética, apenas 22% é utilizado para realizar a conversão da energia solar em energia elétrica.

Figura 10 - Espectro de uma onda eletromagnética



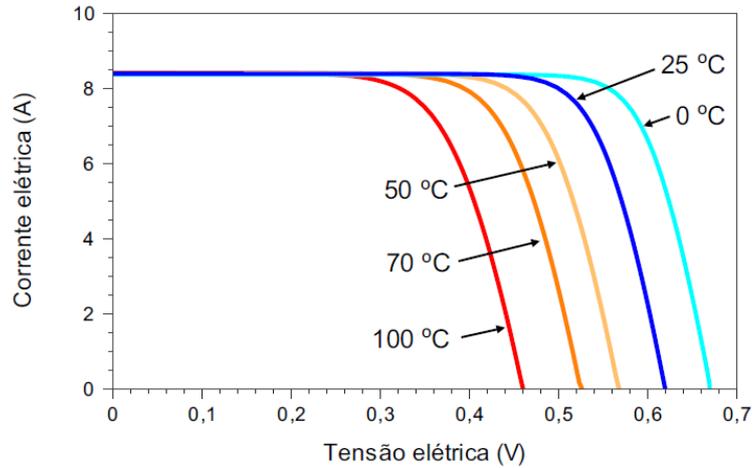
Fonte: Cresesb (2004).

Outros fatores influenciadores na conversão é a temperatura e a irradiância solar, ou seja, um gerador fotovoltaico tem as suas características elétricas dependentes basicamente da irradiância e da temperatura nos módulos, entretanto a influência da irradiância solar é muito mais significativa do que a temperatura, pois ela pode variar em curtos intervalos de tempo (numa escala de segundos) especialmente em dias com nuvens, já a variação da temperatura pode ser amortecida pela capacidade térmica dos módulos (CRESESB, 2014).

Isto se deve ao fato de que a tensão da célula diminui significativamente com o aumento da temperatura, enquanto o que sua corrente sofre uma elevação muito pequena, quase desprezível. Em uma célula de silício cristalino, um aumento de 100 °C na temperatura produz uma variação da ordem de -0,2 V (-30%) em VOC e de + 0,2 % em ISC (CRESESB, 2014, p. 126).

A Figura 11 mostra as curvas de corrente e tensão ($I-V$) em relação a alguns exemplos de temperaturas considerando uma irradiância de 1.000 W/m^2 , tanto o aumento da irradiância quanto da temperatura ambiente, aumenta a temperatura de operação da célula e conseqüentemente influencia a sua eficiência (CRESESB, 2014). Conforme mostrado, a melhor temperatura de trabalho seria a $0 \text{ }^\circ\text{C}$, mas como a temperatura média ambiente normalmente ultrapassa esse valor, certamente haverá uma perda na tensão gerada, e de acordo com que essa temperatura aumenta, a tensão diminui ainda mais.

Figura 11 - Influência da temperatura na eficiência de uma célula solar considerando uma irradiância solar de 1.000 W/m²



Fonte: Cresesb (2014).

Para um cálculo simplificado da temperatura de operação de um painel solar em determinadas condições ambientais utiliza-se a equação 4, conforme mostrado a seguir:

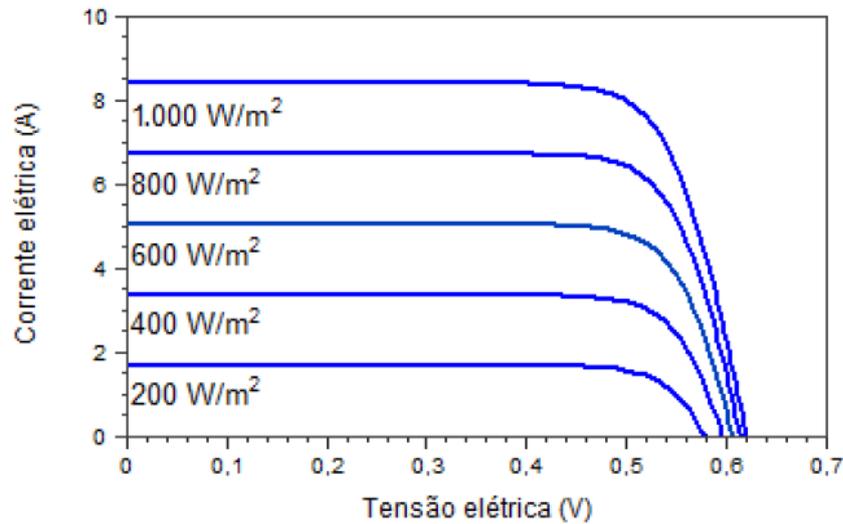
$$T_{mod} = T_{amb} + K_t \times G \quad (4)$$

Onde:

- a) T_{mod} (°C) = temperatura do módulo;
- b) T_{amb} (°C) = temperatura ambiente;
- c) G (W/m²) = irradiância solar incidente sobre o módulo;
- d) K_t (°C/W.m⁻²) = coeficiente térmico para o módulo, podendo ser adotado o valor padrão de 0,03, se não for conhecido.

No que diz respeito sobre a irradiância solar incidente, pela Figura 12 é possível ver os valores da variação da corrente elétrica gerada em Ampère (A) em relação aos valores da irradiância com uma temperatura mantida em 25° C.

Figura 12 - Influência da irradiância solar na eficiência de uma célula fotovoltaica na temperatura de 25° C



Fonte: Cresesb (2014).

A figura mostra o quanto essa variação afeta a curva I - V (corrente-tensão) de uma célula fotovoltaica de Silício, nos casos em que a irradiância está na faixa de 200 W/m² a corrente elétrica gerada é pouco menos que 2 ampères, e quando a irradiância está no pico máximo de 1.000 W/m², a corrente gerada excede a ordem de 8 ampères, com a tensão permanecendo em torno de 0,6 volts. A corrente elétrica gerada por uma célula fotovoltaica aumenta linearmente com o aumento da irradiância solar incidente, enquanto que a tensão de circuito aberto (V_{oc}) aumenta de forma logarítmica se mantida a mesma temperatura.

Em relação à eficiência (η), parâmetro que define a efetividade do processo de conversão de energia solar em energia elétrica e, diz respeito sobre a relação entre a potência elétrica produzida pela célula fotovoltaica e a potência da energia solar incidente, pode ser calculada a partir da equação 5, de acordo com CRESESB (2014):

$$\eta = \frac{P_{MP}}{A \cdot G} \times 100 \% \quad (5)$$

Onde:

- a) P_{MP} = potência da célula fotovoltaica (W_p / Watt-pico);
- b) A = área da célula (m²);
- c) G = irradiância solar incidente (W/m²).

Tal equação relaciona a potência da célula fotovoltaica em Watt-pico com a área de

geração total do painel solar e a irradiação solar incidente.

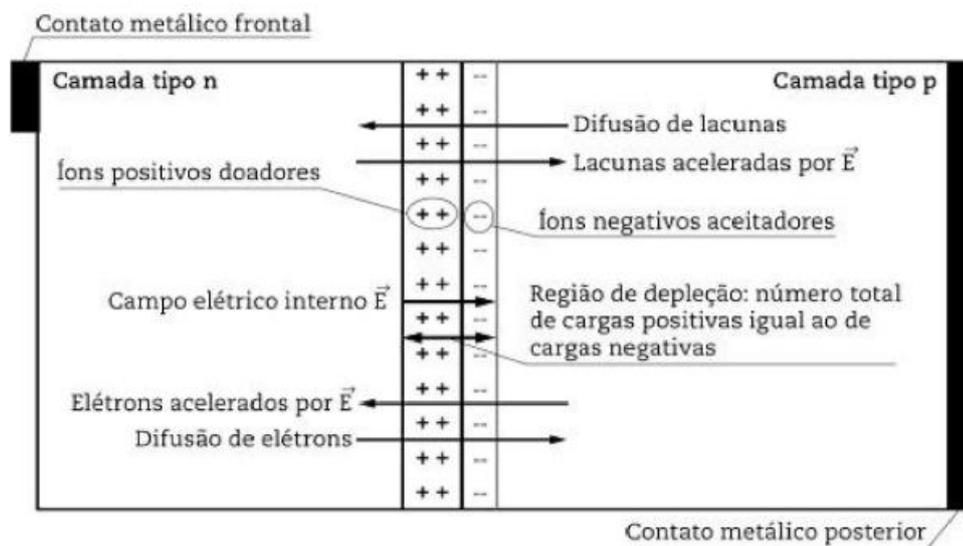
Outro fator limitante à ser considerado num sistema fotovoltaico é o seu desempenho, que pode ser medido pela Taxa de Desempenho (PR – *Performance Ratio*). Essa taxa representa a potência real do sistema, ou seja, considera todos os fatores que podem influenciar durante o processo de conversão de energia solar em elétrica, e ainda, nos componentes elétricos que fazem parte de todo o sistema, como sujeira na superfície dos painéis solares, sobreamento, temperatura operacional, queda de tensão devido à resistência de conectores e cabeamento, eficiência e carregamento do inversor, resposta espectral, entre outras, gerando perda no sistema. Um estudo realizado na Europa em 527 sistemas fotovoltaicos, em sua maior parte na Alemanha, mostrou que a Taxa de Desempenho tem uma média entre 70 e 75 % considerando do ano 2001 até 2005, e para o Brasil, considerando os sistemas com uma boa ventilação no local da instalação e com o mínimo de sombras, têm-se uma taxa em torno de 70 a 80 % (CRESESB, 2014).

4.2 O efeito fotovoltaico

A produção de energia elétrica é gerada pela transformação da incidência do sol em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico que acontece dentro de uma célula fotovoltaica, essas que são componentes desenvolvidos para converter diretamente a radiação solar em eletricidade, e isso é possível devido as propriedades de alguns materiais encontrados na natureza denominados semicondutores. Atualmente o Silício é um dos materiais mais adotado em aplicações fotovoltaicas, ele possui quatro elétrons de ligação na sua camada de valência que são responsáveis em realizar a ligação com os seus vizinhos e assim formar uma rede cristalina, com a adição de elementos com cinco elétrons, como o fósforo, durante a ligação haverá um elétron em excesso que não poderá ficar emparelhado e ele ficará “sobrando”, isto permite que com pouca energia térmica seja possível deslocar esse elétron livre e fazer com que ele vá para a banda de condução, com isso, diz-se que o fósforo é um dopante doador de elétrons e é chamado de dopante n ou impureza n, em contrapartida, ao adicionar elementos com apenas três elétrons de ligação, por exemplo o boro, haverá um elétron faltante para satisfazer a ligação com os elétrons do silício, e com isso gera-se uma lacuna ou buraco, que com pouca energia térmica um elétron vizinho pode ser deslocado e ocupar esse espaço, e dessa forma, afirma-se que o boro é um aceitador de elétrons ou um dopante p. Caso seja tomado uma certa quantidade de silício puro e adicionado em sua metade átomos de boro e na outra metade fósforo, será formado o que se denomina junção *pn* (ZILLES, 2012).

A temperatura ambiente possui energia térmica suficiente para deslocar esse elétron livre que possui a ligação entre o silício e o fósforo e fazer com que ele ocupe a lacuna existente entre o silício e o boro. A partir da incidência, os elétrons livres do lado n transitam para os espaços do lado p, gerando um aglomerado de elétrons livre no lado p e uma redução no lado n, tornando-se o lado p negativamente carregado, enquanto o lado n se torna eletricamente positivo, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Junção pn



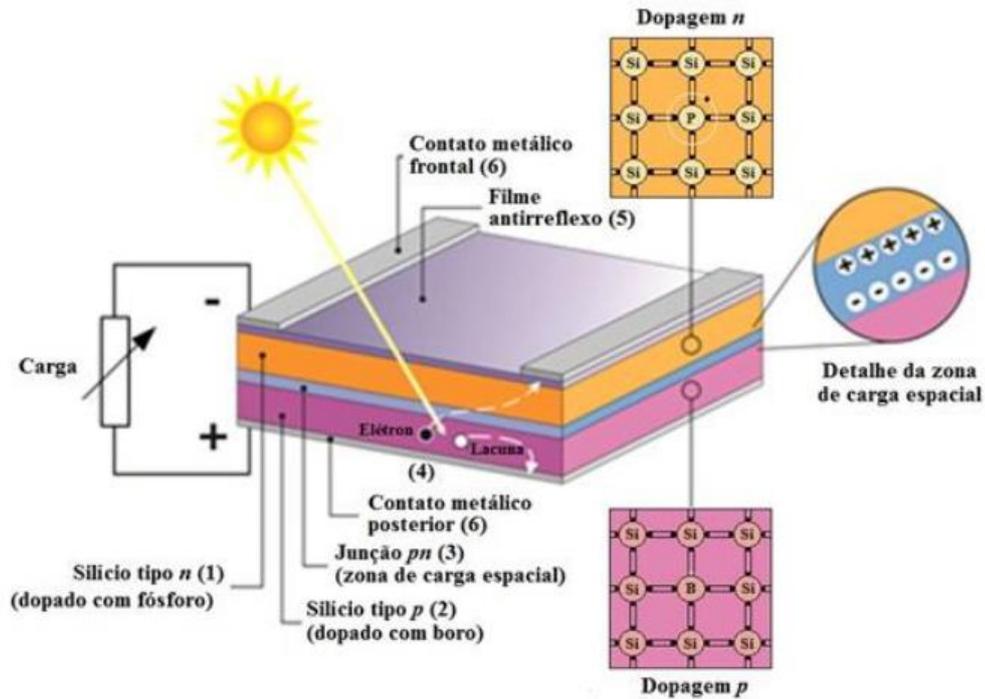
Fonte: Zilles (2012).

O material semiconductor por si só não produz energia, cada célula solar é composta por uma camada fina de material tipo n e outra com maior espessura de material tipo p. Separadamente, ambas são eletricamente neutras. Mas ao serem unidas, exatamente na união p-n e recebendo luz solar, gera-se o campo elétrico devido aos elétrons do Silício tipo n que ocupam os vazios (lacunas) da estrutura do Silício tipo P.

Quando o semiconductor é iluminado, esse estado de equilíbrio é quebrado. Quando um elétron da banda de valência é atingido por um fóton, ele absorve a energia deste e, se a energia for suficiente para libertá-lo de sua ligação química, ele passa para a banda de condução, criando um par elétron-lacuna. O campo elétrico citado anteriormente atrai o elétron para a região n ao mesmo tempo que a lacuna é atraída para a região p. Com a incidência de mais fotos, mais pares elétron-lacuna são formados e separados pelo campo, ocorrendo, assim, um desequilíbrio nas correntes da junção e o estabelecimento de uma diferença de potencial decorrente do acúmulo de portadores de carga em cada lado da junção (elétrons na região n e lacunas na região p). Se em cada lado da junção forem conectados terminais metálicos e estes forem interligados por um condutor, estabelece-se uma corrente elétrica chamada de fotocorrente, a qual estará presente enquanto houver radiação solar incidindo no semiconductor (ZILLES, 2012 p. 23).

A partir da Figura 14 é possível ver como ocorre o funcionamento do painel solar em relação a sua montagem, considerando tanto a camada tipo n quanto a camada tipo p , e a disposição de ambas para compor a célula fotovoltaica.

Figura 14 - Estrutura física de uma junção pn de uma célula fotovoltaica

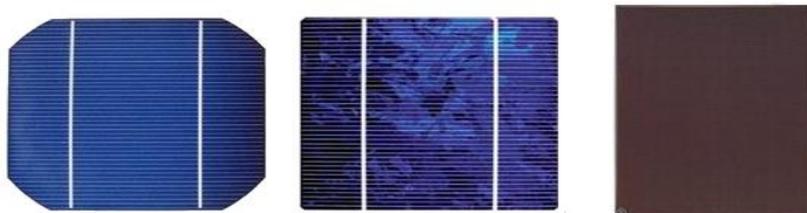


Fonte: Cresesb (2014).

4.3 As células fotovoltaicas

As principais células fotovoltaicas de Silício são classificadas de acordo com sua estrutura molecular e são chamadas de células monocristalinas, policristalinas e silício amorfo, mostradas na Figura 15.

Figura 15 - Célula fotovoltaica monocristalina, policristalina e de silício amorfo



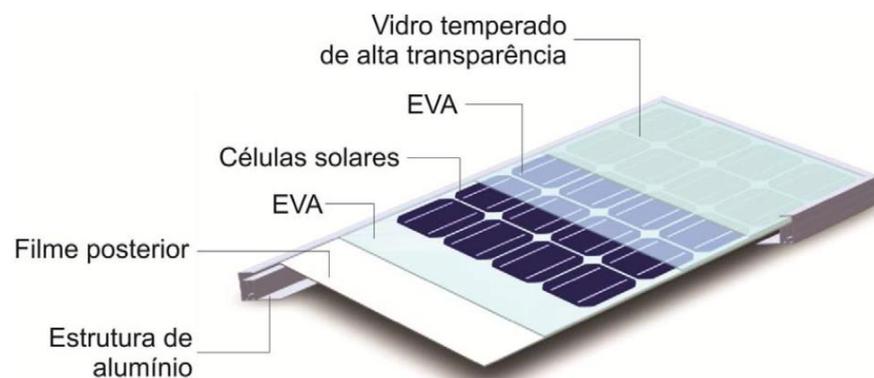
Fonte: Eigelman (2013).

A célula de Silício Monocristalina é bastante utilizada atualmente, devido a sua alta tecnologia possui eficiência próxima dos 18,5 %. Mesmo com crescimento da utilização da energia solar para gerar energia elétrica tal modelo ainda possui um custo acentuado de construção, pois a matéria prima tem elevado valor devido grande desperdício de materiais na sua fabricação. A célula de Silício Policristalina, também utilizada atualmente, possui um processo de pureza similar com a de Silício Monocristalina, porém o processo de qualidade para este tipo de célula é menos rigoroso, dessa forma a sua eficiência gira em torno dos 16 %. E por fim, a célula de Silício Amorfo, primeiro modelo de célula solar criado, apresenta maior desordem das estruturas moleculares e se diferenciam das demais estruturas cristalinas, sua eficiência é de aproximadamente 7%.

4.4 Os módulos ou painéis solares

O conjunto de várias células é conhecido como módulos ou painéis solares, eles são cobertos por vidro, plástico ou resina de silicone e envolvidas por uma cápsula normalmente de EVA, a parte de trás é protegida por um filme posterior normalmente de Tedlar, conforme mostrado na Figura 16.

Figura 16 - Componentes de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalino

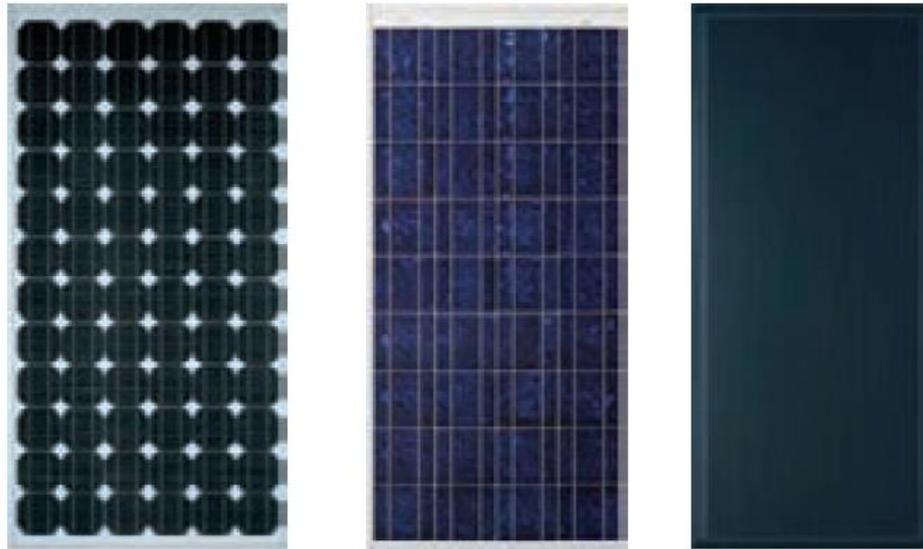


Fonte: Cresesb (2014).

O resultado desses revestimentos com a armação de alumínio resulta-se em uma estrutura rígida e resistente, tanto as intempéries, quanto ao manuseio, denominado módulo fotovoltaico, ou painel solar. Eles são constituídos de um conjunto de células fotovoltaicas eletricamente ligadas em série e paralelo, onde as tensões e as correntes elétricas são influenciadas diretamente na quantidade de células agrupadas e a forma que acontecem as suas

conexões (PINHO, 2008). A partir da Figura 17, é possível ver exemplos de módulos fotovoltaicos fabricados a partir da célula de silício monocristalino, policristalino e amorfo.

Figura 17 - Módulos fotovoltaicos fabricados comercialmente a partir de células de silício (da esquerda para a direita: monocristalino, policristalino e amorfo)



Fonte: Pinho et al (2008).

As características (parâmetros elétricos, térmicos ou mecânicos) dos módulos fotovoltaicos são medidos nas condições-padrão de ensaio (STC), do inglês *Standard Test Conditions*, pelos fabricantes e disponibilizadas na forma de fichas técnicas específicas, na STC é considerado a irradiância solar 1.000 W/m^2 , massa de ar de 1,5 e a temperatura da célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. No entanto, em contexto de utilização real, as condições de referência muito raramente ocorrem, na verdade, mesmo que um módulo fotovoltaico opere num cenário que eventualmente se caracterize por uma temperatura do ar igual a 25°C , a temperatura do módulo será superior. Por este motivo, muitas vezes é especificada a temperatura nominal de funcionamento (NOCT), do inglês *Nominal Operating Cell Temperature*, do módulo fotovoltaico (geralmente está na faixa de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ e $50 \text{ }^\circ\text{C}$). A temperatura nominal de funcionamento é definida como sendo a temperatura atingida pelas células de um módulo quando o módulo é exposto em circuito aberto a uma irradiância de 800 W/m^2 com temperatura ambiente de $20 \text{ }^\circ\text{C}$, a velocidade do vento 1 m/s e massa de ar de 1,5 (CRESESB, 2014).

4.5 Formas de montagem de um sistema fotovoltaico

Os sistemas fotovoltaicos são classificados de duas formas, onde cada aplicação depende da disponibilidade de recursos de energia onde a mesma será utilizada. Para a utilização junto à rede, denominado sistema *grid-tie* ou *on-grid*, o sistema fotovoltaico produzirá energia elétrica para complementar o fornecimento ou atender a demanda totalmente, lançando na rede a quantidade não consumida, já para os sistemas isolados à rede, denominados sistemas *off-grid*, toda a demanda será suprida somente por essa produção, nesse último se faz necessário dimensionar banco de baterias de forma a armazenar a energia gerada.

Os módulos fotovoltaicos geram determinada tensão e corrente elétrica contínua, essa quantidade de energia elétrica gerada em um sistema fotovoltaico é proporcional à disposição da somatória dos painéis solares, a ligação em série tem o objetivo de elevar a potência do sistema, visto que a corrente se mantém a mesma e a tensão resulta-se da somatória de todos os módulos, e na ligação em paralelo, a corrente elétrica do sistema é elevada permanecendo a mesma tensão, porém acontece a soma das correntes elétricas de todos os módulos, esses sistemas de ligação em uma usina são utilizados ao mesmo tempo objetivando alcançar altas tensões e correntes elétricas. Com a manipulação das quantidades de painéis e das ligações, ao final têm-se uma potência gerada de acordo com a necessidade e demanda.

5 METODOLOGIA

Considerando todo o embasamento sobre conversão de energia e sistemas fotovoltaicos, será apresentado estudo comparativo da eficiência na conversão de energia solar em elétrica, utilizando como exemplo o estudo de caso para atender toda a demanda de energia elétrica da Cidade Universitária do Grupo Unis, e assim, apresentar uma comparação nos resultados entre dois modelos de painéis solares.

O Grupo Unis é uma instituição de ensino que possui campus em diversas localidades, entretanto, para esse estudo será considerado somente a Cidade Universitária, a partir da Figura 18 é possível ver a disposição da sua estrutura.

Figura 18 - Cidade Universitária do Grupo Unis



Fonte: Google Earth (2018).

Atualmente, a Cidade Universitária recebe energia elétrica da concessionária CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), e devido o alto valor pago na conta de energia elétrica, utilizando os conceitos de conversão de energia, é possível aproveitar de fontes renováveis para produzir energia elétrica para atender o seu consumo, e assim, a partir de um investimento inicial ter uma fonte limpa, inesgotável, que possibilitará produzir a sua própria energia e ter considerável lucro após quitar o investimento.

A metodologia contará com a coleta da quantidade de energia consumida pela Cidade Universitária no período de doze meses, com a irradiação solar incidente, temperatura ambiente

no mesmo período, levantamento do número de painéis solares necessários, para assim possibilitar o estudo comparativo de dois modelos de painéis solares atuais disponíveis no mercado e ter condição para verificar a melhor opção para instalação. Para a realização dos cálculos foi utilizado o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (CRESESB, 2014) referenciado nesse trabalho.

Vale ressaltar que neste trabalho é apenas levantado uma estimativa do número de painéis necessários para atender a demanda da Cidade Universitária, para assim, comparar a eficiência final total dos painéis solares considerando a mesma irradiação, temperatura e afins, com as seguintes considerações:

- a) O conjunto de painéis solares serão considerados fixos na inclinação da latitude do local, ou seja, não haverá seguimento solar e ou concentração da radiação solar, e direcionados para o Norte;
- b) Não serão considerados os dimensionamentos elétricos, como os inversores, cabeamento, etc., entretanto será considerado um valor da Taxa de Desempenho de 0,7 (item 4.1) para representar as possíveis perdas e ter a estimativa do número de painéis o mais próximo possível do real;
- c) O sistema de montagem considerado será o conectado à rede (*on-grid*), ou seja, não será considerado o dimensionamento para armazenagem utilizando baterias.

5.1 Consumo de energia elétrica da Cidade Universitária

A quantidade de energia elétrica consumida foi levantada a partir das faturas emitidas pela CEMIG dentro do período de doze meses, essas faturas foram disponibilizadas para estudo pela Diretoria Administrativa do Grupo Unis. Atualmente, para atender a demanda da Cidade Universitária é disponibilizado pela concessionária uma rede trifásica de corrente alternada (CA), com demanda ativa contratada de 230 kW e classificado no Grupo B por receber tensão nominal de 13,8 kV (Kilo-Volts).

A partir da Tabela 1 é possível verificar o histórico de consumo de energia elétrica da Cidade Universitária no período de doze meses, que vai do mês de Junho de 2017 até Maio de 2018. Para a montagem da tabela foi coletado de cada fatura o consumo de Energia Ativa e Reativa, e assim, devido ser um sistema trifásico, para verificar a quantidade de energia total consumida foi necessário calcular a Potência Aparente.

Tabela 1 - Histórico do consumo de energia elétrica da Cidade Universitária

Mês /ano	Demanda Ativa (KW)			Energia Ativa (KWh)							Energia Reativa (KWh)			Consumo Total Pot. Aparente	
	HP	HFP	Ultrap.	Band. Verde		Band. Amarela		Band. Vermelha			HP	HFP	Total	KWh /mês	KWh /dia
				HP	HFP	HP	HFP	HP	HFP	Total					
Jun/17	0	230	0	700	54.600	-	-	7.700	39.200	54.600	0	0	0	54.600,00	1.820,00
Jul/17	0	230	0	7.000	49.700	1.400	6.300	-	-	49.700	0	700	700	49.704,93	1.656,83
Ago/17	0	230	0	-	44.100	4.200	30.800	2.100	7.000	44.100	0	0	0	44.100,00	1.470,00
Set/17	0	230	0	-	53.900	1.400	7.000	7.000	38.500	53.900	0	1400	1400	53.918,18	1.797,27
Out/17	0	230	0	-	54.600	7.000	39.200	1.400	7.000	54.600	0	1400	1400	54.617,95	1.820,60
Nov/17	0	230	0	-	53.900	-	-	7.700	46.200	53.900	0	0	0	53.900,00	1.796,67
Dez/17	0	230	0	-	55.300	-	-	9.100	46.200	55.300	0	1400	1400	55.317,72	1.843,92
Jan/18	0	230	0	700	51.100	-	-	4.900	39.200	51.100	0	0	0	51.100,00	1.703,33
Fev/18	0	230	0	4.900	50.400	-	-	-	-	50.400	0	700	700	50.404,86	1.680,16
Mar/18	0	230	0	7.000	51.100	-	-	-	-	51.100	0	700	700	51.104,79	1.703,49
Abr/18	0	230	15	11.200	67.900	-	-	-	-	67.900	0	2100	2100	67.932,47	2.264,42
Mai/18	0	230	0	6.300	53.900	2.100	8.400	-	-	53.900	0	2100	2100	53.940,89	1.798,03
													Média Anual	53.386,81	1.779,56

Fonte: O autor.

Para compreensão da tabela, cabe esclarecer alguns pontos que a constitui, como a demanda ativa, que representa na fatura a quantidade de energia ativa contratada da concessionária, ou seja, é o Custo da Disponibilidade (CDD) de energia elétrica que a empresa entrega para o cliente e a sua unidade de medida é o Watt (W), a potência ativa (ou energia ativa) é a energia responsável pela transformação da energia elétrica em outras formas de energia que realiza trabalho útil, como em energia térmica, luminosa, ou outras formas, os exemplos de potência ativa são os chuveiros, os aquecedores, as sanduícheiras, os resistores e a sua unidade de medida também é o Watt (W), já a potência ou energia reativa representa a parte da potência que é empregada nas cargas capacitivas e indutivas dos circuitos e não realizam trabalho efetivo, elas são usadas normalmente para gerar campo elétrico ou magnético em um determinado equipamento, como os motores de indução, transformadores, máquinas de solda, lâmpadas de descarga, e a sua unidade de medida é o Volt-Ampère reativo (VAr), e por fim, a potência aparente, que é a soma vetorial da potência ativa com a reativa, e é em função dessa potência que os equipamentos são dimensionados, por exemplo os transformadores, condutores, entre outros, e a sua unidade de medida é o Volt-Ampère (VA) (FRANCHI, 2008).

Após o levantamento da quantidade consumida em kWh contabilizado pela concessionária (potência aparente), foi calculado a média do período apresentado considerando

os doze meses, e o valor mensal encontrado foi 53.386,82 KWh por mês e 1.779.560,52 Wh por dia, sendo o último o consumo diário médio anual considerando trinta dias no mês. Esse levantamento da quantidade de energia total consumida se faz necessário para calcular o número de painéis para atender toda a demanda da Cidade Universitária.

5.2 Avaliação do recurso solar e a temperatura ambiente

Um dos pontos de extrema importância para um sistema fotovoltaico é a quantidade de radiação solar incidente sobre o local que será instalado os painéis. A Cidade Universitária está localizada na cidade de Varginha em Minas Gerais, de acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017) e o Atlas Solarimétrico de Minas Gerais (2016), há uma pequena variação na quantidade de irradiação incidente, sendo assim, conforme apresentado no item 3.3, nada substitui a medição no próprio local da instalação dos painéis, e por isso será considerado para o cálculo o valor da irradiação de 5,11 kWh/m².dia e a sua irradiância 212,92 W/m² (irradiação em Wh/m².dia dividido por 24 h).

No que diz respeito à temperatura ambiente na Cidade Universitária, de acordo com o INMET, Instituto Nacional de Meteorologia, foi possível coletar a temperatura máxima de todos os dias durante todos os meses do histórico de consumo de energia elétrica (Junho de 2017 até Maio de 2018) e como mostrado na Tabela 6 do Anexo A, a maior temperatura máxima registrada foi de 35,1 °C no dia 14 de outubro de 2017. Considerando a equação 4 do item 4.1, é possível calcular a temperatura nos módulos quando a temperatura ambiente estiver no máximo coletado, segue:

$$T_{mod} = 35,1 + (0,03 \times 212,92) = 41,49 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Para o cálculo foi utilizado o maior valor de temperatura ambiente registrado no mesmo período do histórico de consumo, coeficiente térmico no valor padrão e a irradiância solar incidente, dessa forma, têm-se uma temperatura nos módulos de 41,49 °C durante o seu funcionamento.

5.3 Painéis solares escolhidos para o estudo

A escolha dos painéis foi feita considerando opções atuais disponíveis no mercado de forma a aproximar o estudo de uma situação real, para tanto, foram escolhidos do mesmo

fabricante e mesmo tipo de célula (monocristalina), porém com potências, número de célula e eficiência diferente. Lembrando que as informações técnicas estão nas condições STC (*Standard Test Conditions*), que são as condições padronizadas de testes e utilizam o valor de 1.000 W/m^2 para a irradiância, $25 \text{ }^\circ\text{C}$ para a temperatura do módulo e 1,5 para a massa de ar.

O modelo 1, conforme apresentado na Tabela 2, é um painel solar fotovoltaico monocristalino, possui uma potência de 370 Wp (Watt-pico), composto por 144 células e a sua eficiência gira em torno de 18,65 %, as demais informações podem ser vistas na tabela.

Tabela 2 - Painel Solar - Modelo 1	
Dados Gerais	
Fabricante	Canadian Solar Inc.
Modelo	MODULO FV CANADIAN 144 CELLS 370W MONO 1500V F16
Tipo de Célula	Monocristalina
Número de Células	144
Tipo de Conexão	mc4
Comprimento	2 m
Largura	0,992 m
Altura	0,035 m
Área	1,984 m ²
Dados do STC (<i>Standard Tests Conditions</i>)	
Potência	370 W
Tensão de Operação (Vmp)	39,6 V
Corrente de Operação (Imp)	9,35 A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	47,4 V
Corrente de Curto Circuito (Isc)	9,85 A
Eficiência	18,65 %
Temperaturas	
Temperatura Nominal de Operação da Célula (NOCT)	41 °C
Coefficiente de Temperatura (Pmax)	-0,37 % / °C
Coefficiente de Temperatura (Voc)	-0,29 % / °C
Coefficiente de Temperatura (Isc)	0,05 % / °C
Valor	R\$ 709,64

Fonte: Adaptado de Sices Solar, 2018.

Da mesma forma o modelo 2, conforme Tabela 3, também é um painel solar fotovoltaico monocristalino produzido pelo mesmo fabricante. Esse modelo escolhido possui uma potência

menor em comparação ao modelo 1, ou seja 300 Wp (Watts-pico), é composto por 60 células e a sua eficiência gira em torno de 18,33 %, as demais informações podem ser vistas na tabela.

Tabela 3 - Pannel Solar - Modelo 2	
Dados Gerais	
Fabricante	Canadian Solar Inc.
Modelo	MODULO FV CANADIAN 60 CELLS 300W MONO 1500V F16
Tipo de Célula	Monocristalina
Número de Células	60
Tipo de Conexão	mc4
Comprimento	1,65 m
Largura	0,992 m
Altura	0,035 m
Área	1,6368 m ²
Dados do STC (<i>Standard Tests Conditions</i>)	
Potência	300 W
Tensão de Operação (Vmp)	32,5 V
Corrente de Operação (Imp)	9,24 A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	39,7 V
Corrente de Curto Circuito (Isc)	9,83 A
Eficiência	18,33 %
Temperaturas	
Temperatura Nominal de Operação da Célula (NOCT)	42 °C
Coeficiente de Temperatura (Pmax)	-0,39 % / °C
Coeficiente de Temperatura (Voc)	-0,29 % / °C
Coeficiente de Temperatura (Isc)	0,05 % / °C
Valor	R\$ 536,81

Fonte: Adaptado de Sices Solar, 2018.

Os preços apresentados nas tabelas foram coletados em orçamento com revendedor autorizado Sices Solar da fabricante Canadian Solar Inc., ver Figura 18 e 19 no Anexo B.

5.4 Cálculo da potência real dos painéis considerando a perda pela temperatura

Um dos pontos importantes à serem verificados são as perdas devido as temperaturas nos módulos, conforme apresentado no item 4.1, quando os módulos se aquecem eles perdem

eficiência diminuindo a sua capacidade de potência, sendo necessário calcular a potência real no momento do seu funcionamento quando submetido à temperatura ambiente.

A temperatura ambiente considerada foi a maior registrada no período coletado (35,1 °C) com a irradiância no local (212,92 Wh/m²), para assim obter o valor das temperaturas nos módulos. Conforme apresentado no item 5.2, o valor encontrado da temperatura nos módulos durante o funcionamento foi de 41,49 °C para ambos os módulos, considerando o coeficiente de temperatura da potência máxima (na NOCT) de -0,37 %/°C para o modelo 1 (ver tabela 2) e -0,39 %/°C (ver tabela 3), significa que para cada grau acima de 25°C (na STC) o módulo 1 perderá 0,37 % da sua potência e o módulo 2 0,39 %. Considerando que cada módulo estará sujeito a operar atingindo a máxima temperatura, para o módulo 1 tem-se 16,49 °C excedentes das condições na STC, sendo assim, para o módulo 1, multiplicando o excedente pelo coeficiente tem-se 6,1 % abaixo da potência nas condições STC, isso representa um valor de 347,43 W de potência real, e para o modelo 2, multiplicando o excedente pelo coeficiente tem-se 6,4 %, o valor resultante da potência real é 280,71 W. Entretanto, para esse trabalho, o valor de todas as perdas está incluso na Taxa de Desempenho que foi considerada (0,7), inclusive a perda pelo aumento da temperatura nos módulos.

5.5 Cálculo do número de painéis necessários

De acordo com a Resolução Normativa N° 414 de 2010 da ANEEL, devido a Cidade Universitária receber energia por um sistema trifásico da CEMIG, o seu Custo de Disponibilidade do sistema elétrico é relativo a 100 KWh, e ainda, considerando a resolução normativa N° 482 de 2012 também da ANEEL, não é possível “zerar” a conta de energia mesmo que seja produzido quantidade superior à contratada, dessa forma, é necessário subtrair essa quantidade no valor total consumido e calcular o número de painéis solares em cima do valor resultante, fazendo isso, o valor para o dimensionamento passa a ser 53.286,82 KWh por mês e 1.776.227,19 Wh por dia.

A partir da Tabela 4 é possível ver as principais informações necessárias para o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico. Para compor a tabela foi considerado o consumo calculado descontando o Custo de Disponibilidade, a irradiação solar coletada na Cidade Universitária mencionada no item 4.1, o valor de irradiância solar incidente, o valor de Horas de Sol Pleno conforme equação 3 no item 3.3, e ainda, a Taxa de Desempenho, considerando 0,7 de forma a representar uma perda de 30 % no valor contabilizado de perda nos sistemas, como exposto no item 4.1.

Tabela 4 - Informações necessárias para o dimensionamento

Descrição	Qtde.	Unidade
Demanda Ativa	230,00	kW
Tensão Nomimal	13,80	kV
Custo de Disponibilidade - CDD	100,00	kWh
Consumo Médio Mensal	53.386,82	kWh/mês
Consumo Médio Mensal (desconsiderando o CDD)	53.286,82	kWh/mês
Consumo Médio Diário (desconsiderando o CDD)	1.776,23	kWh/dia
Consumo Médio Diário (desconsiderando o CDD)	1.776.227,19	Wh/dia
Irradiação Solar Incidente	5,11	kWh/m ² /dia
Horas de Sol Pleno – HSP	5,11	h/dia
Irradiância Solar Incidente	212,92	W/m ²
Máxima temperatura ambiente registrada	35,1	°C
Taxa de desempenho - TD	0,7	-

Fonte: O autor.

Para o cálculo do número de painéis, inicialmente foi levantado o consumo médio diário anual da Cidade Universitária (1.776.227,19 Wh/dia) já descontado o Custo de Disponibilidade, na sequência, a partir da Equação 6, foi calculado a potência do sistema fotovoltaico:

$$P_{FV} = \frac{E/TD}{HSP_{MA}} \quad (6)$$

Onde:

- a) P_{FV} (Wp) = Potência total que o sistema fotovoltaico deverá gerar;
- b) E (Wh/dia) = Consumo diário médio anual da unidade consumidora;
- c) HSP_{MA} (h) = Média diária anual das HSP incidente no plano do painel;
- d) TD (adimensional) = Taxa de desempenho.

Aplicando a fórmula, têm-se a potência à ser utilizada para cálculo do número de painéis:

$$P_{FV} = \frac{1.776.227,19/0,7}{5,11} = 496.568,97 \text{ W}$$

O número de painéis é calculado utilizando a potência do sistema dividido pela potência do painel à ser utilizado, como será feito uma comparação na eficiência de dois painéis, será necessário calcular para os dois casos, para tal, será utilizado a Equação 7, a seguir:

$$\text{Número de painéis} = \frac{P_{FV}}{P_p} \quad (7)$$

Onde:

a) $P_{FV} (W) = P_{FV} (W_p) =$ Potência de pico que o sistema fotovoltaico deverá gerar;

b) $P_p (W) =$ Potência de pico do painel à ser utilizado.

De acordo com a equação 7, dividindo o valor da potência do sistema pela potência do painel utilizando o modelo 1 têm-se:

$$\text{Número de painéis} = \frac{496.568,97}{370} \cong 1.343 \text{ painéis}$$

Da mesma forma para o modelo 2, têm-se:

$$\text{Número de painéis} = \frac{496.568,97}{300} \cong 1.656 \text{ painéis}$$

Há uma diferença no número de painéis para cada modelo calculado, isso acontece devido a diferença nas potências dos painéis, pois quanto menor a potência do painel utilizado, maior o número de painéis necessários para atender a demanda, por isso, nesse caso, para utilizar o painel solar de 300 W será necessário 313 painéis a mais do que o modelo de 370 W.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, no que diz respeito à conversão de energia, toda e qualquer conversão faz menção à mudança na forma com que a energia será disponibilizada, da mecânica para a elétrica, da potencial gravitacional para a cinética, entre outras, e isso acontece na conversão de energia solar em energia elétrica também, entretanto todas essas conversões possui uma eficiência, ou seja, todas possuem uma porcentagem de perda durante o processo de conversão, seja pelo atrito, pela dissipação de calor, nos processos químicos, etc., e a conversão que acontece pelo efeito fotovoltaico também possui perdas.

A eficiência apresentada pelos fabricantes de painéis solares é calculada em relação à STC, que são condições padronizadas de testes, e como mostrado na tabela 2, o painel solar modelo 1 tem uma eficiência de 18,65%, e conforme a tabela 3, o modelo 2 tem 18,33%, entretanto tais eficiências foram calculadas considerando a irradiância o valor de 1.000 W/m^2 e temperatura a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Vale ressaltar que, os painéis solares estarão sujeitos à temperatura ambiente e irradiância diferente do valor nas STC, e por isso, utilizando a equação 5 no item 4.1, foi calculado a eficiência dos painéis considerando a potência com a perda devido a temperatura nos módulos e a irradiância no local. A partir da Tabela 5, é possível ver os valores das eficiências nas condições reais.

Tabela 5 - Eficiência considerando a irradiância solar do local

Descrição	Modelo 1	Modelo 2	Unidades
Potência do módulo	347,43	280,71	W
Área do módulo	1,984	1,637	m^2
Irradiância solar no local	212,92	212,92	W/m^2
Eficiência	82,25	80,55	%

Fonte: O autor.

A partir da tabela nota-se uma diferença nas eficiências em relação às apresentadas pelo fabricante, o modelo 1 apresentou 82,25 % e o modelo 2 80,55 % de eficiência, lembrando que essa eficiência é o parâmetro que define a efetividade do processo de conversão de energia solar em energia elétrica. Após todo o estudo e levantamento do número de painéis é possível realizar comparação entre os dois modelos escolhidos. A partir da Tabela 6 é possível visualizar o número de painéis calculados (modelo 1 e 2), e mediante a diferença da eficiência de ambos, ter análise criteriosa quanto às informações.

Tabela 6 - Dados comparativos entre os painéis solares

Descrição	Modelo 1	Modelo 2	Diferença	
	Valor	Valor	Valor	Porcentagem
Nº painéis	1.343	1.656	313	18,9 %
Valor Unit.	R\$ 709,64	R\$ 536,81	-	-
Valor total dos módulos	R\$ 953.046,52	R\$ 888.957,36	R\$ 64.089,16	7,21 %
Área (m ²)	2.664,51	2.710,54	46,03	1,73%

Fonte: O autor.

A tabela mostra que, inicialmente, optando pelo painel 1 (370 W) tem-se menor número de painéis para atender toda a demanda da Cidade Universitária, de certa forma, a primeira intuição é que esse modelo irá atender de forma mais eficiente em comparação ao segundo, entretanto, considerando o orçamento coletado conforme preços informados na tabela (ver orçamento completo no Anexo B, páginas 56 e 57) é possível ver que o modelo 1 tem o valor total para a compra dos painéis 7,21 % maior que o modelo 2, e isso representa um valor de R\$ 64.089,16 na compra somente dos painéis, e no que diz respeito à área, há uma diferença mínima excedida pelo modelo 2 em relação ao modelo 1 de 1,73 %, sendo necessário apenas 46,03 m² a mais de área para instalação dos painéis fotovoltaicos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados apresentados vê-se que a energia solar apresenta capacidade de contribuir na geração de energia elétrica para atender as demandas existentes. Apesar de ter pontos negativos, como as incertezas, as perdas, as baixas eficiências, entretanto possui vantagens que torna atraente a sua aplicação, por ser uma energia totalmente inesgotável, que não libera gases do efeito estufa, não polui, e consegue produzir quantidade de energia elétrica considerável a partir de um investimento inicial.

O Brasil é um país que possui enorme potencial para utilização da energia solar, apesar de ter tido um crescimento exponencial no último ano, ainda há muito espaço para a sua implantação. Como apresentado anteriormente, há informações que dão embasamento para a sua utilização, como a média de radiação solar no Brasil, existência de painéis solares que fazem a conversão da energia solar em eletricidade e as normas que regem e orientam a sua utilização, dessa forma, cabe somente o estudo da viabilidade de instalação, coletando preços, analisando as eficiências e realizando o cálculo de retorno do investimento.

Mediante o estudo, mostra-se que para uma determinada aplicação de sistemas fotovoltaicos deve-se analisar diversos fatores, como a quantidade de irradiação solar incidente no local, possibilidade de instalar os painéis na inclinação conforme latitude (para casos que os painéis são fixos), avaliar a temperatura ambiente, entre outros, e principalmente avaliar a eficiência dos módulos solares disponíveis, visto que o dimensionamento é condicionado em relação aos custos e a área disponível para instalação. Analisando os resultados, vê-se que a melhor opção de instalação é o modelo 2, mesmo possuindo uma potência menor em relação ao modelo 1, apresenta o menor valor de investimento para a compra dos painéis possibilitando economizar R\$ 64.089,16, sendo necessário somente dispor os 46,03 m² a mais de área para instalação dos painéis fotovoltaicos, e devido a grande extensão da Cidade Universitária, isso não será um empecilho.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Capacidade de Geração no Brasil**. BIG - Banco de Informações de Geração. 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 11 maio 2018.
- _____ **Resolução Normativa 482/2012**. Brasília, 2012. 9 p.
- _____ **Resolução Normativa 410/2010**. Brasília, 2012. 149 p.
- _____ **Resolução Normativa 687/2015**. Brasília, 2015. 25 p.
- _____ **Resolução Normativa 414/2010**. Brasília, 2015. 183 p.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Consumo Anual de Energia Elétrica por Classe (nacional)**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica/consumo-anual-de-energia-eletrica-por-classe-\(nacional\)](http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica/consumo-anual-de-energia-eletrica-por-classe-(nacional))>. Acesso em: 18 jun. 2018.
- _____ Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico>>. Acesso em: 21 maio 2018.
- BURATTINI, Maria Paula T. de Castro. **Energia: Uma abordagem multidisciplinar**. São Paulo: Livraria da Física, 2008. 110 p.
- CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2018.
- _____ **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2018.
- _____ no estado do Rio de Janeiro. Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em: 24 set. 2018.
- EIGELMAN, Bruno Boaventura. **A Energia Solar Fotovoltaica e Aplicação na Usina Solar de Tauá**. 2013. 61 f. Monografia - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10007228.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2018.
- FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos Elétricos**. 4. ed. São Paulo: Érica Ltda., 2008. 250 p.

GOOGLE. **Google Earth**. Estados Unidos, 2018. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/@-21.57386392,-45.47842028,900.69943531a,649.87897985d,35y,-3.14907092h,0.48702532t,0r>>. Acesso em: 08 out. 2018.

_____. **Google Maps**. Estados Unidos, 2018. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/place/UNIS/@-21.5737786,-45.4793732,359m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0x3ad17fb0fb012f5f!8m2!3d-21.5618095!4d-45.4571394>>. Acesso em: 27 set. 2018.

GREENPRO. **Energia Fotovoltaica**: manual sobre tecnologias, projecto e instalação. Lisboa, 2004.

INCROPERA, Frank P. et al. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2011. Tradução de: *Fundamentals of heat and mass transfer*, 6th ed.

INMET na capital Brasília. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados Históricos**. 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 24 set. 2018.

LOPES, Thales Terrola e et al. **Energia solar aplicada aos centros comunitários de produção**: Guia para elaboração de projetos. Rio de Janeiro: IICA e Eletrobrás, 2016. 115 p. Disponível em: <<http://www.iica.int/sites/default/files/publications/files/2017/BVE17069019p.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

MOREIRA, Daniel; CORRÊA, Hugo de Lima. **Engenharia de Energia Solar**: Processos e Sistemas. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2016. 864 p. Do original: *Solar Energy Engineering - Processes and Systems - Second Edition*.

OLIVEIRA, João Fernando Gomes de; TRINDADE, Tatiana Costa Guimarães. **Sustainability Performance Evaluation of Renewable Energy Sources**: The case of Brazil. Cham: Springer, 2018. 130 p.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 88 p. Disponível em: http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf. Acesso em: 04 jun. 2018.

PINHO, João Tavares et al. **Sistemas Híbridos**: soluções energéticas para a Amazônia. Brasília: Brasil: Ministério de Minas e Energia, 2008. 396 p. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Solucoes_Energeticas_para_a_Amazonia_Hibrido.pdf>. Acesso em: 18 set. 2018.

REIS, Rui Bran Januário dos et al. **Atlas Solarimétrico de Minas Gerais**. 2. ed. Belo Horizonte: Futura Express, 2016. 236 p. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/atlas_solarimetrico.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2018.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil.** Florianópolis: Ufsc / Labsolar, 2004. 114 p. Disponível em: <<https://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

SICES SOLAR. **Plataforma Sices Solar.** Itapevi, 2018. Disponível em: <<https://plataformasicessolar.com.br>>. Acesso em: 27 set. 2018.

SCHMIDT, Frank W.; HENDERSON, Robert E.; WOLGEMUTH, Carl H.. **Introdução às Ciências Térmicas: Termodinâmica, Mecânica e Transferência de Calor.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2004. 466 p. Título original: Introduction to Thermal Sciences: Thermodynamics, Fluid dynamics and Heat transfer.

TIBA, C. **Atlas Solarimétrico do Brasil.** Recife: UFPE, 2000. 111p.

VIANA, Augusto Nelson Carvalho et al. **Eficiência Energética: Fundamentos e aplicações.** Campinas: Elektro Eletricidade e Serviços S.A., 2012. 314 p.

ZILLES, Roberto et al. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica.** São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 208 p.

ANEXO A – Temperatura ambiente na Cidade Universitária

Tabela 7 - Temperatura ambiente na Cidade Universitária								
Estaç.	Data	TempMáx.(°C)						
83683	01/06/2017	26,7	83683	18/07/2017	24,4	83683	08/09/2017	30,4
83683	02/06/2017	26,1	83683	19/07/2017	22	83683	09/09/2017	29,4
83683	03/06/2017	26,5	83683	20/07/2017	22,5	83683	10/09/2017	29,7
83683	04/06/2017	27,1	83683	21/07/2017	26,6	83683	11/09/2017	30,5
83683	05/06/2017	27,5	83683	22/07/2017	26,3	83683	12/09/2017	30,1
83683	06/06/2017	28,5	83683	23/07/2017	25,2	83683	13/09/2017	30
83683	07/06/2017	28,7	83683	24/07/2017	24,5	83683	14/09/2017	30,5
83683	08/06/2017	27,4	83683	25/07/2017	25,1	83683	15/09/2017	32,7
83683	09/06/2017	28	83683	26/07/2017	25,4	83683	16/09/2017	30,1
83683	10/06/2017	24,9	83683	27/07/2017	24,6	83683	17/09/2017	31,2
83683	11/06/2017	25,2	83683	28/07/2017	23,3	83683	18/09/2017	31,5
83683	12/06/2017	23,5	83683	29/07/2017	22,5	83683	19/09/2017	31
83683	13/06/2017	22,5	83683	30/07/2017	23,5	83683	20/09/2017	30,6
83683	14/06/2017	23,8	83683	31/07/2017	23,1	83683	21/09/2017	30,5
83683	15/06/2017	24,3	83683	01/08/2017	23	83683	22/09/2017	30,5
83683	16/06/2017	23,6	83683	02/08/2017	25,1	83683	23/09/2017	31,1
83683	17/06/2017	25	83683	03/08/2017	27,9	83683	25/09/2017	31,3
83683	18/06/2017	24,8	83683	04/08/2017	21	83683	26/09/2017	28,8
83683	19/06/2017	25,6	83683	05/08/2017	25,4	83683	27/09/2017	31,1
83683	20/06/2017	26	83683	06/08/2017	24,7	83683	28/09/2017	32,5
83683	21/06/2017	24,5	83683	07/08/2017	25,6	83683	29/09/2017	31,6
83683	22/06/2017	24,6	83683	08/08/2017	28,4	83683	30/09/2017	21,2
83683	23/06/2017	23,7	83683	09/08/2017	30,6	83683	01/10/2017	28,1
83683	24/06/2017	24,3	83683	10/08/2017	31,6	83683	02/10/2017	21,4
83683	25/06/2017	23,7	83683	11/08/2017	28,8	83683	03/10/2017	21,6
83683	26/06/2017	22,1	83683	12/08/2017	27,8	83683	04/10/2017	23,6
83683	27/06/2017	23,5	83683	13/08/2017	28,9	83683	05/10/2017	30,6
83683	28/06/2017	23,6	83683	14/08/2017	29,5	83683	06/10/2017	32,1
83683	29/06/2017	24,9	83683	15/08/2017	29,4	83683	07/10/2017	30,3
83683	30/06/2017	25	83683	16/08/2017	25,1	83683	08/10/2017	31,1
83683	01/07/2017	25,5	83683	17/08/2017	18,3	83683	09/10/2017	33,1
83683	02/07/2017	21,5	83683	18/08/2017	18,5	83683	10/10/2017	33,2
83683	03/07/2017	18,5	83683	19/08/2017	25	83683	11/10/2017	33,8
83683	04/07/2017	19,1	83683	20/08/2017	29,6	83683	12/10/2017	34,8
83683	05/07/2017	18,6	83683	21/08/2017	22,6	83683	13/10/2017	33,4
83683	06/07/2017	21,4	83683	22/08/2017	25	83683	14/10/2017	35,1
83683	07/07/2017	22,2	83683	23/08/2017	26,4	83683	15/10/2017	32,9
83683	08/07/2017	21,7	83683	24/08/2017	25,4	83683	16/10/2017	26,4
83683	09/07/2017	22,3	83683	25/08/2017	27,4	83683	17/10/2017	28,6
83683	10/07/2017	24,6	83683	26/08/2017	28,2	83683	18/10/2017	30
83683	11/07/2017	25,1	83683	27/08/2017	28,8	83683	19/10/2017	32,6
83683	12/07/2017	25,8	83683	28/08/2017	29,8	83683	20/10/2017	32,1
83683	13/07/2017	24,4	83683	29/08/2017	30,6	83683	21/10/2017	30,1
83683	14/07/2017	24,4	83683	30/08/2017	31,9	83683	22/10/2017	30,1
83683	15/07/2017	23,1	83683	31/08/2017	32,3	83683	23/10/2017	22,1
83683	16/07/2017	23	83683	01/09/2017	27,2	83683	24/10/2017	28,7
83683	17/07/2017	25,1	83683	02/09/2017	27,5	83683	25/10/2017	30,5
			83683	03/09/2017	26,1	83683	26/10/2017	26,1
			83683	04/09/2017	27,5	83683	27/10/2017	31,4
			83683	05/09/2017	28,6	83683	28/10/2017	30,2
			83683	06/09/2017	30,3	83683	29/10/2017	25,1
			83683	07/09/2017	29,8	83683	30/10/2017	29

83683	31/10/2017	27,6
83683	01/11/2017	25,6
83683	02/11/2017	24,7
83683	03/11/2017	28,9
83683	04/11/2017	27
83683	05/11/2017	26,4
83683	06/11/2017	28,5
83683	07/11/2017	25,5
83683	08/11/2017	24,9
83683	09/11/2017	24,2
83683	10/11/2017	26,4
83683	11/11/2017	28,3
83683	12/11/2017	30
83683	13/11/2017	31,5
83683	14/11/2017	31,6
83683	15/11/2017	29,9
83683	16/11/2017	31
83683	17/11/2017	32
83683	18/11/2017	29,5
83683	19/11/2017	27,6
83683	20/11/2017	26,5
83683	21/11/2017	26,7
83683	22/11/2017	23,1
83683	23/11/2017	25,1
83683	24/11/2017	29,3
83683	25/11/2017	29,7
83683	26/11/2017	24,1
83683	27/11/2017	25,1
83683	28/11/2017	29,6
83683	29/11/2017	29,5
83683	30/11/2017	26,4
83683	01/12/2017	20,1
83683	02/12/2017	26
83683	03/12/2017	30,1
83683	04/12/2017	29,6
83683	05/12/2017	31,7
83683	06/12/2017	29,8
83683	07/12/2017	27,4
83683	08/12/2017	31,8
83683	09/12/2017	31,1
83683	10/12/2017	30,3
83683	11/12/2017	30,6
83683	12/12/2017	29,5
83683	13/12/2017	28,5
83683	14/12/2017	29,1
83683	15/12/2017	30
83683	16/12/2017	32,1
83683	17/12/2017	31,1
83683	18/12/2017	31,7
83683	19/12/2017	31,3
83683	20/12/2017	30,7
83683	21/12/2017	29,5
83683	22/12/2017	22,9
83683	23/12/2017	28,4
83683	24/12/2017	30,5

83683	25/12/2017	32,2
83683	26/12/2017	32,2
83683	27/12/2017	31,6
83683	28/12/2017	32,1
83683	29/12/2017	28,5
83683	30/12/2017	23,3
83683	31/12/2017	25,1
83683	01/01/2018	30,6
83683	02/01/2018	29,4
83683	03/01/2018	28,2
83683	04/01/2018	26,6
83683	05/01/2018	27,1
83683	06/01/2018	25,1
83683	07/01/2018	25,1
83683	08/01/2018	25,2
83683	09/01/2018	29,1
83683	10/01/2018	30,4
83683	11/01/2018	28,6
83683	12/01/2018	27,4
83683	13/01/2018	30
83683	14/01/2018	29,6
83683	15/01/2018	28,5
83683	16/01/2018	30,2
83683	17/01/2018	32,4
83683	18/01/2018	32,5
83683	19/01/2018	32,3
83683	20/01/2018	32,4
83683	21/01/2018	32,5
83683	22/01/2018	32,8
83683	23/01/2018	32,6
83683	24/01/2018	31
83683	25/01/2018	32,2
83683	26/01/2018	31,3
83683	27/01/2018	29,7
83683	28/01/2018	31,9
83683	29/01/2018	30,6
83683	30/01/2018	28,7
83683	31/01/2018	30,7
83683	01/02/2018	30,4
83683	02/02/2018	29,3
83683	03/02/2018	30,1
83683	04/02/2018	27,4
83683	05/02/2018	21,6
83683	06/02/2018	26,6
83683	07/02/2018	30,5
83683	08/02/2018	31,3
83683	09/02/2018	32,9
83683	10/02/2018	28,6
83683	11/02/2018	32,9
83683	12/02/2018	31,1
83683	13/02/2018	24,5
83683	14/02/2018	29,1
83683	15/02/2018	29,6
83683	16/02/2018	31,4
83683	17/02/2018	31,6

83683	18/02/2018	29,1
83683	19/02/2018	28,8
83683	20/02/2018	28,5
83683	21/02/2018	27,6
83683	22/02/2018	31,2
83683	23/02/2018	31,1
83683	24/02/2018	28,5
83683	25/02/2018	29
83683	26/02/2018	23,8
83683	27/02/2018	28,5
83683	28/02/2018	30,7
83683	01/03/2018	30,3
83683	02/03/2018	32,4
83683	03/03/2018	29,3
83683	04/03/2018	30,6
83683	05/03/2018	32,2
83683	06/03/2018	32,5
83683	07/03/2018	32,5
83683	08/03/2018	30,3
83683	09/03/2018	31
83683	10/03/2018	29,1
83683	11/03/2018	30,8
83683	12/03/2018	31,5
83683	13/03/2018	32,6
83683	14/03/2018	31,4
83683	15/03/2018	29,5
83683	16/03/2018	30,5
83683	17/03/2018	29,6
83683	18/03/2018	29,6
83683	19/03/2018	31,1
83683	20/03/2018	32,1
83683	21/03/2018	30,1
83683	22/03/2018	28,4
83683	23/03/2018	29,8
83683	24/03/2018	29,7
83683	25/03/2018	29,9
83683	26/03/2018	29,7
83683	27/03/2018	29,6
83683	28/03/2018	30
83683	29/03/2018	29,8
83683	30/03/2018	30
83683	31/03/2018	30,3
83683	01/04/2018	28,1
83683	02/04/2018	27,2
83683	03/04/2018	29,4
83683	04/04/2018	28,6
83683	05/04/2018	29,9
83683	06/04/2018	30,4
83683	07/04/2018	29,5
83683	09/04/2018	29,5
83683	10/04/2018	23,7
83683	11/04/2018	28,8
83683	12/04/2018	27,6
83683	13/04/2018	28,7
83683	14/04/2018	27,7

83683	16/04/2018	24,6
83683	17/04/2018	23,6
83683	18/04/2018	26,1
83683	19/04/2018	27,7
83683	20/04/2018	27,2
83683	21/04/2018	26,9
83683	23/04/2018	27,3
83683	24/04/2018	27,7
83683	25/04/2018	27
83683	26/04/2018	29,4
83683	27/04/2018	28,5
83683	28/04/2018	28,6
83683	30/04/2018	22,8
83683	01/05/2018	29,4
83683	02/05/2018	29,6
83683	03/05/2018	28,7
83683	04/05/2018	29,2
83683	05/05/2018	29,7
83683	06/05/2018	30,1
83683	07/05/2018	27,3
83683	08/05/2018	27,8
83683	09/05/2018	25,7
83683	10/05/2018	26,4
83683	11/05/2018	27,5
83683	12/05/2018	27,8
83683	13/05/2018	28,3
83683	14/05/2018	25,1
83683	15/05/2018	25,3
83683	16/05/2018	27,8
83683	17/05/2018	27
83683	18/05/2018	29,4
83683	19/05/2018	25,2
83683	20/05/2018	21,6
83683	21/05/2018	21,5
83683	22/05/2018	25
83683	23/05/2018	26,4
83683	24/05/2018	25,1
83683	25/05/2018	25,4
83683	26/05/2018	25,3
83683	27/05/2018	25,2
83683	28/05/2018	24
83683	29/05/2018	23,1
83683	30/05/2018	24
83683	31/05/2018	24,1

ANEXO B – Propostas de fornecimento

Figura 19 - Proposta de fornecimento (painel solar de 370 W)



Prezado integrador,

Você solicitou o orçamento preliminar.

Sistema de 497,28 kWp

Informe a Potência (kWp) 497,28	Módulo MODULO FV	Fab. Inversor ABB Group	Fab. String Box ABB / DEHN	Fab. Estrutura Sices Solar
Tipo de Estrutura Chapa Metálica	Tensão 220/380	Fases Trifásico	<input checked="" type="checkbox"/> Incluir transformador se necessário	Recalcular

Código	Descrição	Custo Unitário	Quantidade	Total
21CAN370002	MODULO FV CANADIAN 144 CELLS 370W MONO 1500V F16	R\$ 709,64	1344	R\$ 953.756,16
22ABB1200480001	INVERSOR PVS-120-TL-POWER MODULE-480V	R\$ 28.150,89	4	R\$ 112.603,56
2613SSIR078	SICES SOLAR PERFIL ALUMINIO INDUSTRIAL ROOFTOP 6,3MT	R\$ 99,14	402	R\$ 39.854,28
2613SSIR079	SICES SOLAR PERFIL ALUMINIO INDUSTRIAL ROOFTOP 4,2MT	R\$ 72,04	2	R\$ 144,08
2613SSIR082	SICES SOLAR PERFIL ALUMINIO INDUSTRIAL ROOFTOP 1,57MT	R\$ 36,00	134	R\$ 4.824,00
2603SSTF111	SICES SOLAR TERMINAL FINAL 39.,41MM for CAN - NACIONAL	R\$ 3,69	272	R\$ 1.003,68
2604SSTI112	SICES SOLAR TERMINAL INTERMEDIARIO 39.,44MM for CAN/AVP - NACIONAL	R\$ 5,15	2552	R\$ 13.142,80
2614SSPA110	SICES SOLAR PARAFUSO METALICO AUTOPERFORANTE	R\$ 0,69	13984	R\$ 9.648,96
2615EPDM039	M EPDM BAND 30x3, PU=8 FITA EPDM	R\$ 17,97	699	R\$ 12.561,03
25MC4I003	CONECTORES FEMEA/ MACHO WEID_CABUR_TE_MC4_ou compativel	R\$ 10,67	128	R\$ 1.365,76
2624001	CABO SOLAR 6MM ATE 1800V CC PT ABNT NBR 16612	R\$ 3,56	1920	R\$ 6.835,20
2624002	CABO SOLAR 6MM ATE 1800V CC VM ABNT NBR 16612	R\$ 3,56	1920	R\$ 6.835,20
22ABB1200480002	ACESSÓRIO WB-SX2-PVS-100/120-TL/24 INPUTS	R\$ 21.764,72	4	R\$ 87.058,88
22ABB0012480001	ACESSÓRIO BRACKET - PVS-100/120	R\$ 387,82	4	R\$ 1.551,28

Valor Total do Sistema R\$ 1.251.184,87

TOTAL R\$ 1.251.184,87



Fonte: Adaptado de Sices Solar, 2018.

Figura 20 - Proposta de fornecimento (painel solar de 300 W)



Prezado integrador,

Você solicitou o orçamento preliminar.

Sistema de 496,80 kWp

Informe a Potência (kWp) 496,80	Módulo MODULO FV CAN	Fab. Inversor ABB Group	Fab. String Box ABB / DEHN	Fab. Estrutura Sices Solar
Tipo de Estrutura Chapa Metálica	Tensão 220/380	Fases Trifásico	<input checked="" type="checkbox"/> Incluir transformador se necessário	<input checked="" type="button" value="Recalcular"/>

Código	Descrição	Custo Unitário	Quantidade	Total
21CAN300002	MODULO FV CANADIAN 60 CELLS 300W MONO 1500V F16	R\$ 536,81	1656	R\$ 888.957,36
22ABB1200480001	INVERSOR PVS-120-TL-POWER MODULE-480V	R\$ 28.150,89	4	R\$ 112.603,56
26135SIR078	SICES SOLAR PERFIL ALUMINIO INDUSTRIAL ROOFTOP 5,3MT	R\$ 99,14	496	R\$ 49.173,44
26135SIR079	SICES SOLAR PERFIL ALUMINIO INDUSTRIAL ROOFTOP 4,2MT	R\$ 72,04	2	R\$ 144,08
26135SIR082	SICES SOLAR PERFIL ALUMINIO INDUSTRIAL ROOFTOP 1,57MT	R\$ 36,00	164	R\$ 5.904,00
26035STF111	SICES SOLAR TERMINAL FINAL 39.,41MM for CAN - NACIONAL	R\$ 3,69	332	R\$ 1.225,08
26045STI112	SICES SOLAR TERMINAL INTERMEDIARIO 39.,44MM for CAN/AVP - NACIONAL	R\$ 5,15	3146	R\$ 16.201,90
26145SPA110	SICES SOLAR PARAFUSO METALICO AUTOPERFURANTE	R\$ 0,69	17224	R\$ 11.884,56
2615EPDM039	M EPDM BAND 30x3, PU=8 FITA EPDM	R\$ 17,97	861	R\$ 15.472,17
25MC4I003	CONECTORES FEMEA/ MACHO WEID_CABUR_TE_MC4_ou compativel	R\$ 10,67	144	R\$ 1.536,48
2624001	CABO SOLAR 6MM ATE 1800V CC PT ABNT NBR 16612	R\$ 3,55	2160	R\$ 7.689,60
2624002	CABO SOLAR 6MM ATE 1800V CC VM ABNT NBR 16612	R\$ 3,55	2160	R\$ 7.689,60
22ABB1200480002	ACESSÓRIO W3-SX2-PVS-100/120-TL/24 INPUTS	R\$ 21.764,72	4	R\$ 87.058,88
22ABB0012480001	ACESSÓRIO BRACKET - PVS-100/120	R\$ 387,82	4	R\$ 1.551,28

Valor Total do Sistema R\$ 1.207.091,99

TOTAL R\$ 1.207.091,99



Fonte: Adaptado de Sices Solar, 2018.